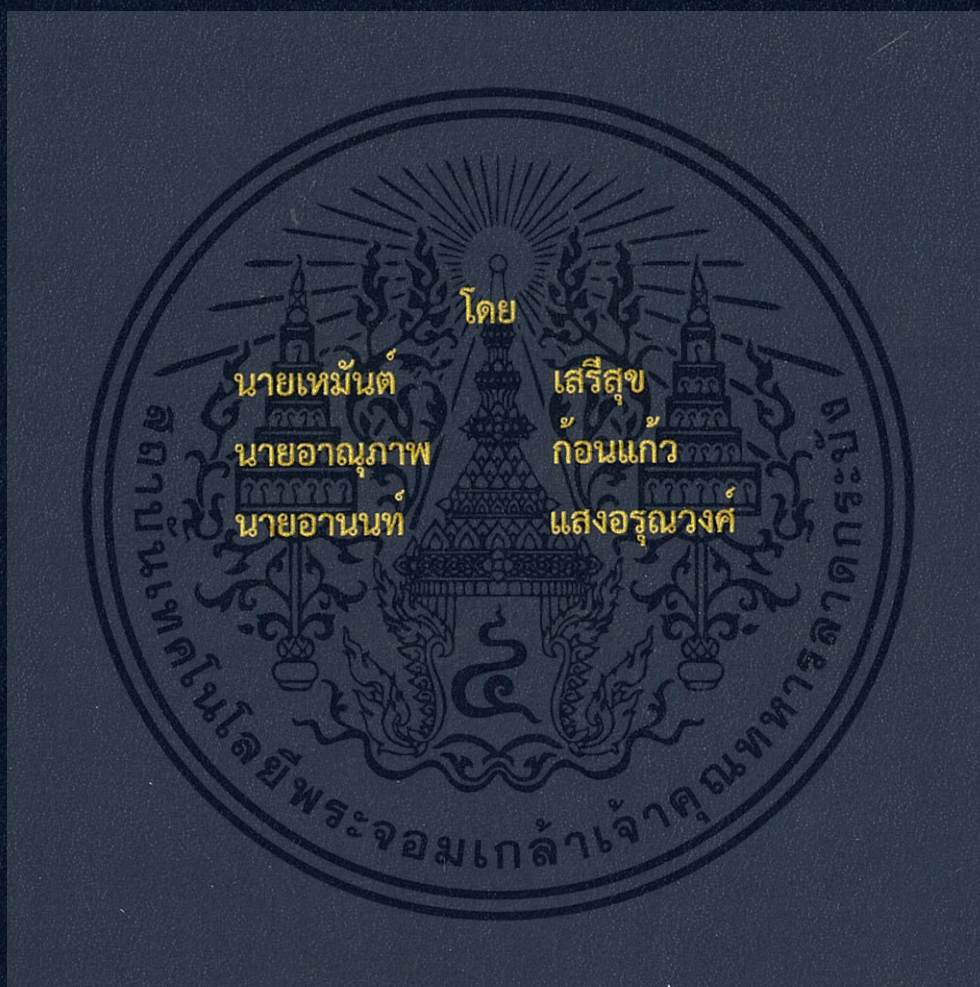


เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน
SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน Self-Programmable Digital Hearing Aids



T144403

โดย

นายhemันต์ เสรีสุข 55011385

นายอนุภาพ ก้อนแก้ว 55011467

นายอานนท์ แสงอรุณวงศ์ 55011472

อาจารย์ที่ปรึกษา

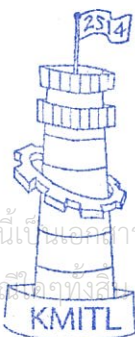
รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี

ผศ.ดร. มন্ত্রী คำเงิน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144403
วันเดือนปี 24 พ.ค. 2559

b. 12818525
f.

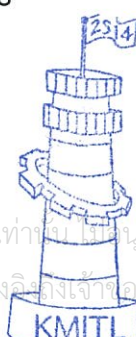
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(*Signature*)
อาจารย์ที่ปรึกษา

18/05/59



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(*Signature*)
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

17/5/59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ ต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาโทปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน

Self-Programmable Digital Hearing Aids

ผู้จัดทำ

1. นายเหมันต์ เสรีสุข 55011385
2. นายอาณภาพ ก้อนแก้ว 55011467
3. นายอานนท์ แสงอรุณวงศ์ 55011472


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผศ.ดร. มนตรี คำเงิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ “ เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน ” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี หากขาดการสนับสนุน และกำลังใจจากหลายๆ ฝ่ายอาทิ

ครอบครัว ที่คอยไต่ถาม ฝ้าติดตามการทำปริญญาานิพนธ์ด้วยความห่วงใย และมอบกำลังใจให้ในยามที่เกิดปัญหา รวมทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมที่มีประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี และ ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาในการทำปริญญาานิพนธ์ รวมทั้งสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในระหว่างการทำปริญญาานิพนธ์และขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับเงินทุนสนับสนุนปริญญาานิพนธ์

เพื่อนๆ ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและให้กำลังใจในทุกด้านๆ

ผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยให้การดำเนินปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นายเหม็นต์ เสรีสุข

นายอาณภาพ ก้อนแก้ว

นายอานนท์ แสงอรุณวงศ์

ผู้จัดทำ

เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน

Self-Programmable Digital Hearing Aids

โดย	นายเหมันต์	เสรีสุข	55011385
	นายอนุภาพ	ก้อนแก้ว	55011467
	นายอานนท์	แสงอรุณวงศ์	55011472

