

เครื่องฟังเสียงหัวใจ

Heart Sound Monitor

นันทกร ไตรวัชรนนท์

Nantakorn Traiwatcharanon

สิรภพ จันทราวดี

Siraphop Jantharawadi

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เครื่องฟังเสียงหัวใจ  
Heart Sound Monitor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องฟังเสียงหัวใจ

Heart Sound Monitor

ผู้จัดทำ นาย นันทกร ไตรวัชรนนท์ รหัสประจำตัว 58010666

นาย สิริภพ จันทร์ราวดี รหัสประจำตัว 58011308

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.เทอดศักดิ์ ลีวาททอง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	เครื่องฟังเสียงหัวใจ
นักศึกษา	นาย นันทกร ไตรวัชรนนท์ รหัสนักศึกษา 58010666 นาย สิริภพ จันทราวดี รหัสนักศึกษา 58011308
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ดร. เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง

### บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องฟังเสียงหัวใจแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีรายละเอียดโครงงานดังต่อไปนี้ ตัวเครื่องวัดเสียงหัวใจรับสัญญาณเสียงหัวใจจาก เมมส์ไมโครโฟนต่อเข้ากับวงจรก่อนการขยาย โดยสัญญาณจะถูกกรองด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกำหนดช่วงความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นจะส่งสัญญาณไปวงจรขยายกำลังเพื่อที่จะสามารถฟังเสียงหัวใจผ่านหูฟังได้

<b>Thesis Title</b>	Heart Sound Monitor	
<b>Student</b>	Mr. Nantakorn Triwacharanon	Student ID 58010666
	Mr. Siraphop Jantharawadi	Student ID 58011308
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Electronics Engineering	
<b>Year</b>	2018	
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Thurssak Leauhatong	

## ABSTRACT

This project is design and creating Electronics Heart sound monitor. The Heart sound monitor receives heart sound form MEMS Microphone. This sensor is connected with preamplifier circuit. The analog signal is filtered to define bandwidth of signal. Then signal is sent to power amplifier circuit and connected to headphone for listen heart sound.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเครื่องฟังเสียงหัวใจ (Heart Sound Monitor) นี้สำเร็จได้โดยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์ ดร. เทอดศักดิ์ ลีวาทอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทและจากบุคคลหลายท่านด้วยกัน ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ ลีวาทอง และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญาโทที่คอยแนะนำแนวทางการดำเนินงาน ให้ความช่วยเหลือแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น

นันทกร ไตรวัชรนนท์  
สิรภพ จันทราวดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของความสำคัญและปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	2
2.1 โครงสร้างของหัวใจ.....	2
2.2 เสียงต้นของหัวใจ.....	4
2.3 การฟังเสียงหัวใจ.....	7
2.4 เซนเซอร์.....	9
2.5 ทฤษฎีวงจร.....	10
2.5.1 วงจร Pre-amplifier.....	10
2.5.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter).....	11
2.5.3 วงจรขยาย (Amplifier).....	13
2.5.4 การต่อวงจรอปแอมป์แบบคาสเคด (Cascade).....	14
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและการทำงาน.....	15
3.1 การคำนวณและการออกแบบวงจร.....	15
3.1.1 วงจรก่อนการขยาย.....	16
3.1.2 วงจร Low Pass Filter.....	16
3.1.3 วงจรขยาย.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	21
4.1 การทดลอง.....	21
4.2 ผลการทดลอง.....	21
4.2.1 วงจร Low Pass Filter.....	21
4.2.2 การวัดแรงดันวงจรสำเร็จ.....	22
4.2.3 กราฟผลการทดลองวัดแรงดันตกคร่อม.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	26
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	26
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	26
เอกสารอ้างอิง.....	27
ภาคผนวก.....	28

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันทางออก.....21



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพแสดงห้องของหัวใจ.....	2
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงลิ้นหัวใจ.....	3
รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณเสียงหัวใจ.....	5
รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณเสียงหัวใจ และ Murmur.....	6
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการฟังเสียงหัวใจ.....	7
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการฟังเสียง S1, S2.....	8
รูปที่ 2.7 Stethoscope.....	9
รูปที่ 2.8 MEMS Microphone.....	10
รูปที่ 2.9 การทำงานของวงจรก่อนการขยาย.....	10
รูปที่ 2.10 วงจรก่อนการขยายสัญญาณแบบแรงจ่ายแรงดันไฟตรงเดียว.....	11
รูปที่ 2.11 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	11
รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับสองแบบแอกทีฟ.....	12
รูปที่ 2.13 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำให้มีลำดับที่สูงขึ้น.....	13
รูปที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	13
รูปที่ 2.15 วงจรออปแอมป์แบบคาสเคด.....	14
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของวงจร.....	15
รูปที่ 3.2 วงจรก่อนการขยาย.....	16
รูปที่ 3.3 วงจรแบบ Butterworth Low Pass Filter.....	16
รูปที่ 3.4 วงจรขยาย.....	17
รูปที่ 3.5 วงจร Heart Sound.....	18
รูปที่ 3.6 ลาย PCB วงจร Heart Sound.....	19
รูปที่ 3.7 วงจรภายใน NE5532.....	20
รูปที่ 4.1 กราฟ Frequency Response ของวงจร Low Pass Filter.....	22
รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์.....	23
รูปที่ 4.3 แรงดันที่ทางออกของวงจรก่อนการขยาย.....	23
รูปที่ 4.4 แรงดันที่ทางออกของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	24
รูปที่ 4.5 แรงดันที่ทางออกของวงจรขยายแรงดัน.....	24

## VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียงหัวใจ.....	25



## VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากเสียงหัวใจเป็นข้อมูลที่เป็นต่อการวินิจฉัยโรค และความผิดปกติที่เกิดขึ้นของหัวใจและลิ้นหัวใจ เสียงหัวใจแบ่งออกเป็น 4 เสียง S1,S2,S3 และ S4 โดยเสียงที่ได้ยินนั้นมาเพียงแค่เสียง S1 และ S2 เท่านั้น ในขณะที่หัวใจกำลังบีบตัวทำให้เกิดเสียง ซึ่งเป็นเสียงจากระยะ S1 ถึง S2 และในขณะที่หัวใจคลายตัวทำให้เกิดเสียง จากระยะ S2 ถึง S1 แล้วยังมีเสียง Murmur ซึ่งเป็นเสียงที่เกิดจากความผิดปกติ สังเกตจาก ช่วงการเกิดเสียง,ความดัง,ความถี่ของเสียง (เสียงสูง,เสียงต่ำ) เสียงต่างๆเหล่านี้ ใช้สำหรับการวินิจฉัยโรคของแพทย์ในปัจจุบัน มีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญไม่มากนัก จึงมีแนวคิดที่จะทำเครื่องฟังเสียงหัวใจและนำสัญญาณที่ได้มาเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะศึกษาสัญญาณเสียงหัวใจของผู้ป่วยโรคต่างๆ และคาดว่าในอนาคตจะสามารถช่วยแพทย์ในการตรวจและวินิจฉัยโรคต่างๆของหัวใจได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

#### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ออกแบบเครื่องฟังเสียงหัวใจให้มีเสียงเหมือนกับเสียงที่ฟังจาก Stethoscope (เป็นเครื่องมือที่ใช้ฟังเสียงหัวใจของแพทย์) มากที่สุด

#### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครื่องวัดสัญญาณเสียงหัวใจได้ชัดเจนมากขึ้นพร้อมทั้งสามารถปรับระดับความดังของเสียงเพื่อให้แพทย์ฟังได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และสามารถแสดงกราฟของเสียงหัวใจได้

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้จะทำการวัดสัญญาณเสียงหัวใจโดยใช้ Analog MEMS Microphone เข้าไปที่วงจรก่อนการขยายโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ NE5532 สัญญาณนี้เข้าไปที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ4 จากนั้นส่งสัญญาณไปที่วงจรขยายกำลัง สุดท้ายสัญญาณจะถูกส่งไปที่หูฟัง

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ MEMS Microphone
- 2) ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรก่อนการขยาย วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านอันดับ4

และวงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

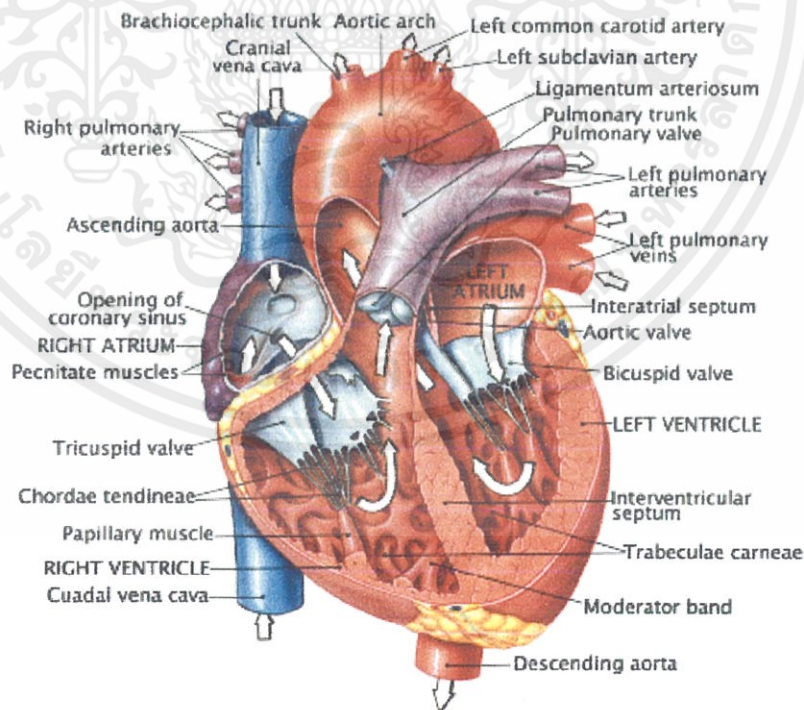
# หลักการและทฤษฎี

### 2.1 โครงสร้างของหัวใจ

หัวใจ เป็นอวัยวะภายในรูปร่างคล้ายโคน โดยมีปลายโคนชี้ลงไปทางด้านล่างซ้าย ตั้งอยู่ในทรวงอก อยู่ระหว่าง ปอดทั้งสองข้างด้านหลังของกระดูกหน้าอก โดยค่อนไปทางด้านซ้ายจากแนวกึ่งกลาง หัวใจผู้ใหญ่มีความยาวประมาณ 12 เซนติเมตรและความกว้าง 8-9 เซนติเมตร ในบริเวณที่กว้างที่สุด และมีความหนาประมาณ 6 เซนติเมตร น้ำหนักของหัวใจในผู้ชายมีน้ำหนักประมาณ 280-340 กรัม ในผู้หญิงมีน้ำหนักประมาณ 230-280 กรัม และหัวใจจะมีการขยายขนาดและน้ำหนักมากขึ้นตามอายุ โดยในผู้ชายจะมีการขยายขนาดมากกว่าในผู้หญิง หัวใจประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้

#### 2.1.1 ห้องหัวใจ

หัวใจแบ่งเป็น 4 ห้อง ได้แก่ หัวใจห้องบนขวาหัวใจ(right atrium), ห้องบนซ้าย หัวใจ (left atrium), ห้องล่างขวา(right ventricle), หัวใจห้องล่างซ้าย(left ventricle)



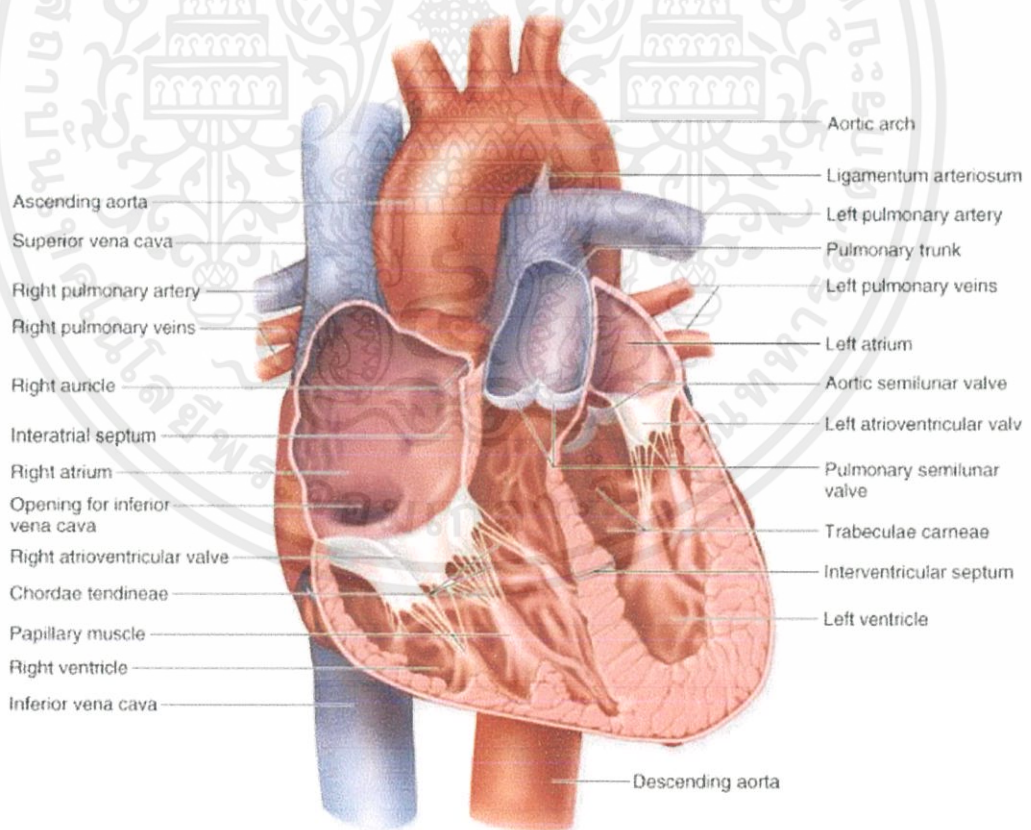
รูปที่ 2.1 ภาพแสดงห้องของหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หัวใจห้องบนขวา มีขนาดใหญ่กว่าหัวใจห้องบนซ้าย แต่มีผนังบางกว่าห้องบนซ้าย ประมาณ 2 มิลลิเมตรและมีความจุประมาณ 57 ซีซี
- หัวใจห้องบนซ้าย มีขนาดเล็กกว่าหัวใจห้องบนขวาและมีผนังหนากว่า ประมาณ 3 มิลลิเมตร แยกจากหัวใจห้องบนขวาโดยผนังกันหัวใจส่วนบน
- หัวใจห้องล่างขวา มีรูปร่างสามเหลี่ยมต่อจากหัวใจห้องบนขวา โดยมีลิ้นหัวใจไตรคัสปิดิกั้น แบ่งหัวใจห้องบนขวาและล่างขวา ผนังหัวใจห้องล่างขวาจะบางกว่าห้องล่างซ้ายในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 แต่จะมีความจุเท่ากับหัวใจห้องล่างซ้าย คือประมาณ 85 ซีซี หัวใจห้องล่างขวาจะต่อกับเส้นเลือดแดงปัลโมนารีโดยมีลิ้นหัวใจพัลโมนิกั้นระหว่างกัน
- หัวใจห้องล่างซ้าย มีรูปร่างเป็นรูปโคน และเมื่อตัดขวางจะมีรูปร่างคล้ายวงรีหรือค่อนข้างกลม และประกอบเป็นส่วนของยอดหัวใจ โดยมีผนังหนาเป็น 3 เท่าของหัวใจล่างขวา

### 2.1.2 ลิ้นหัวใจ

ลิ้นหัวใจ คนเรามีทั้งหมด 4 ลิ้น ทำหน้าที่ควบคุมการไหลเวียนของเลือดภายในหัวใจ จากหัวใจห้องบน ไปหัวใจห้องล่างและออกสู่ เส้นเลือดเอออร์ตา และเส้นเลือดปัลโมนารี



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงลิ้นหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิ้นหัวใจไตรคัสปิด(Tricuspid valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องบนขวาและห้องล่างขวา ประกอบด้วยแผ่นลิ้นหัวใจรูปสามเหลี่ยม 3 แผ่น จะเปิดในจังหวะหัวใจคลายตัวทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนขวาสู่ห้องล่างขวาลิ้นหัวใจไมตรัล(Mitral valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบด้วยแผ่นลิ้นหัวใจรูปสามเหลี่ยม 2 แผ่น จะเปิดในจังหวะหัวใจคลายตัวทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนซ้ายสู่ห้องล่างซ้าย ลิ้นหัวใจพัลโมนิก(Pulmonic valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องล่างขวาและเส้นเลือดแดงพัลโมนารีประกอบด้วยแผ่นลิ้นหัวใจ 3 แผ่น รูปคล้ายเสี้ยวพระจันทร์โดยมีด้านนูนหันไปทางเส้นเลือดแดงพัลโมนารี จะเปิดในจังหวะหัวใจบีบตัว ทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องล่างขวาไปเส้นเลือดแดงพัลโมนารี ลิ้นหัวใจเอออร์ติค (Aortic valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายและเส้นเลือดเอออร์ตา ประกอบด้วยแผ่นลิ้นหัวใจ 3 แผ่น รูปคล้ายเสี้ยวพระจันทร์ โดยมี 2 แผ่นอยู่ด้านหน้า และ 1 แผ่นอยู่ด้านหลัง จะเปิดในจังหวะหัวใจบีบตัว ทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องล่างซ้ายไปเส้นเลือดแดงเอออร์ตา

### โครงสร้างผนังของหัวใจ

ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ

1. แผ่นหุ้มหัวใจด้านนอก (epicardium) เป็นส่วนของแผ่นด้านในของเยื่อหุ้มหัวใจ
2. กล้ามเนื้อหัวใจ (myocardium)
3. ผนังหัวใจด้านใน (endocardium) เป็นแผ่นบางบุผนังด้านในของหัวใจ รวมทั้งเป็นส่วนของลิ้นหัวใจ

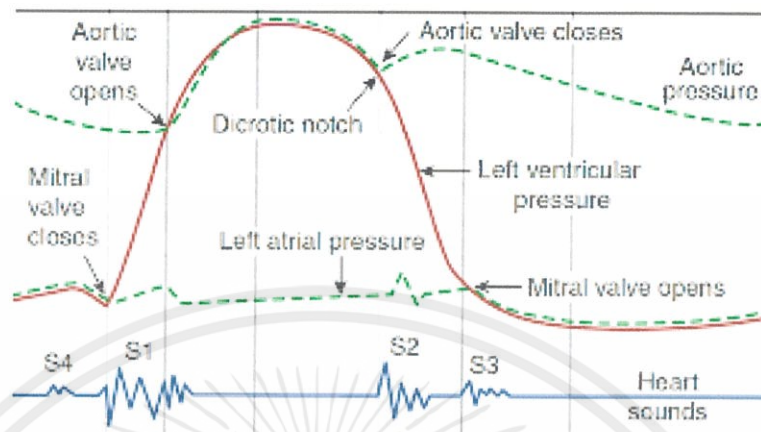
#### 2.1.3 เยื่อหุ้มหัวใจ

ลักษณะเป็นถุงรูปโคน ซึ่งมีหัวใจและส่วนต้นของเส้นเลือดแดงที่ออกจากหัวใจอยู่ภายในถุง เยื่อหุ้มหัวใจประกอบด้วยแผ่น 2 แผ่น คือแผ่นด้านนอก และแผ่นด้านในซึ่งหุ้มรอบหัวใจอยู่ระหว่างแผ่น 2 แผ่นเป็นช่องของเยื่อหุ้มหัวใจ ซึ่งโดยปกติแล้วช่องนี้จะแพบปิด แต่ในภาวะที่มีโรคที่เกี่ยวกับเยื่อหุ้มหัวใจอาจทำให้มีน้ำสะสมอยู่ในช่องดังกล่าว ซึ่งถ้ามีปริมาณมากจะไปกดการคลายตัวของหัวใจโดยตรง

