

รถควบคุมด้วยคลื่นเสียง

CAR CONTROL BY SOUND WAVE



264.
ค 6263
2544

เลขท.....
เลขทะเบียน..... 46429
วัน, เดือน, ปี..... 1 เม.ย. 2546

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

รถควบคุมด้วยคลื่นเสียง

TITLE

CAR CONTROL BY SOUND WAVE

โดย

นาย ธีรนนท์ ตั้งเจริญสุข รหัสประจำตัว 43015726

นาย สุทัศน์ จารุมาศพรณ รหัสประจำตัว 43015754

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ผศ.ดร.ปิติเชต สุรักษา

อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2544

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

(ผศ.ดร. ปิติเชต สุรักษา)

(บุญยชนะ ภูระหงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

นักศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ระดับการศึกษา

ภาควิชา

ปีการศึกษา

รศควบคุมด้วยคลื่นเสียง

นาย ชีรนนท์ ตั้งเจริญสุข รหัสประจำตัว 43015726

นาย สุทัศน์ จารุมาศพรณ รหัสประจำตัว 43015754

ผศ.ดร.ปิติเขต ผู้รักษา

อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์

ปริญญาดุษฎีบัณฑิต

วิศวกรรมสารสนเทศ

2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา การสร้างรศควบคุมด้วยคลื่นเสียง โดยใช้ความถี่ในช่วงที่มนุษย์สามารถได้ยินได้และในการรับส่งสัญญาณนั้น จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการสื่อสาร เพราะคลื่นเสียงเดินทางในน้ำได้ดีกว่าในอากาศจึงทำให้การรับส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยนำ AVR (90S/LS8535) ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของมอเตอร์

PROJECT TITLE**CAR CONTROL BY SOUND WAVE****STUDENT**

Mr. Teranun Tangcharoensuk No. 43015726

Mr. Suthas Charumartphan No. 43015754

ADVISOR

Asst.Prof.Dr. Pitikhate Sooraksa

Mr.Boonchana Poorahong

COURSE

Bachelor of Industrial Engineering

Technology Electronics

DEPARTMENT

Information Engineering

YEAR

2001

ABSTRACT

This thesis present building car control by sound wave. The car control by sound wave use frequency of audible even by the human ears and receive-sent the signal that it use water middle of communication because sound wave travel in water is better than air. So the receive-sent the signal have efficient. Hence, the motors are controlled by AVR (9058535) micro controller.

กิตติกรรมประกาศ

จากความสำเร็จในการสร้างรศควมคุมด้วยคลื่นเสียง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร. ปิติเขต สุริรักษา และอาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์ ที่ได้ให้คำชี้แนะให้การสนับสนุนให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ๆ และขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้การสนับสนุนจนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตของโครงการ	2
ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
เสียง	11
คุณสมบัติของคลื่น	12
คุณสมบัติของคลื่นเสียง	16
การได้ยิน	18
ปรากฏการณ์ดอปเลอร์	20
คลื่นได้เสียง	22
คลื่นเหนือเสียง	23
บทที่ 3 การออกแบบ	25
การออกแบบภาคส่ง	25
การออกแบบภาครับ	26
แบบจำลองโครงสร้างของโครงการ	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบความถี่แต่ละความถี่ที่ให้ขนาดของสัญญาณสูงสุด	28
การทดลองที่ 2 ตรวจจับสัญญาณเสียง	29

การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบการรับสัญญาณในอากาศและในน้ำของไม้คั่นเดนเซอร์	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	34
สรุป	34
ปัญหาของโครงการ	34
ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ	34
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1	การใช้ OSC ภายใน MCU 7
รูปที่ 2-2	การใช้ OSC ภายนอก MCU 8
รูปที่ 2-3	การรวมกันของคลื่นแบบเสริมกัน 13
รูปที่ 2-4	การรวมกันของคลื่นแบบหักล้างกัน 13
รูปที่ 2-5	คลื่นวงกลมสะท้อนที่ผิวตรง 14
รูปที่ 2-6	แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่ ณ จุดโฟกัสผิวโค้งพาราโบลา 14
รูปที่ 2-7	คลื่นเส้นตรงสะท้อนที่ผิวโค้งพาราโบลา 15
รูปที่ 2-8	แสดง แรมดาร์ (λ) ในบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้น 15
รูปที่ 2-9	แสดงคลื่นเสียงการอัดและขยายของโมเลกุลอากาศ 16
รูปที่ 2-10	แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงอ้อมตึก 17
รูปที่ 2-11	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เป็นไซนกับระดับความถี่เป็นฟอน 18
รูปที่ 2-12	เส้นโค้งของระดับความถี่เท่ากันระหว่างเสียงบริสุทธิ์ 19
รูปที่ 2-13	พื้นที่ทางการได้ยินระหว่างขีดเริ่มของการได้ยินกับขีดเริ่มความเจ็บปวด 20
รูปที่ 2-14	ผู้ฟังเคลื่อนที่ 21
รูปที่ 2-15	แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ 21
รูปที่ 3-1	วงจรภาคส่ง 25
รูปที่ 3-2	วงจรภาครับ 26
รูปที่ 3-3	แบบจำลองโครงสร้างของโครงการ 27
รูปที่ 4-1	กราฟแสดงการรับเสียงในอากาศ 31
รูปที่ 4-2	กราฟแสดงการรับเสียงในน้ำ 32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	DDAn Effect on PORT A Pins
ตารางที่ 2-2	การใช้งานของฟังก์ชันอื่น ๆ ของพอร์ต B
ตารางที่ 2-3	การใช้งานของพอร์ต B เป็น INPUT/OUTPUT
ตารางที่ 2-4	การใช้งานของพอร์ต C
ตารางที่ 2-5	การใช้งานของพอร์ต B
ตารางที่ 2-6	ฟังก์ชันของพอร์ต D
ตารางที่ 2-7	อัตราความเร็วของเสียง
ตารางที่ 4-1	เปรียบเทียบความถี่ในค่าต่าง ๆ
ตารางที่ 4-2	การรับสัญญาณเสียงในอากาศ
ตารางที่ 4-3	การรับสัญญาณเสียงในน้ำ



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยไร้สายและการควบคุมอัตโนมัติ เป็นที่นิยมและนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในงานด้านอุตสาหกรรม และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น การควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะใช้การสื่อสาร (ส่งข้อมูล) ผ่านทางอากาศ โดยการส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าย่านที่มนุษย์สามารถจะสื่อสารพูดคุยกัน ซึ่งข้อดีของการใช้ย่านความถี่ที่สูงกว่าก็คือ จะสามารถตัดปัญหาของสัญญาณรบกวนจากคนและเสียงรบกวนต่าง ๆ ไปได้จึงทำให้การสื่อสารข้อมูลผ่านทางอากาศในย่านความถี่ที่สูงกว่าย่านที่มนุษย์ใช้สื่อสารพูดคุยกันเป็นที่นิยมใช้กันมาก แต่ในโครงการนี้จะใช้การสื่อสารผ่านทางน้ำในย่านความถี่ที่มนุษย์สามารถใช้พูดคุยกันได้ ซึ่งข้อดีของการสื่อสารในน้ำนั้นคลื่นเสียงสามารถเคลื่อนที่ได้ดีกว่าในอากาศ จึงทำให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิมเพื่อให้สามารถเห็นการสื่อสารระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับตัวรถที่จะควบคุมได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในปัจจุบันก็เป็นที่ยอมรับมากในการนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างอัตโนมัติและด้วยเหตุนี้เองจึงมีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของรถในโครงการนี้ โดยจะรับคำสั่งจากแหล่งกำเนิดสัญญาณผ่านทางน้ำ ดังกล่าวมาแล้วนั่นเอง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

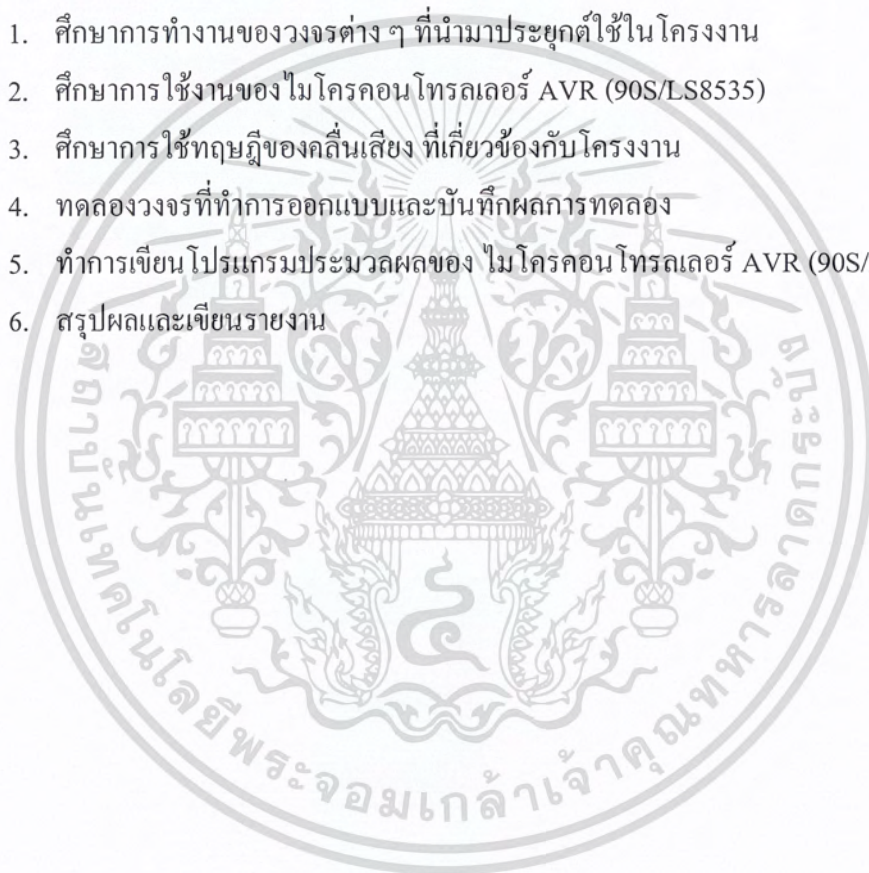
1. เพื่อสร้างรถขนาดเล็กที่สามารถรับข้อมูลข่าวสารจากฐานได้โดยใช้การส่งข้อมูลในลักษณะของคลื่นเสียงในความถี่ใดความถี่หนึ่งในย่านความถี่เสียง
2. สามารถนำข้อมูลข่าวสารที่ได้มาประมวลผล เพื่อควบคุมการทำงานของรถโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR (90S/LS8535)

ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถควบคุมรถให้เคลื่อนที่ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาตามที่ต้องการได้โดยผ่านทางรีโมท ซึ่งจะส่งข้อมูลด้วยสัญญาณย่านความถี่เสียง

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของวงจรต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการ
2. ศึกษาการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR (90S/LS8535)
3. ศึกษาการใช้ทฤษฎีของคลื่นเสียง ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
4. ทดลองวงจรที่ทำการออกแบบและบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการเขียนโปรแกรมประมวลผลของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR (90S/LS8535)
6. สรุปผลและเขียนรายงาน



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงการนี้จะต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงาน รวมทั้งมีการศึกษาพฤติกรรมของเสียงคุณสมบัติของคลื่น คลื่นเสียง และลักษณะต่าง ๆ ของเสียงที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงการให้มากขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์

สถาปัตยกรรมภายในถูกออกแบบให้ใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISE (Reduce Instruction Set Computer)

RISE คือ ทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่งต่อ 1 Clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz มีจำนวนคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 118 คำสั่ง

หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก PROGRAM MEMORY ขนาด 8 KByte (AT90s/8535)

หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก PROGRAM MEMORY ขนาด 4 KByte (AT90s/LS4434)

หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก DATA MEMORY ขนาด 512 Byte (AT90s/LS8535)

หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก DATA MEMORY ขนาด 256 Byte (AT90s/LS4434)

หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 512 Byte (AT90s/LS8535)

หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 256 Byte (AT90s/LS4434)

ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ ANALOG TO DIGITAL ขนาด 10 บิต จำนวน 8 CHANNEL

กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว

พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบอะซิงโครนัส (UART) 1 CHANNEL

ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 CHANNEL

ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0-8 MHz (AT90S8535/90S4434)

ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0-4 MHz (AT90S8535/90S4434)

ระบบการรีเซ็ตแบบฮาร์ดโน้ตเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on reset)

ระบบการกำเนิดสัญญาณความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 3 CHANNEL

ระบบการตรวจจ็กระดับสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator)

3 SLEEP MOD:IDEL,POWER SAVE and POWER DOWN

ระบบการป้องกันการ COPY ข้อมูลภายในหน่วยความจำ (LOCK FOR SOFTWARE SECURITY)

ระบบตรวจจับการทำงานผิดพลาดของ CPU (WATCHDOG TIMER WITH ON-CHIP OSCILATOR)

ระบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (EXTERNAL INTERRUPT)

TIMER/COUNTER ขนาด 16 บิต 1 CHANNEL

TIMER/COUNTER ขนาด 8 บิต 2 CHANNEL

Vcc: 4.0-6.0 AT90S4434/90S8535

Vcc: 2.7-6.0 AT90S4434/90S8535

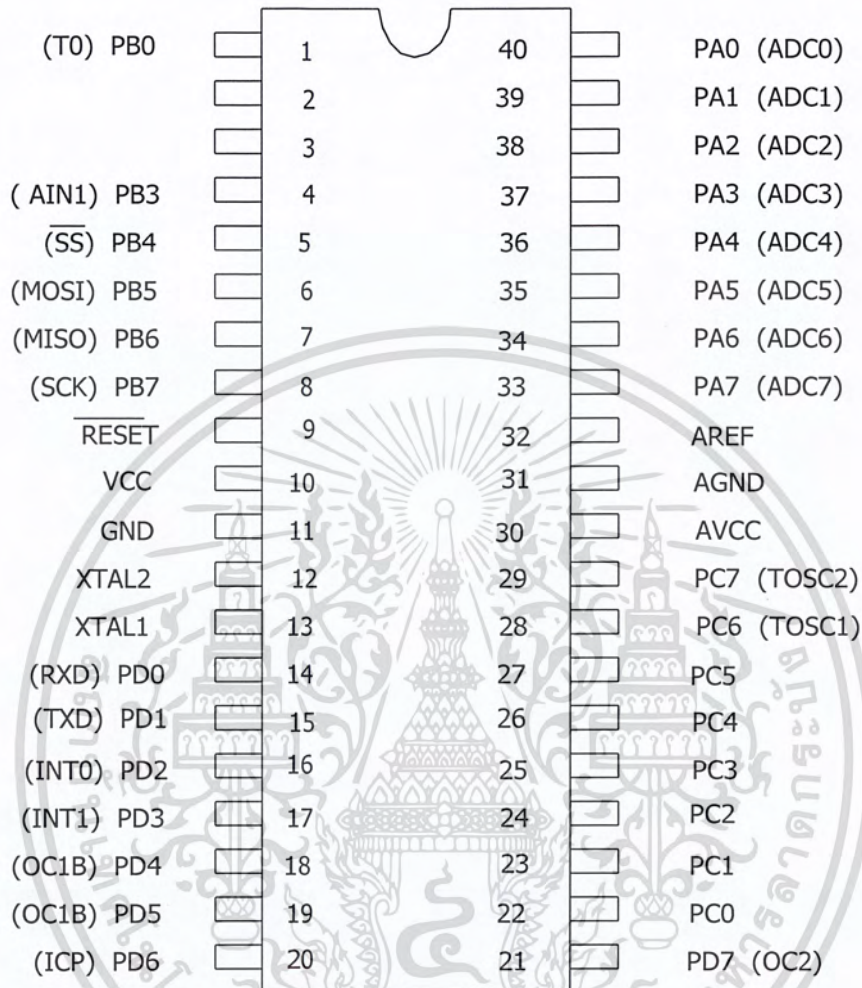
รายละเอียด

AT90S4434/90S8535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (reduce instruction set computer) ซึ่งทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่งต่อ 1 CLOCK หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz

โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา

ภายในประกอบด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิตจำนวน 32 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะต่อเข้ากับ ALU โดยตรงทำให้การประมวลผลต่อ 1 คำสั่งมีความเร็วกว่า CPU ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ CISC

POIP



โครงสร้างภายใน

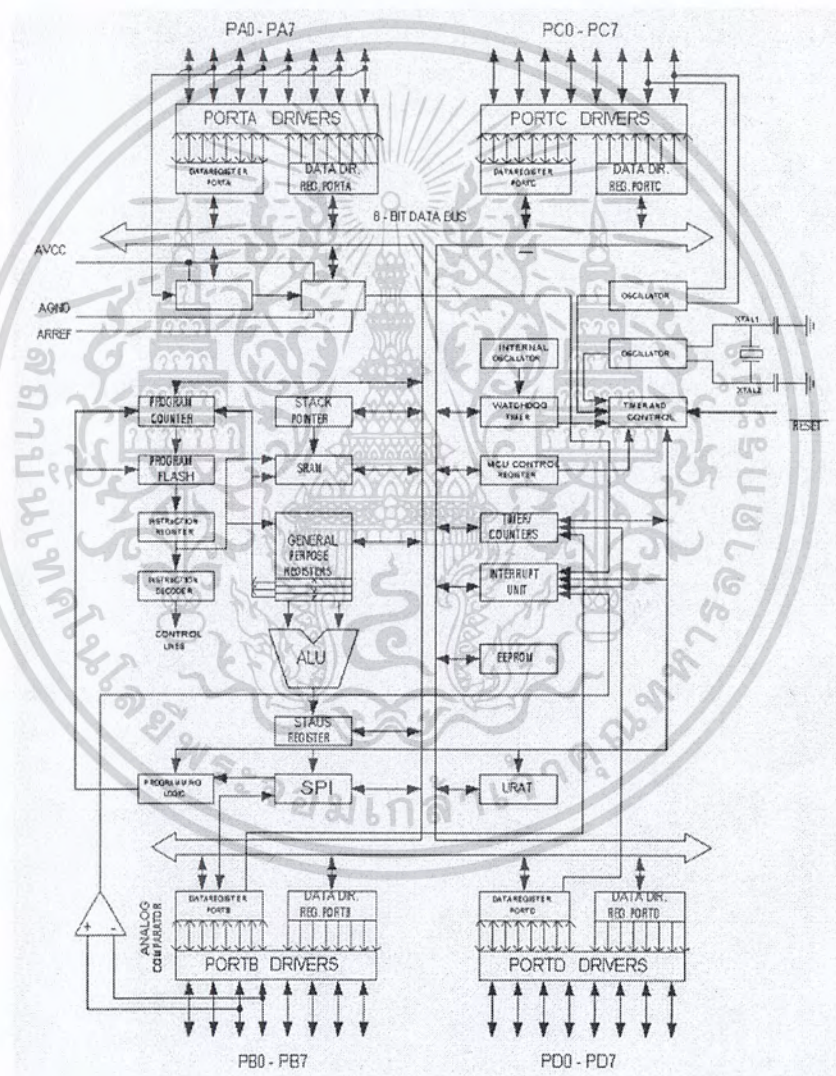
AT90S8535 จะมีหน่วยความจำสำหรับ PROGRAM MEMORY แบบ FLASH ขนาด 8 KByte หน่วยความจำสำหรับ DATA MEMORY แบบ EEPROM ขนาด 512 Byte และหน่วยความจำแบบ RAM แบบ 512 Byte มีพอร์ตที่สามารถทำงานได้ 2 ทิศทางจำนวน 32 เส้น สัญญาณและระบบ TIMER/COUNTER จำนวน 3 ชุดที่มีหมวดการทำงานเสริมในส่วนของการสร้างสัญญาณ PWM และส่วนของการตรวจจับสัญญาณ Input Capture มีอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบ UART และ SPI และยังเสริมด้วยระบบการแปลงสัญญาณ Analog to digital ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสัญญาณที่มาพร้อมกับ MCU มี Watchdog Timer เพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และมีระบบการประหยัดพลังงานอีก 3 ระบบ