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. มนตรี คำเงิน

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ชิ้นนี้สร้างอุปกรณ์สำหรับชดเชยความสามารถในการได้ยินของผู้ที่ตอบสนองต่อเสียงด้อยกว่าปกติซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถปรับแต่งการขยายสัญญาณได้โดยผู้ใช้งาน เสียงที่ความถี่ต่างกันจะถูกสร้างขึ้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดสมรรถภาพในการได้ยินของผู้ใช้งานโดยจะเริ่มจากเสียงเบาและตั้งเป็นขั้นๆ ขั้นละ 2 เดซิเบล จำนวน 7 ขั้นโดยขีดความสามารถในการขยายสูงที่สุดในแต่ละย่านความถี่คือ 12 เดซิเบล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเครื่องช่วยฟังนี้เหมาะสำหรับผู้ที่เสื่อมสมรรถภาพในการได้ยินในระดับเล็กน้อยถึงปานกลางเพื่อที่จะได้คุณภาพเสียงที่ดีที่สุด

Abstract

This project invents a hearing aid equipment for helping people who are having hearing impairment. This equipment can be adjusted based on patients' hearing ability. The different tones and loudness will be generated for configuring the personal profile of each patient. The microcontroller and digital equalizer are cooperated for automatically tuning the sound from earphone. The device will mainly test user's ability of hearing in five different bands of frequency and make increasing sounds louder and stored the user pattern in the memory. In this project, 12db or 16 two decibel steps tone is the maximum gain that this device can achieve depends on the type of hearing of different profile. In conclusion this digital hearing aid device implemented for slight and moderate hearing loss patients whose hearing level are under 0-50 dB cause by the capability of boosting signal level of the equalizer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การได้ยิน	2
2.1.1 กลไกการได้ยินเสียง	2
2.1.2 ประเภทของการสูญเสียการได้ยิน	2
2.1.3 การตรวจการได้ยิน	3
2.2 Microphone Sensitivity	5
2.3 Equalizer	7
2.4 Equalizer IC TDA7317	8
2.5 วงจรขยาย (Amplifier)	9
2.6 วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier)	10
2.7 Analog Switch	10
2.8 Microcontroller PIC16F88	13
2.9 I ² C Bus	13
บทที่ 3 การออกแบบและจัดทำปริญญานิพนธ์	
3.1 การออกแบบ	16
3.1.1 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการใช้	16
3.1.2 วงจร IC	17
3.1.3 วงจรขยาย Amplifier (TDA2822)	19
3.1.4 Flow chart	20
3.1.5 Block Diagram	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	
4.1 ทดสอบหากำลังขยายของวงจรขยายสัญญาณ	24
4.2 ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของ Digital equalizer	26
4.2.1 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 8233 Hz ขนาด 268 mVpp	26
4.2.2 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 247.5 Hz ขนาด 264 mVpp	28
4.2.3 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 1243 Hz ขนาด 256 mVpp	30
4.2.4 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 3076 Hz ขนาด 256 mVpp	32
4.2.5 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 55 Hz ขนาด 332 mVpp	34
4.3 ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบ	36
4.4 ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการขยายสัญญาณที่ต่างกัน ในแต่ละย่านความถี่	39
บทที่ 5	
สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก ก	ชุดคำสั่งการทำงานของระบบ
ภาคผนวก ข	DATASHEET TDA7317
ภาคผนวก ค	DATASHEET 4066BE
ภาคผนวก ง	DATASHEET PIC16F88

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.1	แสดงกลไกการได้ยิน	2
2.1.3.1	การตรวจสอบการได้ยิน	3
2.1.3.2	เส้นล่างสุดของ SOUND PRESSURE LEVEL จะเป็นเส้นบ่งบอกความดังของเสียงที่มนุษย์เริ่มได้ยิน	4
2.1.3.3	Audiogram	4
2.3.1	เป็นชุด FILTER ภายใน EQUALIZE	7
2.3.2	รูปแบบความกว้างของช่วงความถี่เสียงภายใน EQUALIZER	7
2.4	TDA 7317	8
2.4.1	สูตรการคำนวณหาค่าความถี่ในย่านต่างๆ	8
2.5	การทำงานของวงจรรขยาย	9
2.7.1	ค่าความต้านทานของ MOSFET SWITCH ในสถานะ ON กับระดับแรงดันสัญญาณด้านบวกและลบ	11
2.7.2	BILATERAL CMOS SWITCH โดยอาศัยคู่ของ NMOS และ PMOS เพื่อลดความแปรผันของความต้านทานที่มีต่อระดับแรงดันสัญญาณ	11
2.7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและระดับแรงดันสัญญาณของ BILATERAL CMOS SWITCH	12
2.7.4	BILATERAL SWITCH สำหรับใช้งานในการทำ ANALOG SIGNAL SWITCHING, MULTIPLEXING	12
2.8	PIC16F88	13
2.9.1	ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C BUS	13
2.9.2	รูปแบบการเขียน/อ่านข้อมูลแบบ I2C BUS	14
2.9.3	I ² C BUS START AND STOP CONDITIONS	14
2.9.4	I ² C BUS (CONTROL BYTE)	15
2.9.5	การรับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS	15
3.1.2.1	ลายวงจร	17
3.1.2.2	ลายวงจร EQUALIZER IC	18
3.1.2.3	ลายวงจร PCB ของ EQUALIZER IC	18
3.1.3.1	ออกแบบวงจรในโปรแกรม ALTIUM DESIGNER	19
3.1.3.2	PCB ของ AMPLIFIER	19
3.1.4.1	FLOW CHART การทำงานของเครื่องตั้งค่า	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1.5	BLOCK DIAGRAM	21
4.1.1	เมื่อปรับเสียงของวงจรขยายให้เบาที่สุด	24
4.1.2	เมื่อปรับเสียงของวงจรขยายให้ดังที่สุด	25
4.2.1.1	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 8233 HZ	26
4.2.2.1	เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 247.5 HZ	28
4.2.3.1	เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 1243 HZ	30
4.2.4.1	เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 3076 HZ	32
4.2.5.1	เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 55 HZ	34
4.3.1	กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบ	38
4.4.1	สัญญาณที่ความถี่ 800 HZ	39
4.4.2	สัญญาณที่ความถี่ 1000 HZ	40
4.4.3	สัญญาณที่ความถี่ 3000 HZ	40
4.4.4	กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบในอัตราขยายที่ย่านความถี่ต่างกัน	43