#### 2.2 เสียงเต้นของหัวใจ

เป็นเสียงที่เกิดจากการปิดและการเปิดของลิ้นหัวใจ การไหลของกระแสเลือด การขยายของหลอดเลือดจากความดันเลือด โดยเสียงหัวใจปกติจะมีด้วยกัน 4 เสียง ซึ่งส่วนใหญ่จะได้ยินเสียงแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2) โดยเสียงที่สาม (S3) จะได้ยินบางกรณี และเสียงที่สี่ (S4) มักจะไม่ได้ยินเพราะเบามาก ถ้าแสดงสัญญาณเสียงหัวใจปกติออกมาเป็นกราฟจะเหมือนที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณเสียงหัวใจ

### 2.2.1 เสียงหัวใจลำดับที่ 1

เสียง S1 เป็นเสียงที่มีลักษณะเป็นเสียงต่ำฟังได้ชัดเจนความถี่อยู่ช่วง 25-45 Hz และจะดังอยู่ ประมาณ 0.15 วินาที โดยเสียง S1 จะประกอบด้วยเสียงของ Atrio-ventricular Valves ปิด (Mitral Valve ปิดก่อน Tricuspid Valve เล็กน้อย) หลังจากที่หัวใจห้องล่างปิด เสียงของผนังภายในหัวใจห้องล่างยึดตัวจากแรงดันเลือดและเสียงเลือดที่ไหลผ่าน Semilunar valve

### 2.2.2 เสียงหัวใจลำดับที่ 2

เสียง S2 เป็นเสียงสูงมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 50 Hz และจะดังสั้นกว่าเสียง S1 เล็กน้อยซึ่งจะดังอยู่ประมาณ 0.12 วินาที โดยเสียง S2 จะเกิดจากเสียงของ Semilunar Valves ปิดโดยปกติ Aortic Valve จะปิดก่อน Pulmonary Valve เล็กน้อย แต่ในบางกรณีอาจจะปิดห่างกันมากขึ้นจนเป็นเสียงที่ไม่ได้ดังต่อเนื่องกันได้เรียกว่า Physiological Splitting ซึ่งเกิดจากการหายใจเข้าซึ่งขณะหายใจเข้าช่องอกจะขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ความดันในช่องอกลดลงมีผลให้หลอดเลือดดำในช่องอกขยายขนาด และมีปริมาณมากขึ้น และไหลเข้าสู่หัวใจด้านขวามากขึ้น จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการไหลเพิ่มขึ้น Pulmonary Valve จึงปิดช้าลงระยะตั้งแต่เสียง S1 ถึงก่อนจะเกิดเสียง S2 หัวใจอยู่ในระยะ Systole และตั้งแต่เสียง S2 ถึงเสียง S1 ของการเต้นครั้งต่อไปหัวใจจะอยู่ในระยะ Diastole สัญญาณเสียงหัวใจที่ปกติเมื่อนำไปวิเคราะห์สัญญาณด้วย Continuous Wavelet Transform ตัวที่ชื่อ Morlet โดยสัญญาณเสียงหัวใจที่ใช้วิเคราะห์ด้วย Sampling Frequency ที่ 2000 Hz เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์จากการวิเคราะห์มาวาดกราฟแบบคอนทัวร์ (Contour) แล้วจะสามารถสังเกตลักษณะเส้นของกราฟคอนทัวร์เป็นกลุ่มที่มีขนาดอยู่ในช่วงสเกล 20 – 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 เสียงหัวใจลำดับที่ 3

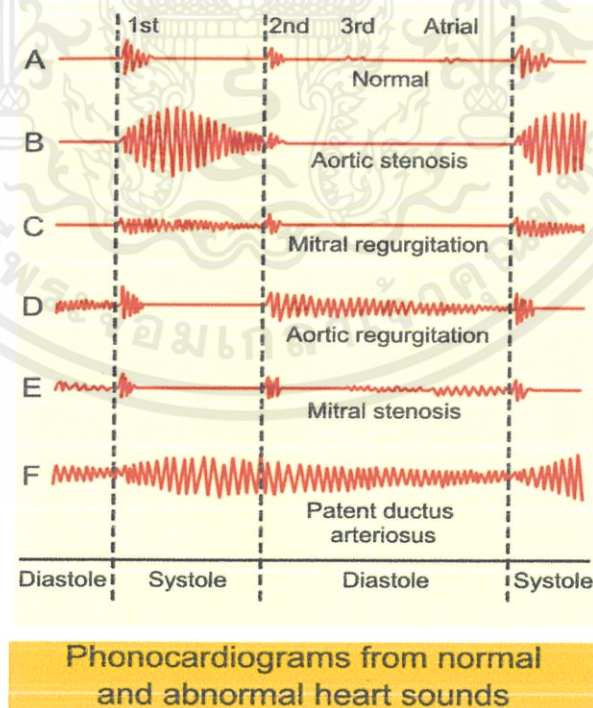
เป็นเสียงหัวใจที่เกิดในช่วงที่หัวใจห้องล่างและห้องบนคลายตัวหรือระยะหัวใจห้องล่างคลายตัวรับเลือดเป็นเสียงที่มีความถี่ต่ำและความดังน้อย เกิดจากการไหลของเลือดจากหัวใจห้องบนลงห้องล่าง ปกติเสียงนี้เบาและไม่ได้ยิน แต่อาจได้ยินชัดเจนในเด็กและในผู้ใหญ่ที่กำลังออกกำลังกาย

### 2.2.4 เสียงหัวใจลำดับที่ 4

เป็นเสียงหัวใจที่ได้ยินก่อนอันดับหนึ่ง เล็กน้อย ความถี่ต่ำมากและความดังน้อยสุด ปกติจะไม่ได้ยินเสียงนี้ แต่อาจจะได้ยินในผู้ป่วยโรคโรคความดันสูงและในขณะออกกำลังกาย ซึ่งในภาวะนี้หัวใจห้องบนบีบตัวแรงขึ้น

### 2.2.5 เสียงของหัวใจผิดปกติ (Abnormal Heart Sounds)

เสียงของหัวใจผิดปกติเกิดจากกระบวนการไหลของโลหิตถูกรบกวน โดยส่วนใหญ่เกิดจากการผิดปกติของลิ้นหัวใจ เช่น จากการตีบของลิ้นหัวใจ ทำให้เลือดมีความดันสูงและมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็นกระแสวนหรือเกิดจากการรั่วของลิ้นหัวใจซึ่งทำให้เลือดไหลย้อนกลับ เสียงที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้เรียกรวมว่า Murmurs ถ้าแบ่งชนิดของ Murmurs ตามช่วงเวลาการเกิดจะแบ่งได้เป็น Systole Murmur ซึ่งเกิดในระยะบีบตัวของหัวใจ และ Diastole Murmurs ซึ่งเกิดขึ้นในระยะคลายตัวของหัวใจ ซึ่งสามารถดูได้ในภาพ

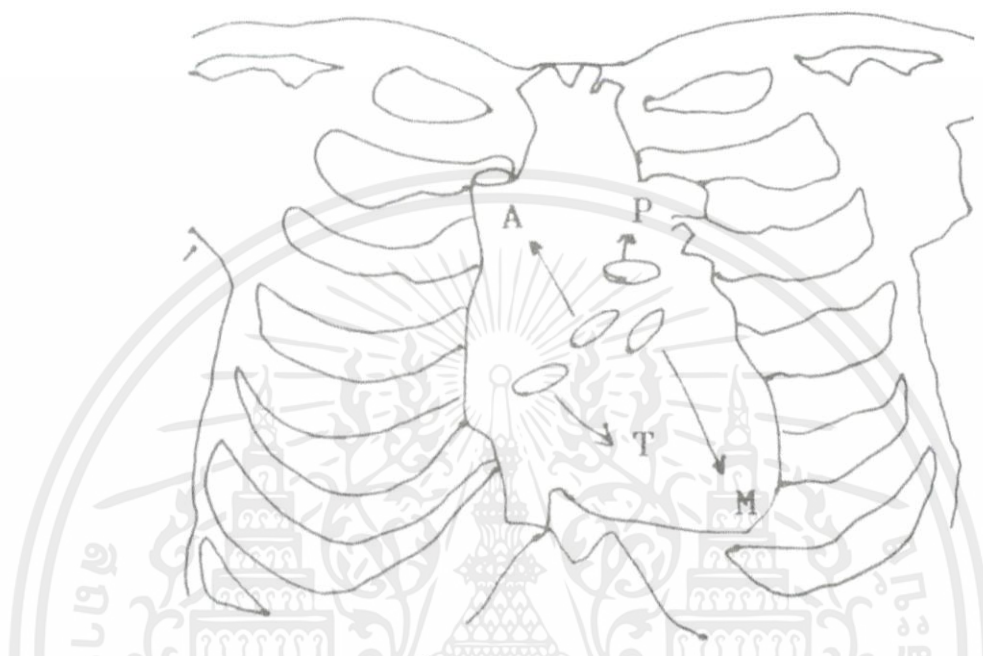


รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณเสียงหัวใจ และ Murmur

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การฟังเสียงหัวใจ

การเต้นของหัวใจในแต่ละครั้งแต่ละรอบทำให้เกิดเสียงหัวใจขึ้น ถ้าจะฟังเสียงหัวใจได้ดีที่สุด จะฟังได้ 4 จุด คือ



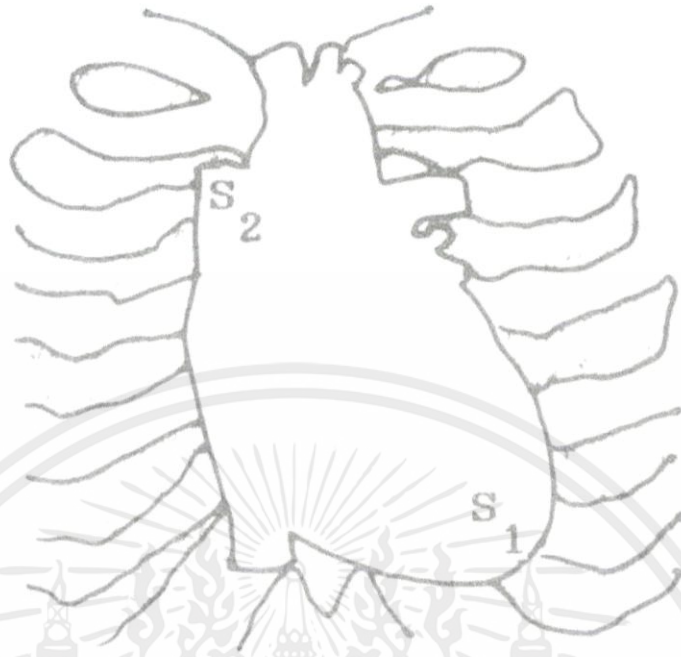
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการฟังเสียงหัวใจ

ในการเต้นของหัวใจแต่ละครั้งจะมี 2 ระยะคือ

1. Diastole (Relaxation)
2. Systole (Contraction)

การบีบตัวของหัวใจทำให้เกิดเสียงขึ้น คือ

1. เสียง S1 เป็นเสียงที่เกิดจากการปิดของลิ้นไมทรัล และไตรคัสพิด ฟังชัดที่เอเพ็กซ์ ไดอิน “lub”
2. เสียง S2 เป็นเสียงที่เกิดจากการปิดของลิ้นพุลโมนิกและเอออร์ติก ไดอินเสียง “dub” ได้ยินชัดที่ลิ้นเอออร์ติก



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการฟังเสียง S1, S2

3. เสียง S3 เป็นเสียงที่เกิดจากมีเลือดมาที่หัวใจห้องล่าง ในเวลาอันรวดเร็วใช้หูฟังด้านเบล ฟัง ได้ยินชัดที่เอเพ็กซ์ ถ้าเกิดที่หัวใจห้องล่างซ้าย แต่ถ้าเกิดจากหัวใจห้องล่างขวาจะได้ยินชัดที่ขอบกระดูกกลางอกที่ช่องซี่โครง 3-4 มักพบในคนที่มีหัวใจวาย หรือลิ้นหัวใจไม่ทึบรั่ว
4. เสียง S4 เป็นเสียงที่เกิดจากหัวใจห้องบนหดตัว (Atrial Contraction) ทำให้มีแรงต้านของหัวใจห้องล่าง (Ventricle filling) พบได้ในคนที่มีความดันโลหิตสูง มีอาการเจ็บหน้าอกกล้ามเนื้อหัวใจตาย ลิ้นหัวใจเอออร์ติคตีบ

## 2.4 เซนเซอร์ (Sensor)

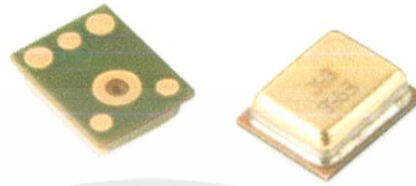
### 2.4.1 หูฟังทางการแพทย์ (Stethoscope)



รูปที่ 2.7 Stethoscope

หูฟังทางการแพทย์เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ใช้ฟังเสียงหัวใจ ส่วนใหญ่หูฟังทางการแพทย์แบบมาตรฐานจะมีหัว bell กับ diaphragm บางรุ่นจะรวมหัว bell กับ diaphragm เข้าด้วยกันเป็นหัวเดียว (tunable diaphragm) หากกดเบาๆลงบน chest wall ก็จะกรองเสียงสูง (High frequency) ออกไป ทำหน้าที่เหมือนหัว bell ในทางกลับกันหากกดแน่นขึ้นก็จะกรองเสียงต่ำ (Low frequency) ออกไปทำหน้าที่เหมือนหัว diaphragm อีกรุ่นที่ไม่ค่อยเห็นใช้กันในบ้านเราคือ Corrugated diaphragm แต่หากใครมีใช้ก็จะใช้วิธีการกดที่ chest wall ด้วยแรงที่ต่างกันเพื่อให้ได้ variable sound frequency ด้าน bell chest pieces มีลักษณะคล้ายถ้วยหรือระฆังใช้ฟังเสียงทุ้มต่ำ เช่น S3, S4 gallop, diastolic rumbling murmur ของ mitral stenosis ที่ apex เป็นต้น วิธีใช้ให้แตะเบาๆที่ผิวหนังหน้าอก โดยใช้เพียงน้ำหนักของ chest pieces เอง ให้พอคลุมผิวหนังทั่วรอบวงคล้ายสุญญากาศ

## 2.4.2 ไมโครโฟนในระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค (MEMS Microphone)



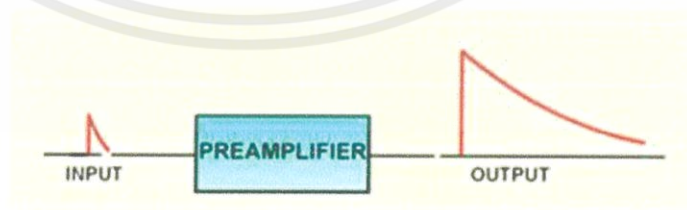
รูปที่ 2.8 MEMS Microphone

MEMS Microphone เป็นไมโครโฟนที่ใช้เทคโนโลยี MEMS ใส่เพียงแค่ตัวเก็บประจุรวมอยู่ใน ไมโครชิพขนาดเล็กซิลิคอน มีความละเอียดสูง ประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานต่ำ ใช้ไฟเลี้ยงไม่เกิน 5 โวลต์ทางออกของสัญญาณจากอุปกรณ์นี้เป็นสัญญาณอนาล็อก

## 2.5 ทฤษฎีวงจร

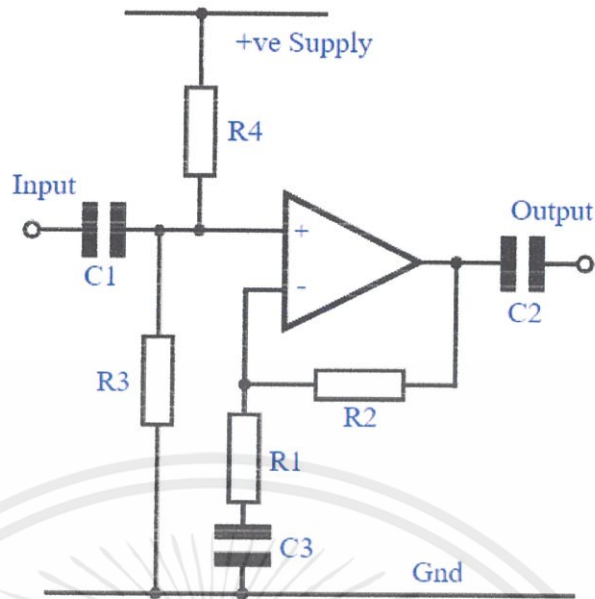
### 2.5.1 วงจรก่อนการขยาย (Pre Amplifier)

เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามาจากภาคสัญญาณเข้ามีความแตกต่างกันมากบ้างน้อยบ้าง เช่น ไมโครโฟน เครื่องบันทึกเสียง เป็นต้น ดังนั้นภาคก่อนการขยายจะช่วยให้การปรับแต่งเสียงให้มีสัญญาณมากขึ้นพอๆกัน ก่อนจะส่งไปวงจรขยายกำลัง ออกแบบวงจรก่อนการขยายโดยให้อัตราขยายวงจร 1.5 เท่า



รูปที่ 2.9 การทำงานของวงจรก่อนการขยาย

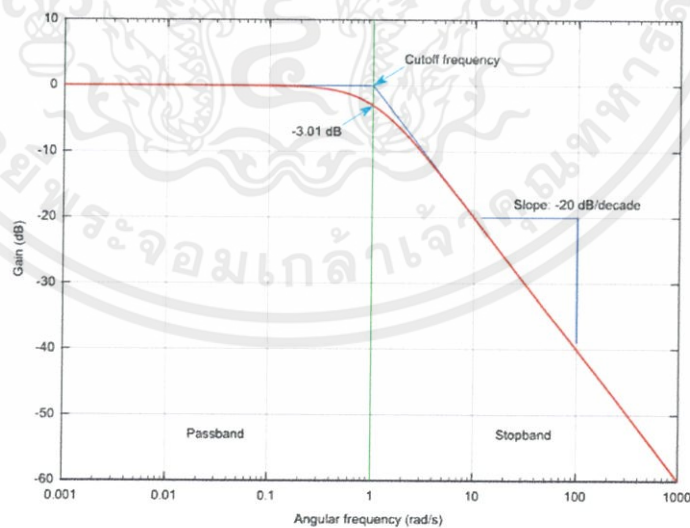
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรก่อนการขยายสัญญาณแบบแรงจ่ายแรงดันไฟตรงเดี่ยว

### 2.5.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter )

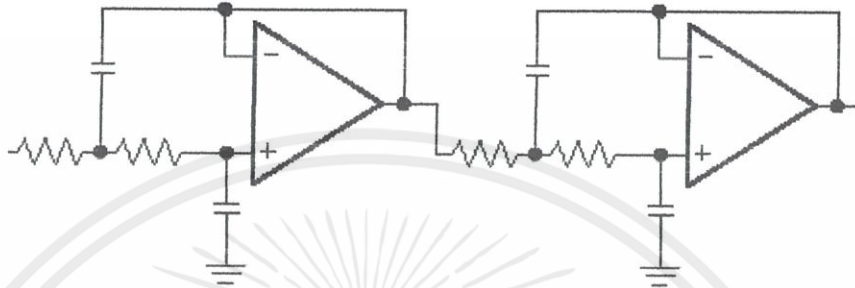
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรที่จะทำให้สัญญาณความถี่สูงมีการสูญเสียอย่างมาก หรืออีกนัยหนึ่งคือยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านไปได้ดี เพราะว่า L กับ C มีค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความถี่ จึงสามารถนำมาประกอบเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้



รูปที่ 2.11 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับสี่ (Forth-Order Low Pass Active Filter)