รายละเอียดของขาสัญญาณ

VCC คือ ขาจ่ายไฟให้กับ CPU

GND คือ กราวด์

Block Diagram



PORT A (PA7..PA0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในแยกออกจากกันซึ่งสามารถรับกระแส SINK 20mA โดยพอร์ต A ยังใช้เป็นขาอินพุตเพื่อรับสัญญาณอนาล็อกในส่วนของการแปลงสัญญาณ ANALOG TO DIGITAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PORT B (PA7..PB0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก

PORT C (PA7..PC0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก

PORT D (PA7..PD0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก

Reset คือ ขารีเซ็ต

XTAL1 เป็นขาอินพุตของ OSC

XTAL2 เป็นขาอินพุตของ OSC

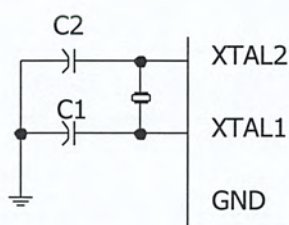
AVcc ใช้จ่ายไฟให้กับวงจร ANALOG TO DIGITAL

AREF เป็นขาแรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนวงจร ANALOG TO DIGITAL

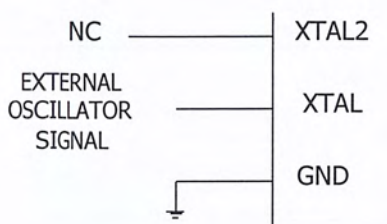
AGND เป็นขากราวด์ของวงจร ANALOG TO DIGITAL

การใช้งานของ CRYSTAL OSCILATOR

โดยขา XTAL1 เป็นขาอินพุตและขา XTAL2 เป็นขาเอาต์พุต ซึ่งถ้าต้องการใช้ OSC ภายในจะต้องต่อ CRYSTAL คร่อมขา XTAL1 และ XTAL2 โดยมีตัวเก็บประจุ ต่อจากขาทั้งสองลงกราวด์ ถ้าต้องการ OSC จากภายนอกให้ปล่อยขา XTAL2 ลอยและป้อน CLOCK เข้าที่ขา XTAL1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2-1 และรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 การใช้ OSC ภายใน MCU



รูปที่ 2-2 การใช้ OSC ภายนอก MCU

PORT INPUT/OUTPUT

พอร์ต A

เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีหน่วยควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของพอร์ต คือ รีจิสเตอร์ PORT A (DATA REGISTER) อยู่ที่ตำแหน่ง \$1B(\$B) รีจิสเตอร์ DDRA PORT A (DATA DIRECTION REGISTER) อยู่ที่ตำแหน่ง \$1A(\$A) และ PINA (PORT A INPUT PINS) อยู่ที่ตำแหน่ง \$19(\$39) โดย PINA จะสามารถอ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถเขียนข้อมูลลงได้ในขณะที่ PORT A และ DDRA สามารถเขียนและอ่านได้และยังนำไปใช้งานเป็นขาสัญญาณ INPUT ของ วงจร ANALOG TO DIGITAL การใช้งานของพอร์ต A เป็นขา INPUT/OUTPUT บิต DDAn ถูก เซ็ตเป็น 1 จะทำให้ขาของพอร์ตนั้นเป็น OUTPUT แต่เมื่อ DDAn เป็น 0 จะทำให้ขานั้นถูกกำหนด เป็น INPUT

ตารางที่ 2-1 DDAn Effects on PORT A Pins

DDAn	PORTAn	I/O	PULL UP	COMMENT
0	0	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	Input	Yes	Pan will source current if ext. pulled low
1	0	Output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	Output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)

พอร์ต B

เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมพอร์ตBคือ รีจิสเตอร์ PORT B อยู่ที่ตำแหน่ง \$18(\$38) รีจิสเตอร์ DDRB อยู่ที่ตำแหน่ง \$17(\$37) และ PINA (PORT

AINPUT PINS) อยู่ที่ตำแหน่ง \$16 (\$36) โดยที่ PORT A แต่ละขาสามารถกำหนด Pull Up ได้ตามต้องการ โดยพอร์ต B สามารถใช้งานเป็นฟังก์ชันต่าง ๆ ดังตาราง

พอร์ต C

เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีหน่วยควบคุมการทำงาน 3 หน่วยคือ PORT C (DATA Register-PORT C) อยู่ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ \$15(\$35) DDRC อยู่ที่ตำแหน่ง \$14 (\$34) และ PINC อยู่ที่ตำแหน่ง \$13 (\$33) โดย PINC จะสามารถอ่านได้อย่างเดียวขณะที่ PORT C และ DDRC จะสามารถอ่านและเขียนได้ในแต่ละขาของ PORT C แต่ละขาสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ 20 mA โดยถ้าภายในกำหนดความต้านทาน Pull Up ได้ตามความต้องการในขณะที่ PORT C สามารถแยกการกำหนดให้มีความต้านทาน Pull Up และภายนอกมีความต้านทาน Pull Low จะทำให้ MUC จ่ายกระแสออกภายนอก

ตารางที่ 2-2 การใช้งานฟังก์ชันอื่น ๆ ของพอร์ต B

Port Pin	Alternate Functions
PB0	T0 (Timer/Counter 0 external counter input)
PB1	T1(Timer/Counter 0 external counter input)
PB2	AIN0 (Analog comparator position input)
PB3	AIN1 (Analog comparator position input)
PB4	SS (SPI Select input)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave)
PB6	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave)
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)

ตารางที่ 2-3 การใช้งานของพอร์ต B เป็น INPUT/OUTPUT

DDBn	PORTBn	I/O	PULL UP	COMMENT
0	0	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	Input	Yes	Pan will source current if ext. pulled low
1	0	Output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	Output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)

Port C As General Digital I/O ทั้ง 8 บิตของพอร์ต C จะมีลักษณะเหมือนกัน โดย PCn แทนขาต่าง ๆ ของพอร์ต C และ DDCn เป็นบิตที่ใช้การควบคุมทิศทางของขา นั้น ๆ โดยถ้า DDCn มีการเซ็ตเป็น 1 แสดงว่าเป็นขา Output แต่ถ้าขา DDCn เป็นการกำหนดให้เป็นขา Input ถ้าต้องการให้ Mos Pull Up เกิดการ Active จะเคลียร์ให้ PortCn เป็น 0 ดังค่าแสดงในตาราง

ขาชนิดอื่น ๆ ของ Port C เมื่อบิต AS2 ในรีจิสเตอร์ ASSR ถูกเซ็ตให้เป็น 1 จะเป็นการกำหนดให้มีการรับ CLOCK จากภายนอกของ TIMER/COUNTER2 ที่ตำแหน่งขา PC6,PC7

ตารางที่ 2-4 การใช้งานของพอร์ต C

DDCn	PORTCn	I/O	PULL UP	COMMENT
0	0	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	Input	Yes	Pan will source current if ext. pulled low
1	0	Output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	Output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)

พอร์ต D

เป็นพอร์ต 2 ทิศทางมีหน่วยควบคุมการทำงานของพอร์ตดังนี้ PORTD อยู่ที่ตำแหน่ง \$12(\$32) DDRD อยู่ที่ตำแหน่ง \$11 (\$31) PIND อยู่ที่ตำแหน่ง \$10(\$30) โดยที่ PIND อ่านได้อย่างเดียว PORTD และ DDRD สามารถอ่านและเขียน โดยพอร์ต D สามารถรับกระแสได้ 20 mA ซึ่งแต่ละขาของพอร์ต D สามารถเลือกฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ ดังในตาราง

ตารางที่ 2-5 การใช้งานของพอร์ต D

DDDn	PORTDn	I/O	PULL UP	COMMENT
0	0	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	Input	Yes	Pan will source current if ext. pulled low
1	0	Output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	Output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)

ตารางที่ 2-6 ฟังก์ชันอื่น ๆ ของพอร์ต D

Port Pin	Alternate Functions
PB0	RDX (UART Input line)
PB1	TDX(UART Output line)
PB2	INT0 (External interrupt 0 input)
PB3	INT1 (External interrupt 1 input)
PB4	OC1B (Timer/Counter 1 output compare B match output)
PB5	OC1A (Timer/Counter 1 output compare A match output)
PB6	ICP (Timer/Counter 1 input capture pin)
PB7	OC2 (Timer/Counter 2 output capture pin)

เสียง

เมื่อเกิดคลื่นตามความยาวขึ้นในอากาศ คลื่นนี้จะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทางโดยผ่านตัวกลางยืดหยุ่นซึ่งในที่นี้ก็คืออากาศ เมื่อคลื่นตามยาวนี้มาถึงหูคนฟังจะทำให้รับรู้ความรู้สึกเสียง (sensation of sound) ได้เฉพาะคลื่นที่มีความถี่โดยเฉลี่ยระหว่าง 20-20,000 เฮิรตซ์เท่านั้น ถ้าความถี่สูงหรือต่ำกว่านี้หูคนจะไม่สามารถรับฟังได้ แต่อย่างไรก็ตามคลื่นในช่วงความถี่ดังกล่าวที่คนจะรับฟังได้นั้นก็ต้องมีอำนาจมากพอที่พลังงานของเสียงได้ด้วย

คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่า คลื่นใต้เสียง (infrasonic waves) เช่น คลื่นที่ได้จากการเกิดแผ่นดินไหว และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เรียกว่า คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic waves) เช่น คลื่นที่เกิดจากการสั่นของผลึกควอตซ์ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการให้สนามไฟฟ้าสลับแก่ผลึก

ต้นกำเนิดเสียงในช่วงที่คนรับฟังได้ ได้แก่ คลื่นที่ได้จากการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายหรือการสั่นของสายเสียง (vocal cord) ของคน การสั่นของลำอากาศจากเครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่า และการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตี การสั่นของต้นกำเนิดเสียงทั้งหลายจะอัดอากาศรอบ ๆ ตัวเมื่อสั่นไปข้างหน้าและขยายอากาศเมื่อสั่นถอยกลับหลัง ส่วนอัดและส่วนขยายอากาศก็จะถูกส่งออกไปทุกทิศเรียกว่าคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ออกไป เมื่อไปยังหูคนฟังก็จะไปกระตุ้นความรู้สึกของการได้ยินเสียงนั่นเอง คลื่นเหล่านี้ส่วนมากเป็นคลื่นฮาร์โมนิกซึ่งได้จากซ้อนของคลื่นซิมเปิลฮาร์โมนิกหลาย ๆ ความถี่ ถ้าความเข้มไม่สูงเกินไปนักก็จะทำให้รู้สึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงนำฟังมากขึ้น เช่น เสียงดนตรี ถ้าคลื่นเสียงไม่เป็นคาบ (nonperiodic waves) จะรู้สึกไม่น่าฟัง คือ เป็นเสียงรบกวน (noise)

ตารางที่ 2-7 แสดงอัตราเร็วของเสียง

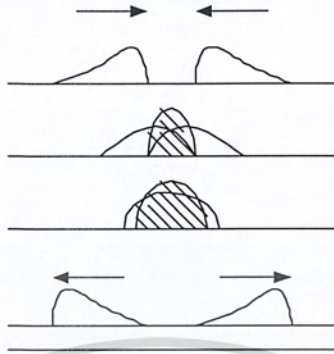
ตัวกลาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราเร็ว (เมตร-วินาที ⁻¹)
ออกซิเจน	0	317.2
อากาศ	0	331.3
ไฮโดรเจน	0	1,286
น้ำ	15	1,450
ตะกั่ว	20	2,130
ทองแดง	20	3,560
อลูมิเนียม	20	5,100
เหล็ก	20	5,130

คุณสมบัติของคลื่น

การรวมกันได้ของคลื่น (Superposition Principle) เกิดขึ้นเมื่อมีคลื่นตั้งแต่ 2 ขบวนมาพบกัน การรวมกันของคลื่นมีผลให้ขนาดของการจัดของคลื่นเปลี่ยนไปรวมทั้งแอมพลิจูดด้วย

การรวมกันของคลื่นแบ่งเป็น 2 แบบคือ

การรวมแบบเสริมกัน เมื่อคลื่นทั้ง 2 มาพบกัน ผลของการรวมกันจะมีค่าแอมพลิจูดมากขึ้น (มีขนาดใหญ่ขึ้น) การเกิดรวมกันแบบเสริมกันเกิดจากคลื่น 2 ขบวน มีการจัดอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 การรวมกันของคลื่นแบบเสริมกัน

การรวมแบบหักล้างกัน เป็นการรวมกันของคลื่น 2 ชนิด ผลของการรวมจะทำให้การขจัดของคลื่นลดลง (มีขนาดคลื่นเล็กลง) การเกิดการรวมแบบหักล้างนี้เกิดจากคลื่น 2 ขบวนพบกัน มีการขจัดอยู่ในทิศทางตรงข้ามกัน ดังรูปที่ 2-4



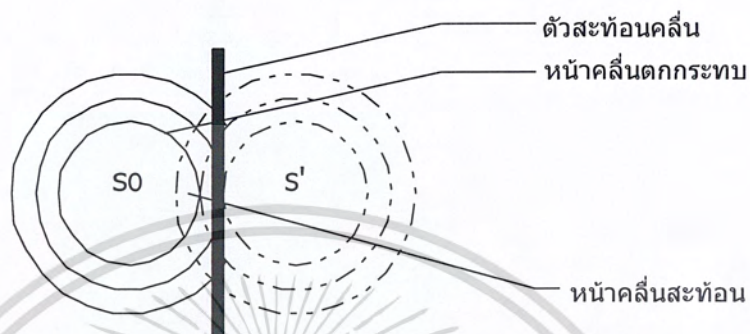
รูปที่ 2-4 การรวมกันของคลื่นแบบหักล้าง

การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดคลื่น ไปถึงปลายสุดของตัวกลางหนึ่ง คลื่นจะมีการสะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม

การสะท้อนของคลื่นในรูปแบบต่างๆ

เมื่อคลื่นวงกลมกระทบผิวสะท้อนตรง จะเกิดการสะท้อนเสมือนว่ามี S' เป็นแหล่งสะท้อนนั่นเอง ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 คลื่นวงกลมสะท้อนที่ผิวตรง

S_0 คือแหล่งกำเนิดคลื่นวงกลม

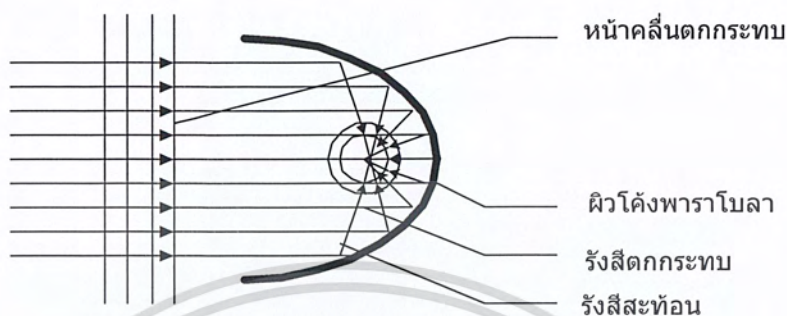
S' คือแหล่งกำเนิดคลื่นเสมือน

แหล่งกำเนิดคลื่นวงกลมอยู่ ณ จุดโฟกัสของผิวโค้งพาราโบลา คลื่นสะท้อนเป็นเส้นตรง
ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่ ณ จุดโฟกัสผิวโค้งพาราโบลา

คลื่นเส้นตรงสะท้อน ณ ผิวโค้งพาราโบลา คลื่นสะท้อนจะรวมกัน ณ จุดโฟกัส ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 คลื่นเส้นตรงสะท้อนที่ผิวโค้งพาราโบลา

การหักเหของคลื่น (Refraction)

การที่คลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง มีผลให้เกิดการเปลี่ยนทิศ การเคลื่อนที่ของคลื่นขึ้นตรงบริเวณรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง โดยความเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไป จึงทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ความถี่คงเดิม

จากสูตร $v = \lambda f$ จะพบว่าบริเวณน้ำลึก คลื่นจะมีความยาวคลื่นมากกว่าบริเวณน้ำตื้น จาก $v = f \lambda$ ถ้า v มากขึ้นแล้ว f คงเดิม ดังนั้น λ ย่อมมากขึ้น สรุปได้ว่า $v_{\text{น้ำลึก}} > v_{\text{น้ำตื้น}}$ ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แสดงแรมดาร์ (λ) ในบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้น

ลักษณะของคลื่นเสียง

เสียงจัดว่าเป็นคลื่นตามยาวชนิดหนึ่งคือ ทิศทางของการเคลื่อนของแหล่งกำเนิดเสียงกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปในทิศทางเดียวกัน

เสียงเกิดขึ้นเนื่องจากต้นกำเนิดเสียงเกิดการสั่น มีผลให้อนุภาคของตัวกลางที่เสียงจะเคลื่อนที่ผ่านเกิดการสั่นในลักษณะของการอัดและขยายเป็นช่วง ๆ จนไปถึงผู้ฟังเกิดการได้ยินขึ้น ดังนั้นคลื่นเสียงจึงต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เสียงไม่สามารถผ่านสุญญากาศได้



รูปที่ 2-9 แสดงคลื่นเสียงการอัดและขยายของโมเลกุลอากาศ

คุณสมบัติของคลื่นเสียง

จะเหมือนคลื่นคือ มีการสะท้อน หักเห แทรกสอดและเลี้ยวเบน

การสะท้อน

เสียงเมื่อพบตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง จะเกิดการสะท้อนคล้ายคลื่น ถ้าคลื่นเสียงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามีความหนาแน่นแตกต่างกันมากจะยังเกิดการสะท้อนมาก

ถ้าเราได้ยินเสียงสะท้อน ระยะเวลาห่างจากการได้ยินครั้งแรกมากกว่า 0.1 วินาที เราจะได้ยินเสียงก้อง (Echo)

การหักเห

เมื่อเสียงผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ว่าอุณหภูมิกัน จะทำให้อัตราเร็วของเสียงต่างกัน และทำให้ทิศทางของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป เป็นไปตามกฎของสเนล

$$n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

n_2 = คลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางดัชนีหักเห 1 ไปยังตัวกลางที่สองที่มีดัชนีหักเห 2

θ_1 = มุมตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ_2 = มุมหักเห

n_2/n_1 = ดัชนีหักเหตัวกลาง 2 เทียบกับตัวกลาง 1

λ_1 = ความยาวคลื่นในตัวกลางที่ 1

λ_2 = ความยาวคลื่นในตัวกลางที่ 2

V_1 = ความเร็วในตัวกลางที่ 1

V_2 = ความเร็วในตัวกลางที่ 2

การแทรกสอด

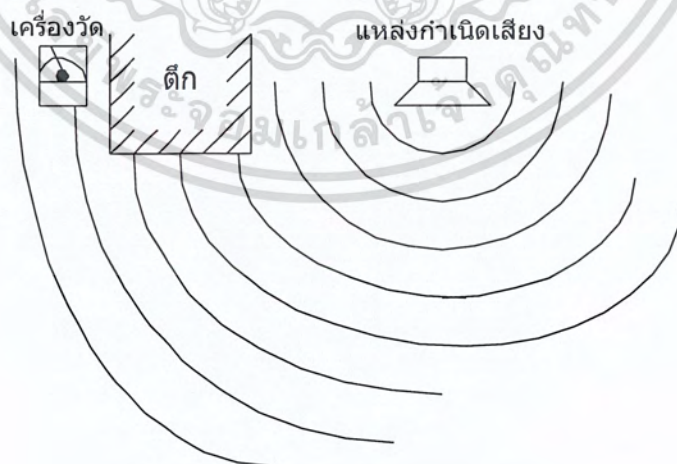
เกิดขึ้นเมื่อมีแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงหลายชุดแผ่กระจายมาพบกันจะเกิดการแทรกสอดของคลื่นเสียงขึ้น เกิดการรวมกันและหักล้างกันของคลื่น ทำให้เกิดเสียงดังค่อยในตำแหน่งต่าง ๆ กัน ตามหลักการแทรกสอดของคลื่น