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1.3.4	SPL-HL CONVERSION ตามมาตรฐาน ANSI S3.6-1996	5
3.1.1	ค่าที่คำนวณได้แต่ละย่านความถี่	17
4.2.1.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8233 HZ	26
4.2.1.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8233 HZ	27
4.2.1.3	ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 8233 HZ	27
4.2.1.4	ระดับการได้ยินที่ความถี่ 8233 HZ	28
4.2.2.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 247.5HZ	29
4.2.2.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 247.5 HZ	29
4.2.2.3	ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 247.5HZ	29
4.2.2.4	ระดับการได้ยินที่ความถี่ 247.5HZ	30
4.2.3.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1243HZ	31
4.2.3.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1243 HZ	31
4.2.3.3	ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 1243HZ	31
4.2.3.4	ระดับการได้ยินที่ความถี่ 1243HZ	32
4.2.4.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3076HZ	33
4.2.4.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3076HZ	33
4.2.4.3	ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 3076HZ	33
4.2.4.4	ระดับการได้ยินที่ความถี่ 3076HZ	34
4.2.5.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 55 HZ	35
4.2.5.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3.076HZ	35
4.2.5.3	ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 55HZ	35
4.2.5.4	ระดับการได้ยินที่ความถี่ 55HZ	36
4.3.1	อัตราการขยายเสียงในแต่ละย่านความถี่	36
4.4.1	แสดงอัตราการขยายในกรณีที่ย้ายในย่านความถี่ที่ต่างกัน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโรคหูหนวกหรือผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยินได้มีวิวัฒนาการทางการรักษามากแตกต่างจากเมื่อ 20 ปีที่แล้ว บุคคลที่หูหนวกนั้นแม้ว่าจะสูญเสียในระดับมากจนไม่สามารถได้ยินและเข้าใจเสียงพูด แต่ก็ยังสามารถมีสภาพการได้ยินอยู่บ้างบางส่วน เช่น เสียงที่ดังๆมากและรับรู้สีกได้จากการสั่นสะเทือนโดยการสัมผัส เป็นต้น ผู้ที่เสื่อมสมรรถภาพทางการได้ยินในแต่ละคนนั้นจะมีรูปแบบของความเสื่อมที่เกิดขึ้นกับความสามารถในการได้ยินเสียงต่างออกไป โดยมีการตอบสนองต่อเสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงไม่เท่ากัน

ในปัจจุบันเครื่องช่วยฟังจะถูกออกแบบมาโดยเฉพาะแต่ละบุคคลซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการทดสอบซึ่งยุ่งยากและไม่สามารถปรับแต่งได้ ทำให้ผู้ป่วยจำเป็นต้องเข้าพบแพทย์โดยตรงเพื่อปรับแต่งเครื่องช่วยฟังอยู่เป็นระยะก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวัน ทั้งยังสร้างภาระให้แก่ผู้ป่วยมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการสร้างเครื่องช่วยฟังที่มีขีดความสามารถในการปรับแต่งค่าต่างๆได้ โดยใช้การตรวจวัดความสามารถในการได้ยินของผู้ป่วยจากการปล่อยคลื่นเสียงในแต่ละย่านความถี่ที่ต่างกันออกมาและค่อยๆเพิ่มความดังของเสียงนั้นเพื่อทดสอบว่าผู้ใช้งานแต่ละรายมีความสามารถในการได้ยินเสียงที่ความถี่ต่างและความถี่สูงมากน้อยเท่าใดเพื่อนำไปปรับเครื่องช่วยฟังให้เหมาะสมกับผู้ป่วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Microcontroller และ Digital Graphic Equalizer IC
2. เพิ่มเพิ่มสมรรถภาพทางการได้ยินให้แก่ผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน
3. เพื่อสร้างอุปกรณ์ช่วยฟังสำหรับผู้พิการทางการได้ยินโดยอาศัย Microcontroller และ Digital Graphic Equalizer IC

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างเครื่องช่วยฟังโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการปรับเสียงเพื่อชดเชยสมรรถภาพในการได้ยินเสียงของผู้ป่วย
2. ผู้ป่วยสามารถปรับแต่งเครื่องช่วยฟังตามความสามารถในการได้ยินของตนเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