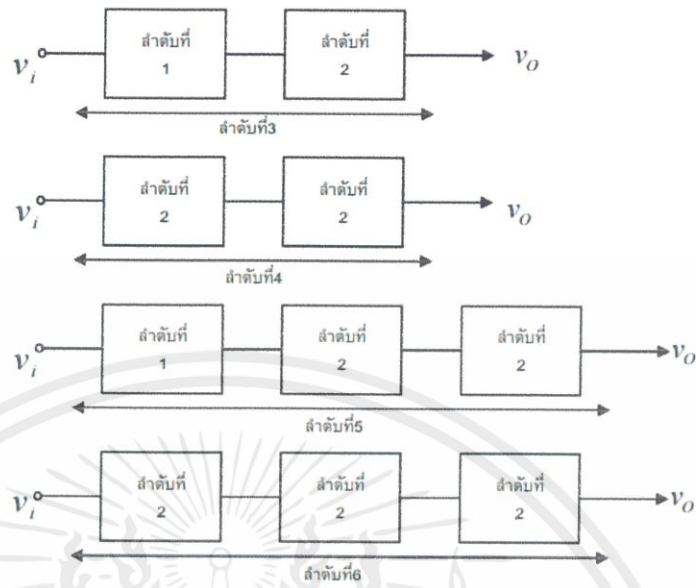
รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับสี่แบบแอกทีฟ

วงจรของความถี่ต่ำผ่านลำดับสี่ สามารถสร้างได้โดยใช้โอปแอมป์เพียงตัวเดียว ดังในรูปที่ 2.12 วงจรนี้อาจจะเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบ Sallen and Key ซึ่งตั้งชื่อตามผู้ออกแบบวงจร สำหรับวงจรนี้ความถี่ตัด (Cut off frequency,  $f_c$ ) สามารถกำหนดได้ จากค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอกตามสมการ (2.1)

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.1)$$

### 2.5.2.2 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในลำดับที่สูงขึ้น

เราสามารถสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้สูงกว่าลำดับที่สองได้ โดยการนำวงจรของความถี่ที่มีความถี่ตัดเท่ากันมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเราเรียกการต่อแบบนี้ว่า แคสเคด (Cascade) จะทำให้ได้ลำดับที่สูงขึ้นตามผลบวกของวงจรของความถี่ที่ต่อเรียงกัน

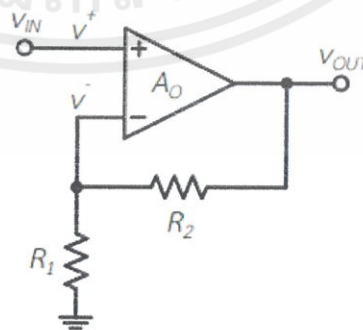


รูปที่ 2.13 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำให้มีลำดับที่สูงขึ้น

### 2.5.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier Circuit)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสคือ วงจรขยายที่มีสัญญาณเอาต์พุตตรงเฟสกับสัญญาณอินพุต ซึ่งวงจรประกอบด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทาน R1 ต่อกับอินพุตขาลบของออปแอมป์กับกราวด์ และตัวต้านทาน R2 ต่อระหว่างอินพุตขาลบกับเอาต์พุตของ ออปแอมป์ในลักษณะป้อนกลับแบบลบ อัตราขยายของวงจรสามารถออกแบบได้จากสมการ

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

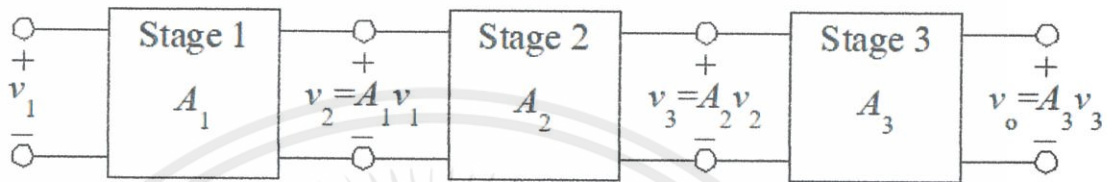


รูปที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การต่อวงจรออปแอมป์แบบคาสเคด (Cascade)

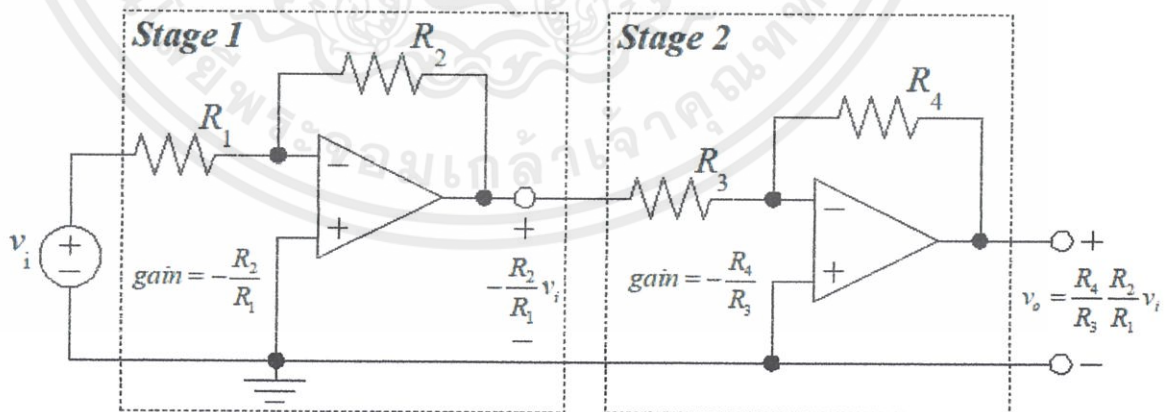
อัตราขยายรวมของการต่อแบบคาสเคด จะเป็นผลคูณของอัตราขยายแต่ละสเตจ ในการออกแบบใช้งานจริงนั้นควรต้องระวังไม่ให้อัตราขยายรวมของวงจรที่คาสเคดกันทั้งหมด ทำให้ ออปแอมป์อยู่ในช่วงอิ่มตัว



อัตราขยายของวงจร  
ดังนั้น

$$A = A_1 A_2 A_3$$

$$v_o = (A_1 A_2 A_3) v_1 = A v_1$$



รูปที่ 2.15 วงจรออปแอมป์แบบคาสเคด

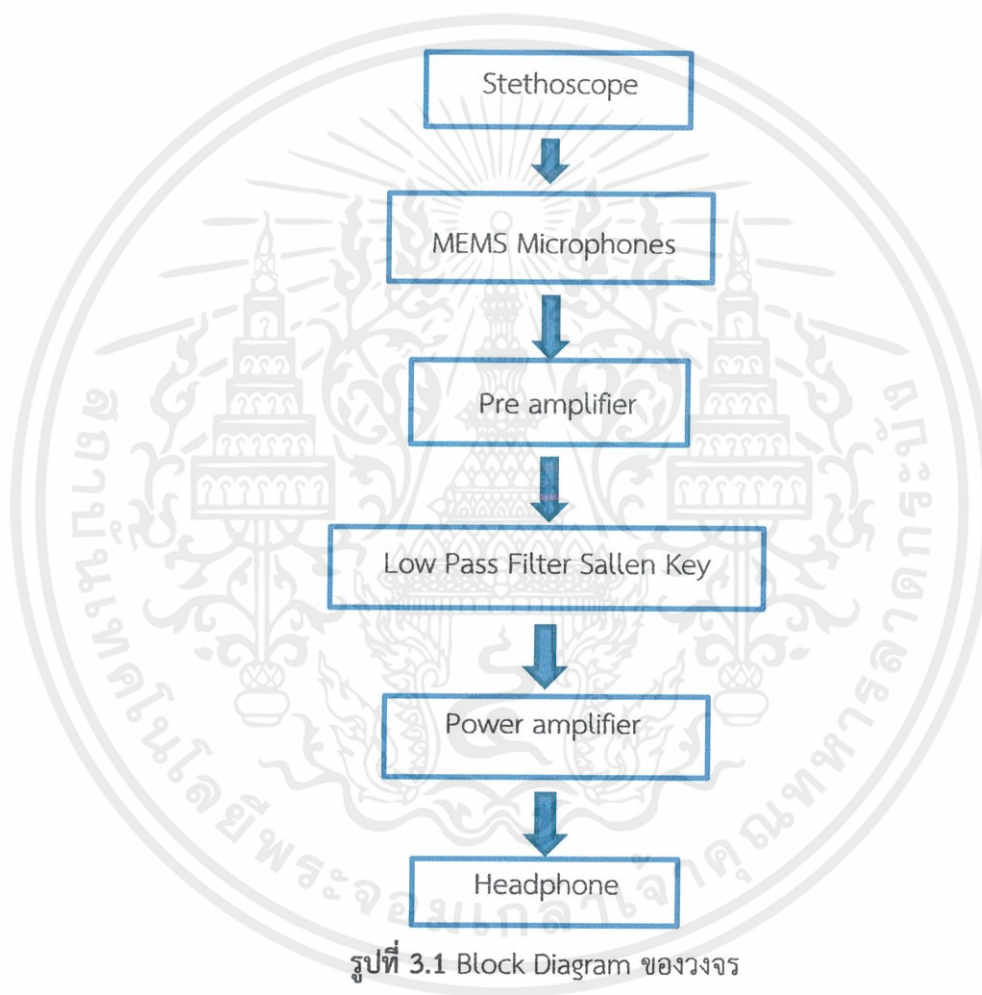
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบวงจรและการทำงาน

#### 3.1 การคำนวณและออกแบบวงจร

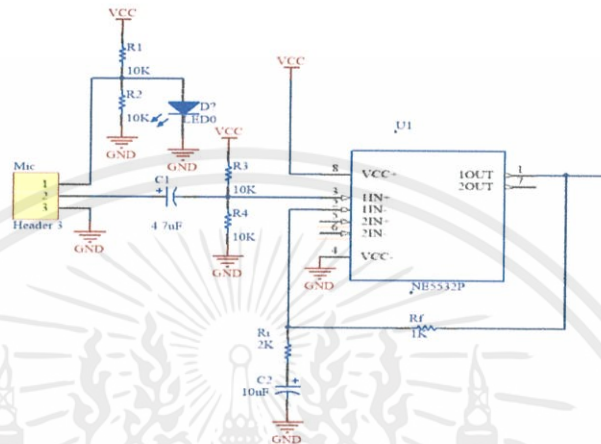
Block Diagram เครื่องวัดสัญญาณเสียงหัวใจ (HEART SOUND MONITOR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 วงจรก่อนการขยาย

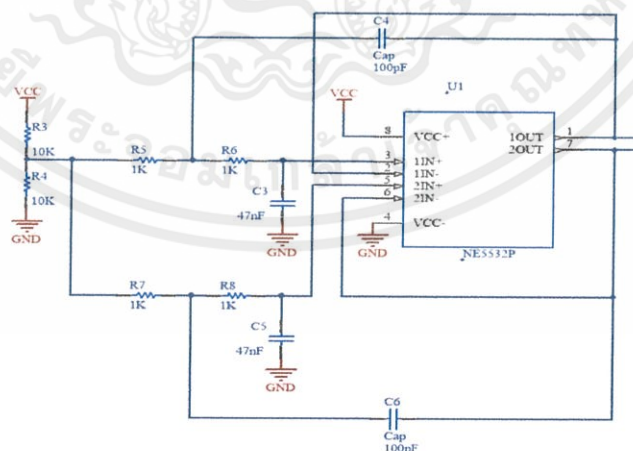
วงจรก่อนการขยาย โดยไมโครโฟน C1 ใช้เพื่อตัดสัญญาณไฟตรงและมี R3 และ R4 ยกระดับแรงดันไฟตรงเพื่อเข้าสู่ออปแอมป์ขาที่ 3 จากนั้นทำการขยายสัญญาณโดยออปแอมป์ อัตราขยายของวงจรถูกควบคุมโดย Rf และ Ri โดยถูกออกแบบไว้ที่ 1.5



รูปที่ 3.2 วงจรก่อนการขยาย

### 3.1.2 วงจร Low Pass Filter

วงจรแบบ Butterworth Low Pass Filter ใช้ในการกรองความถี่ต่ำผ่าน สามารถคำนวณได้ตามสมการ โดยใช้ R5,R6,R7,R8,C3,C4,C5,C6 ซึ่งความถี่สูงคัทออฟได้ถูกออกแบบไว้ที่ 20 KHz

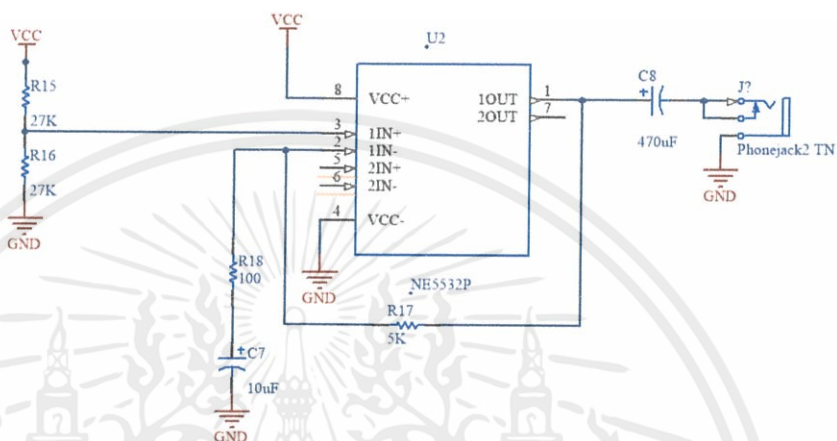


รูปที่ 3.3 วงจรแบบ Butterworth Low Pass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

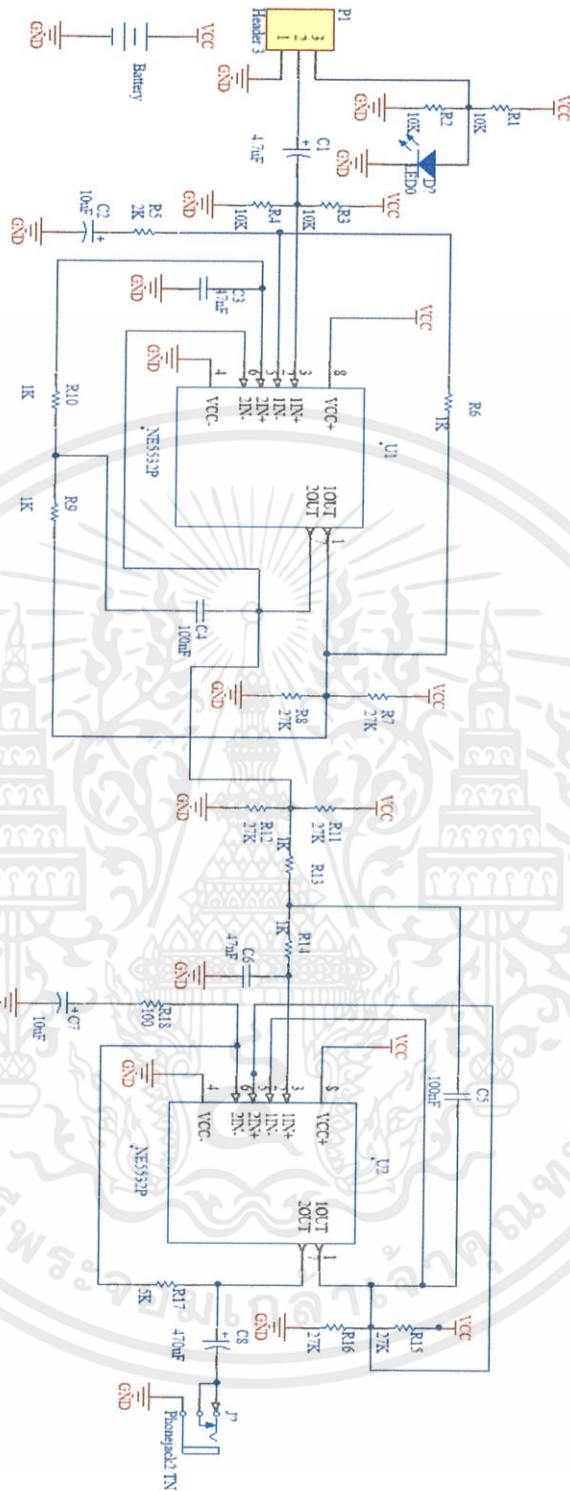
### 3.1.3 วงจรขยาย

วงจรขยายมีความสามารถในการจ่ายกระแสกับกำลังงานสูงกว่าวงจรขยายทั่วไป ใช้กับโหลดอิมพีแดนซ์ต่ำอย่างเช่นหูฟัง โดยมีอัตราขยายที่ 50 เท่า



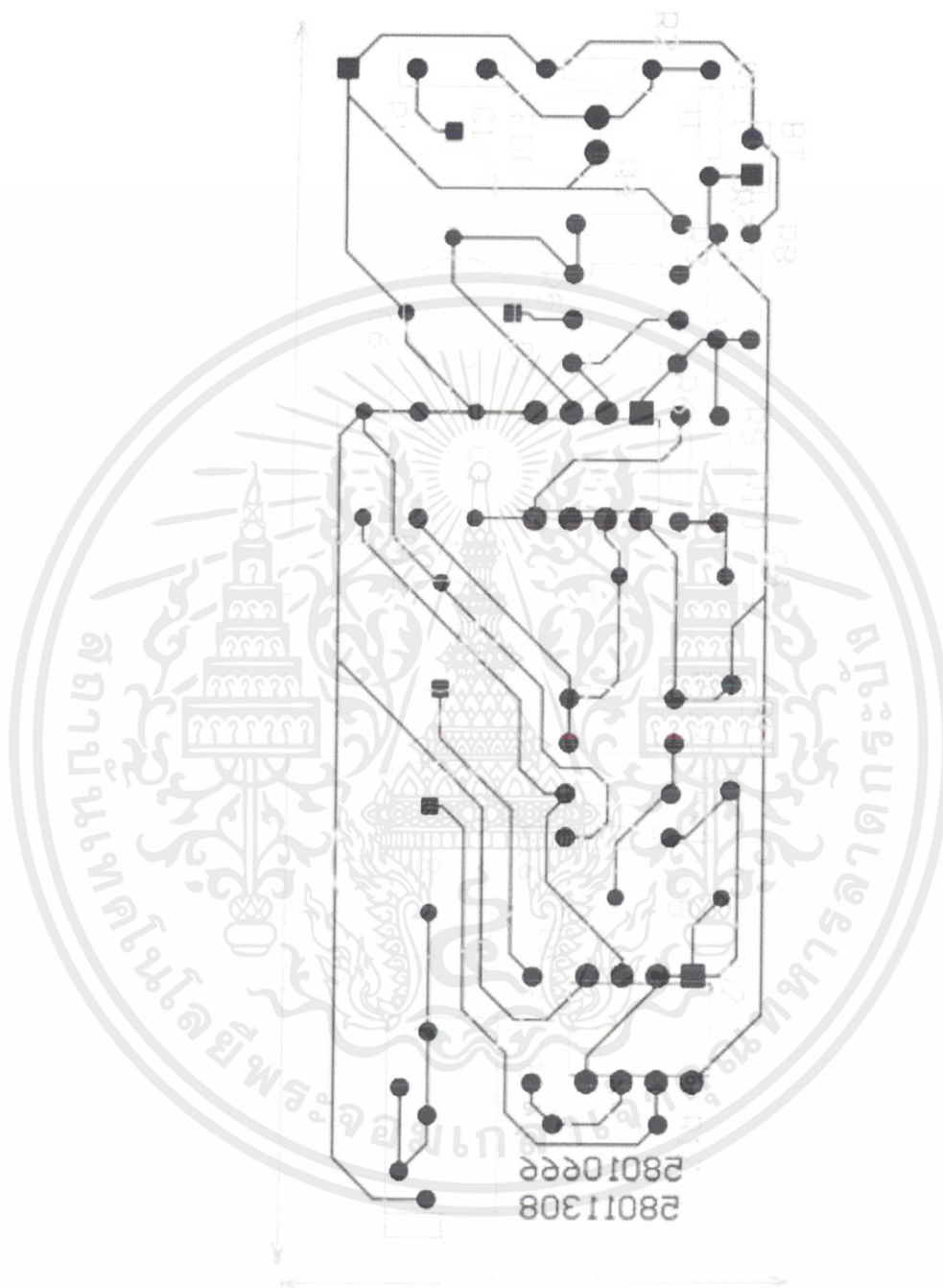
รูปที่ 3.4 วงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