ตำแหน่งเสียงดังคือ จุดหรือแนวปฏิบัพ (Antinode)

ตำแหน่งเสียงค่อยคือ จุดหรือแนวบัพ (Node)

การเลี้ยวเบน

คลื่นเสียงสามารถเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงอ้อมดึก

การได้ยิน

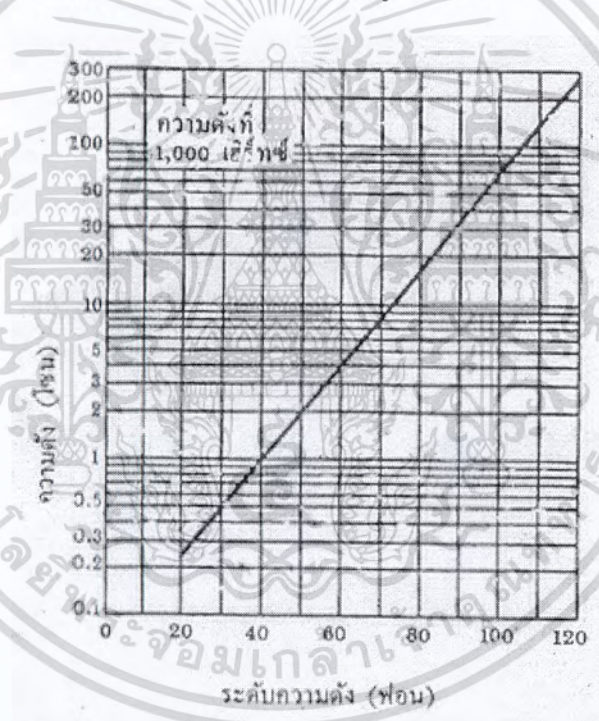
การได้ยินเสียงได้นั้นต้องมีองค์ประกอบต่อไปนี้คือ แหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลาง ประสาทรับเสียง

เสียงจะดังหรือค่อยขึ้นอยู่กัาแอมพลิจูด (Amplitude) ถ้าแอมพลิจูดมากก็จะดังมาก

เสียงทุ้มหรือแหลมจะขึ้นอยู่กัาความถี่ (frequency) ถ้าเสียงที่มีความถี่สูงเสียงจะแหลม

ความดังและระดับความดัง

รูปที่ 2-6 แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่ ณ จุดโฟกัสผิวโค้งพาราโบลา ถ้าความเข้มของเสียงเพิ่มจนเสียงดังเป็นสองเท่า ระดับความดันกัาดีหรือระดับความเข้มของเสียง (ซึ่งต่างกัามีหน่วยเดซิเบล) กัาดีไม่ได้เพิ่มเป็นสองเท่าด้วย แต่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เดซิเบลดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดังหน่วยเป็นโซนกับระดับความดังหน่วยเป็นฟอน

ความดัง (loudness) ที่หูเรารับฟังเป็น โซน (sone) เมื่อเปลี่ยนไปเป็นสองเท่า จะเทียบได้กับการเปลี่ยนความเข้มเสียง 10 เดซิเบล หรือเป็นการเปลี่ยนระดับความดัง (loudness level) ไป 10 ฟอน (phon) ความสัมพันธ์นี้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล

ค่านิยามของระดับความดังเสียงใด ๆ ก็คือระดับความดังของเสียง 1,000 เอิร์ทซ์ ซึ่งดังเท่ากับเสียงนั้น ๆ ระดับความดังมีหน่วยเป็นฟอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบระดับความดังทำได้โดยตั้งความถี่เครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานไว้ที่ 1,000 เฮิรตซ์ แล้วปรับระดับความเข้มเสียงให้ดังที่ระดับหนึ่ง เช่น 60 เดซิเบล นำเครื่องกำเนิดเสียงอื่นที่เป็นความถี่และความดังได้มาเทียบกับเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานที่ตั้งไว้ โดยปรับความถี่ต่าง ๆ กันให้มีความดังเท่ากับเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐาน การปรับความถี่ไปต่าง ๆ กันจะได้กราฟในรูปที่ 2-12 ที่มีค่าระดับความดัง 60 ฟอน เส้นหนึ่ง ในทำนองเดียวกันเปลี่ยนระดับความเข้มเสียงของเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานให้อยู่ที่ระดับอื่น ๆ ก็จะได้กราฟเส้นอื่น ๆ เรียงกันไป จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความดัง 60 ฟอน นั้นเสียงที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ต้องมีระดับความเข้มเสียง 65 เดซิเบล จึงจะมีระดับความดัง 60 ฟอน

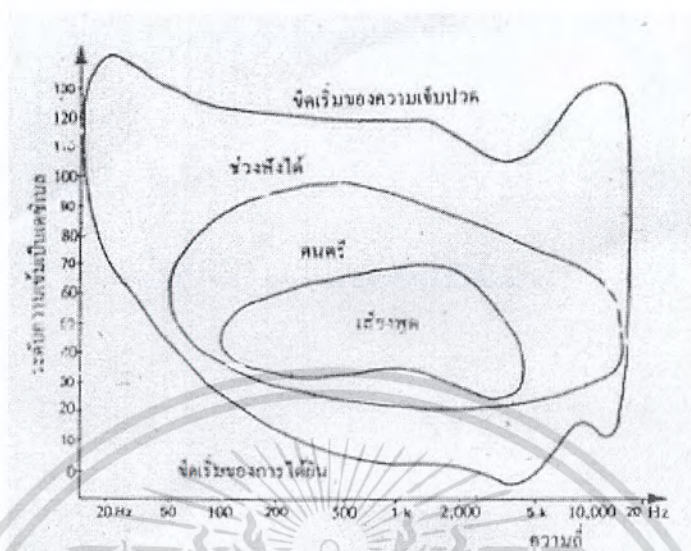
ผลก็คือจะได้เส้นโค้งซึ่งเป็นเส้นที่มีระดับความดังเท่ากัน รูปที่ 2-12 แสดงให้เห็นว่าระดับความดัน (SPL) เปลี่ยนไปอย่างไรเมื่อความถี่ต่างกัน แม้ว่าจะมีความรู้สึกระดับความดังเท่ากัน



รูปที่ 2-12 เส้นโค้งของระดับความดังเท่ากันสำหรับเสียงบริสุทธิ์

เส้นโค้งในลักษณะเดียวกันแต่แสดงพื้นที่ของการได้ยิน (hearing) แสดงในรูปที่ 2-13 เส้นโค้งล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



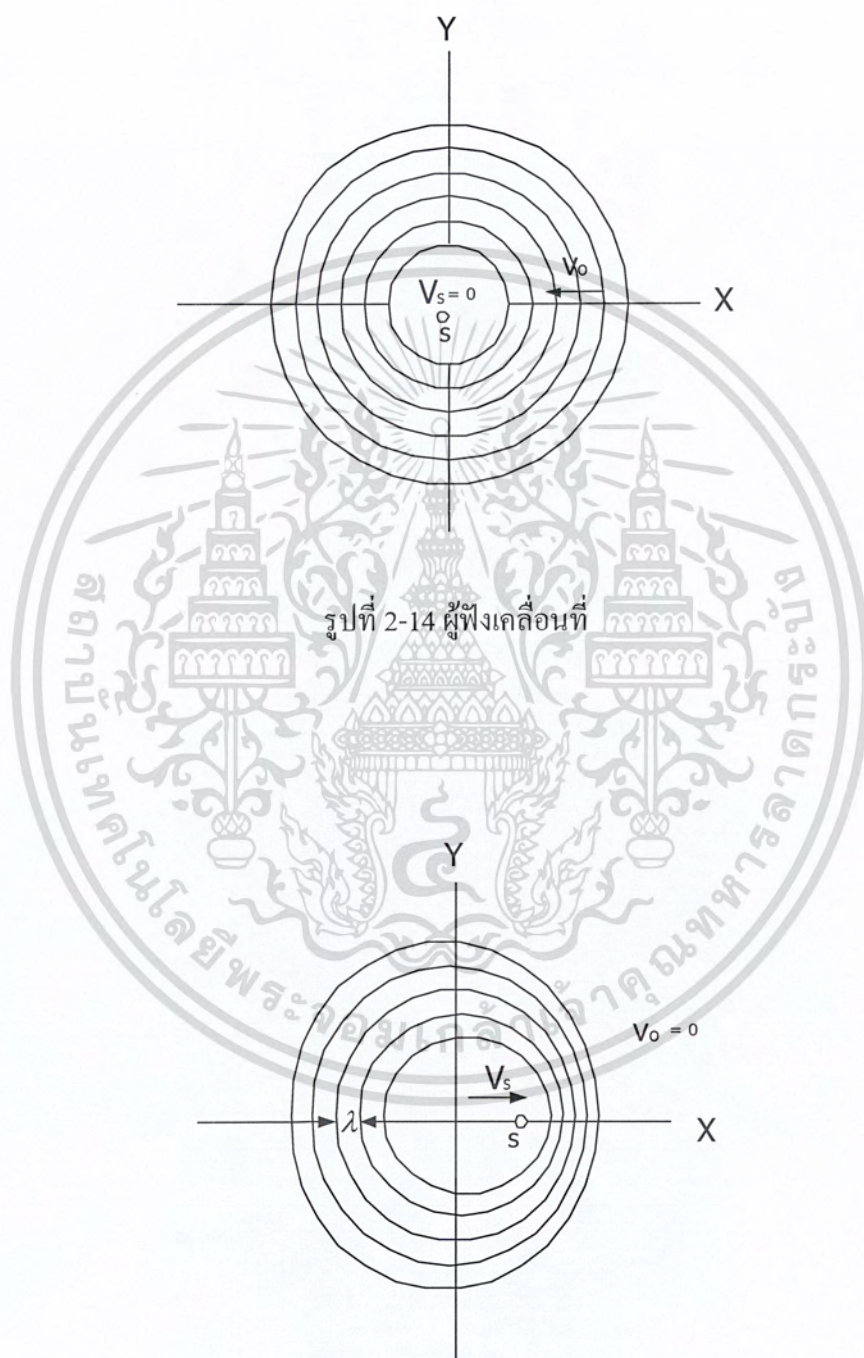
รูปที่ 2-13 พื้นที่ทางการได้ยินระหว่างขีดเริ่มของการได้ยินกับขีดเริ่มความเจ็บปวด

แสดงระดับความเข้มของเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ ที่เริ่มจะได้ยิน สำหรับขีดเริ่มของการได้ยิน หูคนเราจะไวที่สุดที่ความถี่ 3000-4000 เฮิรท์ซ์ โดยตรงกับระดับความเข้มเป็น -5 เดซิเบล เส้นโค้งตอนบนเป็นระดับความเข้มของเสียงดังที่สุดตามความถี่ต่าง ๆ ที่หูจะทนได้ และเรียกว่าขีดเริ่มของความเจ็บปวด (threshold of pain)

ปรากฏการณ์ดอปเลอร์

เมื่อต้นกำเนิดคลื่นและผู้สังเกตเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน ผู้สังเกตจะได้รับคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากคลื่นที่ได้รับเมื่อต้นกำเนิดและผู้สังเกตอยู่นิ่ง ความถี่เปลี่ยนเมื่อความเร็วสัมพัทธ์เปลี่ยน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ (Doppler effect) ตัวอย่างที่เห็นได้ง่าย ๆ คือ การเปลี่ยนระดับเสียงของแตรรถยนต์หรือหัวรถรถไฟที่ผ่านไป

1. ถ้าผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าแหล่งกำเนิดเสียง จะทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงความถี่สูงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าผู้ฟังเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงความถี่ต่ำลง
2. ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟัง (ผู้ฟังอยู่นิ่ง) ผู้ฟังจะได้ยินเสียงความถี่สูงขึ้น แต่ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟังจะได้ยินเสียงความถี่ต่ำ



รูปที่ 2-15 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสองหลักดังกล่าวนี้คอปเปอร์สรุปเป็นสูตรได้ว่า

$$f_o = \left(\frac{V \pm V_o}{V \pm V_s} \right) f_s$$

กำหนดให้	f_o	ความถี่ที่ผู้ฟังได้ยิน
	V	ความเร็วเสียงในอากาศ (m/s)
	V_o	ความเร็วของผู้ฟัง ถ้าเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าเป็นบวก ถ้าเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าเป็นลบ
	V_s	ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังมีค่าเป็นลบ ถ้าเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟังมีค่าเป็นบวก
	f_s	ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

คลื่นใต้เสียง

คลื่นใต้เสียงหรือที่เรียกว่า อินฟราซาวนด์ (infrasound) ได้แก่ คลื่นกลความยาวที่มีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวเสียง กล่าวคือ มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรท์ซ์ ซึ่งหูไม่ได้ยินเกิดจากต้นกำเนิดที่มีขนาดใหญ่ เช่น คลื่นแผ่นดินไหว คลื่นสั่นสะเทือนจากการก่อสร้าง จากโรงงานอุตสาหกรรม จากการจราจรทางถนน จากระถางไฟ

มีผลการค้นคว้าทดลองแสดงว่าคลื่นใต้เสียงนั้นได้ยินอย่างน้อยที่สุดก็ลงไปถึง 1 เฮิรท์ซ์ คลื่นใต้เสียงความถี่เดี่ยว ๆ มีลักษณะการได้ยินคล้ายกับเสียงเครื่องยนต์เป็นจังหวะ ๆ ซึ่งแสดงว่าสิ่งที่เราได้ยินไม่ใช่เสียงบริสุทธิ์ของคลื่นใต้เสียง แต่เป็นฮาร์โมนิกซึ่งเกิดจากการเพี้ยนของเสียงในหูส่วนกลางและหูส่วนใน

ผลของคลื่นใต้เสียงที่อาจมีผลต่อคนเราได้แก่ ผลต่อร่างกาย ต่อการหายใจ ต่อการได้ยิน เช่น ทำให้ระดับเริ่มได้ยินเปลี่ยนไปคือ สูงขึ้น

คลื่นเหนือเสียง

เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรท์ซ์ เรียกว่า เสียงอัลตราโซนิกหรือ *อัลตราซาวนด์* (untrssound) ความถี่ 20 กิโลเฮิรท์ซ์ เป็นขีดจำกัดของการได้ยินทางด้านความถี่สูง สุนัขได้ยินความถี่ที่สูงกว่านี้ เราจึงสามารถเรียกสุนัขเหียบ ๆ โดยใช้นกหวีดอัลตราโซนิก

ความถี่อัลตราโซนิกสามารถทำเสียงสูงได้ถึง 6×10^8 เฮิรท์ซ์โดยใช้การสั่นของผลึกควอตซ์ คลื่นความถี่ขนาดนี้มีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ 5×10^{-5} เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดพอ ๆ กับความยาวคลื่นแสง

ถ้าเราหาทิศทางการบินด้วยการส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปกระทบสิ่งกีดขวางแล้วคอยดักจับคลื่นสะท้อน ในเรือเดินทะเลมีการใช้โซนาร์เพื่อหาตำแหน่งเรือใต้น้ำหรือหาตำแหน่งฝูงปลาเช่นเดียวกับค้างคาวคือ ส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไป หลังจากนั้นเครื่องส่งก็ทำหน้าที่เป็นเครื่องรับคลื่นสะท้อน ระยะทางลึกจากทางทะเลได้ การสื่อสารใต้น้ำระหว่างเรือด้วยกันก็ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยทั่ว ๆ ไปใช้ความถี่ 20-100 กิโลเฮิรท์ซ์ สำหรับการใช้งานต่าง ๆ ของอัลตราโซนิกมีข้อดีตรงที่เหียบ นอกจากนี้ถ้าความยาวคลื่นยิ่งสั้นเรายังทำให้ลำคลื่นแคบลงได้มาก ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ การเลี้ยวเบน ถ้าความยาวคลื่นมีค่าน้อยเทียบกับสิ่งกีดขวางและช่องเปิดที่ใช้การเลี้ยวเบนของลำแสงอัลตราโซนิกก็จะเกิดเพียงเล็กน้อย

ปัจจุบันการใช้งานทางอุตสาหกรรมและทางแพทย์มีมากขึ้นอันได้แก่ การใช้การสั่นเป็นตัวทำงาน เช่น การเชื่อมพลาสติกโดยการส่งความถี่สูงเข้าไปในบริเวณที่มีผิวสัมผัสกันอยู่ ความดันการสั่นทำให้เกิดพลังความร้อนจากการเสียดทาน ผิวทั้งสองเชื่อมประสานกันได้อย่างแข็งแรงทันที

การใช้ประโยชน์โดยตรงจากคลื่นเหนือเสียง ได้แก่ การทำความสะอาด ซึ่งเป็นเรื่องแปลกและเหมาะสมสำหรับทำความสะอาดตามซอกเล็กซอกน้อยได้ดี (เช่น ในห้องทดลองและเครื่องมือแพทย์) คือ ถ้าเราทำคลื่นเหนือเสียงให้เกิดในของเหลว จะมีฟองเล็ก ๆ เหล่านี้ เกิดขึ้นในส่วนที่มีการขยาย หลังจากนั้นฟองมีส่วนอัดตามมา ฟองเหล่านี้ถูกอัดบีบภายในเนื้อที่ของฟองเล็ก ๆ เหล่านี้ จะเกิดความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นคลื่นกระแทกอย่างรุนแรง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า แควติชั่น (cavitation) หรือการเดือดอย่างเย็นมีผลทำให้สิ่งสกปรกในวัตถุซึ่งจุ่มในของเหลวหลุดไป เนื่องจากการทำความสะอาดจะได้ผลดีที่ความถี่ต่ำ ๆ ดังนั้น อุปกรณ์ในการทำทำความสะอาดแบบอัลตราโซนิกจึงมักใช้ความถี่ขนาด 20-30 กิโลเฮิรท์ซ์ และได้ผลดีมากสำหรับการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจึงใช้เป็นขบวนการฆ่าเชื้ออย่างหนึ่ง

นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในคลื่นเหนือเสียง ได้แก่ การส่งสัญญาณโซนิก การหักเห การสะท้อน เช่น โซนาร์ หรือใช้ในการวินิจฉัยโรค เมื่อเทียบกับรังสีเอ็กซ์ การตรวจอวัยวะภายใน

คลื่นเหนือเสียงดีกว่าตรงที่สามารถแยกให้เห็นตำแหน่งของพื้นผิวที่ชนกันระหว่างวัตถุที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นต่างกัน มีวัตถุเป็นกันมากที่ไม่ทึบแสงสำหรับรังสีเอ็กซ์แต่ตรวจได้ง่ายโดยคลื่นเหนือเสียง เช่น ของเหลวและเนื้อเยื่ออ่อน ๆ ของคนเราซึ่งรังสีเอ็กซ์แยกไม่ออก

ในกรณีที่เราใช้คลื่นเหนือเสียงวินิจฉัยโรค เช่น ตรวจการทำงานของลิ้นหัวใจ ตรวจมดลูก ตรวจเนื้องอก ตับ ม้าม และมันสมอง ซึ่งเรียกว่า วิชีเอโคเอนเซฟาโลกราฟี (echoencephalography)