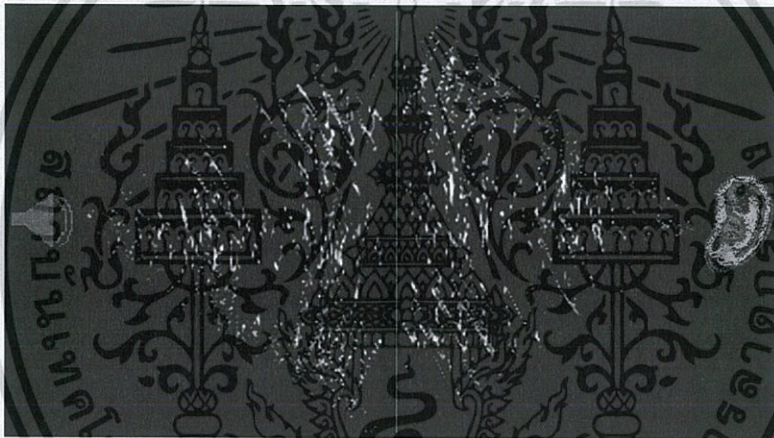
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

โครงการเครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งานได้ใช้ Microcontroller PIC16F88 และ Equalizer IC TDA7317 ในการปรับแต่งกำลังเสียงในแต่ละย่านความถี่ที่เหมาะสม

2.1 การได้ยิน

2.1.1 กลไกการได้ยินเสียง

ช่องหูจะทำให้คลื่นเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 2,000 – 5,000 Hz มีพลังงานสูงขึ้นเนื่องจากเกิด resonance ในช่องหู ถ้าความถี่ ต่ำกว่า 400 Hz การรับคลื่นเสียงไม่ค่อยดี

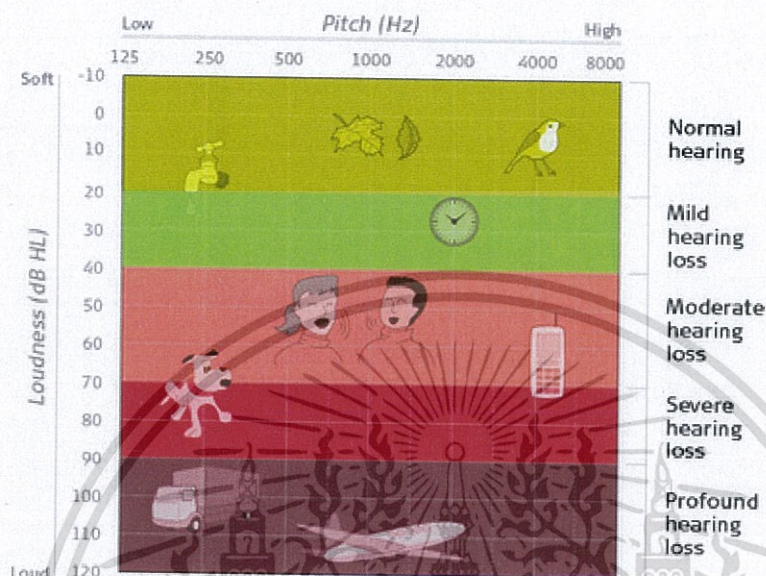


รูปที่ 2.1.1 แสดงกลไกการได้ยินเสียง [1]

2.1.2 ประเภทของการสูญเสียการได้ยิน

การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องการเกิดปัญหาใดๆ บริเวณหูชั้นนอกหรือชั้นกลางซึ่งปิดกั้นไม่ให้เสียงถูกส่งต่อไปอย่างเหมาะสม เรียกว่า การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่อง การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องมักมีระดับความรุนแรงอยู่ที่ขั้นต้นหรือปานกลาง ตั้งแต่ 25 ถึง 65 เดซิเบลในการสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องอาจบรรเทาได้ด้วยการใช้เครื่องช่วยฟังหรือฝังประสาทหูชั้นกลางเทียม

2.1.3 การตรวจการได้ยิน



รูปที่ 2.1.3.1 การตรวจสอบการได้ยิน [2]

ผลการตรวจการได้ยิน (audiogram) คือ ภาพกราฟที่แสดงความสามารถในการได้ยินและระดับการสูญเสียการได้ยินของบุคคลในหูแต่ละข้าง แนวด้านบนของกราฟจะมีตัวเลขเรียงกันตั้งแต่ 125 ถึง 8000 ตัวเลขเหล่านี้แสดงความถี่ของเสียงหรือระดับเสียงที่แตกต่างกันออกไป

ความถี่จะมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์ ยิ่งความถี่สูงมากเท่าไร ระดับของเสียงก็ยิ่งสูงมากเท่านั้น ตัวอย่างเช่น เสียงน้ำหยดมีความถี่เพียง 250 เฮิรตซ์ (Hz) ขณะที่เสียงเตือนแหลมสูงของโทรศัพท์อยู่ที่ 8000 เฮิรตซ์

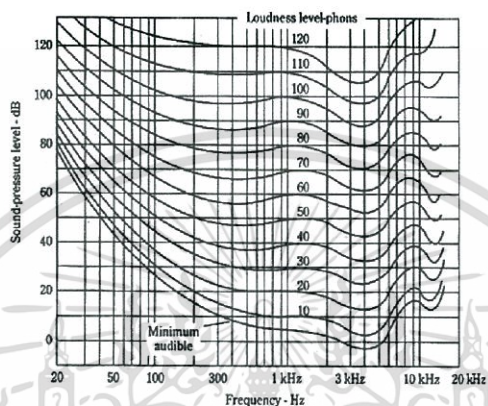
ความดังของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล อย่างไรก็ตามค่าศูนย์เดซิเบล (0 dB) ไม่ได้แปลว่า "ไม่มีเสียง" เพียงแต่เสียงดังกล่าวเบามากเท่านั้นเอง ระดับเสียงสนทนาอยู่ที่ 65 เดซิเบล ส่วน 120 เดซิเบล ถือว่าดังมาก-พอกๆ กับเสียงเครื่องบินที่อยู่ห่างออกไปเพียง 25 เมตรเลยทีเดียว สังเกตได้จากตัวเลขด้านข้างกราฟที่แสดงระดับการได้ยินเป็นเดซิเบล