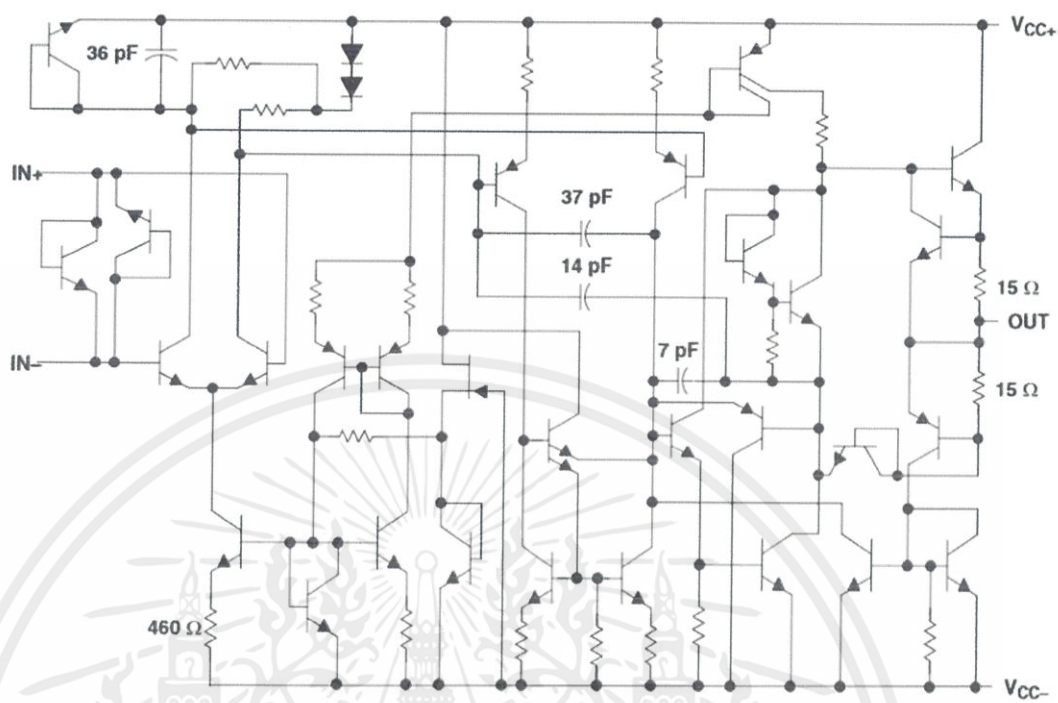
รูปที่ 3.5 มจร Heart Sound

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลาย PCB วงจร Heart Sound

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Component values shown are nominal.

รูปที่ 3.7 วงจรภายใน NE 5532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง และ ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง

1. ทดลองปล่อยสัญญาณไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ความถี่ 10 Hz – 2 KHz ซึ่งมี Amplitude ประมาณ 22.4 mV
2. วัดค่า Frequency Response

#### 4.2 ผลการทดลอง

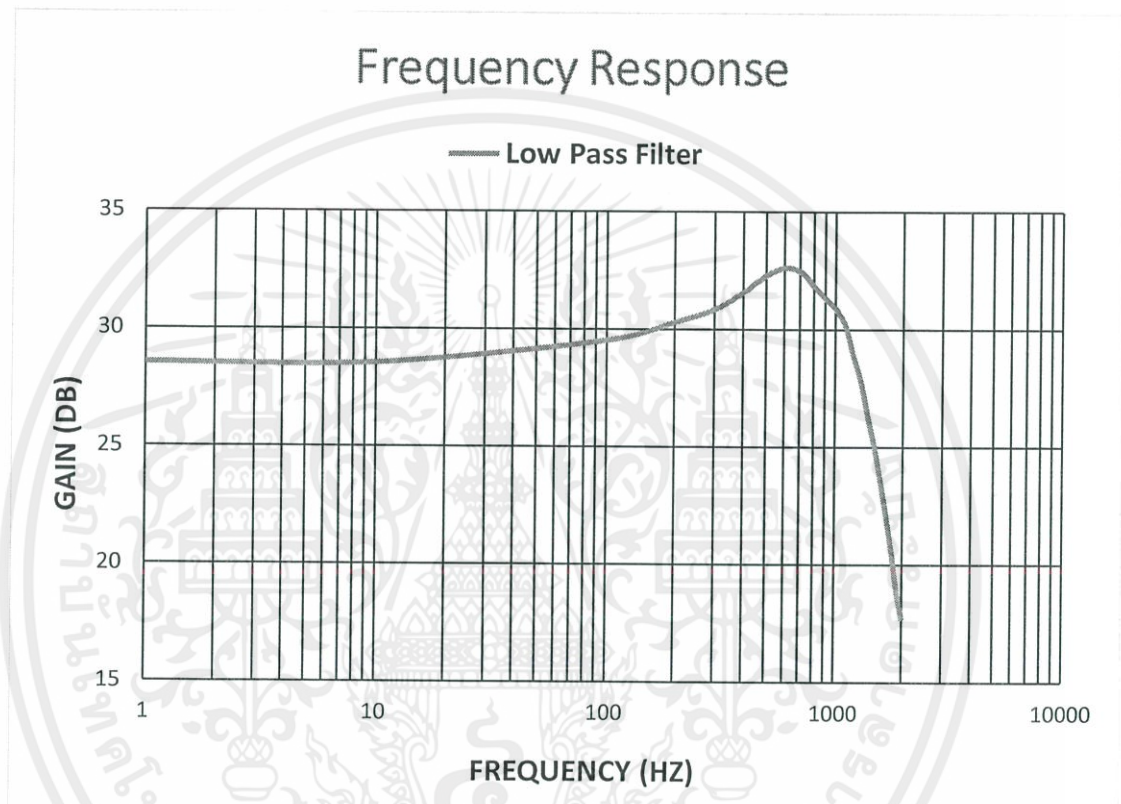
##### 4.2.1 วงจร Low Pass Filter

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันทางออก

Frequency (Hz)	Output Pre amp (mV)	Input Low pass (mV)	Output Low Pass (mV)	Input Power amp (mV)	Output Power amp (mV)	Av (dB)
10	24.8	24.8	24.8	24.4	600	28.55
100	32.2	32.4	32.0	31.6	670	29.51
200	30.8	32.0	31.2	30.4	733	30.29
300	30.4	31.6	30.8	30.4	780	30.84
400	34.2	33.0	30.8	30.6	840	31.56
500	31.2	34.0	30.0	29.8	920	32.27
600	31.4	32.0	29.6	28.8	940	32.61
700	31.2	30.4	28.8	26.4	940	32.46
800	30.8	32.8	28.4	25.2	880	31.88
900	31.4	29.4	26.0	23.6	832	31.32
1000	30.6	25.0	25.6	21.0	784	30.88
1100	20.6	27.0	23.8	18.8	704	30.18
1200	31.2	25.6	22.2	16.0	624	28.90
1300	30.8	23.2	20.4	15.2	540	27.80
1400	30.4	22.8	18.8	12.4	460	26.25
1500	30.8	20.8	18.8	11.6	388	24.93
1600	30.4	20.4	16.4	10.4	328	23.47
1700	30.2	20.4	15.6	10	276	21.97
1800	30.8	18.4	14.4	9.2	236	20.45
1900	30.8	17.2	13.5	8.6	196	18.84

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กับแรงดันทางออก

Frequency (Hz)	Output Pre amp (mV)	Input Low pass (mV)	Output Low Pass (mV)	Input Power amp (mV)	Output Power amp (mV)	Av (dB)
2000	31.2	16.8	12.4	7.8	168	17.66



รูปที่ 4.1 กราฟ Frequency Response ของวงจร Low Pass Filter

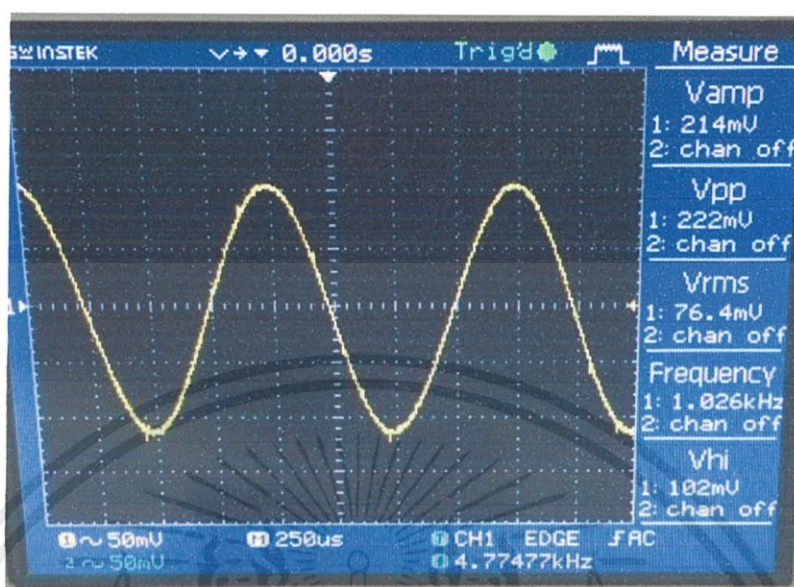
#### 4.2.2 การวัดแรงดันวงจรสำเร็จ

ป้อน  $V_{in} = 222 \text{ mV}_{pp}$  ความถี่ 1 KHz

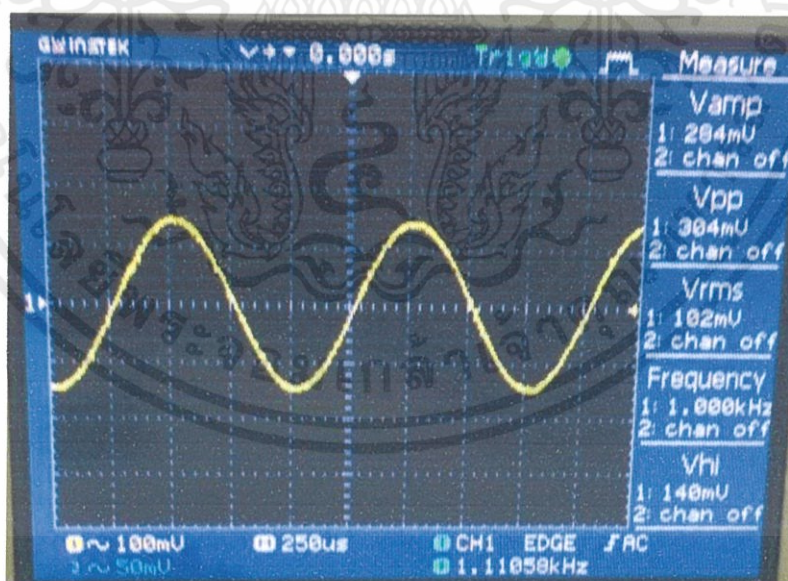
- เมื่อผ่านวงจร Pre Amplifier อัตราขยาย 1.5 จะได้  $V_o = 304 \text{ mV}_{pp}$
- เมื่อผ่านวงจร Low Pass Filter อัตราขยาย 1 จะได้  $V_o = 208 \text{ mV}_{pp}$
- เมื่อผ่านวงจร Power Amplifier อัตราขยาย 50 จะได้  $V_o = 5.76 \text{ V}_{pp}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.3 กราฟผลการทดลองวัดแรงดันตกคร่อม

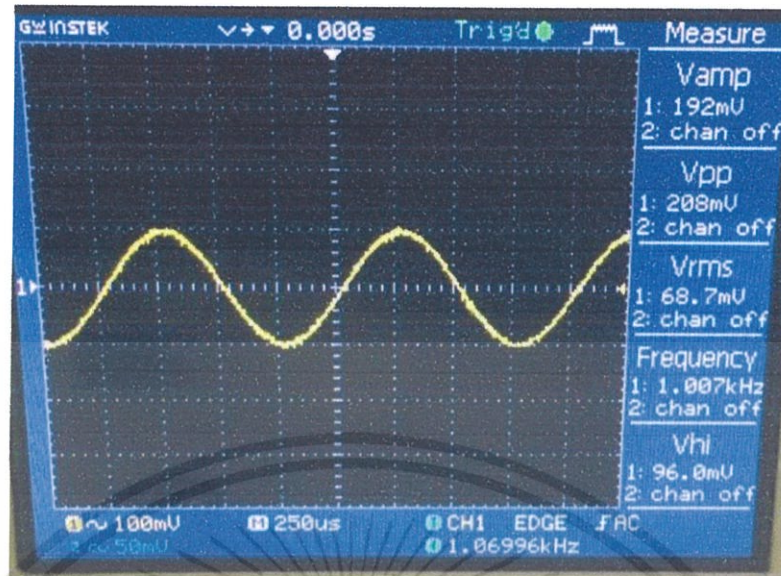


รูปที่ 4.2 สัญญาณขาเข้าจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

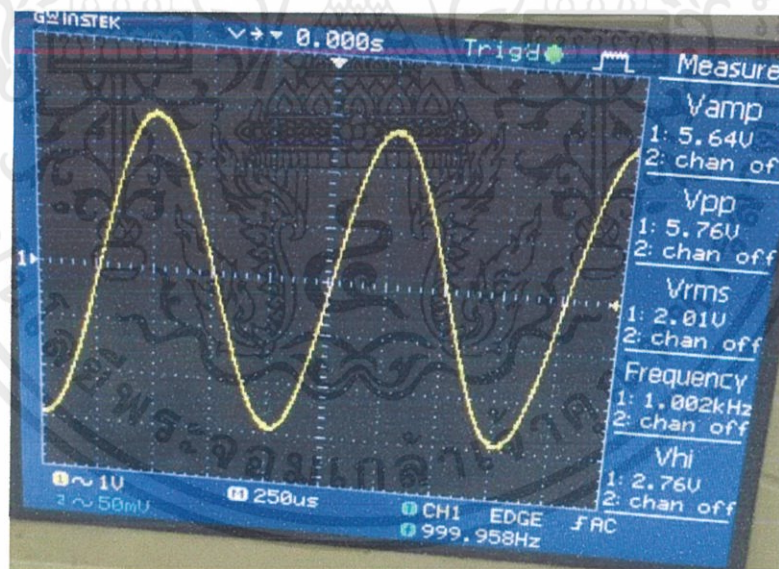


รูปที่ 4.3 แรงดันเอาต์พุตวงจร Pre-Amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

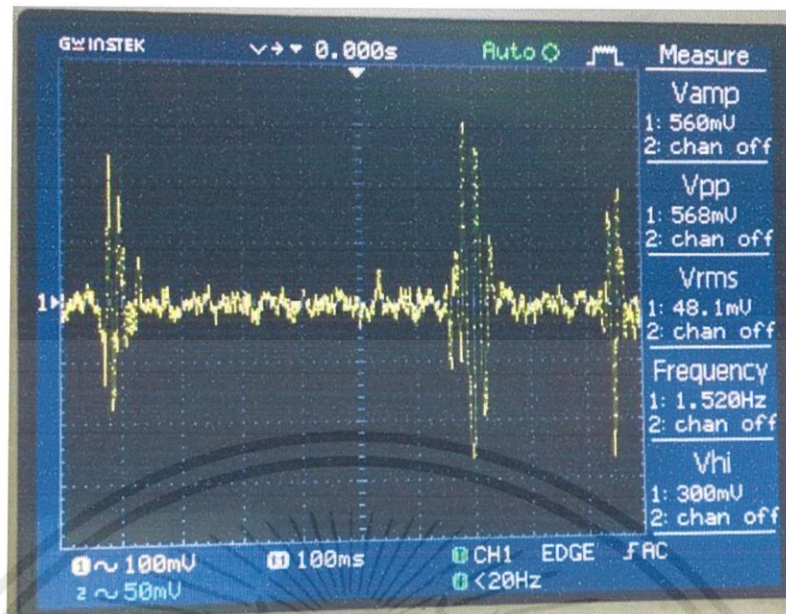


รูปที่ 4.4 แรงดันเอาต์พุตวงจร Low Pass Filter



รูปที่ 4.5 แรงดันเอาต์พุตวงจร Power-Amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียงหัวใจขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบวงจรเครื่องฟังเสียงหัวใจเมื่อจ่ายอินพุตจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ขนาดโวลต์ วงจรก่อนการขยายแรงดันขยายแรงดันจาก 300 มิลลิโวลต์ ไปเป็น 304 มิลลิโวลต์ ในส่วนของวงจรกรอง ความถี่ต่ำผ่านสามารถกรองความถี่ได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจร ต่อไปคือวงจรขยายแรงดันสามารถขยายแรงดันจาก 208 มิลลิโวลต์ ไปเป็น 5.76 โวลต์ เมื่อใช้อินพุตเป็น ไมโครโฟนระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค เอาท์พุตของวงจรแสดงดังรูป 4.6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเดินของหัวใจ และเมื่อใช้หูฟังขนาดมิลลิเมตร 3.5 สามารถฟังเสียงหัวใจได้

#### 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง อัตราขยายของวงจรมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่คำนวณทางทฤษฎีเนื่องจากการ ออกแบบวงจรบนบอร์ด ค่าความต้านทานที่มีค่าความคลาดเคลื่อน เสียงที่ได้ยินผ่านหูฟัง มิลลิเมตรยังมี 3.5 เสียงอื่นรบกวน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Charles K Alexander; Matthew N O Sadiku. 2017. **Fundamentals of Electric Circuits**. 6<sup>th</sup>. : McGraw Hill Education
- [2] “Non-inverting Operational Amplifier” (ระบบออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <https://www.electronics-tutorials.ws/opamp.html> 18 มกราคม 2562
- [3] Arvin Gabel Jacob Millman. **Microelectronic**. 1<sup>st</sup>. : McGraw Hill Education
- [4] “Active Filter Design” (ระบบออนไลน์).  
แหล่งที่มา: <http://www.simonbramble.co.uk/techarticles/activefilters/activefilterdesign.html> 1 กุมภาพันธ์ 2562
- [5] “Dc offset voltages in an operational amplifier” (ระบบออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <http://www.signalpro.biz/dcoffset.pdf> 5 กุมภาพันธ์ 2562
- [6] “2<sup>nd</sup> Order RC filter Design tools” (ระบบออนไลน์)  
แหล่งที่มา: <http://sim.okawa-denshi.jp/en/RCRCkeisanst.htm> 10 กุมภาพันธ์ 2562
- [7] “Basic principles of MEMS microphones” (ระบบออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <https://www.edn.com/design/analog/4430264/Basic-principles-of-MEMS-microphones-> 16 กุมภาพันธ์ 2562



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NE5532x, SA5532x Dual Low-Noise Operational Amplifiers

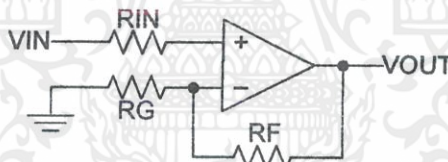
### 1 Features

- Equivalent Input Noise Voltage: 5 nV/√Hz Typ at 1 kHz
- Unity-Gain Bandwidth: 10 MHz Typ
- Common-Mode Rejection Ratio: 100 dB Typ
- High DC Voltage Gain: 100 V/mV Typ
- Peak-to-Peak Output Voltage Swing 26 V Typ With  $V_{CC\pm} = \pm 15$  V and  $R_L = 600 \Omega$
- High Slew Rate: 9 V/μs Typ