วิธีการใช้ อัลตราโซนิก เรียกว่า อัลตราโซนोगราฟิ (untrasonography) คือ เราเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานอัลตราโซนิกโดย ทรานส์ดิวเซอร์ คลื่นคลเหนือเสียงผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเมื่อไปสะท้อนที่พื้นผิวที่อยู่ชิดกันแต่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิด การสะท้อน คลื่นสะท้อนจะถูกจับตัวทรานส์ดิวเซอร์และถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปของความต่างศักย์ เมื่อถูกขยายขึ้นอาจแสดงออกทางจอของออสซิลอสโคป

ทรานส์ดิวเซอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานจากระบบหนึ่งเข้าไปสู่อีกระบบหนึ่งเข้าไปสู่อีกระบบหนึ่ง ส่วนมากจะเป็นเครื่องเปลี่ยนพลังงาน ในกรณีที่กล่าวถึงพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นคลื่นเหนือเสียง ทรานส์ดิวเซอร์จะประกอบดูไม่ได้ผลึกตะกั่วเซโคเนตติตนาเนต หรือ ผลึกเบเนียมติตนาเนต เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หนา 2-3 มิลลิเมตร ต่อผลึกนี้กับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งป้อนโวลเตจเป็นจังหวะ ๆ เข้าระหว่างหน้าของผลึกด้วยอัตรา 500 ครั้งต่อวินาที ทำให้ผลึกสั่นความถี่ของการสั่นของผลึกยังขึ้นกับขนาดของวัตถุด้วย

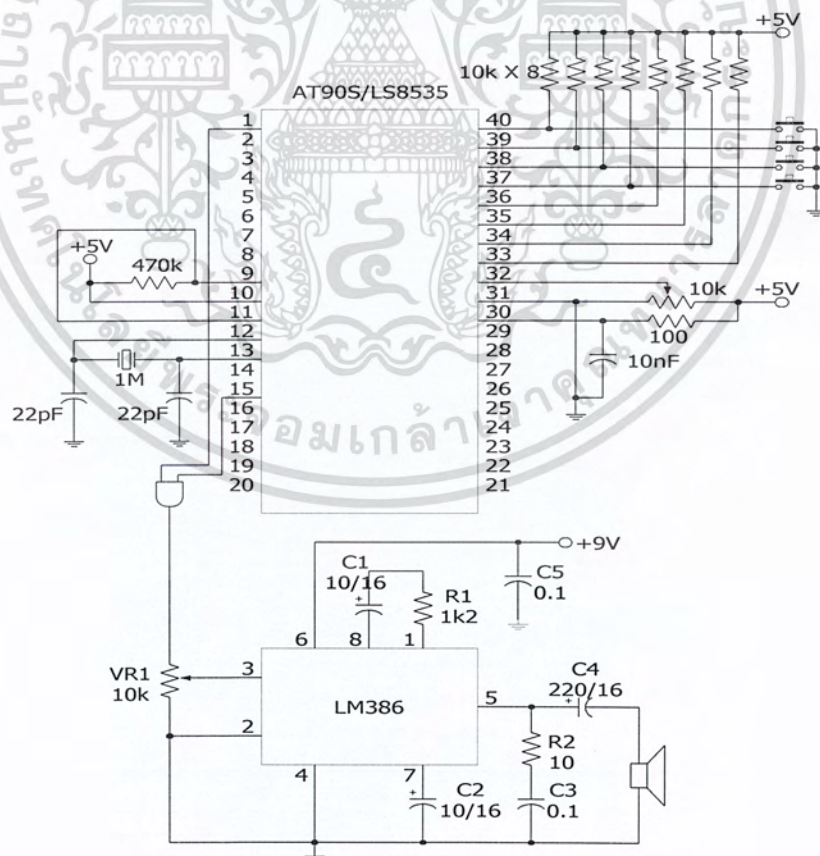
เหตุที่เราเลือกใช้คลื่นเหนือเสียง เพราะความยาวคลื่นที่มีขนาดสั้น สามารถใช้ตรวจหาวัตถุเล็ก ๆ ได้ดีกว่าคลื่นชนิดอื่น ๆ มีค่าระหว่าง 1,490 และ 1,610 เมตรต่อวินาที และระยะที่เกี่ยวข้อง มักจะมีขนาด 0.10-0.20 เมตร ดังนั้นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเสียงสะท้อนจึงใช้ได้ สะดวกมากกับเวลาในการสะท้อนของคลื่นคือ ประมาณ 100 ไมโครวินาที โดยทั่ว ๆ ไปผลึกจะส่ง คลื่นคล 1,000 ครั้งต่อวินาทีแต่ละครั้งมีเวลา 1 ไมโครวินาทีที่มีกำลังประมาณ 1 วัตต์เมตร คลื่นสะท้อนที่รอยต่อระหว่างวัตถุที่มีคุณสมบัติทางนาทศาสตร์ที่แตกต่างกัน สมบัติดังกล่าวเรียกว่า อิมพีแดนซ์ของเสียง (acoustic impedance) ซึ่งมีค่านิยามว่าเท่ากับ QV เมื่อ Q คือ ความหนาแน่น และ V คือ ความเร็วเสียงในวัตถุ คลื่นคลที่สะท้อนกับ เมื่อรับได้แล้วจะแสดงออกทาง ออสซิลโลสโคป ระยะห่างระหว่างสัญญาณบนจอสามารถนำไปคำนวณหาสภาพของวัตถุต่าง ๆ

บทที่ 3

การออกแบบ

จากการทำงานในการสื่อสารข้อมูลผ่านทางน้ำโดยใช้ยานความถี่เสียงในการส่งข้อมูลจะประกอบด้วยภาคการทำงาน 2 ภาคใหญ่ ๆ คือ ภาคส่ง ทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่ง และส่งสัญญาณนั้น ๆ ออกมาเป็นข้อมูลต่าง ๆ ทางน้ำ ภาครับและประมวลผล ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณนั้น ๆ มาแปลงให้เป็นข้อมูลต่าง ๆ เพื่อส่งต่อไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลและควบคุมการทำงานต่าง ๆ ต่อไป

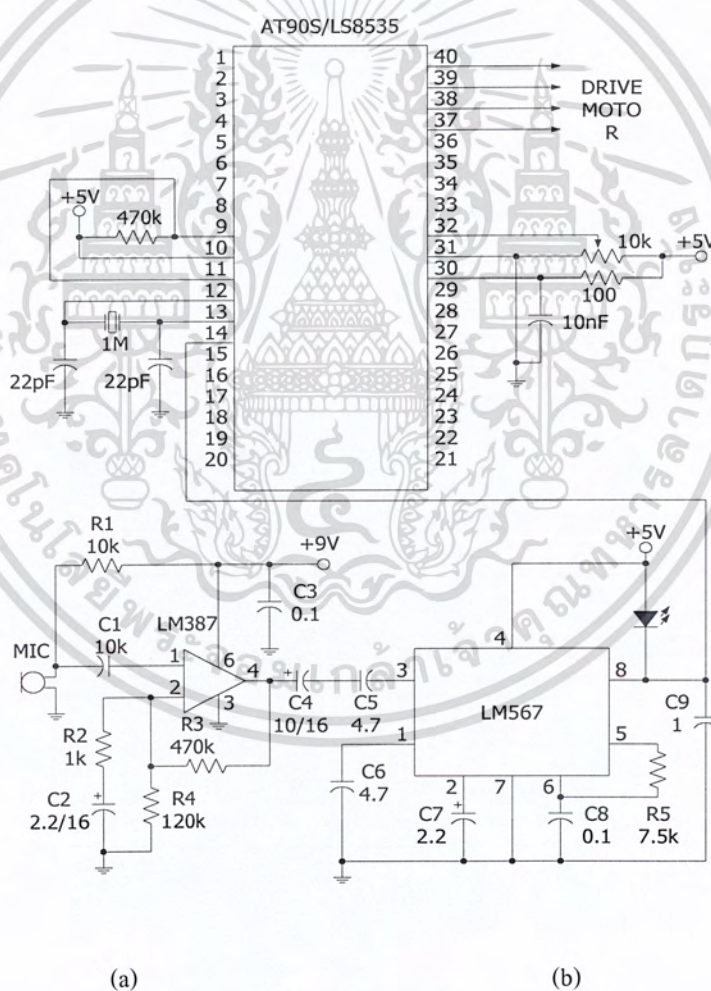
การออกแบบภาคส่ง



รูปที่ 3-1 วงจรภาคส่ง

ประกอบด้วยส่วนที่ให้กำเนิดสัญญาณความถี่ต่าง ๆ ได้โดยการเขียนโปรแกรมในตัว Microcontroller และนำความถี่นั้นมา Mod รวมกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมายัง serial port ที่ขา Tx ของตัว Microcontroller เช่นกัน ทำให้ได้สัญญาณข้อมูลออกมาและส่งต่อไปยังภาคขยายโดย LM567 จะทำให้เป็นภาคขยาย (Amplifier) การ Mod ให้มีขนาดแอมพลิจูด (Amplitude) ตามความเหมาะสมในการส่งเสียงออกมาเป็นเปียโซ

การออกแบบภาครับ



รูปที่ 3-2 วงจรภาครับ

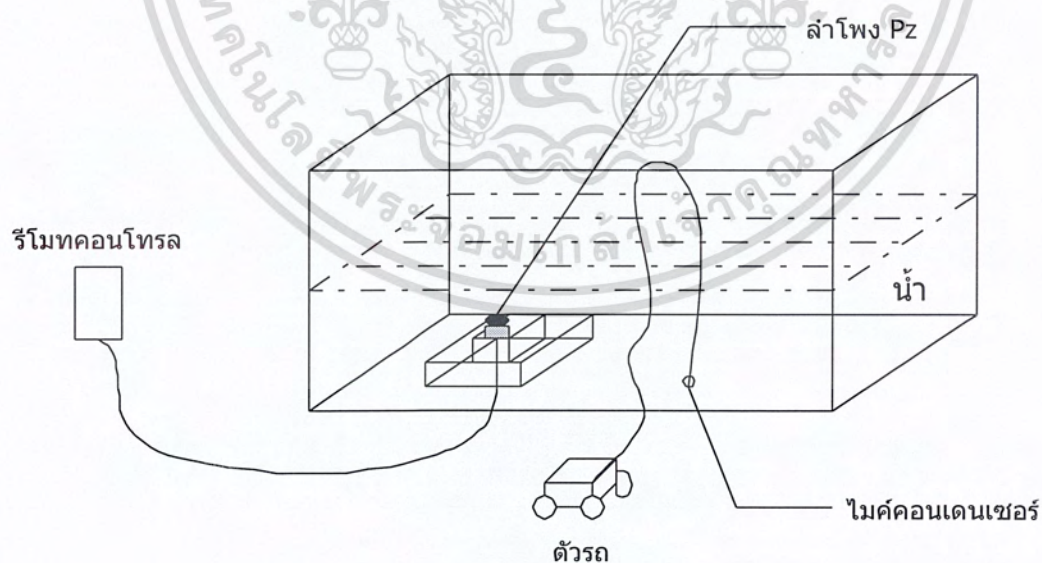
ประกอบด้วยส่วนที่เป็นภาค premic คือ LM 387 นั้นเอง ซึ่งจะใช้สัญญาณที่รับมาได้ส่งต่อไปใช้งานซึ่งการคำนวณความถี่ที่ใช้ในงานนี้หาได้จาก

$$f_o = \frac{1}{1.1 R_5 C_8}$$

$$f_o = \frac{1}{1.1(7.5 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 10^{-6})}$$

จากการคำนวณเมื่อได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการแล้วก็จะส่งต่อไปยังส่วนของการประมวลผลของตัวมอเตอร์ให้ตัวรถสามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่เรากำหนดไว้

แบบจำลองโครงสร้างของโครงการ



รูปที่ 3-3 แบบจำลองโครงสร้างของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับในบทนี้จะเป็นการทดลองและผลการทดลองของวงจรปริโมค เพื่อเปรียบเทียบความถี่แต่ละค่าว่าความถี่ใดให้ขนาดสัญญาณ (Amplitude) สูงสุดที่ไมค์สามารถรับได้เพื่อเลือกความถี่นั้นมาใช้งาน วงจรตัวตรวจจับสัญญาณ (Tone Detector) เพื่อตรวจจับสัญญาณเสียงว่าใช้งานที่ความถี่ที่ต้องการหรือไม่ เพื่อนำไปใช้งาน

การทดลองที่ 1

เปรียบเทียบความถี่แต่ละค่าความถี่ที่ให้ค่าขนาดสัญญาณสูงสุด

จุดประสงค์

เพื่อเลือกค่าความถี่ที่จะนำมาใช้งาน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรปริโมคแสดงใน (a) รูปที่ 3-2 วงจรภาครับ
2. กำหนดความถี่ให้กับวงจรปริโมค
3. ปรับความถี่ตามตารางที่ 4-1
4. อ่านค่าขนาดสัญญาณที่ได้แต่ละความถี่
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในตาราง
6. เลือกค่าความถี่ที่ให้ขนาดสัญญาณที่ได้สูงสุดมาใช้งาน

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบความถี่ในค่าต่าง ๆ

ความถี่ (F)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (2vp-p)
500 Hz	1	0.15
750 Hz	1	0.17
950 Hz	1	0.40
1.00 kHz	1	0.98
1.25 kHz	1	1.40
1.50 kHz	1	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง (ต่อ)

ความถี่ (F)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (2vp-p)
1.75 kHz	1	0.12
2 kHz	1	0.10
5 kHz	1	0.40
10 kHz	1	0.40
12 kHz	1	0.50
15 kHz	1	0.40
20 kHz	1	0.07

สรุปผลการทดลอง

จากตารางผลการทดลองเลือกใช้ความถี่ 1.25 kHz มาใช้งานหรือใกล้เคียง

การทดลองที่ 2

ตรวจจับสัญญาณเสียง

จุดประสงค์

1. เพื่อตรวจจับสัญญาณเสียงว่าทำงานที่ความถี่ที่ต้องการหรือไม่
2. เพื่อถอดรหัสออกมาเป็น “0” “1” แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

AVR (90S/LS8535) เพื่อประมวลผล

3. เลือกความถี่ใช้งานจริง

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตัวตรวจจับสัญญาณ (Tone Detector) แสดงใน (b) รูปที่ 3-2
2. ปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนกว่า LED จะติดและดับ
3. บันทึกค่าความถี่ที่ทำให้ LED ติดและดับ
4. ปรับค่าความถี่ลงจนกว่า LED ติดและดับ
5. บันทึกค่าความถี่ที่ทำให้ LED ติดและดับ
6. เลือกค่าความถี่น้อยสุดที่ทำให้ LED ดับ และค่ามากที่สุดที่ทำให้ LED ติด
7. นำค่าความถี่ทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ยก็จะได้ความถี่ที่ใช้ในงานจริง

ผลการทดลอง

ปรับขึ้น LED ติด ที่ความถี่ 1.33 kHz

ปรับขึ้น LED ดับ ที่ความถี่ 1.49 kHz

ปรับลง LED ติด ที่ความถี่ 1.45 kHz

ปรับลง LED ดับ ที่ความถี่ 1.28 kHz

สรุปผลการทดลอง

ในการใช้งานจริงใช้ความถี่ $(1.28+1.45)/2$ เท่ากับ 1.36 kHz

การทดลองที่ 3

เปรียบเทียบการรับสัญญาณในอากาศและในน้ำของไมโครคอนเดนเซอร์

จุดประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบว่าการรับสัญญาณของไมโครโฟนในตัวกลางชนิดใดรับสัญญาณได้ดีกว่ากันและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนความถี่ให้กับลำโพงเปียโซที่ความถี่ 1.3 kHz

2. อ่านค่าขนาดสัญญาณที่ไมโครโฟนรับสัญญาณได้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4-2 การรับสัญญาณเสียงในอากาศ

ความถี่ (Hz)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (1vp-p)
100	1	0.1
200	1	0.1
300	1	0.07
400	1	0.12
500	1	0.12
600	1	0.1
700	1	0.14
800	1	0.18
900	1	0.22
1000	1	0.22

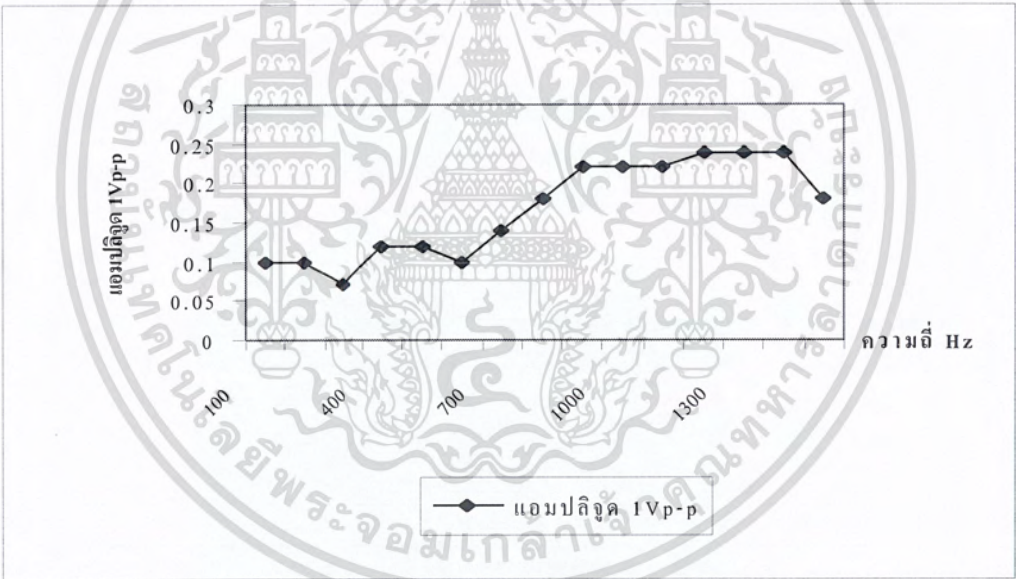
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (1vp-p)
1100	1	0.22
1200	1	0.24
1300	1	0.24
1400	1	0.24
1500	1	0.18

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 กราฟการรับสัญญาณเสียงในอากาศ

ตารางที่ 4-3 การรับสัญญาณเสียงในน้ำ

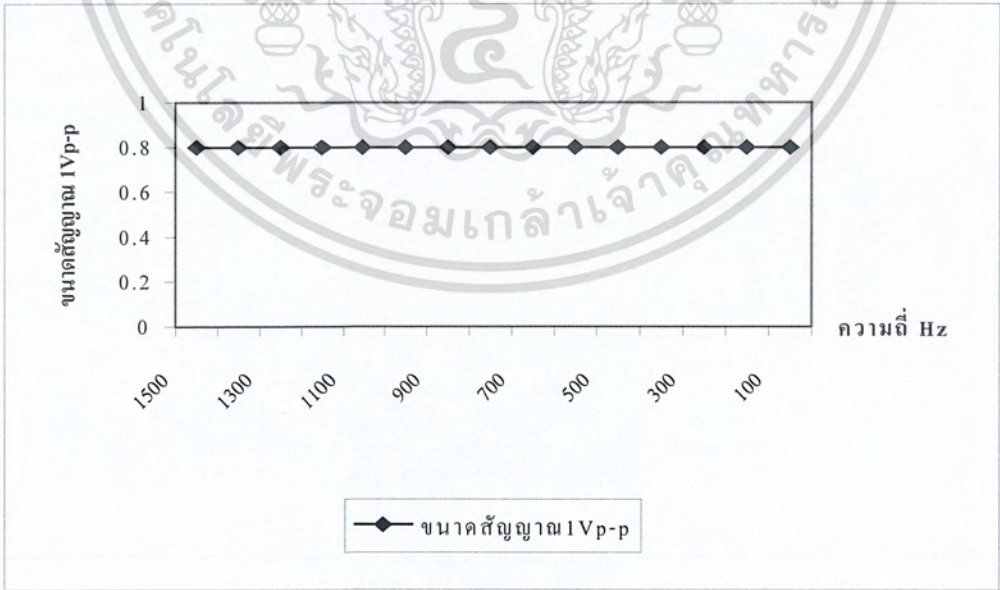
ความถี่ (Hz)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (1vp-p)
100	1	0.8
200	1	0.8
300	1	0.8
400	1	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ระยะทาง (ฟุต)	ขนาดสัญญาณที่ได้ (1vp-p)
500	1	0.8
600	1	0.8
700	1	0.8
800	1	0.8
900	1	0.8
1000	1	0.8
1100	1	0.8
1200	1	0.8
1300	1	0.8
1400	1	0.8
1500	1	0.8