ระหว่าง การทดสอบการได้ยิน จะเปิดเสียงครั้งละหนึ่งระดับความถี่ โดยเสียงที่เบาที่สุดที่บุคคลสามารถได้ยินในแต่ละความถี่จะถูกทำเครื่องหมายไว้บนกราฟแสดงผลที่ระดับความถี่และความดังของเสียงนั้นๆ เรียกว่า "ระดับการได้ยินเริ่มต้น"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

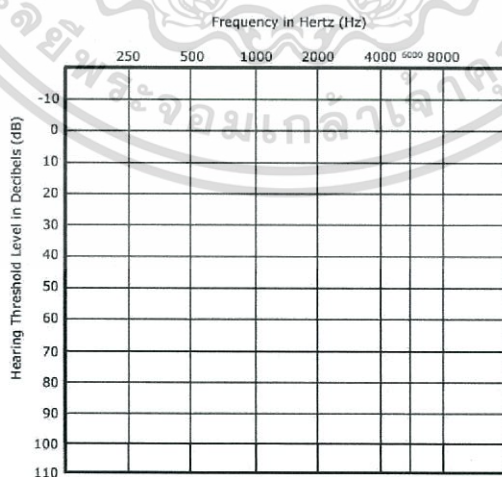
Hearing Level (HL)

ระดับการได้ยิน (Hearing Level, HL) เป็นระดับความดังที่มีความสัมพันธ์กัน Sound Pressure Level แต่จะใช้อ้างอิงจากระดับเสียงที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ปกติในการได้ยินเสียงที่ย่านความถี่ต่างๆ ซึ่งจะถูกนำมาสร้างเป็น Audiogram เพื่อวัดระดับความบกพร่องทางการได้ยิน



รูปที่ 2.1.3.2 เส้นล่างสุดของ Sound Pressure Level บอกความดังของเสียงที่มนุษย์เริ่มได้ยิน [3]

มนุษย์จะเริ่มได้ยินเสียงที่ย่านความถี่ต่างๆที่ระดับความดังตามเส้นกราฟเส้นล่างสุดในรูปที่ 2.1.3.2 เมื่อเราอาศัยเส้นที่บอก Minimum audible ซึ่งเป็นเส้นที่มนุษย์ธรรมดาเริ่มได้ยินเสียงมาสร้างเป็น Audiogram ซึ่งวัดระดับเป็น Hearing Level จะพบว่าที่ความถี่ต่างๆนั้นระดับ SPL และ HL จะมีความแตกต่างกันเมื่อได้ระดับการได้ยินที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ถึงความบกพร่องทางการรับเสียงแล้วสามารถนำมาสร้าง Audiogram ได้



รูปที่ 2.1.3.3 : Audiogram [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1.3.4 : SPL-HL Conversion ตามมาตรฐาน ANSI S3.6-1996

Frequency (Hz)	Sound Pressure Level (dB SPL)	Hearing Level (dB HL)
125	45	0
250	27	0
500	13.5	0
750	9	0
1000	7.5	0
1500	7.5	0
2000	9	0
3000	11.5	0
4000	12	0
6000	16	0
8000	15.5	0

เมื่อได้ระดับการได้ยินที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ถึงความบกพร่องทางการรับเสียงแล้วสามารถนำมาสร้าง Audiogram ได้

2.2 Microphone Sensitivity

ค่าความไวของไมโครโฟน คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณเอาต์พุตที่เป็น Voltage และระดับความดันเสียงซึ่งเป็นอินพุตของไมโครโฟน โดยทั่วไปแล้วค่าความไวของไมโครโฟนจะถูกวัดกับสัญญาณไซน์ 1kHz ที่ระดับความดันเสียง 94dB SPL หรือ 1 Pa โดยจะอยู่ในหน่วย dBmV/Pa

กล่าวคือเมื่อมีการให้เสียงที่มีความดัน 94 dB SPL เข้ามาที่ไมโครโฟนแล้วไมโครโฟนจะสร้างสัญญาณเสียงในรูปของ Voltage ออกมาเท่าใดนั้นก็คือความไวของไมโครโฟน เช่น ถ้าไมโครโฟนป้อนสัญญาณออกมา 1.85mV เทียบกับ 1V เมื่อได้รับเสียงที่มีความดัน 94dB SPL ดังนั้นเมื่อผ่านการคำนวณจะพบว่าความไวของไมโครโฟนตัวนี้อยู่ที่ -54.5 dBV/Pa ดังนั้นเมื่อค่าความไวของไมโครโฟนเพิ่มขึ้นหมายความว่าไมโครโฟนจะสร้างสัญญาณเสียงเชิงไฟฟ้าได้มีขนาดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sound Pressure Level Calculation from Microphone sensitivity

ในทางกลับกันเราสามารถคำนวณหาระดับแรงดันสัญญาณเสียงจากระบบด้วยหลักการของ Microphone sensitivity โดยทั่วไป Analog Electret และ MEMS Microphone จะมีความไวอยู่ที่ 5 mV/Pa (-46 dBV/Pa) ถึง 17.8 mV/Pa (-35 dBV/Pa) เราจะสามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่าง V_1 ที่วัดได้ซึ่งผ่านวงจรขยายต่างๆมาแล้วและ V_{ref} จากความไวของไมโครโฟน

$$R_v = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_{ref}} \right) \text{ dB}$$