### 2 Applications

- AV Receivers
- Embedded PCs
- Netbooks
- Video Broadcasting and Infrastructure: Scalable Platforms
- DVD Recorders and Players
- Multichannel Video Transcoders
- Pro Audio Mixers

### 4 Simplified Schematic



### 3 Description

The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices are high-performance operational amplifiers combining excellent DC and AC characteristics. They feature very low noise, high output-drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, high slew rate, input-protection diodes, and output short-circuit protection. These operational amplifiers are compensated internally for unity-gain operation. These devices have specified maximum limits for equivalent input noise voltage.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE (NOM)
NE5532x, SA5532x	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
NE5532x, SA5532x	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
NE5532x	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Table of Contents

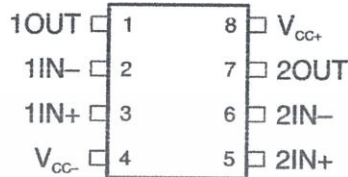
<b>1 Features</b> .....	1	8.2 Functional Block Diagram .....	7
<b>2 Applications</b> .....	1	8.3 Feature Description .....	7
<b>3 Description</b> .....	1	8.4 Device Functional Modes .....	7
<b>4 Simplified Schematic</b> .....	1	<b>9 Application and Implementation</b> .....	8
<b>5 Revision History</b> .....	2	9.1 Typical Application .....	8
<b>6 Pin Configuration and Functions</b> .....	3	<b>10 Power Supply Recommendations</b> .....	11
<b>7 Specifications</b> .....	4	<b>11 Layout</b> .....	11
7.1 Absolute Maximum Ratings .....	4	11.1 Layout Guidelines .....	11
7.2 ESD Ratings .....	4	11.2 Layout Example .....	11
7.3 Recommended Operating Conditions .....	4	<b>12 Device and Documentation Support</b> .....	13
7.4 Thermal Information .....	4	12.1 Related Links .....	13
7.5 Electrical Characteristics .....	5	12.2 Trademarks .....	13
7.6 Operating Characteristics .....	5	12.3 Electrostatic Discharge Caution .....	13
7.7 Typical Characteristics .....	6	12.4 Glossary .....	13
<b>8 Detailed Description</b> .....	7	<b>13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information</b> .....	13
8.1 Overview .....	7		

## 5 Revision History

Changes from Revision I (April 2009) to Revision J	Page
• Added <i>Applications</i> , <i>Device Information</i> table, <i>Pin Functions</i> table, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Thermal Information</i> table, <i>Typical Characteristics</i> , <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section .....	1
• Deleted <i>Ordering Information</i> table. ....	1

## 6 Pin Configuration and Functions

**NE5532, NE5532A . . . D, P, OR PS PACKAGE  
SA5532, SA5532A . . . D OR P PACKAGE  
(TOP VIEW)**



### Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN+	3	I	Noninverting input
1IN-	2	I	Inverting Input
OUT1	1	O	Output
2IN+	5	I	Noninverting input
2IN-	6	I	Inverting Input
2OUT	7	O	Output
VCC+	8	—	Positive Supply
VCC-	4	—	Negative Supply

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

		MIN	MAX	UNIT	
V <sub>CC</sub>	Supply voltage <sup>(2)</sup>	V <sub>CC+</sub>	0	22	V
		V <sub>CC-</sub>	-22	0	V
	Input voltage, either input <sup>(2)(3)</sup>	V <sub>CC-</sub>	V <sub>CC+</sub>	V	
	Input current <sup>(4)</sup>	-10	10	mA	
	Duration of output short circuit <sup>(5)</sup>	Unlimited			
T <sub>J</sub>	Operating virtual-junction temperature	150		°C	
T <sub>stg</sub>	Storage temperature range	-65	150	°C	

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V<sub>CC+</sub> and V<sub>CC-</sub>.
- (3) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage.
- (4) Excessive input current will flow if a differential input voltage in excess of approximately 0.6 V is applied between the inputs, unless some limiting resistance is used.
- (5) The output may be shorted to ground or either power supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure the maximum dissipation rating is not exceeded.

### 7.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT	
V <sub>(ESD)</sub>	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>	2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>	1000	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V <sub>CC+</sub>	Supply voltage	5	15	V	
V <sub>CC-</sub>	Supply voltage	-5	-15	V	
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	NE5532, NE5532A	0	70	°C
		SA5532, SA5532A	-40	85	

### 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A			UNIT	
	D	P	PS		
	8 PINS				
R <sub>θJA</sub>	Junction-to-ambient thermal resistance <sup>(2)(3)</sup>	97	85	95	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).
- (2) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
- (3) Maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>A</sub>) / θ<sub>JA</sub>. Operating at the absolute maximum T<sub>J</sub> of 150°C can affect reliability.

## 7.5 Electrical Characteristics

 $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>		MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{IO}$	Input offset voltage	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5	4		mV
			$T_A = \text{Full range}^{(2)}$			5	
$I_{IO}$	Input offset current		$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	150		nA
			$T_A = \text{Full range}^{(2)}$			200	
$I_{IB}$	Input bias current		$T_A = 25^\circ\text{C}$	200	800		nA
			$T_A = \text{Full range}^{(2)}$			1000	
$V_{ICR}$	Common-mode input-voltage range			$\pm 12$	$\pm 13$		V
$V_{OPP}$	Maximum peak-to-peak output-voltage swing	$R_L \geq 600\ \Omega$ , $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$		24	26		V
$A_{VD}$	Large-signal differential-voltage amplification	$R_L \geq 600\ \Omega$ , $V_O = \pm 10\text{ V}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	15	50		V/mV
			$T_A = \text{Full range}^{(2)}$	10			
		$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_O = \pm 10\text{ V}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	25	100		
			$T_A = \text{Full range}^{(2)}$	15			
$A_{vd}$	Small-signal differential-voltage amplification	$f = 10\text{ kHz}$		2.2		V/mV	
$B_{OM}$	Maximum output-swing bandwidth	$R_L = 600\ \Omega$ , $V_O = \pm 10\text{ V}$		140			kHz
$B_1$	Unity-gain bandwidth	$R_L = 600\ \Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$		10			MHz
$r_i$	Input resistance			30	300		k $\Omega$
$Z_o$	Output impedance	$A_{VD} = 30\text{ dB}$ , $R_L = 600\ \Omega$ , $f = 10\text{ kHz}$		0.3			$\Omega$
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR\text{ min}}$		70	100		dB
$k_{SVR}$	Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$ )	$V_{CC\pm} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$ , $V_O = 0$		80	100		dB
$I_{OS}$	Output short-circuit current			10	38	60	mA
$I_{CC}$	Total supply current	$V_O = 0$ , No load			8	16	mA
	Crosstalk attenuation ( $V_{O1}/V_{O2}$ )	$V_{O1} = 10\text{ V peak}$ , $f = 1\text{ kHz}$			110		dB

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

(2) Full temperature ranges are:  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  for the SA5532 and SA5532A devices, and  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$  for the NE5532 and NE5532A devices.

## 7.6 Operating Characteristics

 $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE5532, SA5532			NE5532A, SA5532A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR	Slew rate at unity gain		9			9		V/ $\mu\text{s}$
	Overshoot factor	$V_I = 100\text{ mV}$ , $R_L = 600\ \Omega$ , $A_{VD} = 1$ , $C_L = 100\text{ pF}$		10		10		%
$V_n$	Equivalent input noise voltage	$f = 30\text{ Hz}$		8		8	10	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 1\text{ kHz}$		5		5	6	
$I_n$	Equivalent input noise current	$f = 30\text{ Hz}$		2.7		2.7		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 1\text{ kHz}$		0.7		0.7		

### 7.7 Typical Characteristics

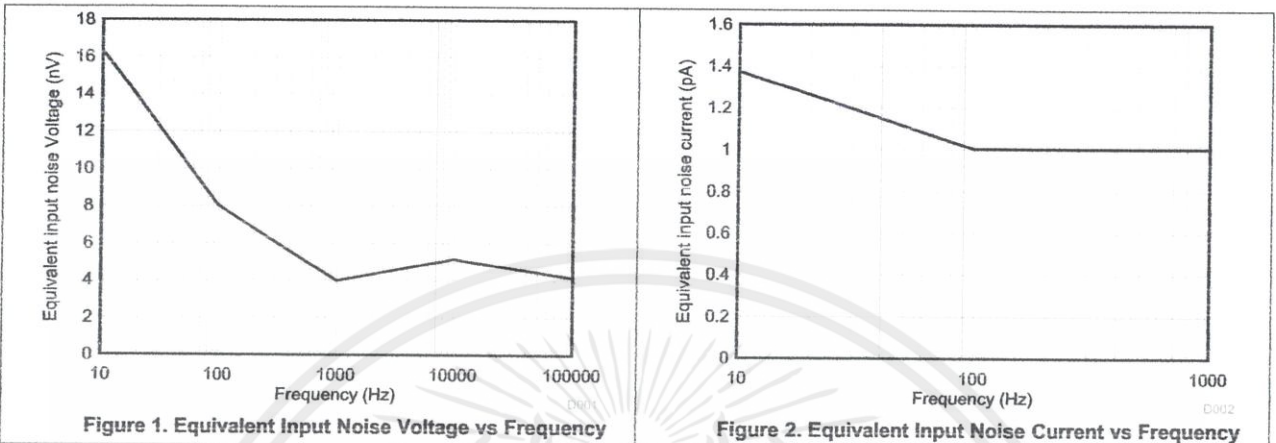


Figure 1. Equivalent Input Noise Voltage vs Frequency

Figure 2. Equivalent Input Noise Current vs Frequency

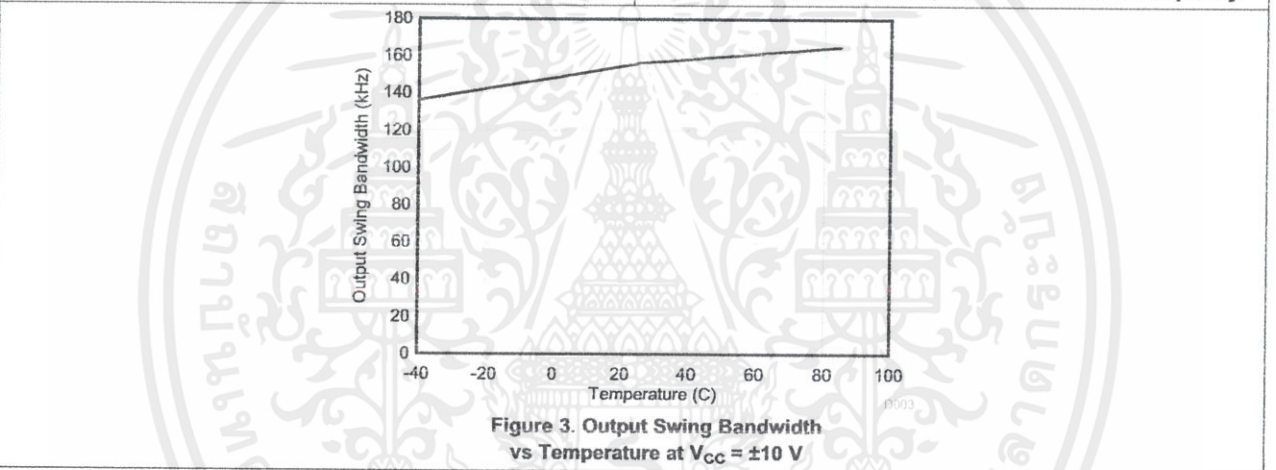


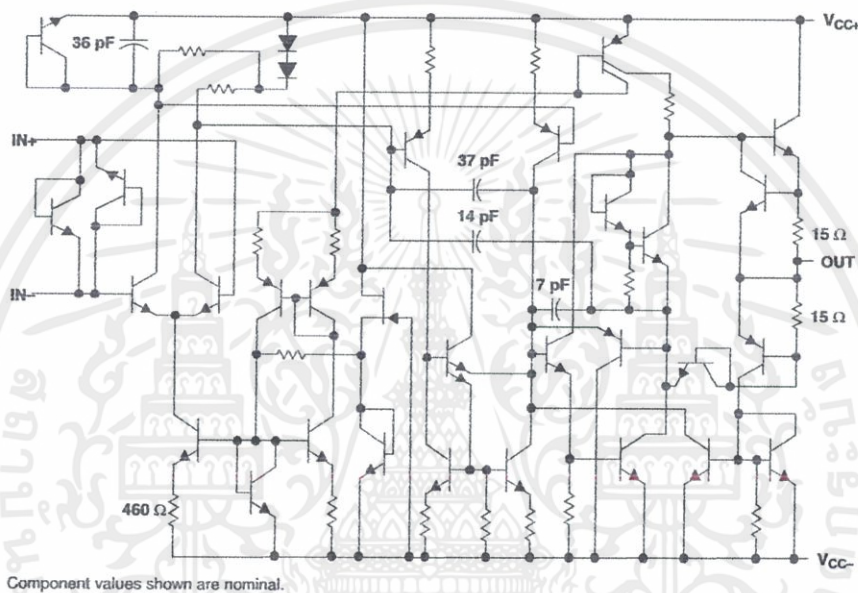
Figure 3. Output Swing Bandwidth vs Temperature at  $V_{CC} = \pm 10\text{ V}$

## 8 Detailed Description

### 8.1 Overview

The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices are high-performance operational amplifiers combining excellent dc and ac characteristics. They feature very low noise, high output-drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, high slew rate, input-protection diodes, and output short-circuit protection. These operational amplifiers are compensated internally for unity-gain operation. These devices have specified maximum limits for equivalent input noise voltage.

### 8.2 Functional Block Diagram



### 8.3 Feature Description

#### 8.3.1 Unity-Gain Bandwidth

The unity-gain bandwidth is the frequency up to which an amplifier with a unity gain may be operated without greatly distorting the signal. The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices have a 10-MHz unity-gain bandwidth.

#### 8.3.2 Common-Mode Rejection Ratio

The common-mode rejection ratio (CMRR) of an amplifier is a measure of how well the device rejects unwanted input signals common to both input leads. It is found by taking the ratio of the change in input offset voltage to the change in the input voltage and converting to decibels. Ideally the CMRR would be infinite, but in practice, amplifiers are designed to have it as high as possible. The CMRR of the NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices is 100 dB.

#### 8.3.3 Slew Rate

The slew rate is the rate at which an operational amplifier can change its output when there is a change on the input. The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices have a 9-V/ms slew rate.

### 8.4 Device Functional Modes

The NE5532, NE5532A, SA5532, and SA5532A devices are powered on when the supply is connected. Each of these devices can be operated as a single supply operational amplifier or dual supply amplifier depending on the application.

## 9 Application and Implementation

### NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

### 9.1 Typical Application

Some applications require differential signals. Figure 4 shows a simple circuit to convert a single-ended input of 2 V to 10 V into differential output of  $\pm 8$  V on a single 15-V supply. The output range is intentionally limited to maximize linearity. The circuit is composed of two amplifiers. One amplifier acts as a buffer and creates a voltage,  $V_{OUT+}$ . The second amplifier inverts the input and adds a reference voltage to generate  $V_{OUT-}$ . Both  $V_{OUT+}$  and  $V_{OUT-}$  range from 2 V to 10 V. The difference,  $V_{DIFF}$ , is the difference between  $V_{OUT+}$  and  $V_{OUT-}$ .

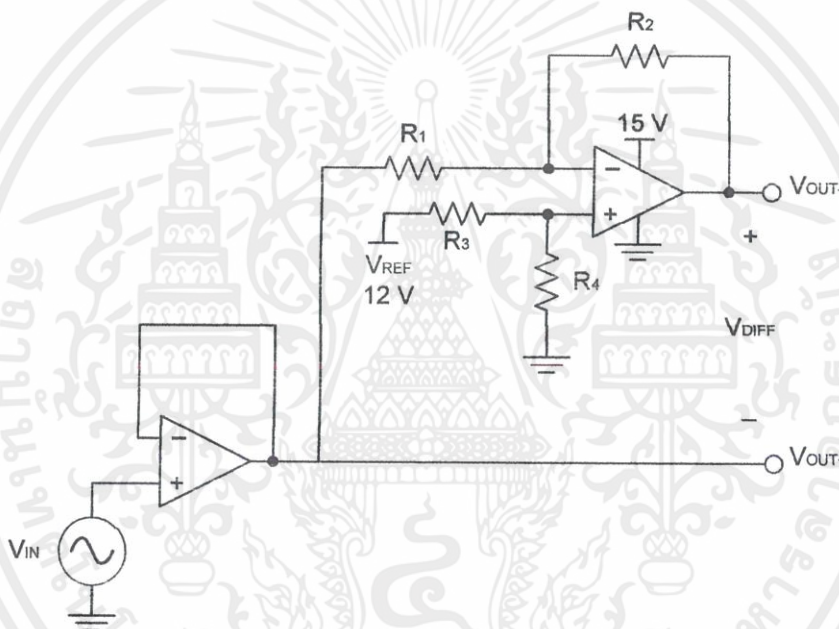


Figure 4. Schematic for Single-Ended Input to Differential Output Conversion

#### 9.1.1 Design Requirements

The design requirements are as follows:

- Supply voltage: 15 V
- Reference voltage: 12 V
- Input: 2 V to 10 V
- Output differential:  $\pm 8$  V

## Typical Application (continued)

### 9.1.2 Detailed Design Procedure

The circuit in Figure 4 takes a single-ended input signal,  $V_{IN}$ , and generates two output signals,  $V_{OUT+}$  and  $V_{OUT-}$  using two amplifiers and a reference voltage,  $V_{REF}$ .  $V_{OUT+}$  is the output of the first amplifier and is a buffered version of the input signal,  $V_{IN}$  Equation 1.  $V_{OUT-}$  is the output of the second amplifier which uses  $V_{REF}$  to add an offset voltage to  $V_{IN}$  and feedback to add inverting gain. The transfer function for  $V_{OUT-}$  is Equation 2.

$$V_{OUT+} = V_{IN} \quad (1)$$

$$V_{OUT-} = V_{REF} \times \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \times \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{IN} \times \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

The differential output signal,  $V_{DIFF}$ , is the difference between the two single-ended output signals,  $V_{OUT+}$  and  $V_{OUT-}$ . Equation 3 shows the transfer function for  $V_{DIFF}$ . By applying the conditions that  $R_1 = R_2$  and  $R_3 = R_4$ , the transfer function is simplified into Equation 6. Using this configuration, the maximum input signal is equal to the reference voltage and the maximum output of each amplifier is equal to the  $V_{REF}$ . The differential output range is  $2 \times V_{REF}$ . Furthermore, the common mode voltage will be one half of  $V_{REF}$  (see Equation 7).

$$V_{DIFF} = V_{OUT+} - V_{OUT-} = V_{IN} \times \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{REF} \times \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \times \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3)$$

$$V_{OUT+} = V_{IN} \quad (4)$$

$$V_{OUT-} = V_{REF} - V_{IN} \quad (5)$$

$$V_{DIFF} = 2 \times V_{IN} - V_{REF} \quad (6)$$

$$V_{cm} = \left( \frac{V_{OUT+} + V_{OUT-}}{2} \right) = \frac{1}{2} V_{REF} \quad (7)$$

#### 9.1.2.1 Amplifier Selection

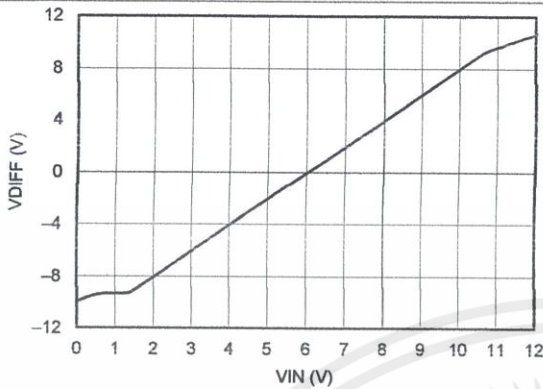
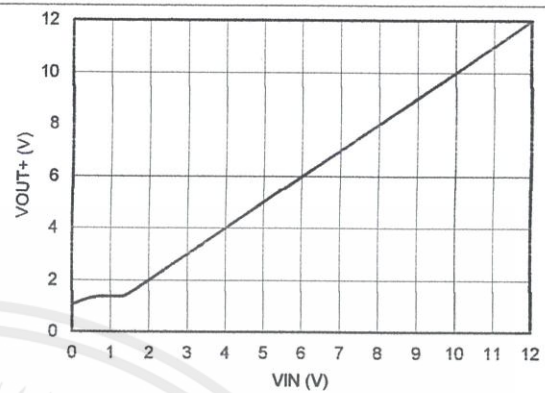
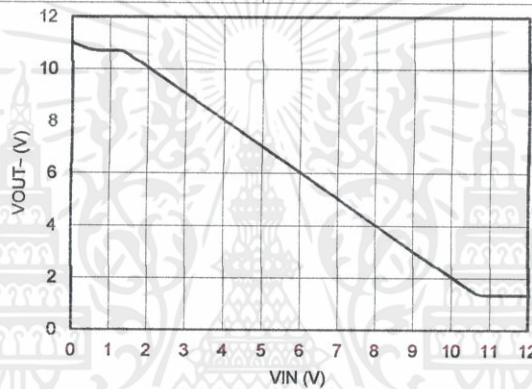
Linearity over the input range is key for good dc accuracy. The common mode input range and the output swing limitations determine the linearity. In general, an amplifier with rail-to-rail input and output swing is required. Bandwidth is a key concern for this design. Since the NE5532 has a bandwidth of 10 MHz, this circuit will only be able to process signals with frequencies of less than 10 MHz.