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 การรับสัญญาณเสียงในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าคลื่นเสียงเดินทางในน้ำได้ดีกว่าในอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุป

จากการทดลองพบว่า รถสามารถส่งและรับข้อมูลผ่านทางรีโมทที่ควบคุมด้วยสัญญาณเสียงที่ความถี่ 1.36 kHz ทำให้สามารถบังคับรถให้เคลื่อนที่ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวาได้ และการส่งสัญญาณเสียงในน้ำนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าในอากาศ เพราะน้ำเป็นตัวกลางที่ดีกว่า ซึ่งมีอัตราเร็วเป็น 4.18 เท่าของอากาศ

ปัญหาของโครงการ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในน้ำ เช่น ไมโครโฟนและลำโพงอาจเกิดความเสียหายได้ง่ายต้องทำการตรวจสอบทุกครั้งก่อนใช้งาน
2. การควบคุมให้รถเคลื่อนที่เป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่องคือ จะต้องมีการหยุดรถทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เพราะไม่สามารถควบคุมควบคุมมอเตอร์ไม่ได้ เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้เป็น DC มอเตอร์ ทำให้เกิดผลดังกล่าว

ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ

จากการวิจัยในโครงการนี้ผู้จัดทำเห็นแนวทางในการพัฒนารถจากโครงการนี้ให้เคลื่อนที่ในน้ำอาจดัดแปลงให้เป็นเรือ หรือทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ในน้ำได้ โดยที่อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งวงจรต่าง ๆ ของรถไม่เสียหาย หรืออาจทำเป็นอุปกรณ์การสื่อสารกันระหว่างนักประดาน้ำ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, คู่มืออิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น (จำกัด)
มหาชน. พ.ศ. 2538

บริษัท อีทีที จำกัด, คู่มือ AVR, กรุงเทพมหานคร: (ไม่ระบุสำนักพิมพ์)

Pitikhate & Satoshi, A low –cost passive acoustic resonator for insect-link microrobotic,
University of Electro-Communion, pp. 725-729, 2000

Rossi, M., Acoustic and Electroacoustics, Artec House, Massachusetts, 1988



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVR070: Modifying AT90ICEPRO and ATICE10 to Support Emulation of AT90S8535

For the AT90ICEPRO and ATICE10 emulator to be able to emulate AVR® AT90S8535, three straps must be inserted.

All AT90ICEPRO emulators produced after September 1998 and all ATICE10 emulators produced after June 2001 are delivered with these straps mounted and no upgrade is necessary.

People with some solder experience can easily install these three straps themselves. This application note shows how to mount these straps in a safe way.

Contact your local Atmel representative if you prefer to have your emulator updated by Atmel.

Required Parts

- Three insulated wires, approximately 10 cm long, 5 mm of the insulation removed on each end. Exact length as shown in the pictures: ○ 85 mm, □ 95 mm, ☆ 100 mm, all with 5 mm of the insulation removed on each end. Recommended wire: solid wire, 0.4 to 0.8 mm diameter (AWG26 to AWG20). Maximum thickness is 1.0 mm (AWG18), the hole diameter on the board. As the wires will not conduct power, there is no minimum thickness. Stranded wire may cause short circuits.

Required Tools

- ESD-safe workstation
- A good soldering iron
- Solder
- Desolder wick
- Pliers
- Cutter
- Pozidriv No.1 screwdriver

Work Description

1. This work must only take place on an ESD-safe workstation. The AT90ICEPRO and ATICE10 contains ESD sensitive components that may be damaged if not handled correctly.
2. Remove the top lid of the AT90ICEPRO or ATICE10 emulator by removing the two upper most screws on each side.
3. Locate the area where the straps will be installed. It is in the corner near the pod connector. In Figure 1, the pod connector is at the top.



AVR®
8-bit RISC
Microcontroller

Application Note

Rev. 1213B-06/01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Identify the pads where the straps are to be installed. The ends of the three straps are identified by ○, □ and ☆. See Figure 2, Figure 3, Figure 4 and Figure 5 for details.
5. All the pads are 1.0 mm holes. They may have been filled with solder during production. If necessary, use a desolder wick to remove excessive solder before mounting the straps.
6. Mount all three straps as shown in the pictures. Make sure not to overheat the pads. The tracks on the PCB are thin and they are easily broken.
7. Verify that all three wires have been mounted between the correct pads.
8. Check that all wire ends are soldered correctly and that there are no short circuits between the wire ends and the adjacent pads. If necessary, remove the bottom lid of the emulator and inspect the bottom side of the board.
9. Mount the top and bottom lid on the emulator.

Figure 1. Overview

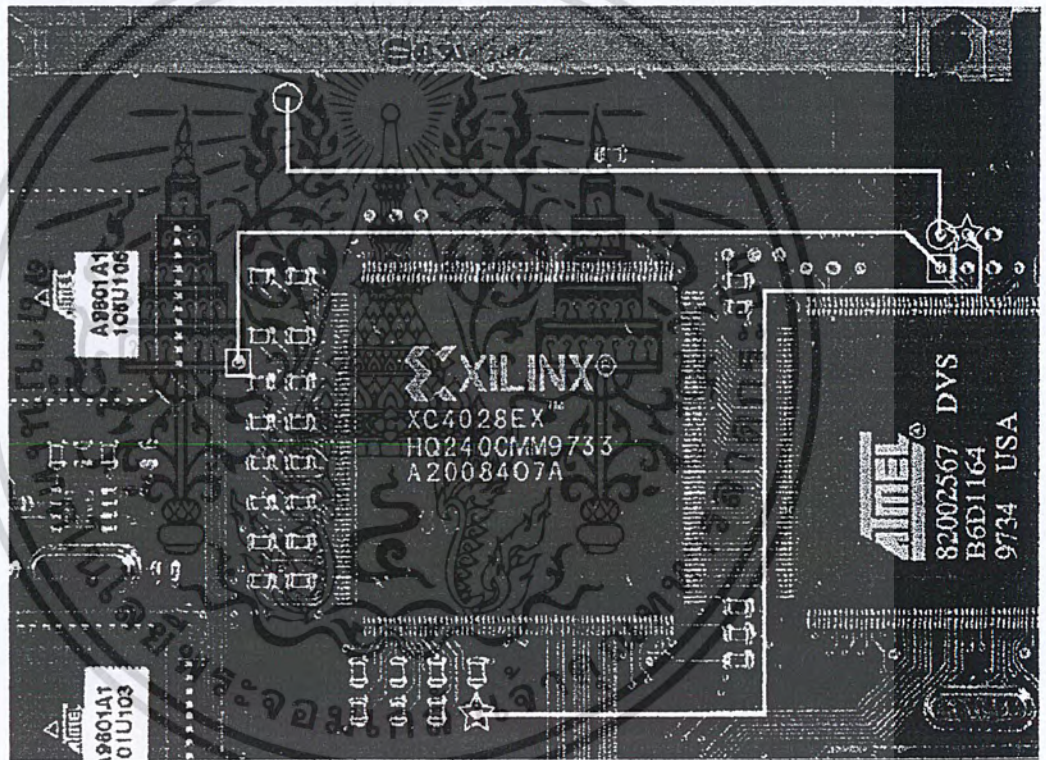


Figure 2. Detail Showing Right End of all Three Straps.

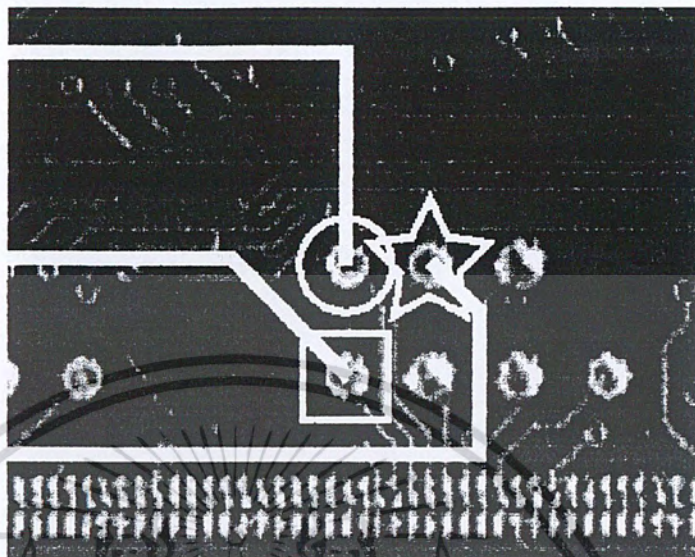


Figure 3. Detail Showing Left End of O .



Figure 4. Detail Showing Left End of □ .

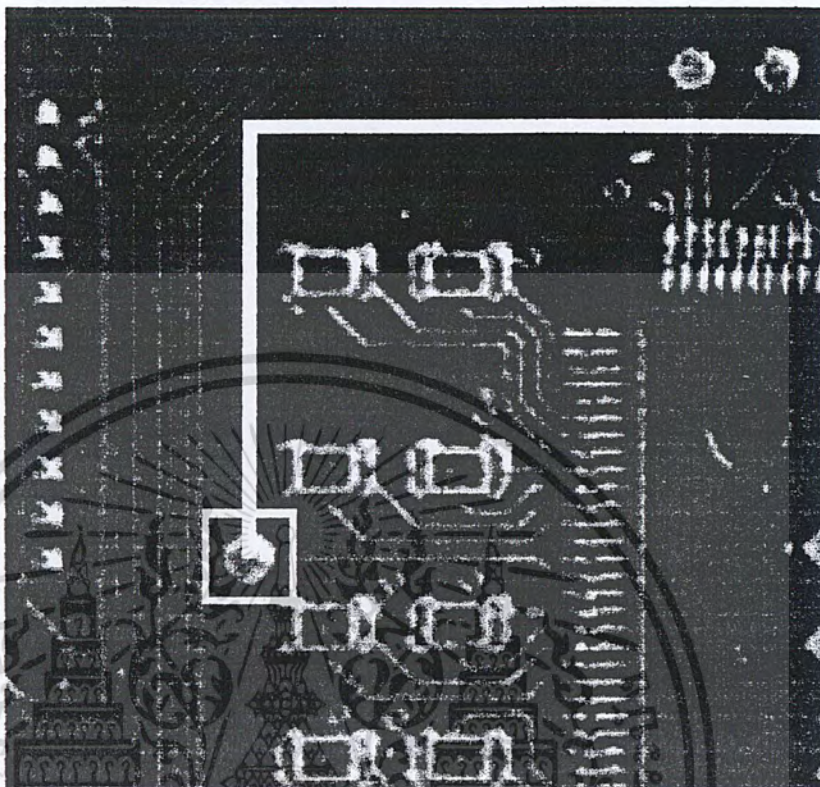
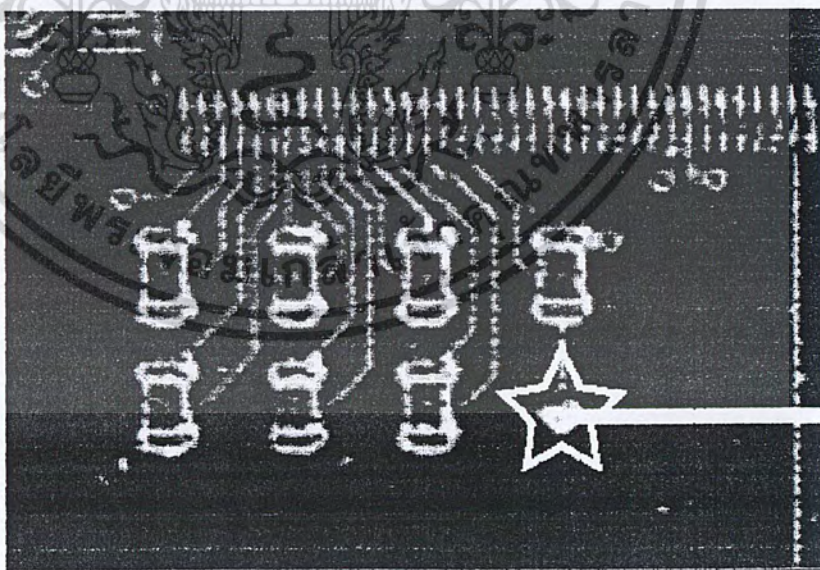


Figure 5. Detail Showing Left End of ☆ .





Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel SarL
Route des Arsenaux 41
Casa Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Product Operations

Atmel Colorado Springs

1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Grenoble

Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-7658-3000
FAX (33) 4-7658-3480

Atmel Heilbronn

Theresienstrasse 2
POB 3535
D-74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71 31 67 25 94
FAX (49) 71 31 67 24 23

Atmel Nantes

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 0 2 40 18 18 18
FAX (33) 0 2 40 18 19 60

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Atmel Smart Card ICs

Scottish Enterprise Technology Park
East Kilbride, Scotland G75 0QR
TEL (44) 1355-357-000
FAX (44) 1355-242-743

Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

http://www.atmel.com

BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2001.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

AVR is a registered trademark of Atmel.

Other terms and product names may be the trademark of others.



Printed on recycled paper.

1213B-06/01/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM386

Low Voltage Audio Power Amplifier

General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value from 20 to 200.

The inputs are ground referenced while the output automatically biases to one-half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

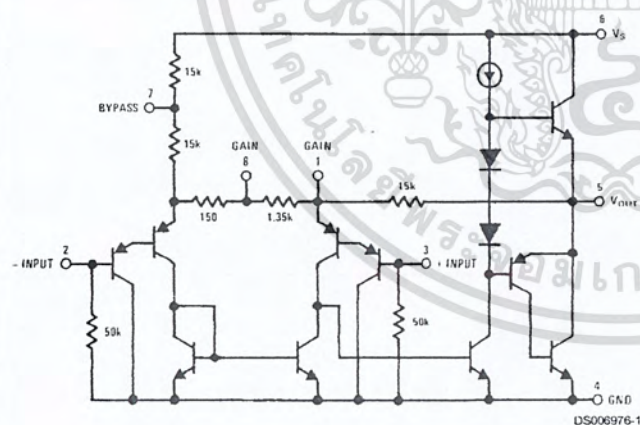
Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion: 0.2% ($A_v = 20$, $V_s = 6V$, $R_L = 8\Omega$, $P_O = 125mW$, $f = 1kHz$)
- Available in 8 pin MSOP package

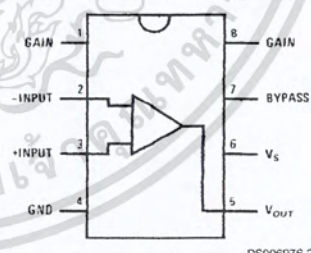
Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

Equivalent Schematic and Connection Diagrams



Small Outline,
Molded Mini Small Outline,
and Dual-In-Line Packages



Top View
Order Number LM386M-1,
LM386MM-1, LM386N-1,
LM386N-3 or LM386N-4
See NS Package Number
M08A, MUA08A or N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage (LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V
Supply Voltage (LM386N-4)	22V
Package Dissipation (Note 3) (LM386N)	1.25W
(LM386M)	0.73W
(LM386MM-1)	0.595W
Input Voltage	$\pm 0.4V$
Storage Temperature	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Operating Temperature	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Junction Temperature	$+150^{\circ}C$
Soldering Information	

Dual-In-Line Package

Soldering (10 sec) $+260^{\circ}C$

Small Outline Package

(SOIC and MSOP)

Vapor Phase (60 sec) $+215^{\circ}C$ Infrared (15 sec) $+220^{\circ}C$

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Thermal Resistance

 θ_{JC} (DIP) $37^{\circ}C/W$ θ_{JA} (DIP) $107^{\circ}C/W$ θ_{JC} (SO Package) $35^{\circ}C/W$ θ_{JA} (SO Package) $172^{\circ}C/W$ θ_{JA} (MSOP) $210^{\circ}C/W$ θ_{JC} (MSOP) $56^{\circ}C/W$ **Electrical Characteristics** (Notes 1, 2) $T_A = 25^{\circ}C$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage (V_S)					
LM386N-1, -3, LM386M-1, LM386MM-1		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_S = 6V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT})					
LM386N-1, LM386M-1, LM386MM-1	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_S = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_S = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain (A_v)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}$		26		dB
	10 μF from Pin 1 to 8		46		dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6V$, Pins 1 and 8 Open		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{ mW}$ $f = 1\text{ kHz}$, Pins 1 and 8 Open		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}, C_{BYPASS} = 10\text{ }\mu F$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance (R_{IN})			50		k Ω
Input Bias Current (I_{BIAS})	$V_S = 6V$, Pins 2 and 3 Open		250		nA

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operation in ambient temperatures above $25^{\circ}C$, the device must be derated based on a $150^{\circ}C$ maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of $107^{\circ}C/W$ junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of $170^{\circ}C/W$ for the small outline package.

Application Hints

GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the 1.35 k Ω resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the 1.35 k Ω resistor, the gain will go up to 200 (46 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal 15 k Ω resistor). For 6 dB effective bass boost: $R \approx 15$ k Ω , the lowest value for good stable operation is $R = 10$ k Ω if pin 8 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then R as low as 2 k Ω can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 9.