แล้วนำอัตราส่วนดังกล่าวมาคำนวณหาค่า Sound Pressure Level

$$SPL(\text{dB}) = \text{Sensitivity} + R_v + 94 \text{ dB SPL}$$

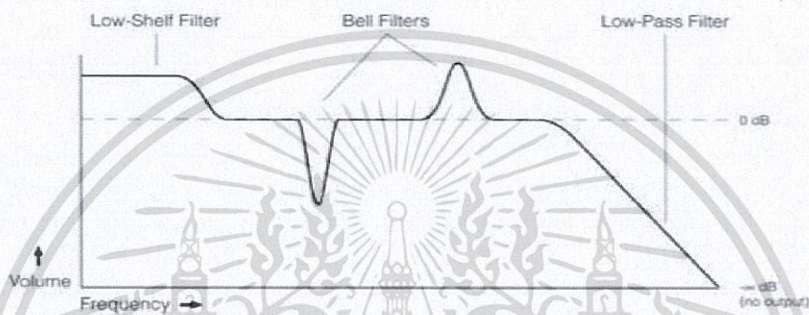
ตัวอย่างเช่นในระบบใช้ไมโครโฟนที่มี Sensitivity = -46 dBV/Pa แล้ววัดระดับสัญญาณเสียงเอาต์พุตได้ 2.5V;

$$R_v = 20 \log_{10} \left(\frac{2.5}{0.005} \right) = 54 \text{ dB}$$

$$SPL(\text{dB}) = 54 + (-46) + 94 = 102 \text{ dB SPL}$$

2.3 Equalizer

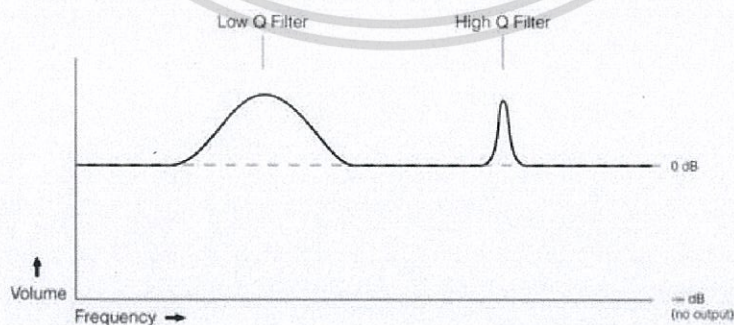
คือ วงจรที่ประกอบด้วยชุด Filter ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมความดัง (Loudness) และความกว้าง (Bandwidth) ของความถี่ใดๆในสเปกตรัมตามที่กำหนดไว้ โดยสัญญาณจะถูกแยกเป็นช่วงความถี่ เมื่อเข้าสู่ Equalizer ให้เหมาะสมกับ Filter ที่บรรจุไว้แต่ละตัวแล้วค่อยนำมารวมกันที่ Output เป็นรูปสัญญาณเต็มอีกครั้ง



รูปที่ 2.3.1 เป็นชุด Filter ภายใน Equalize [5]

Equalizer มีตัวแปรหลักดังนี้

1. Frequency คือ ความถี่ที่จะปรับแต่ง
2. Gain คือ อัตราขยาย
3. Q คือ ค่าที่จะกำหนดความกว้างที่จะได้รับผลกระทบจากการขยายหรือลดขนาดของ Amplitude

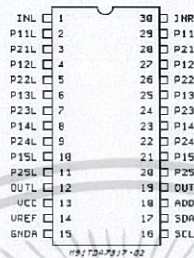


รูปที่ 2.3.2 รูปแบบความกว้างของช่วงความถี่เสียงภายใน Equalizer [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Equalizer IC TDA7317

เป็น Digital Graphic Equalizer IC สำหรับใช้ในการปรับแต่งกำลังแต่ละย่านความถี่โดยรับคำสั่งจาก PIC16F88



รูปที่ 2.4 TDA 7317 [6]

Graphic equalizer

เป็นชนิดของ Equalizer ที่จะทำการปรับแต่งขนาดของสัญญาณในแต่ละช่องความถี่ (Band, Channel) จะมีการกำหนดค่าขนาดความกว้างของย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ, Center Frequency และ อัตราขยาย/ลด (Gain, Attenuation) ดังนี้

f_0 = center frequency

G_v = gain/loss at the center frequency f_0

$G_v = 20 \log(A_v)$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

where f_2, f_1 = 3dB Bandwidth limits.

$$A_v = \frac{(R2 \cdot C2) + (R2 \cdot C1) + (R1 \cdot C1)}{(R2 \cdot C1) + (R2 \cdot C2)}$$

$$Q = \frac{\sqrt{(R1 \cdot C1 \cdot R2 \cdot C2)}}{(R2 \cdot C1) + (R2 \cdot C2)}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{(R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2)}}$$