#### 9.1.2.2 Passive Component Selection

Because the transfer function of  $V_{OUT-}$  is heavily reliant on resistors ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , and  $R_4$ ), use resistors with low tolerances to maximize performance and minimize error. This design used resistors with resistance values of 36 k $\Omega$  with tolerances measured to be within 2%. But, if the noise of the system is a key parameter, the user can select smaller resistance values (6 k $\Omega$  or lower) to keep the overall system noise low. This ensures that the noise from the resistors is lower than the amplifier noise.

### 9.1.3 Application Curves

The measured transfer functions in Figure 5, Figure 6, and Figure 7 were generated by sweeping the input voltage from 0 V to 12V. However, this design should only be used between 2 V and 10 V for optimum linearity.

**Typical Application (continued)**

**Figure 5. Differential Output Voltage vs Input Voltage**

**Figure 6. Positive Output Voltage Node vs Input Voltage**

**Figure 7. Positive Output Voltage Node vs Input Voltage**

## 10 Power Supply Recommendations

The NE5532x and SA5532x devices are specified for operation over the range of  $\pm 5$  to  $\pm 15$  V; many specifications apply from  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$  (NE5532x) and  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  (SA5532x). The *Typical Characteristics* section presents parameters that can exhibit significant variance with regard to operating voltage or temperature.

### CAUTION

Supply voltages outside of the  $\pm 22$  V range can permanently damage the device (see the *Absolute Maximum Ratings*).

Place  $0.1\text{-}\mu\text{F}$  bypass capacitors close to the power-supply pins to reduce errors coupling in from noisy or high impedance power supplies. For more detailed information on bypass capacitor placement, refer to the *Layout Guidelines*.

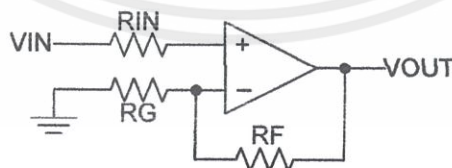
## 11 Layout

### 11.1 Layout Guidelines

For best operational performance of the device, use good PCB layout practices, including:

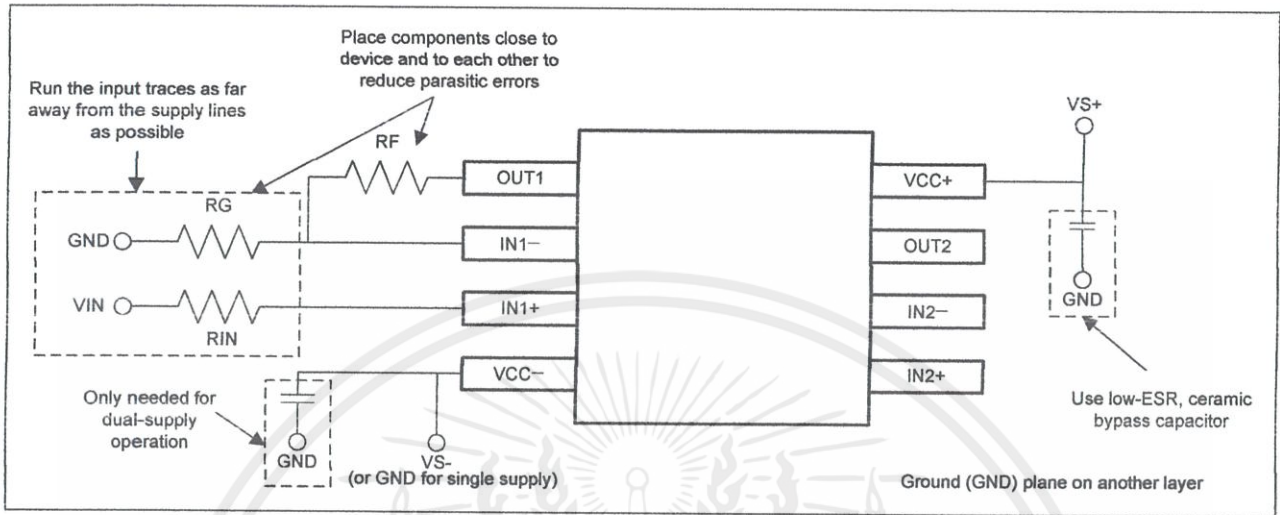
- Noise can propagate into analog circuitry through the power pins of the circuit as a whole and the operational amplifier. Bypass capacitors are used to reduce the coupled noise by providing low impedance power sources local to the analog circuitry.
  - Connect low-ESR,  $0.1\text{-}\mu\text{F}$  ceramic bypass capacitors between each supply pin and ground, placed as close to the device as possible. A single bypass capacitor from  $V+$  to ground is applicable for single supply applications.
- Separate grounding for analog and digital portions of circuitry is one of the simplest and most-effective methods of noise suppression. One or more layers on multilayer PCBs are usually devoted to ground planes. A ground plane helps distribute heat and reduces EMI noise pickup. Make sure to physically separate digital and analog grounds, paying attention to the flow of the ground current. For more detailed information, refer to Circuit Board Layout Techniques, [SLOA089](#).
- To reduce parasitic coupling, run the input traces as far away from the supply or output traces as possible. If it is not possible to keep them separate, it is much better to cross the sensitive trace perpendicular as opposed to in parallel with the noisy trace.
- Place the external components as close to the device as possible. Keeping  $R_F$  and  $R_G$  close to the inverting input minimizes parasitic capacitance, as shown in *Layout Example*.
- Keep the length of input traces as short as possible. Always remember that the input traces are the most sensitive part of the circuit.
- Consider a driven, low-impedance guard ring around the critical traces. A guard ring can significantly reduce leakage currents from nearby traces that are at different potentials.

### 11.2 Layout Example



**Figure 8. Operational Amplifier Schematic for Noninverting Configuration**

**Layout Example (continued)**



**Figure 9. Operational Amplifier Board Layout for Noninverting Configuration**

## 12 Device and Documentation Support

### 12.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

**Table 1. Related Links**

Parts	Product Folder	Sample & Buy	Technical Documents	Tools & Software	Support & Community
NE5532	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>
NE5532A	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>
SA5532	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>
SA5532A	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>	<a href="#">Click here</a>

### 12.2 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

### 12.3 Electrostatic Discharge Caution



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

### 12.4 Glossary

[SLYZ022](#) — *Ti Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms and definitions.

## 13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical packaging and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser based versions of this data sheet, refer to the left hand navigation.

## PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
NE5532AD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532ADR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532AP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	NE5532AP	<a href="#">Samples</a>
NE5532APE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	NE5532AP	<a href="#">Samples</a>
NE5532APSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532APSR4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532A	<a href="#">Samples</a>
NE5532D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532	<a href="#">Samples</a>
NE5532DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU   CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532	<a href="#">Samples</a>
NE5532DRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532	<a href="#">Samples</a>
NE5532DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532	<a href="#">Samples</a>
NE5532P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU   CU SN	N / A for Pkg Type	0 to 70	NE5532P	<a href="#">Samples</a>
NE5532PE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	NE5532P	<a href="#">Samples</a>
NE5532PSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	N5532	<a href="#">Samples</a>
SA5532AD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	SA5532A	<a href="#">Samples</a>
SA5532ADG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	SA5532A	<a href="#">Samples</a>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
SA5532ADR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	SA5532A	<a href="#">Samples</a>
SA5532AP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	SA5532AP	<a href="#">Samples</a>
SA5532APE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	SA5532AP	<a href="#">Samples</a>
SA5532D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	SA5532	<a href="#">Samples</a>
SA5532DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	SA5532	<a href="#">Samples</a>
SA5532P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	SA5532P	<a href="#">Samples</a>

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSELETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".

**RoHS Exempt:** TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.

**Green:** TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) **MSL, Peak Temp.** - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

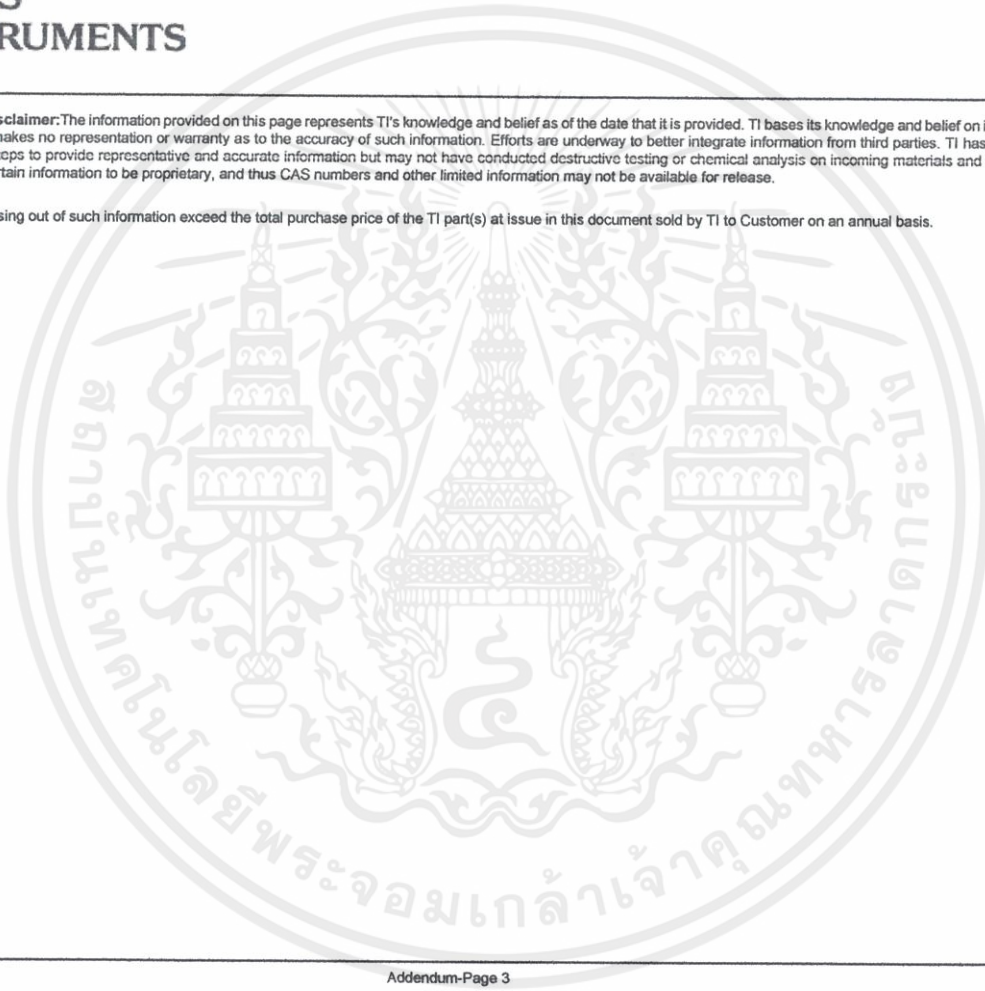
(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) **Lead/Ball Finish** - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

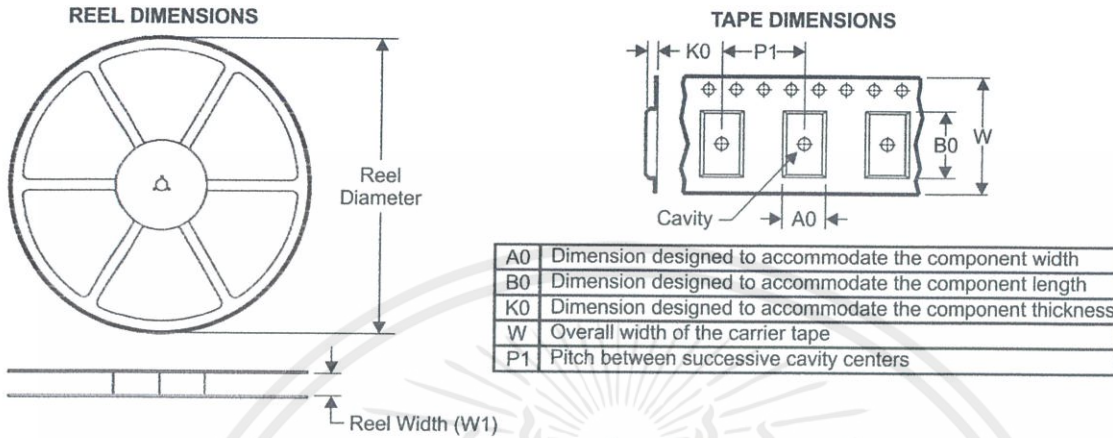
**Important Information and Disclaimer:**The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

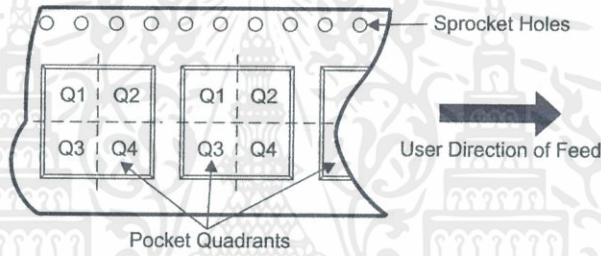


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAPE AND REEL INFORMATION



QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE

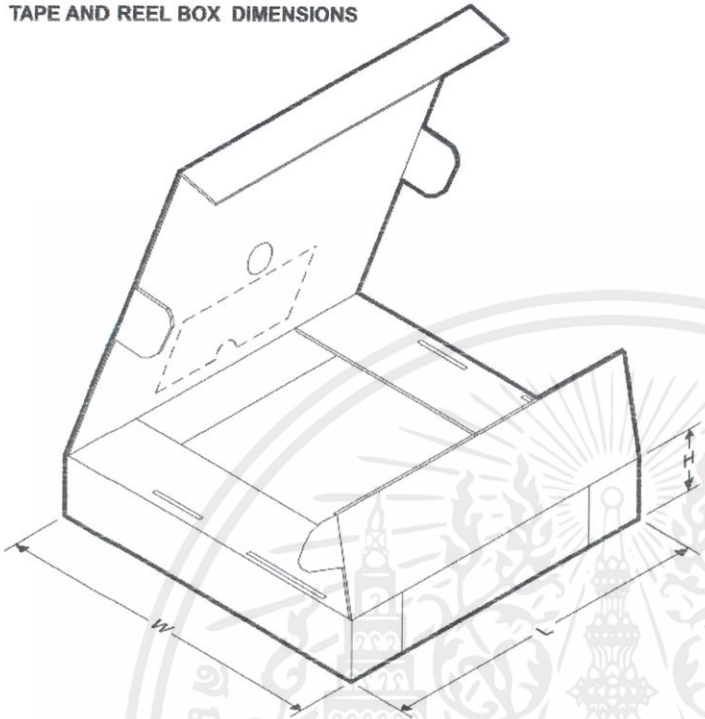


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
NE5532ADR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
NE5532DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.8	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
NE5532DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
NE5532DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SA5532ADR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
SA5532DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



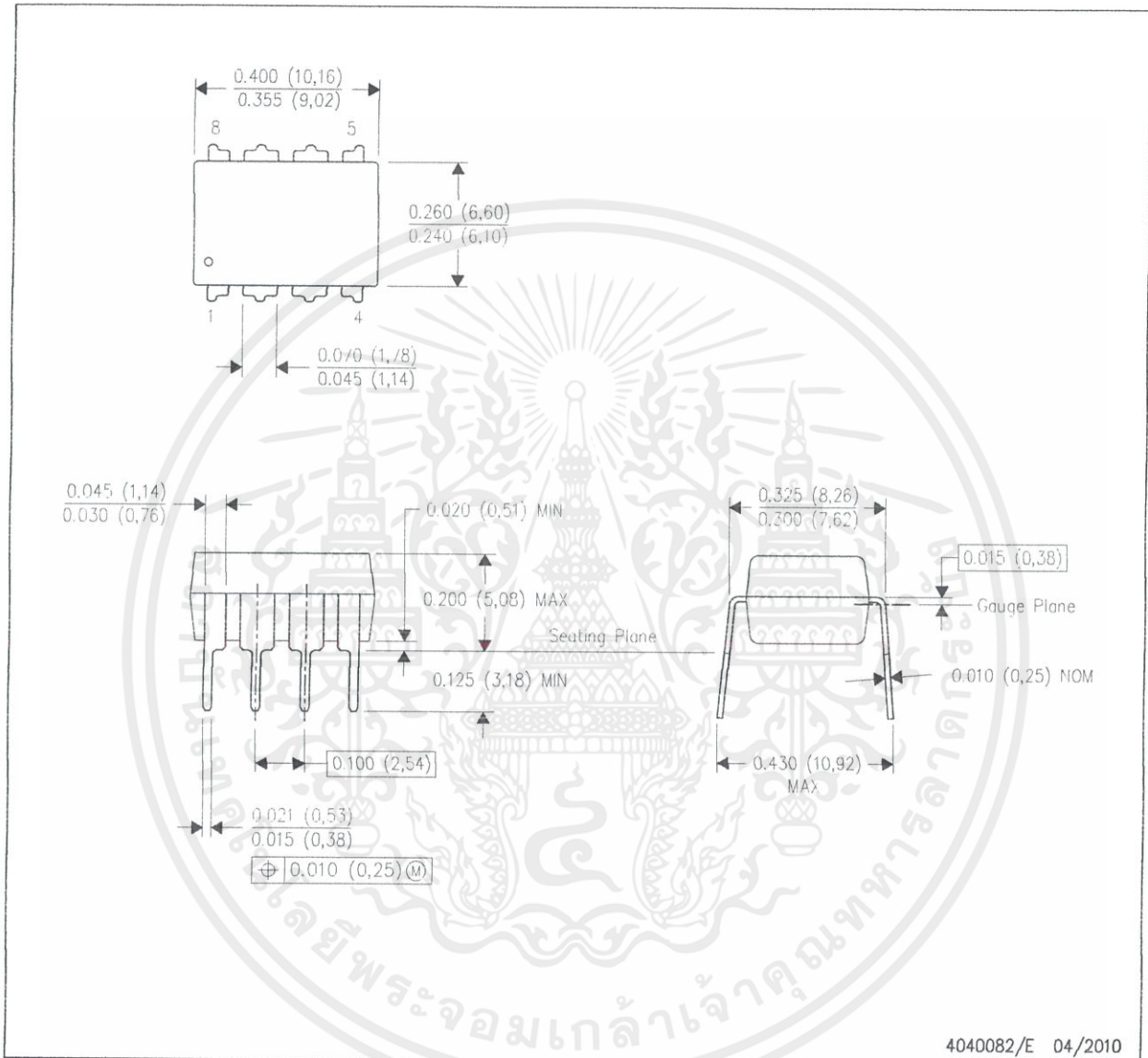
\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
NE5532ADR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
NE5532DR	SOIC	D	8	2500	364.0	364.0	27.0
NE5532DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
NE5532DRG4	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
SA5532ADR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
SA5532DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6