INPUT BIASING

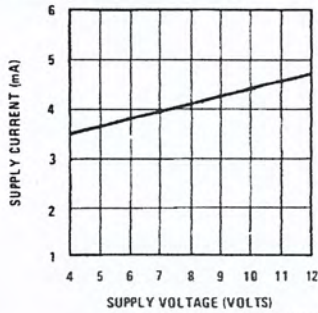
The schematic shows that both inputs are biased to ground with a 50 k Ω resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than 250 k Ω it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than 10 k Ω , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

When using the LM386 with higher gains (bypassing the 1.35 k Ω resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a 0.1 μ F capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

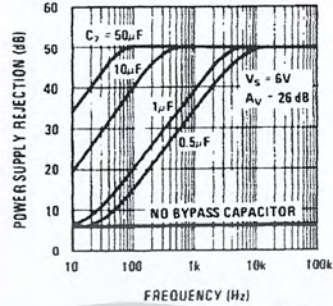


Typical Performance Characteristics

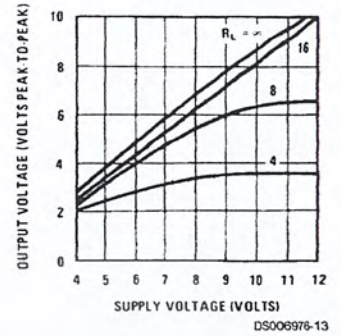
Quiescent Supply Current
vs Supply Voltage



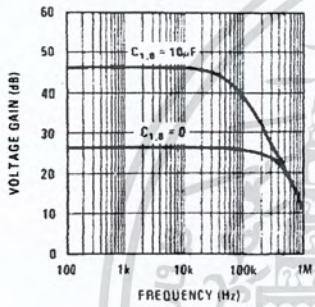
Power Supply Rejection Ratio
(Referred to the Output)
vs Frequency



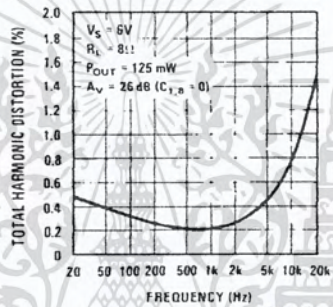
Peak-to-Peak Output Voltage
Swing vs Supply Voltage



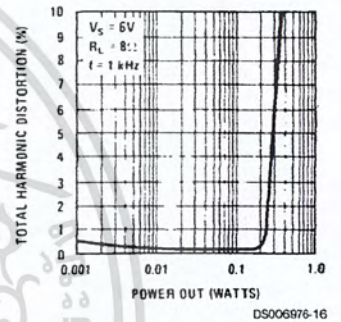
Voltage Gain vs Frequency



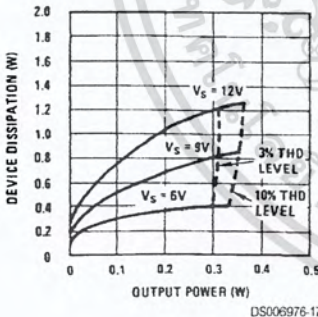
Distortion vs Frequency



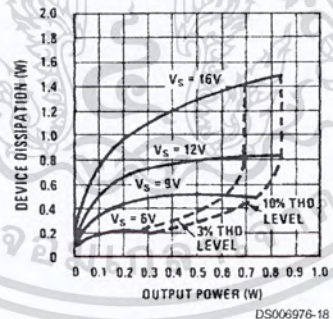
Distortion vs Output Power



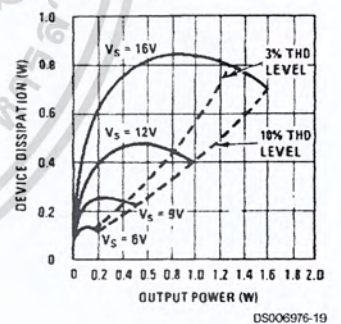
Device Dissipation vs Output
Power—4Ω Load



Device Dissipation vs Output
Power—8Ω Load

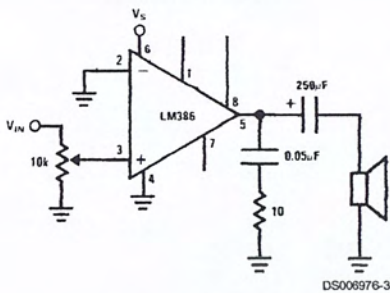


Device Dissipation vs Output
Power—16Ω Load

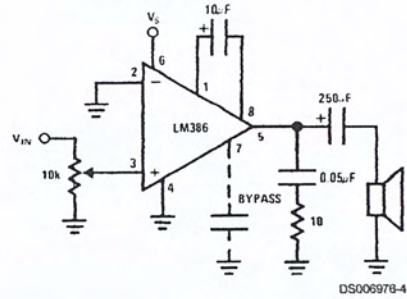


Typical Applications

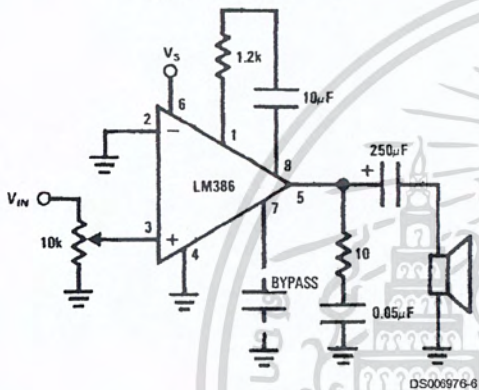
Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts



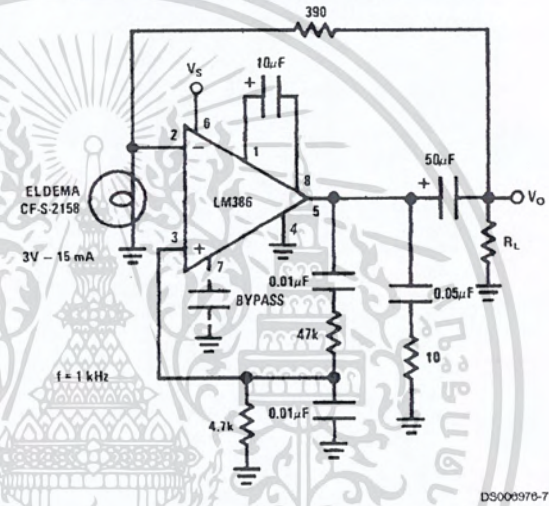
Amplifier with Gain = 200



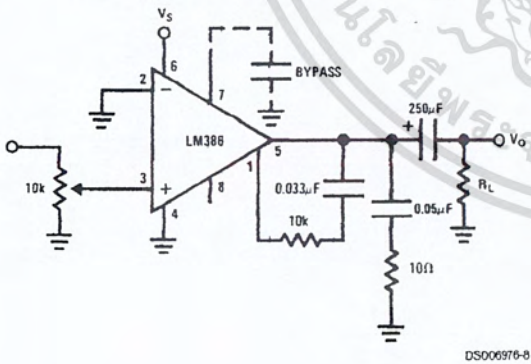
Amplifier with Gain = 50



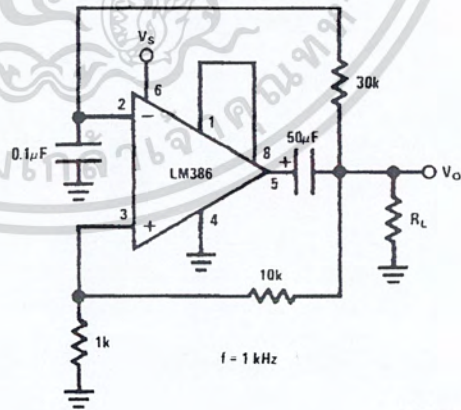
Low Distortion Power Wienbridge Oscillator



Amplifier with Bass Boost

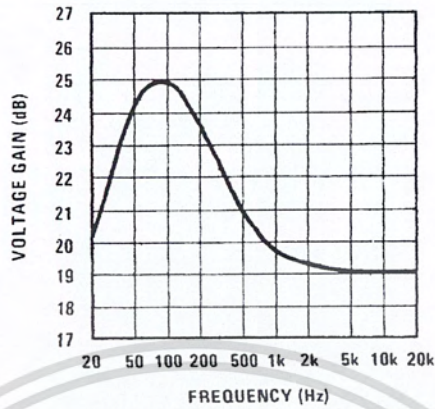


Square Wave Oscillator

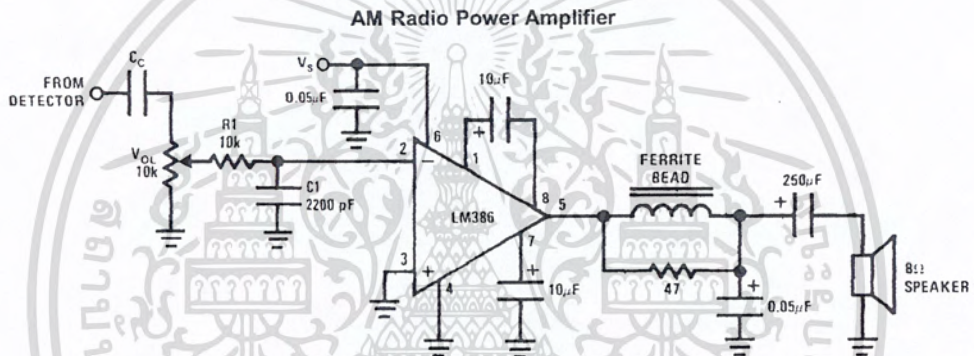


Typical Applications (Continued)

Frequency Response with Bass Boost



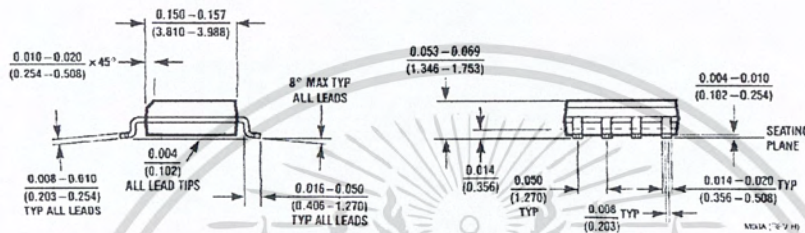
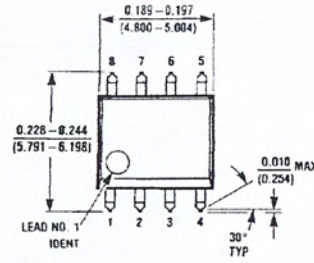
DS006976-10



DS006976-11

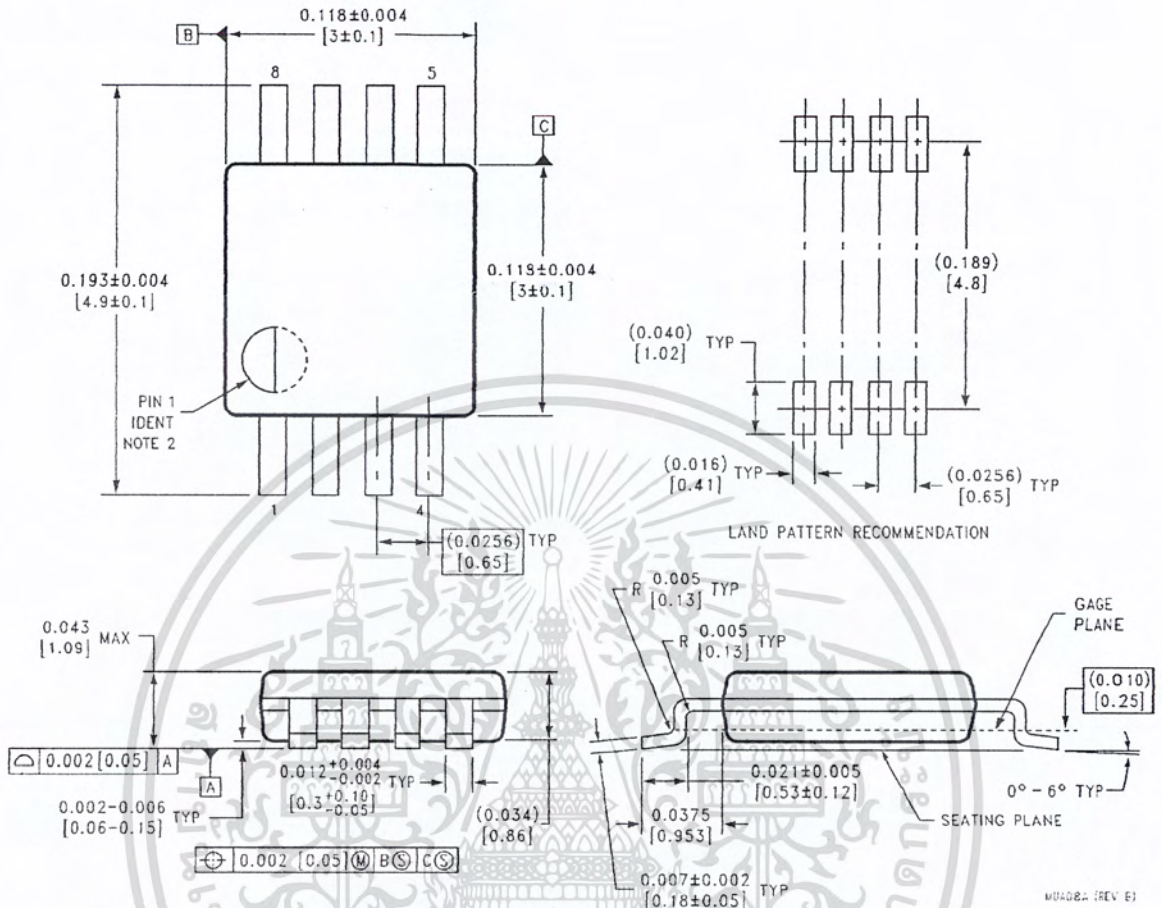
- Note 4: Twist supply lead and supply ground very tightly.
 Note 5: Twist speaker lead and ground very tightly.
 Note 6: Ferrite bead in Ferroxcube K5-001-001/39 with 3 turns of wire.
 Note 7: R1C1 band limits input signals.
 Note 8: All components must be spaced very closely to IC.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



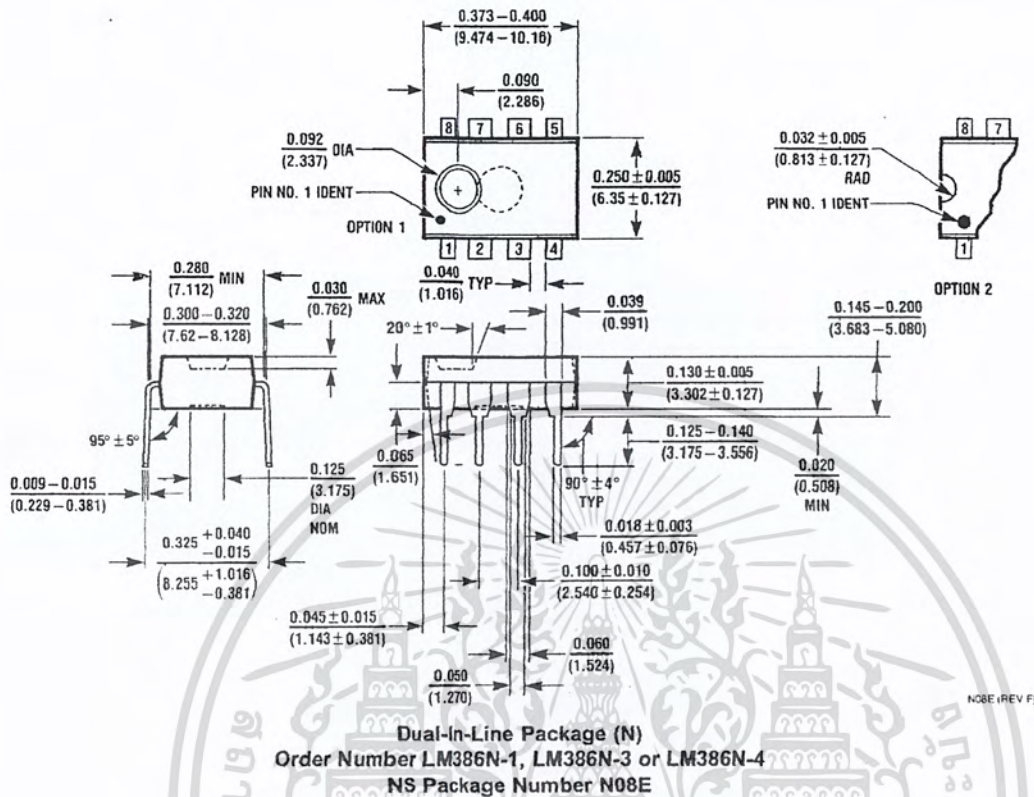
SO Package (M)
Order Number LM386M-1
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
Order Number LM386MM-1
NS Package Number MUA08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



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 AND GENERAL COUNSEL 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
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

General Description

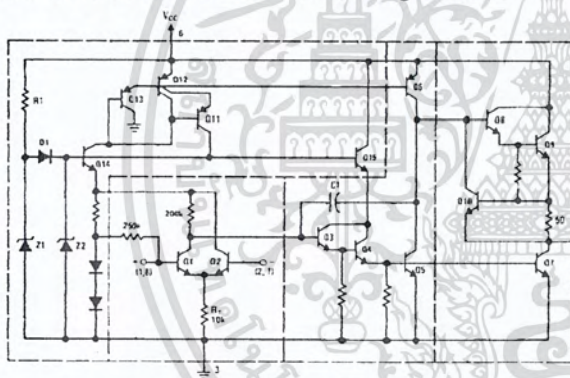
The LM387 is a dual preamplifier for the amplification of low level signals in applications requiring optimum noise performance. Each of the two amplifiers is completely independent, with an internal power supply decoupler-regulator, providing 110 dB supply rejection and 60 dB channel separation. Other 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

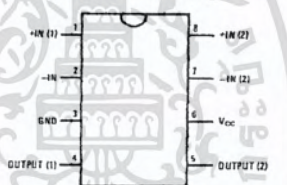
- Low noise 1.0 μV total input noise
- High gain 104 dB open loop
- Single supply operation
- Wide supply range LM387 9 to 30V
- LM387A 9 to 40V
- Power supply rejection 110 dB
- Large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$)p-p
- Wide bandwidth 15 MHz unity gain
- Power bandwidth 75 kHz, 20 Vp-p
- Internally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

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7845-1

Dual-In-Line Package

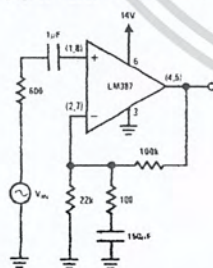


TL/H/7845-2

Top View

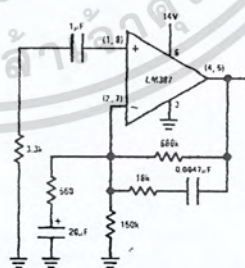
Order Number LM387N or LM387AN
See NS Package Number N08E

Typical Applications



TL/H/7845-3

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



TL/H/7845-4

FIGURE 2. NAB Tape Circuit

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

LM387A

+30V

+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

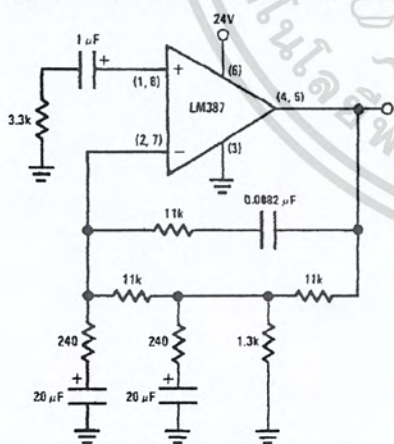
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 14\text{V}$, unless otherwise stated

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					
Positive Input		50	100		k Ω
Negative Input			200		k Ω
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 97 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.