If $C1$ is fixed, then:

$$C2 = \frac{Q^2}{A_v - 1 - Q^2} \cdot C1$$

$$R2 = \frac{1}{2\pi \cdot C1 \cdot f_0 \cdot (A_v - 1) \cdot Q} \cdot \frac{1}{(A_v - 1 - Q^2)}$$

$$R1 = \frac{(A_v - 1)^2}{A_v - 1 - Q^2} \cdot R2$$

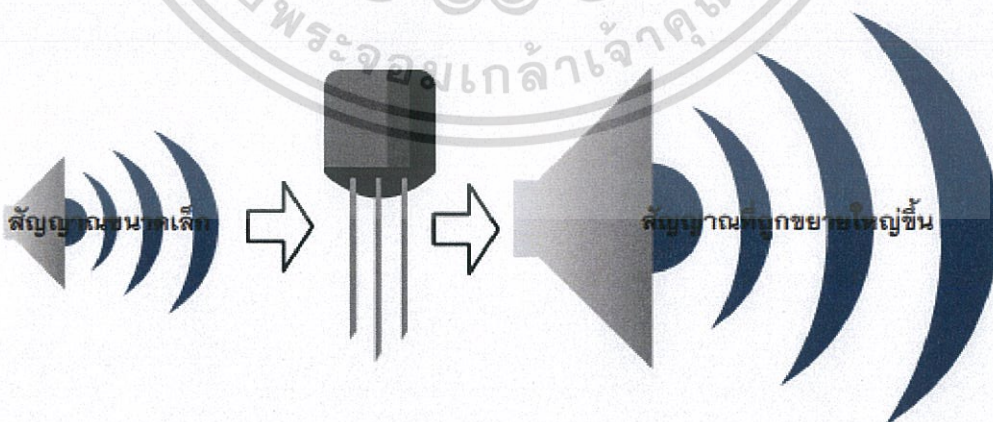
รูปที่ 2.4.1 สูตรการคำนวณหาค่าความถี่ในย่านต่างๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรขยาย (Amplifier)

การประยุกต์ทรานซิสเตอร์ไปสร้างเป็น วงจรขยาย (Amplifier) ที่สามารถขยายได้ทั้ง ปริมาณของกระแสไฟฟ้า และขนาดของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งก็จะหมายถึง มีความสามารถในการขยาย กำลังไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ วงจรขยาย นับได้ว่า เป็นวงจรพื้นฐานสำหรับการทำงานของระบบต่างๆ อย่าง มากมาย ซึ่งในโครงการฉบับนี้ได้ นำ วงจรขยาย (Amplifier) ไปขยายสัญญาณเสียงให้มีขนาด สัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของสัญญาณที่ป้อนสู่วงจรและการขยายยังสามารถมีค่า เป็นบวก (Positive Gain) หรือ เป็นลบ (Negative Gain) ก็ได้เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางของ กระแสไฟฟ้าหรือเฟสของสัญญาณ วงจรขยายจึงมีลักษณะเป็นวงจรสองพอร์ตที่มีขาเข้าหนึ่งคู่ และขาออกอีกหนึ่งคู่ โดยอาจมีขาเข้าขาหนึ่งกับอีกขาหนึ่งของวงจรทางด้านขาออกเป็น ขั้ว ร่วม (Common Terminal) ของสัญญาณ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการต่อวงจรทรานซิสเตอร์ ที่ จะต้อง มีขาหนึ่งเป็นขั้วร่วมของสัญญาณที่ผ่านวงจรเสมอ โดยทั่วไปแล้ว การใช้งานทรานซิสเตอร์ เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณ ทรานซิสเตอร์นั้นจะต้องทำงานอยู่ในย่านต้นตัว

สำหรับตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรขยายนั่น ซึ่งทำหน้าที่ผ่านเฉพาะสัญญาณกระแสสลับเข้าสู่ หรือออกจากวงจร ในขณะที่เดียวกันก็ทำหน้าที่ป้องกันหรือแยกส่วน (Isolation) แรงดันกระแสตรง (Direct Current Component) ออกจากวงจรส่วนอื่นไม่ให้เข้ามารบกวน จุดการทำงาน (Operating Point) ของทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้ การผ่านสัญญาณต่างๆ ของวงจร จะขึ้นอยู่กับลักษณะ การจัดวงจรอีกต่อหนึ่ง ที่จะกำหนดให้ขาใดเป็นขาเข้า ขาใดเป็นขาออก และ ขาใดเป็นขั้วร่วม ของสัญญาณ



รูปที่ 2.5 การทำงานของวงจรขยาย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานวงจรขยายกำลังต่ำ เช่น วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier) ซึ่งเป็นวงจรที่เน้นในเรื่องอัตราขยายแรงดันสูง (High Voltage Gain) ในขณะที่ยังไม่เน้นเรื่องความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า ก็จะนิยมจัดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ให้อยู่ใน Class - A ถึงแม้ว่าจะเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพต่ำก็ตาม แต่วงจรมีความต่อเนื่องของสัญญาณที่ดีและความเพี้ยนของสัญญาณต่ำ จึงทำให้นักออกแบบรับได้ที่จะแลกกับความสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไป ซึ่งก็เป็นปริมาณไม่มากนักและยอมรับได้

2.6 วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier)

โดยหน้าที่หลักๆของ วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier) ขยายสัญญาณในระดับต่ำ เพื่อให้มีระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนสู่ภาคขยายอื่น ๆ ต่อไป รวมถึงการทำตัวเป็นวงจรบัฟเฟอร์ (กันชน) เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ทางเสียงที่อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานภายในต่างกันให้ทำงานร่วมกันได้และสามารถที่จะขยายสัญญาณพร้อมการปรับแต่ง และการปรุงแต่งเสียงซึ่งอาจกำหนดให้มีการขยายระดับสัญญาณให้สูงขึ้น หรือไม่มีการขยายสัญญาณก็ได้