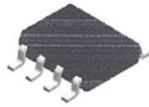
## MECHANICAL DATA

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

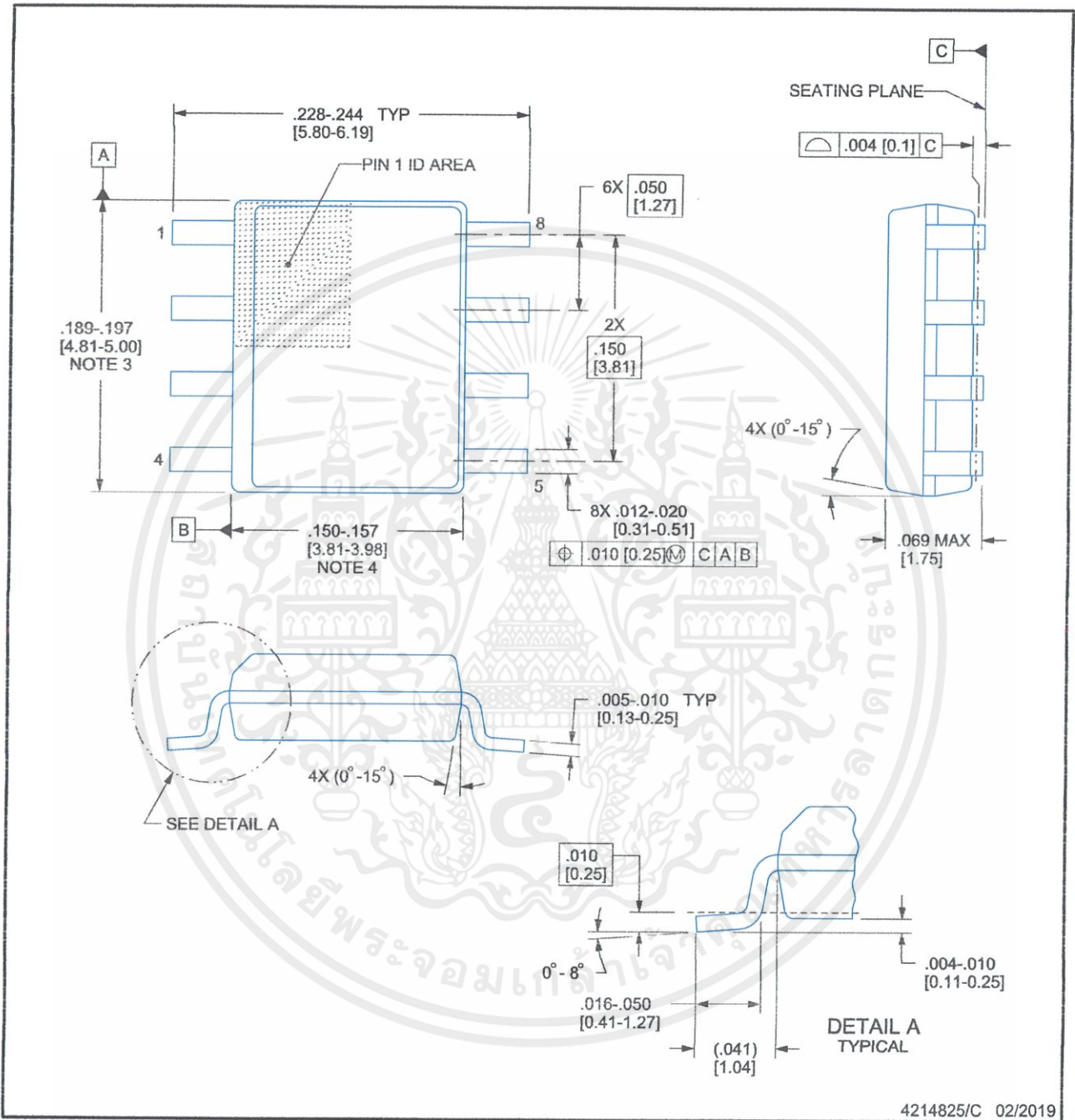


# PACKAGE OUTLINE

## D0008A

### SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



4214825/C 02/2019

#### NOTES:

1. Linear dimensions are in inches [millimeters]. Dimensions in parenthesis are for reference only. Controlling dimensions are in inches. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed .006 [0.15] per side.
4. This dimension does not include interlead flash.
5. Reference JEDEC registration MS-012, variation AA.



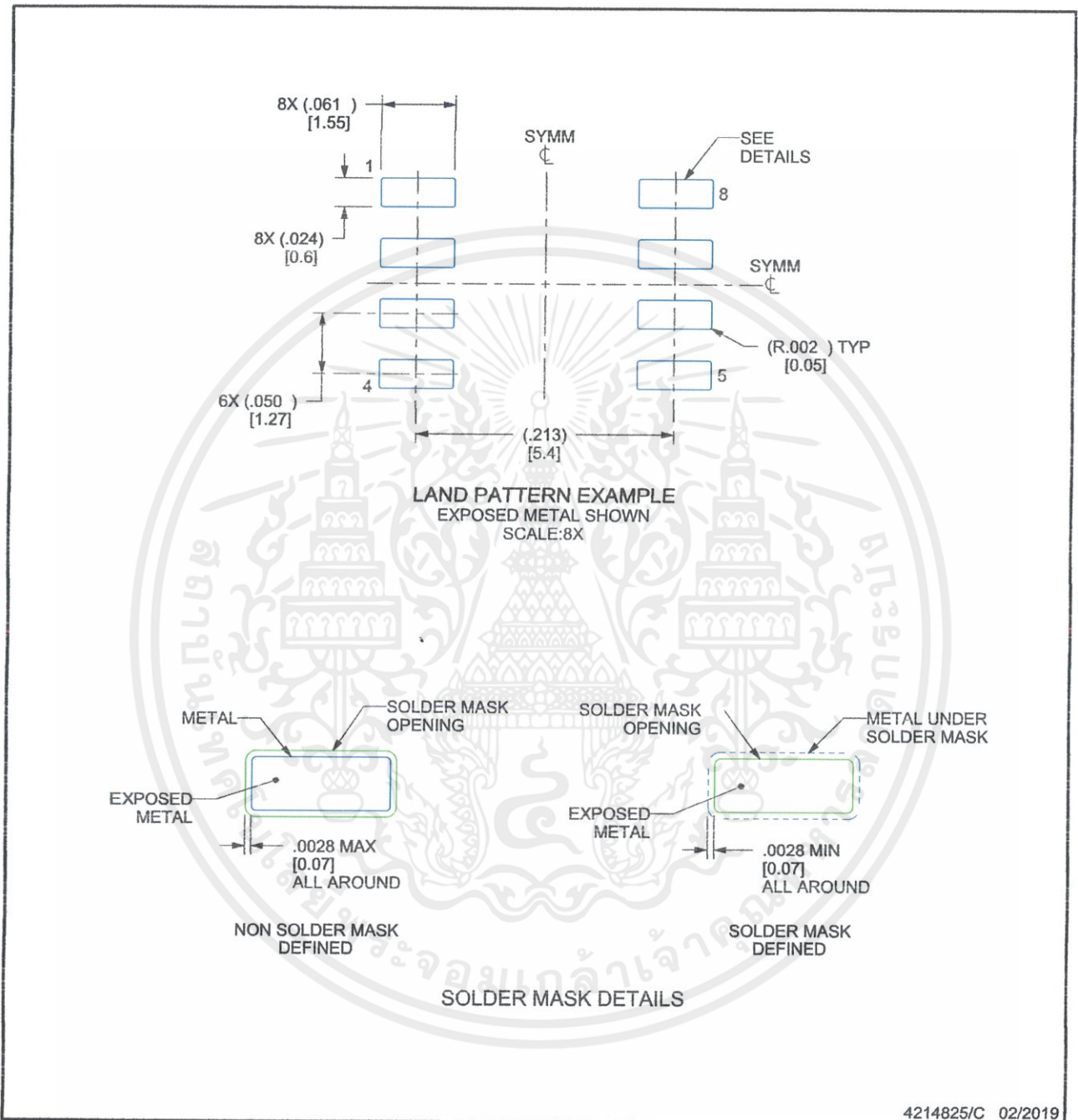
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EXAMPLE BOARD LAYOUT

D0008A

SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



4214825/C 02/2019

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

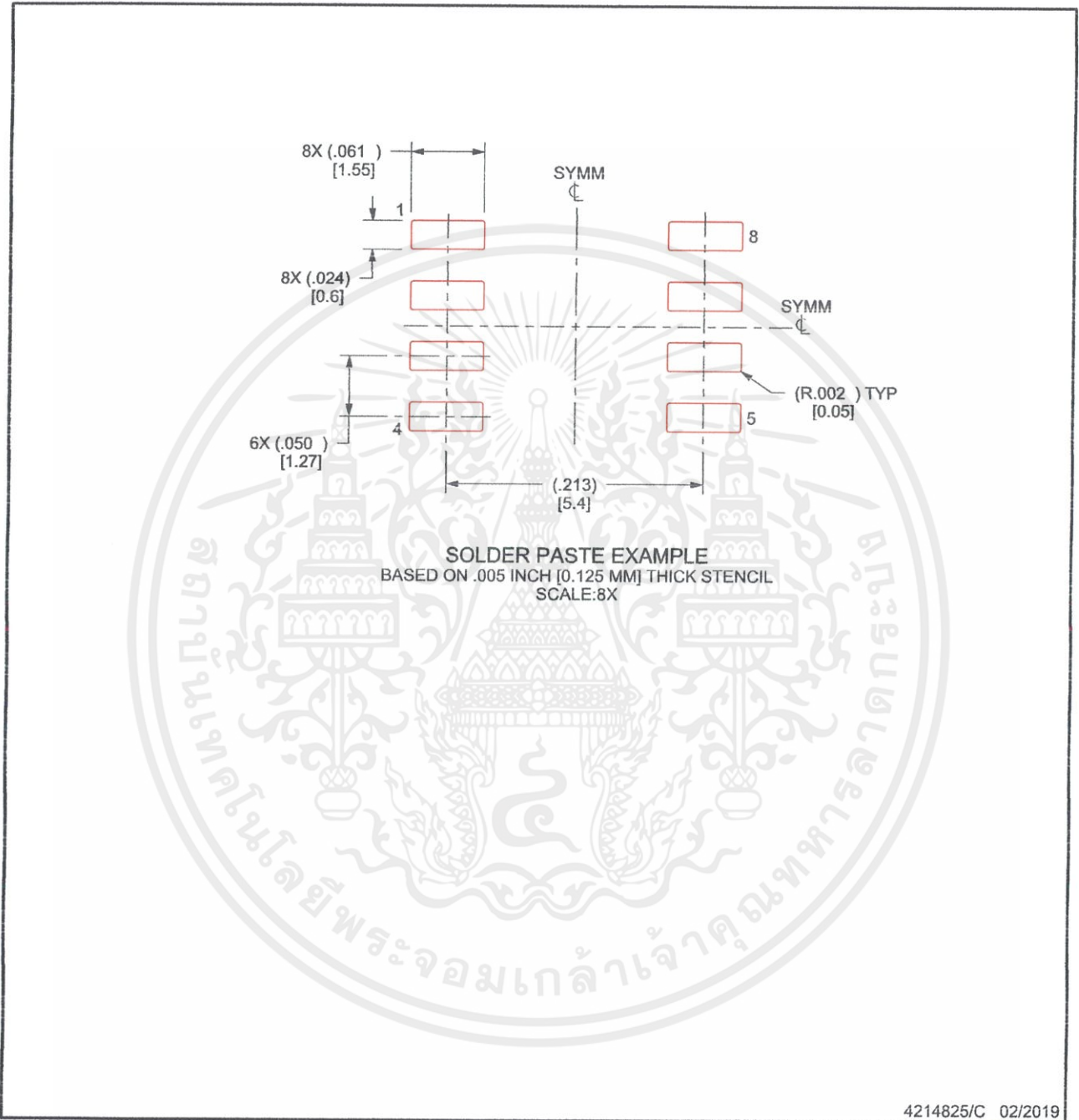
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EXAMPLE STENCIL DESIGN

D0008A

SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



4214825/C 02/2019

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

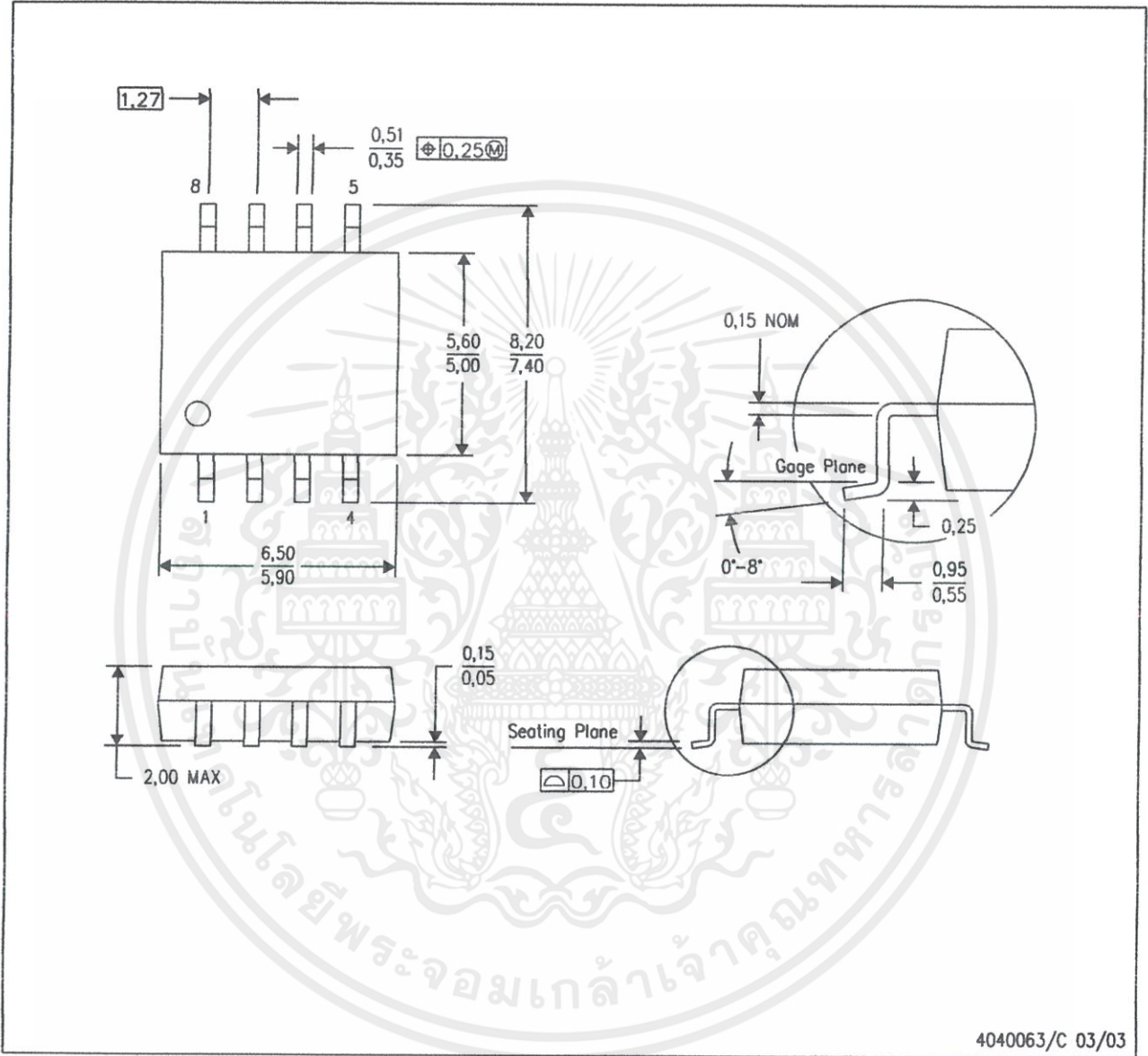


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040063/C 03/03

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

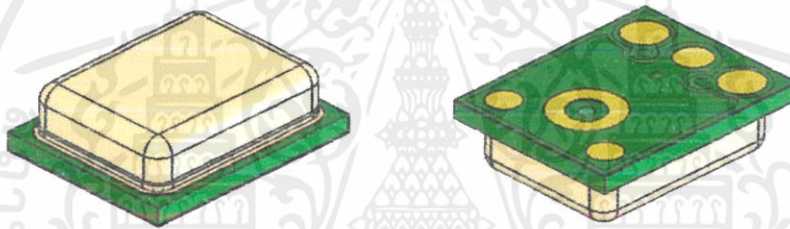
TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale ([www.ti.com/legal/termsofsale.html](http://www.ti.com/legal/termsofsale.html)) or other applicable terms available either on [ti.com](http://ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zero Height "Ultra-Mini" SiSonic™ Microphone Specification  
With MaxRF Protection and Extended Low Frequency  
Performance



**Knowles Acoustics**  
1151 Maplewood Drive  
Itasca, IL 60143

## 1. DESCRIPTION AND APPLICATION

- 1.1 DESCRIPTION Zero Height "Ultra-mini" SiSonic Microphone with Maximum RF Protection and Extended Low Frequency Performance
- 1.2 APPLICATION Consumer electronics

## 2. PART MARKING

Identification Number Convention

S	1	2	3
4	5	6	7

S: Identification Marking

"S" - Knowles SiSonic Production

"E" - Knowles Engineering Samples

Digits 1-7: Job Identification Number

## 3. MATERIALS STATEMENT

3.1 Meets the requirements of the European RoHS directive, 2002/95/EC as amended.

3.2 Meets the requirements of the industry-standard IEC 61249-2-21:2003 for halogenated substances and Knowles Green Materials Standards Policy section on Halogen-Free.

3.3 Ozone depleting substances are not used in the product or the processes used to make the product, including compounds listed in annex A, B, and C of the "Montreal Protocol on Substances that deplete the Ozone Layer."