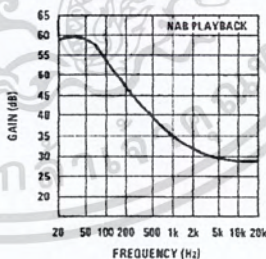
Typical Applications (Continued)

Two-Pole Fast Turn-ON NAB Tape Preamp



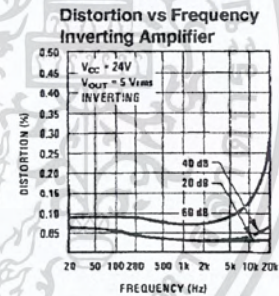
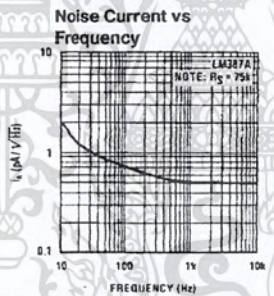
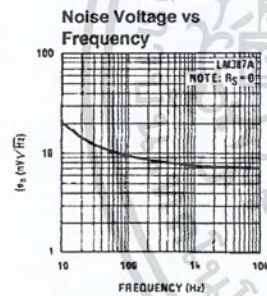
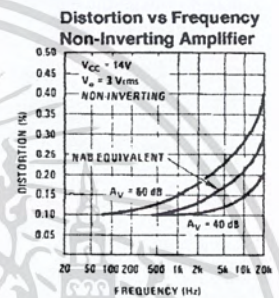
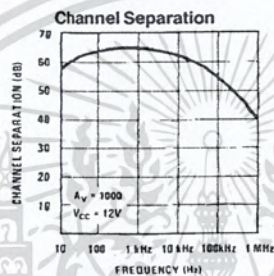
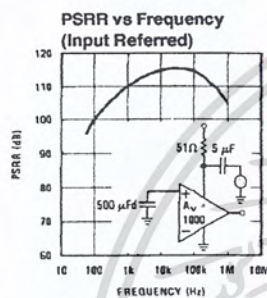
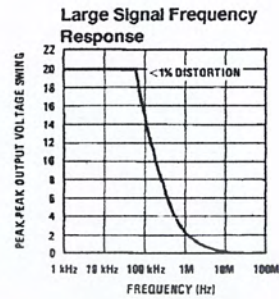
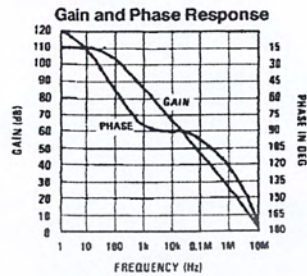
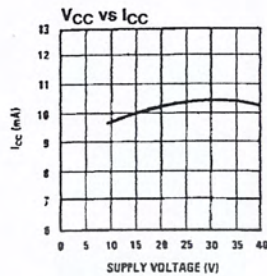
TL/H/7645-5

Frequency Response of NAB Circuit of Figure 2



TL/H/7645-6

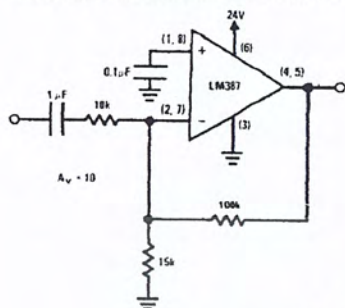
Typical Performance Characteristics



TL/H/7645-7

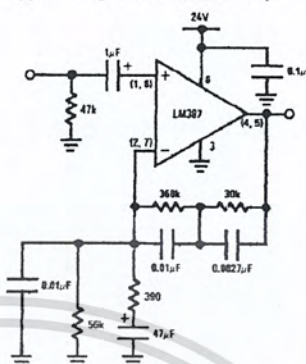
Typical Applications (Continued)

Inverting Amplifier Ultra-Low Distortion



TL/H/7845-8

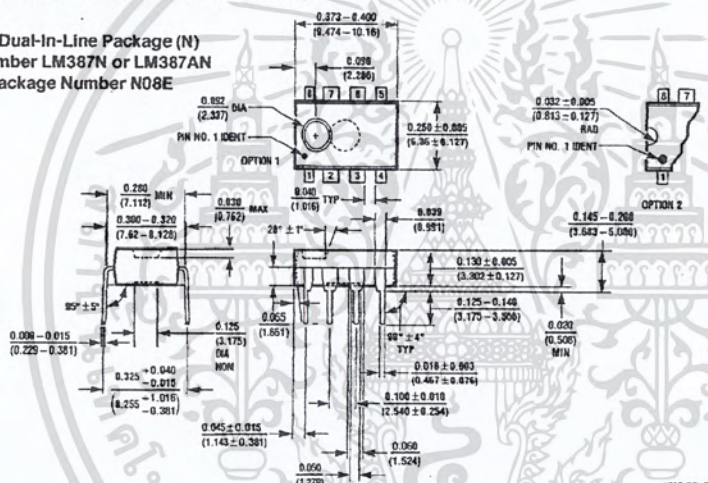
Typical Magnetic Phono Preamplifier



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.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.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.

LM567/LM567C Tone Decoder

General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

Features

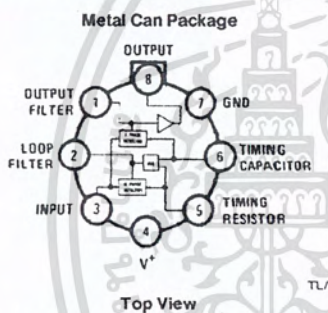
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability

- Bandwidth adjustable from 0 to 14%
- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

Applications

- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

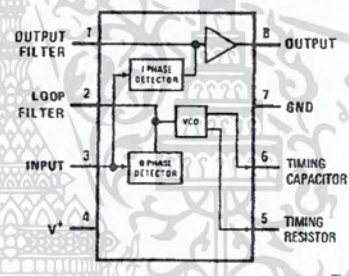
Connection Diagrams



Order Number LM567H or LM567CH
See NS Package Number H08C

TL/H/6975-1

Dual-In-Line and Small Outline Packages



Order Number LM567CM
See NS Package Number M08A
Order Number LM567CN
See NS Package Number N08E

TL/H/6975-2

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 1)	1100 mW
V_B	15V
V_3	-10V
V_3	$V_4 + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
LM567H	-55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	260°C
Soldering (10 sec.)	
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics

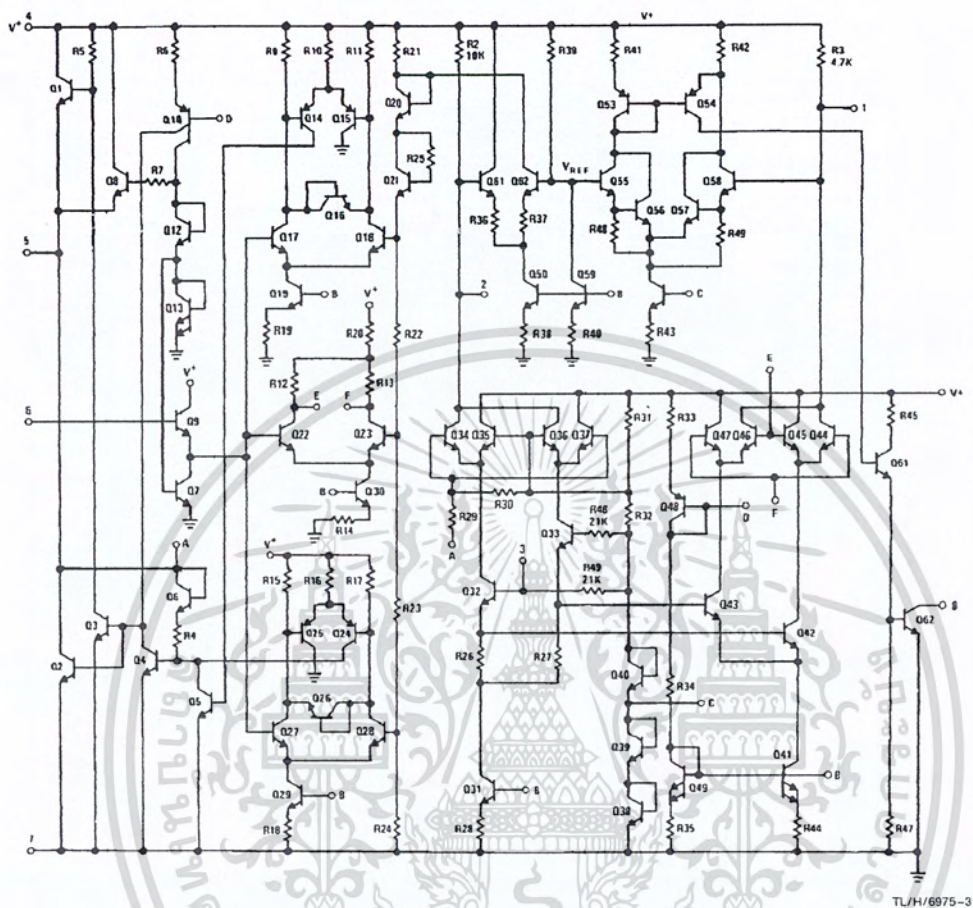
AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V^+ = 5V$

Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	$R_L = 20k$		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	$R_L = 20k$		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		k Ω
Smallest Detectable Input Voltage	$I_L = 100 \text{ mA}$, $f_i \approx f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100 \text{ mA}$, $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$B_n = 140 \text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			± 0.1			± 0.1		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75 - 6.75V		± 1	± 2		± 1	± 5	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75-5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		35 ± 60 35 ± 140			35 ± 60 35 ± 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V - 6.75V 4.75V - 9V		0.5 2.0	1.0 2.0		0.4 2.0	2.0 2.0	%/V %/V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_B = 15V$		0.01	25		0.01	25	μA
Output Saturation Voltage	$e_i = 25 \text{ mV}$, $I_B = 30 \text{ mA}$ $e_i = 25 \text{ mV}$, $I_B = 100 \text{ mA}$		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

Note 1: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

Note 2: Refer to RETS567X drawing for specifications of military LM567H version.

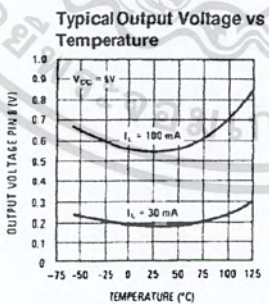
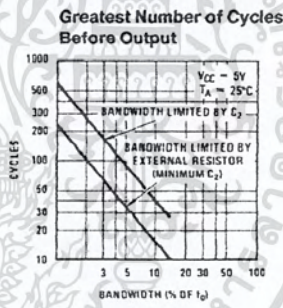
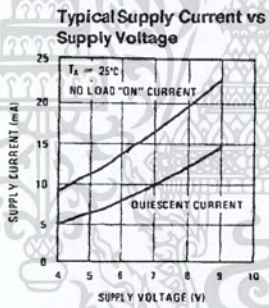
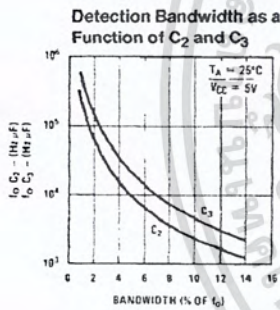
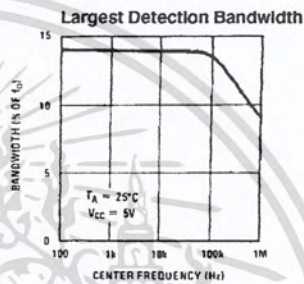
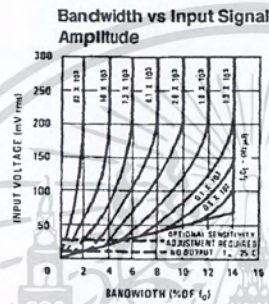
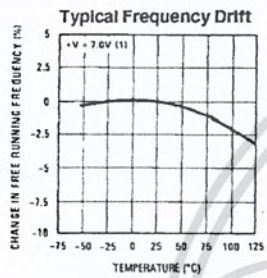
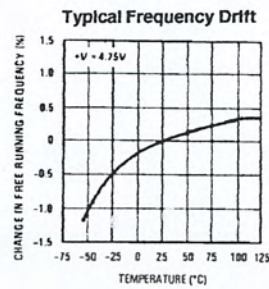
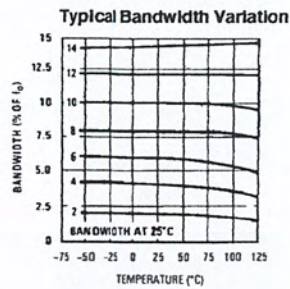
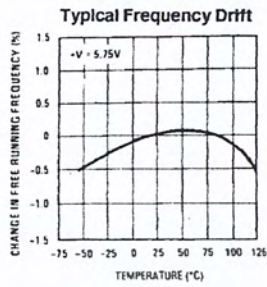
Schematic Diagram



TL/H/6975-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

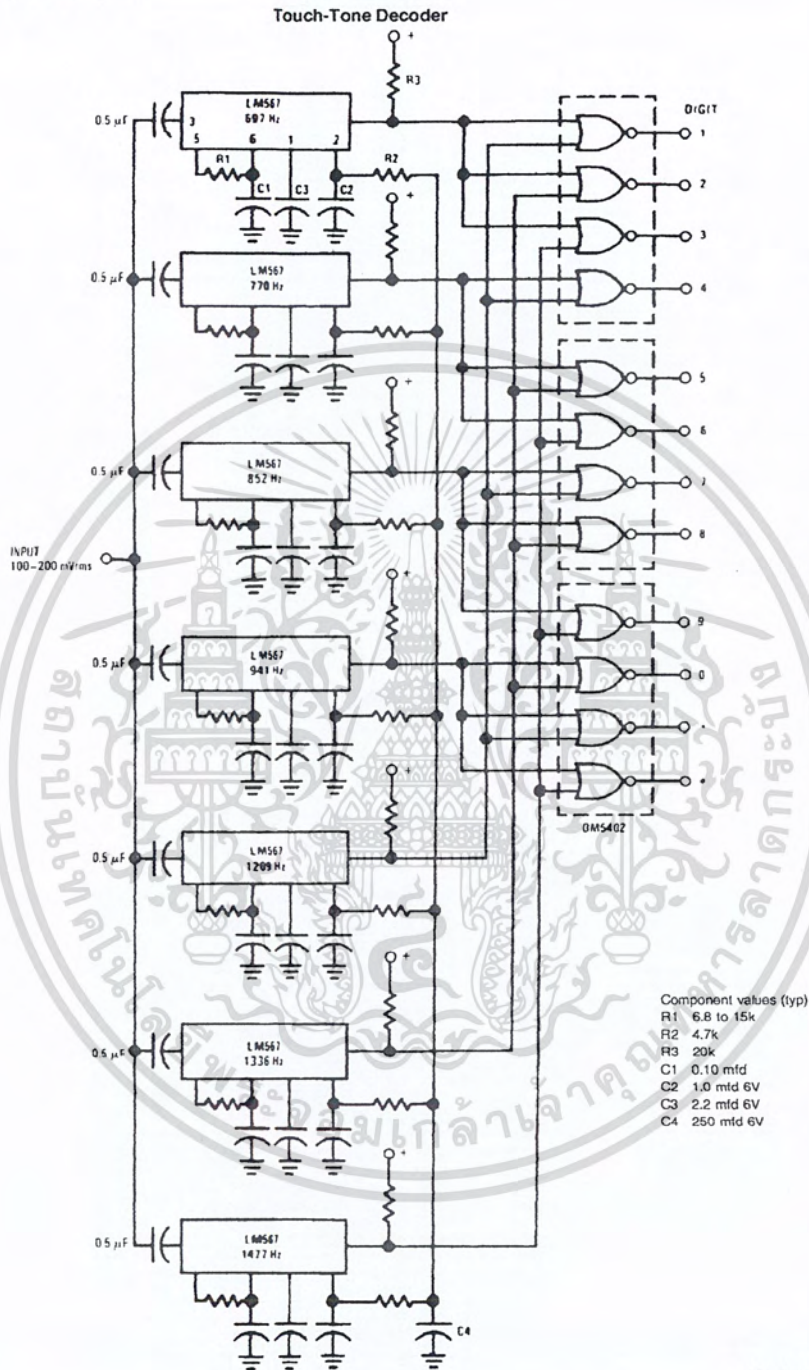
Typical Performance Characteristics



TL/H/6975-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

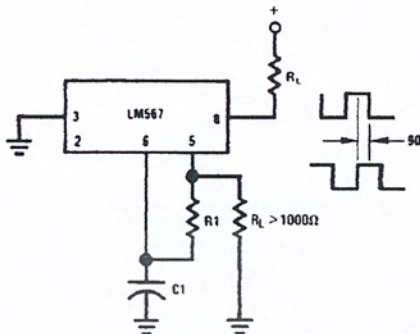


TL/H/6975-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

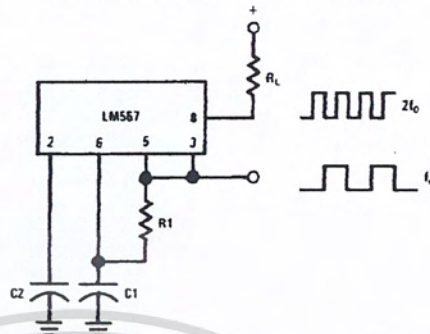
Oscillator with Quadrature Output



Connect Pin 3 to 2.8V to Invert Output

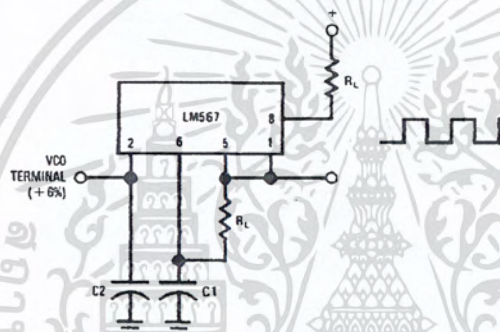
TL/H/6975-6

Oscillator with Double Frequency Output



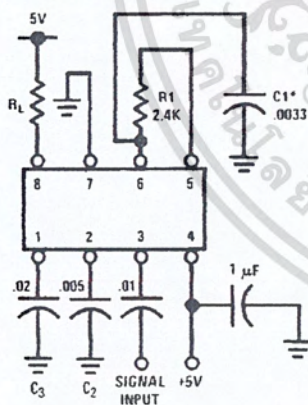
TL/H/6975-7

Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



TL/H/6975-6

AC Test Circuit



$f_i = 100 \text{ kHz} \pm 5\%$

*Note: Adjust for $f_o = 100 \text{ kHz}$.

TL/H/6975-9

Applications Information

The center frequency of the tone decoder is equal to the free running frequency of the VCO. This is given by

$$f_o \approx \frac{1}{1.1 R_1 C_1}$$

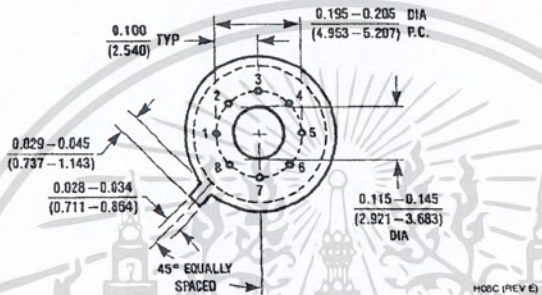
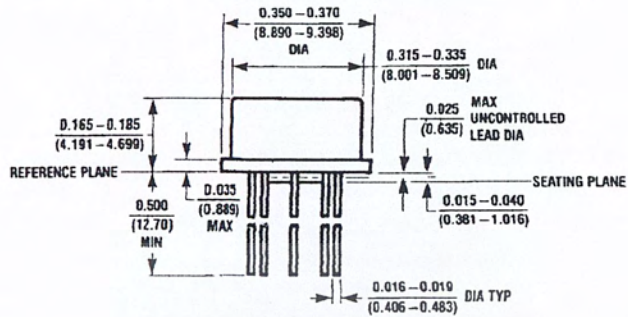
The bandwidth of the filter may be found from the approximation

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o C_2}} \ln \% \text{ of } f_o$$

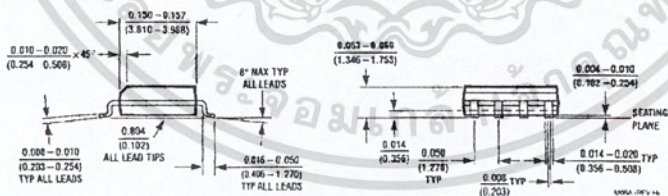
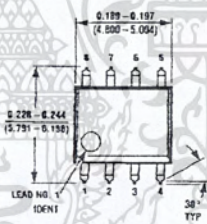
Where:

- V_i = Input voltage (volts rms), $V_i \leq 200 \text{ mV}$
- C_2 = Capacitance at Pin 2 (μF)

Physical Dimensions inches (millimeters)

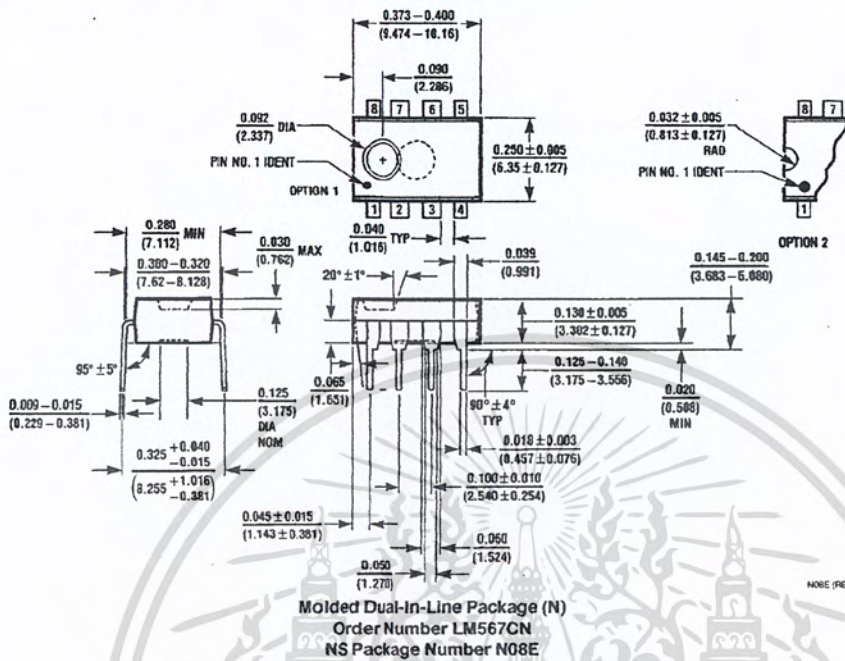


Metal Can Package (H)
Order Number LM567H or LM567CH
NS Package Number H08C



Small Outline Package (M)
Order Number LM567CM
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



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 Garden Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@levm2.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: 81-043-299-2406

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.

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

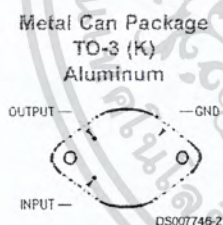
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

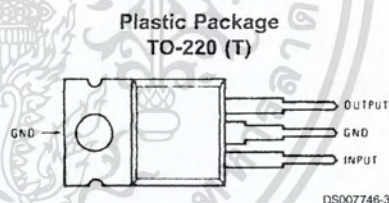
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams

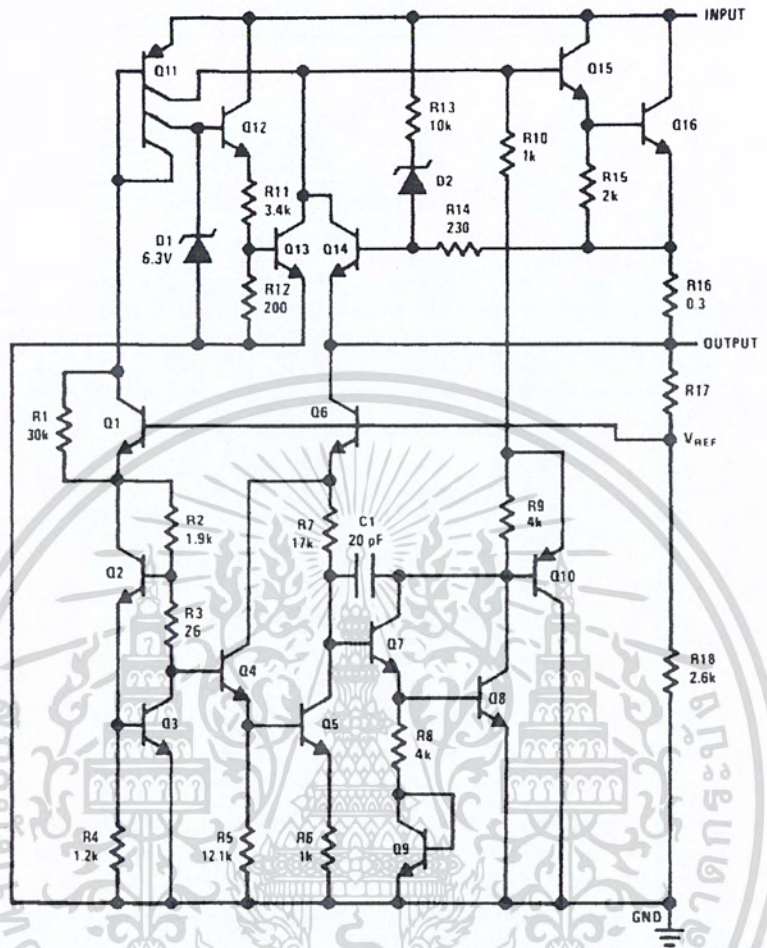


Bottom View
Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A



Top View
Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

Schematic



DS007746-1

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

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

Input Voltage

 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$

35V

Internal Power Dissipation (Note 1)

Internally Limited

Operating Temperature Range (T_A)

0°C to +70°C

Maximum Junction Temperature

(K Package)

150°C

(T Package)

150°C

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K

300°C

TO-220 Package T

230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2)0°C $\leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _O	Output Voltage	T _J = 25°C, 5 mA ≤ I _O ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P _D ≤ 15W, 5 mA ≤ I _O ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}		(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
ΔV _O	Line Regulation	I _O = 500 mA	T _J = 25°C	3		50	4		120	4		150	mV
			ΔV _{IN}	(7 ≤ V _{IN} ≤ 25)		14.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)		(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)		V			
			0°C ≤ T _J ≤ +125°C	50		120		150		mV			
		I _O ≤ 1A	T _J = 25°C	50		120		150		mV			
			ΔV _{IN}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)		(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 27)		(17.7 ≤ V _{IN} ≤ 30)		V			
			0°C ≤ T _J ≤ +125°C	25		60		75		mV			
ΔV _O	Load Regulation	T _J = 25°C	5 mA ≤ I _O ≤ 1.5A	10		50	12		120	12		150	mV
			250 mA ≤ I _O ≤ 750 mA	25		60		75		mV			
			5 mA ≤ I _O ≤ 1A, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C	50		120		150		mV			
		I _O ≤ 1A	T _J = 25°C	8		8		8		mA			
			0°C ≤ T _J ≤ +125°C	8.5		8.5		8.5		mA			
			ΔI _O	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I _O ≤ 1A	0.5		0.5		0.5		mA	
ΔI _O	Quiescent Current Change	T _J = 25°C, I _O ≤ 1A	1.0		1.0		1.0		mA				
			V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)		(14.8 ≤ V _{IN} ≤ 27)		(17.9 ≤ V _{IN} ≤ 30)		V			
		I _O ≤ 500 mA, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C	1.0		1.0		1.0		mA				
			V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}	(7 ≤ V _{IN} ≤ 25)		(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)		(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)		V			
V _N	Output Noise Voltage	T _A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		40		75		90		μV			
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	I _O ≤ 1A, T _J = 25°C or f = 120 Hz	I _O ≤ 500 mA	62	80	55	72	54	70	dB			
			0°C ≤ T _J ≤ +125°C	62		55		54		dB			
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}		(8 ≤ V _{IN} ≤ 18)		(15 ≤ V _{IN} ≤ 25)		(18.5 ≤ V _{IN} ≤ 28.5)		V			
R _O	Dropout Voltage	T _J = 25°C, I _{OUT} = 1A		2.0		2.0		2.0		V			
	Output Resistance	f = 1 kHz		8		18		19		mΩ			

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

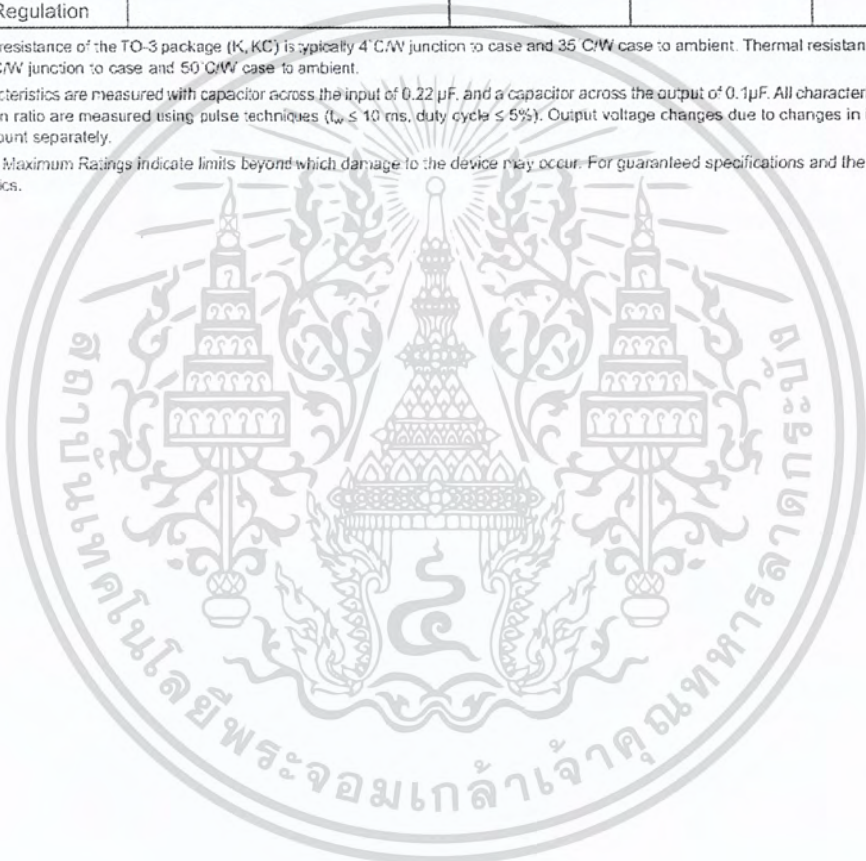
0°C ≤ T_J ≤ 125°C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	T _j = 25°C	2.1			1.5			1.2			A
	Peak Output Current	T _j = 25°C	2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of V _{OUT}	0°C ≤ T _j ≤ +125°C, I _O = 5 mA	0.6			1.5			1.8			mV/°C
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T _j = 25°C, I _O ≤ 1A	7.5			14.6			17.7			V

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

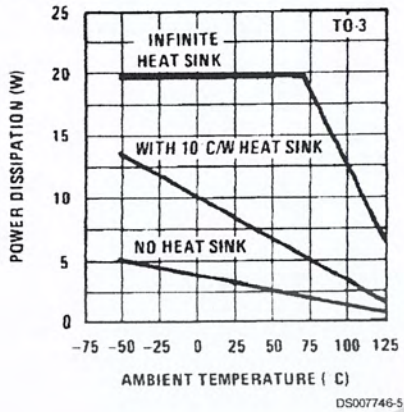
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 µF, and a capacitor across the output of 0.1 µF. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_p ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

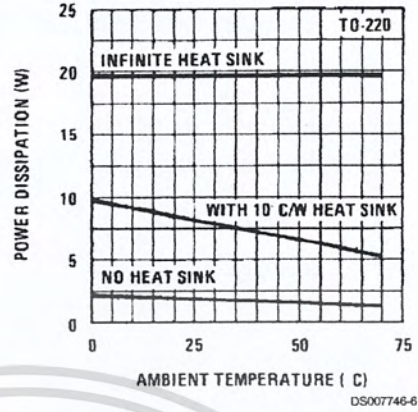


Typical Performance Characteristics

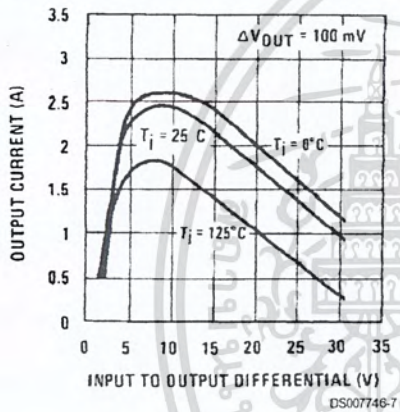
Maximum Average Power Dissipation



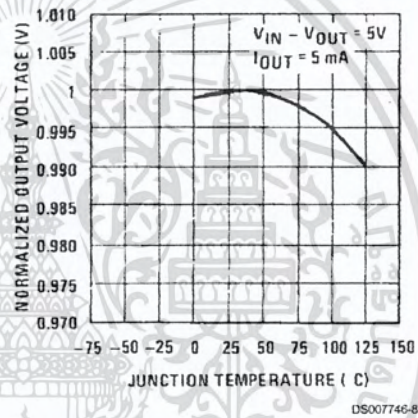
Maximum Average Power Dissipation



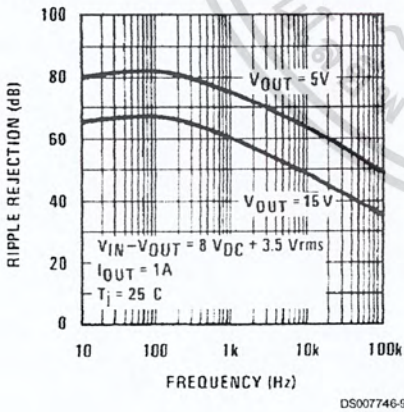
Peak Output Current



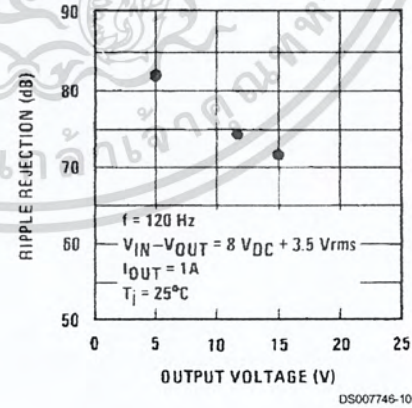
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_j = 25^\circ\text{C}$)



Ripple Rejection

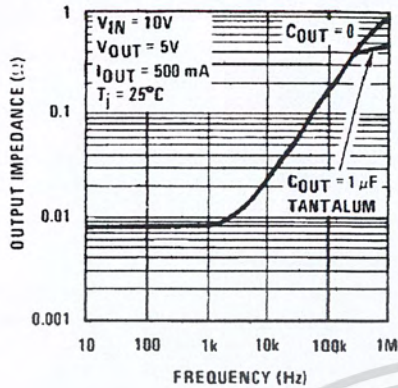


Ripple Rejection



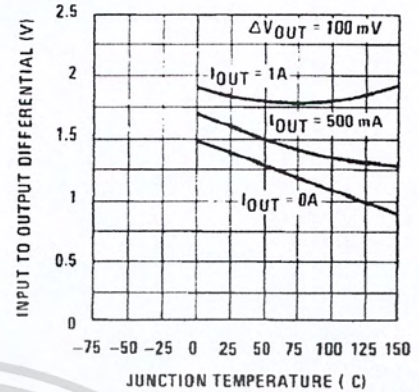
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Impedance



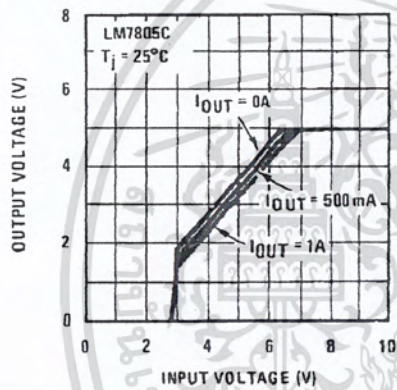
DS007746-11

Dropout Voltage



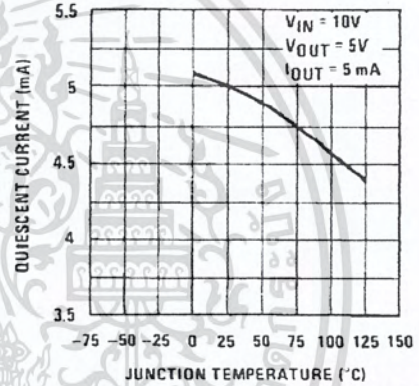
DS007746-12

Dropout Characteristics



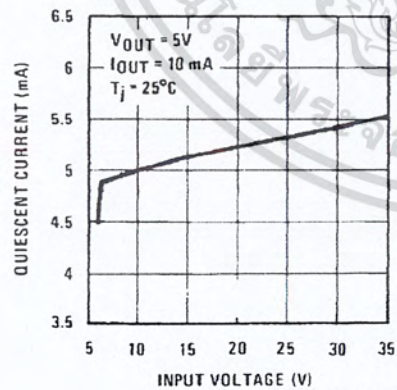
DS007746-13

Quiescent Current



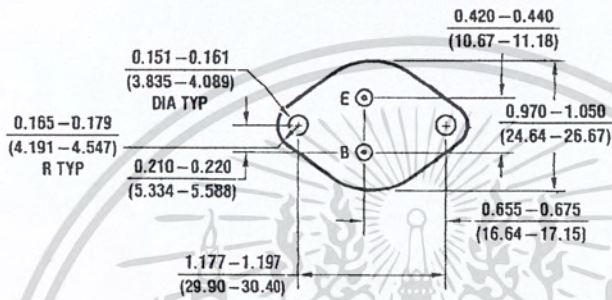
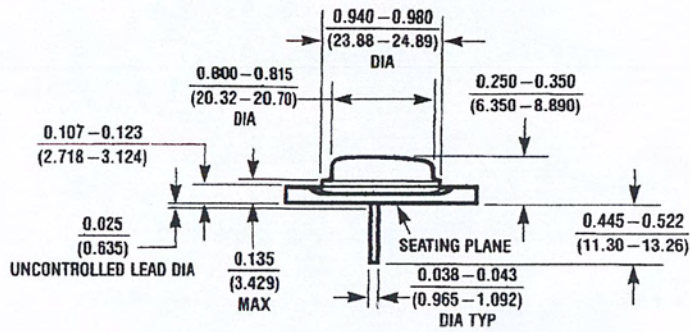
DS007746-14

Quiescent Current



DS007746-15

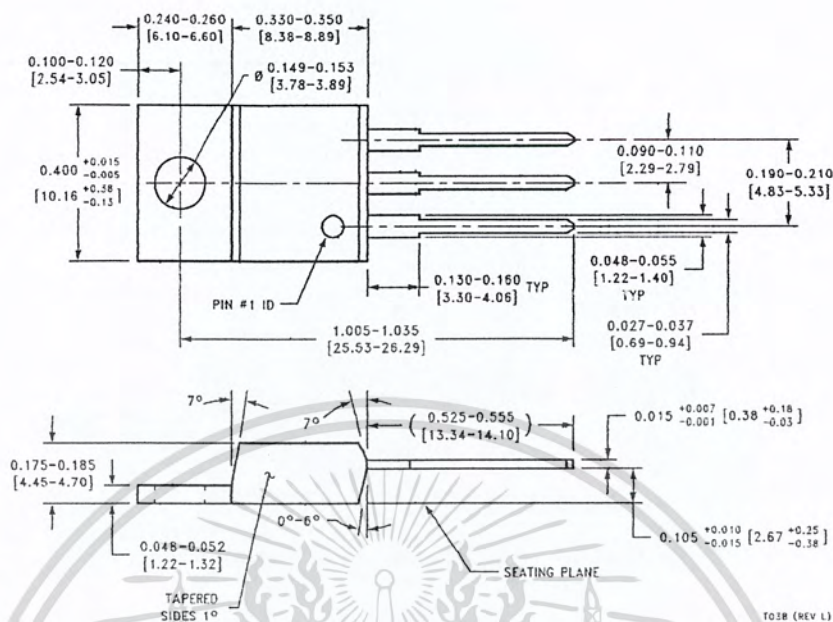
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Aluminum Metal Can Package (KC)
Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
NS Package Number KC02A

KC02A (REV C)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

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 AND GENERAL COUNSEL 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 Americas**
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor
Japan Ltd.**
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5638-7507

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.