## 4. TEMPERATURE RANGE

4.1 Operating Temperature Range: -40°C to +100°C

4.2 Storage Temperature Range: -40°C to +100°C

## 5. ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Parameter	Absolute Maximum Rating	Unit
Supply Voltage, $V_{DD}$ to Ground	-0.5, +5.0	V
OUT to Ground	-0.3, $V_{DD}+0.3$	V
Input Current to Any Pin	$\pm 5$	mA

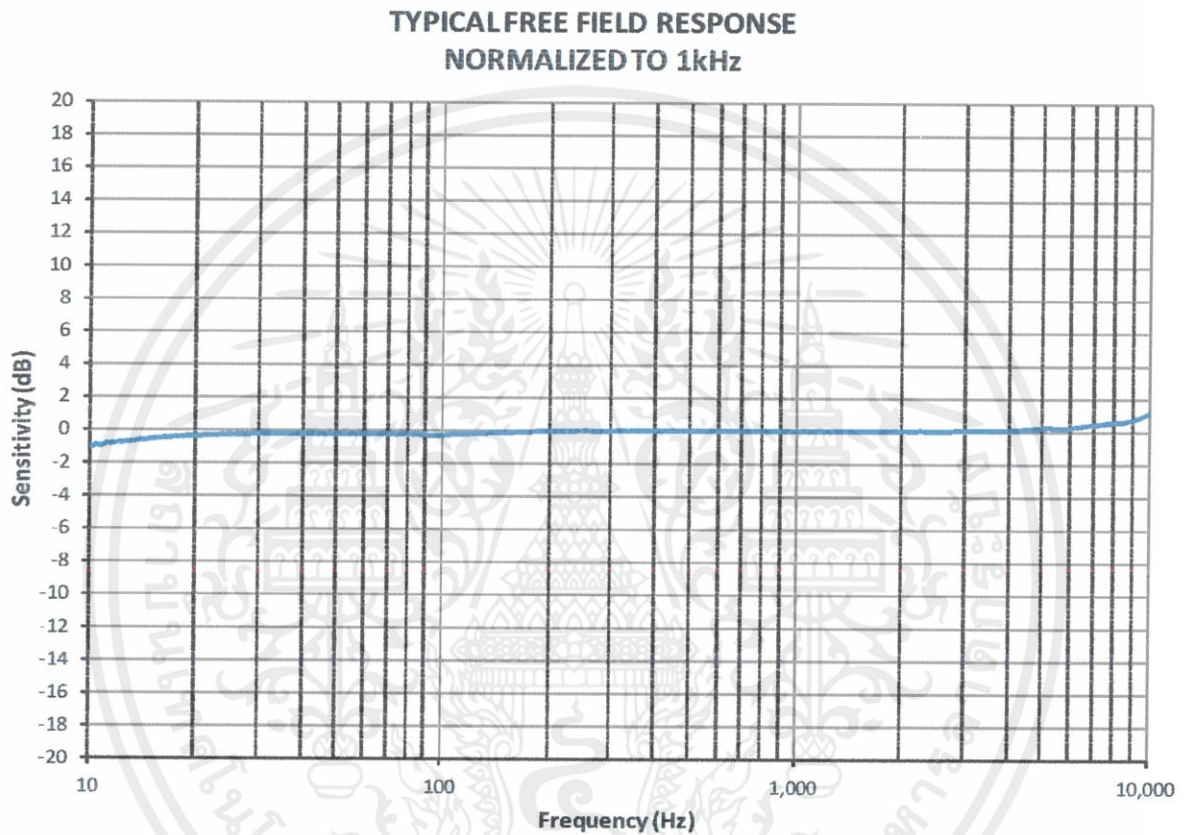
Stresses at these Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only. The device may not function when operated at these or any other conditions beyond those indicated under "Acoustic & Electrical Specifications". Exposure beyond those indicated under "Acoustic & Electrical Specifications" for extended periods may affect device reliability.

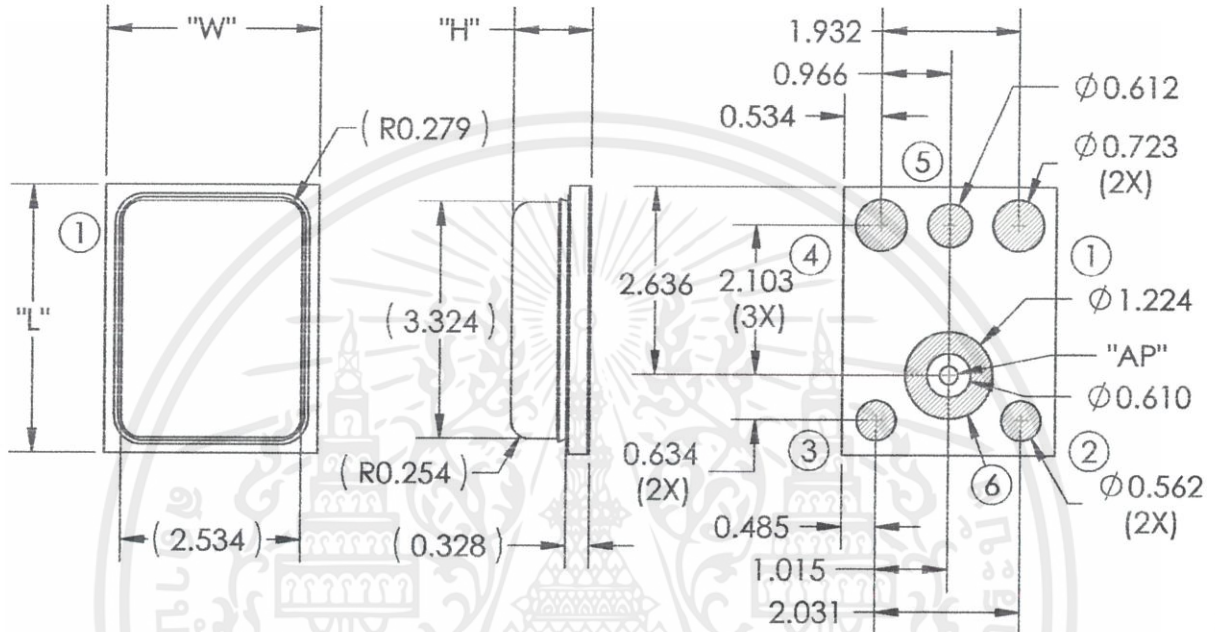
## 6. ACOUSTIC & ELECTRICAL SPECIFICATIONS

TEST CONDITIONS:  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 60-70% R.H.,  $V_{DD}(\text{min}) \leq V_{DD} \leq V_{DD}(\text{max})$ , no load, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Condition	Limits			Unit
			Min.	Nom.	Max.	
Supply Voltage <sup>1</sup>	$V_{DD}$		1.5	—	3.6	V
Current Consumption <sup>1</sup>	$I_{DD}$		—	120	160	$\mu\text{A}$
Directivity			Omni-directional			
Sensitivity <sup>1</sup>	S	94 dB SPL @ 1kHz	-41	-38	-35	dBV/Pa
Signal to Noise Ratio	SNR	94 dB SPL @ 1kHz, A-weighted	—	63	—	dB (A)
Output Impedance	$Z_{OUT}$	@ 1kHz	—	—	400	$\Omega$
Total Harmonic Distortion	THD	100 dB SPL @ 1kHz, $R_{load} > 3k\Omega$	—	—	1	%
		115 dB SPL @ 1kHz, $R_{load} > 3k\Omega$	—	—	10	%
Polarity		Increasing sound pressure	Increasing output voltage			

<sup>1</sup> 100% tested

**7. FREQUENCY RESPONSE CURVE**

**8. MECHANICAL SPECIFICATIONS**


ITEM	DIMENSION	TOLERANCE	UNITS
LENGTH (L)	3.760	±0.100	mm
WIDTH (W)	3.000	±0.100	mm
HEIGHT (H)	1.100	±0.100	mm
ACOUSTIC PORT (AP)	Ø0.25	±0.08	mm

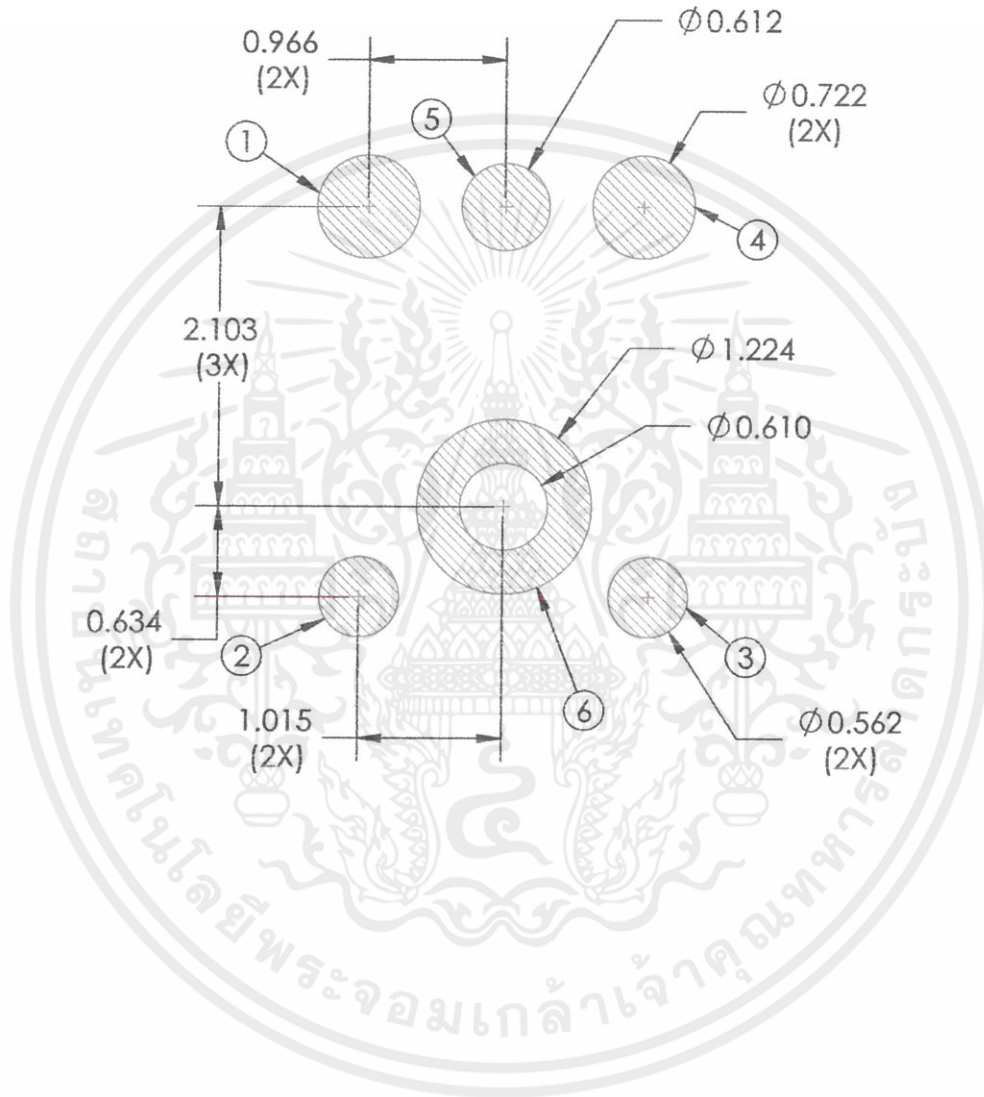
PIN OUTPUT	
PIN #	FUNCTION
1	OUTPUT
2	GROUND
3	GROUND
4	POWER (V <sub>DD</sub> )
5	GROUND
6	GROUND

**Note:**

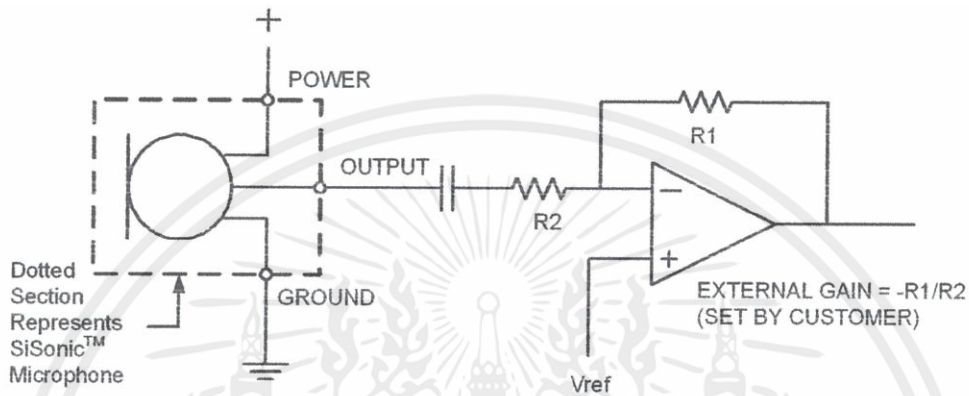
**Dimensions are in millimeters unless otherwise specified.**

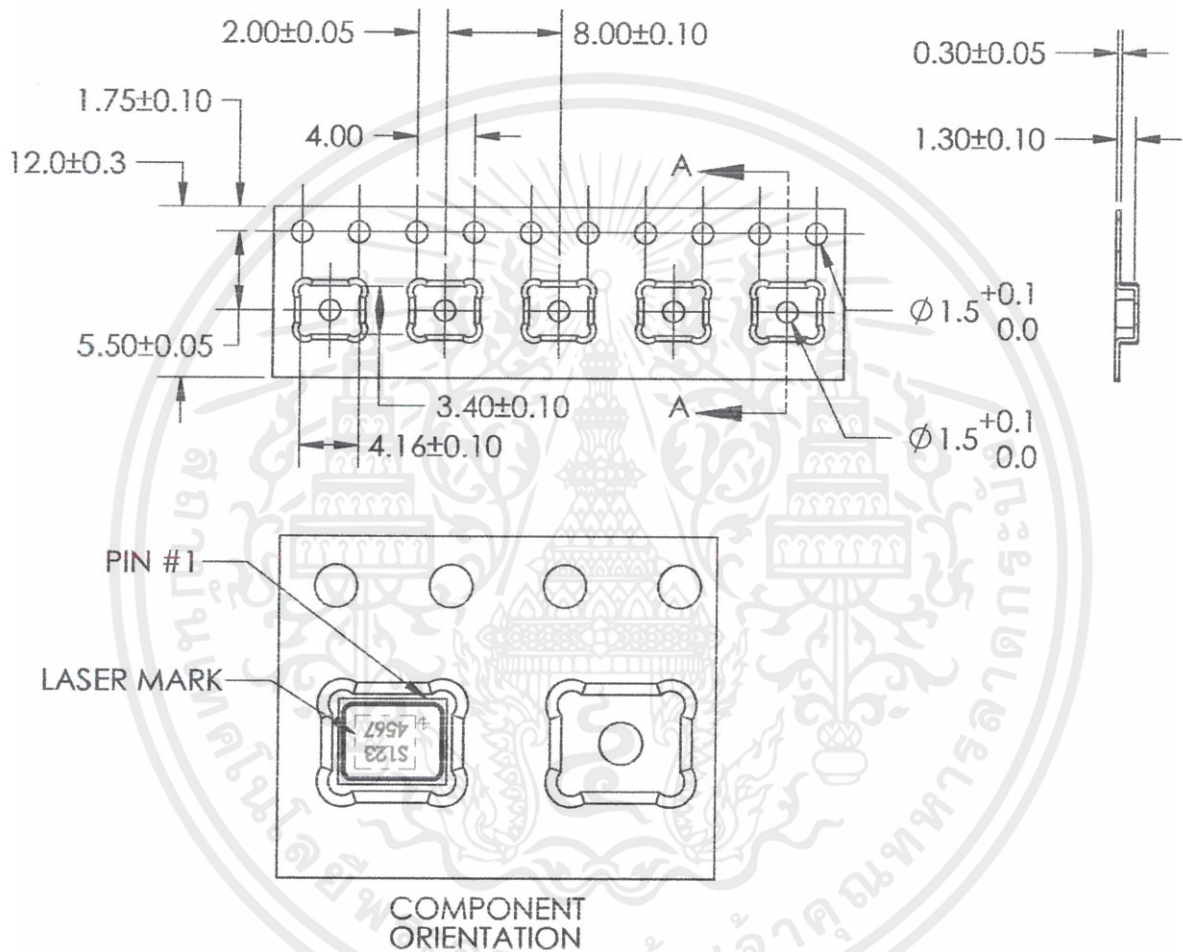
**Tolerance ±0.15mm unless otherwise specified.**

9. RECOMMENDED CUSTOMER LAND PATTERN



Note: For solder stencil information please contact Knowles.

**10. RECOMMENDED INTERFACE CIRCUIT**


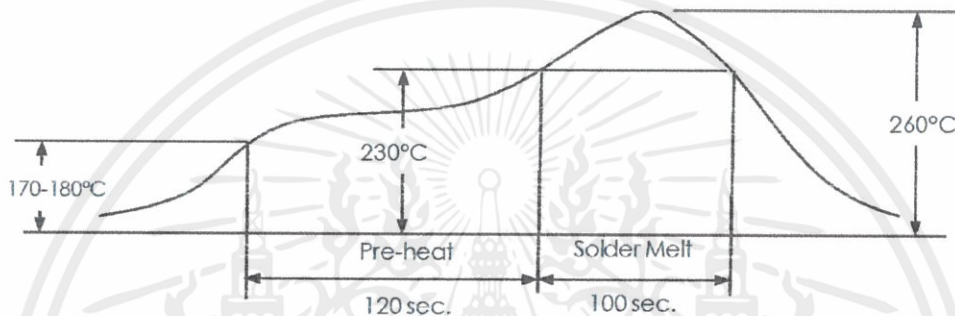
**11. PACKAGING DETAIL**


MODEL NUMBER	SUFFIX	REEL DIAMETER	QUANTITY PER REEL
SPU1410LR5H-QB	-7	13"	5,700

TAPE & REEL	PER EIA-481
LABEL	LABEL APPLIED TO EXTERNAL PACKAGE & DIRECT TO REEL.

**Note:**
**Dimensions are in millimeters  
unless otherwise specified.**

## 12. SOLDER REFLOW PROFILE



Stage	Temperature Profile	Time (maximum)
Pre-heat	170 ~ 180°C	120 sec.
Solder Melt	Above 230°C	100 sec.
Peak	260°C maximum	30 sec.

## 13. ADDITIONAL NOTES

- (A) Shelf life: Twelve (12) months when devices are to be stored in factory supplied, unopened ESD moisture sensitive bag under maximum environmental conditions of 30°C, 70% R.H.
- (B) MSL (moisture sensitivity level) Class 2a.
- (C) Do not pull a vacuum over port hole of the microphone. Pulling a vacuum over the port hole can damage the device.
- (D) Do not board wash after the reflow process. Board washing and cleaning agents can damage the device. Do not expose to ultrasonic processing or cleaning.
- (E) Do not brush board after the reflow process. Brushing the board with/without solvents can damage the device.
- (F) Do not insert any object in port hole of device at any time as this can damage the device.
- (G) Number of reflow - Recommend no more than 3 cycles.
- (H) Do not apply air pressure into the port hole. Air pressure over 30psi can damage the device.

## 14. RELIABILITY SPECIFICATIONS

**Note:** After test conditions are performed, the sensitivity of the microphone shall not deviate more than 3dB from its initial value.

Test	Description
Thermal Shock	100 cycles of air-air thermal shock from -40°C to +125°C with 15 minute soaks. (IEC 68-2-4)
High Temperature Storage	+105°C environment for 1,000 hours. (IEC 68-2-2 Test Ba)
Low Temperature Storage	-40°C environment for 1,000 hours. (IEC 68-2-2 Test Aa)
High Temperature Bias	+105°C environment while under bias for 1,000 hours. (IEC 68-2-2 Test Ba)
Low Temperature Bias	-40°C environment while under bias for 1,000 hours. (IEC 68-2-2 Test Aa)
Temperature / Humidity Bias	+85°C/85% R.H. environment while under bias for 1,000 hours. (JESD22-A101A-B)
Vibration	4 cycles lasting 12 minutes from 20 TO 2,000 Hz in X, Y and Z direction with peak acceleration of 20g. (MIL 883E, Method 2007.2, A)
Electrostatic Discharge	3 discharges at +/-8kV direct contact to lid when unit is grounded (IEC 61000-4-2) and 3 discharges at +/-2kV direct contact to I/O pins. (MIL 883E, Method 3015.7)
Reflow	5 reflow cycles with peak temperature of +260°C.
Mechanical Shock	3 pulses of 10,000g in the X, Y and Z direction. (IEC 68-2-27, Test Ea)

**15. SPECIFICATION REVISIONS**

Revision	Detailed Specification Changes	Date
A	INITIAL RELEASE [C10113345]	02/14/12

The information contained in this literature is based on our experience to date and is believed to be reliable and it is subject to change without notice. It is intended as a guide for use by persons having technical skill at their own discretion and risk. We do not guarantee favorable results or assume any liability in connection with its use. Dimensions contained herein are for reference purposes only. For specific dimensional requirements consult factory. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe any existing patents. This supersedes and voids all previous literature.

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

## Knowles:

[SPU1410LR5H-QB](#)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้