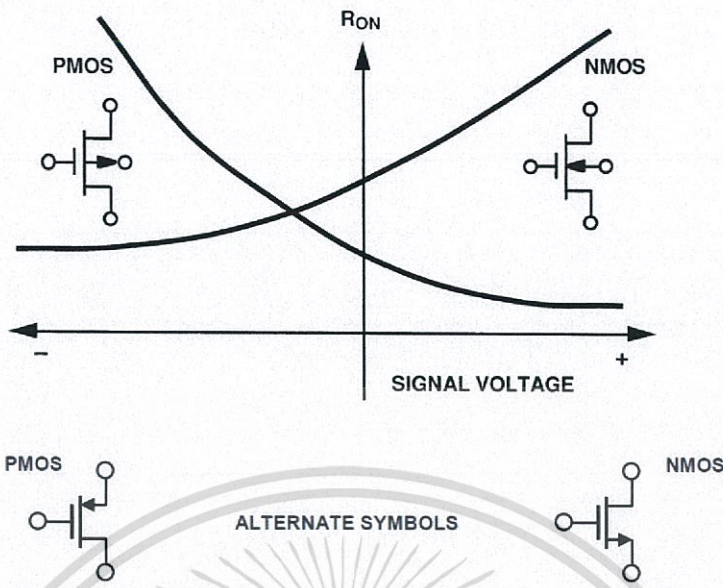
2.7 Analog Switch

Bilateral Switch or Analog Switch

ไบแลเทอร์อล สวิตช์หรือแอนาล็อก สวิตช์ คืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าคล้ายคลึงกับรีเลย์เพียงแต่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวยุติการทำงาน ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นแอนาล็อก สวิตช์ในสถานะ ON นั้นจะไม่มีมีความต้านทานใดๆและในสถานะ OFF จะมีความต้านทานเป็นค่าอนันต์และไม่มี Time delay เกิดขึ้นใน CMOS Switches จะอาศัย MOSFET Transistor เป็นตัวดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (Voltage controlled oscillator) โดยในสถานะ On ของ Switch นั้นจะมีความต้านทานภายในต่ำกว่า 1Ω ในขณะที่อยู่ในสถานะ Off สามารถมีค่าความต้านทานสูงเกิน $100\text{ M}\Omega$ และมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ต่ำกว่าระดับ Pico ampere

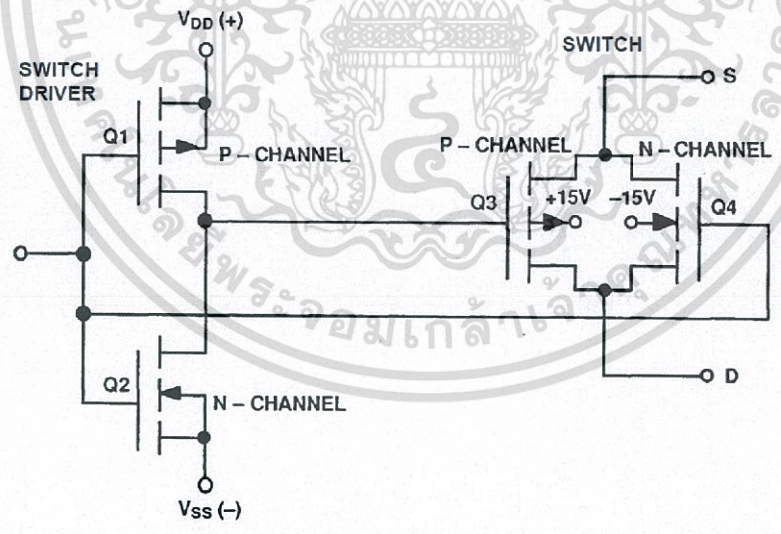
MOSFET transistors สามารถรองรับได้สองทิศทางหรือก็คือสามารถทำหน้าที่ Switch แรงดันและกระแสทั้งด้านบวกหรือด้านลบได้ดีพอๆกัน

MOSFET transistor มีค่าความต้านทานที่ถูกควบคุมโดยแรงดันไฟฟ้า (Voltage-controlled Resistance) ซึ่งจะแปรผันอย่างไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) กับระดับสัญญาณดังรูป

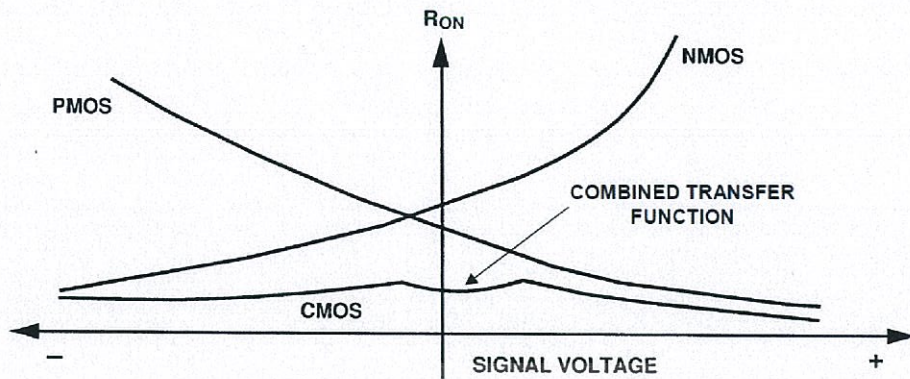


รูป 2.7.1 ค่าความต้านทานของ MOSFET Switch ในสถานะ ON กับแรงดันสัญญาณด้านบวก และลบ [8]

การนำวงจร PMOS และ NMOS มาต่อขนานกันทำให้เกิดวงจร Bilateral CMOS Switch (สองทิศทาง) อย่างง่ายขึ้นโดยการนำสองวงจรนี้มาต่อกันจะทำให้ลดค่าความต้านทานในสถานะ ON ให้ต่ำลงทั้งยังทำให้ความต้านทานที่แปรผันกับระดับแรงดันสัญญาณที่ต่ำลงได้ด้วยเช่นกันดังรูป



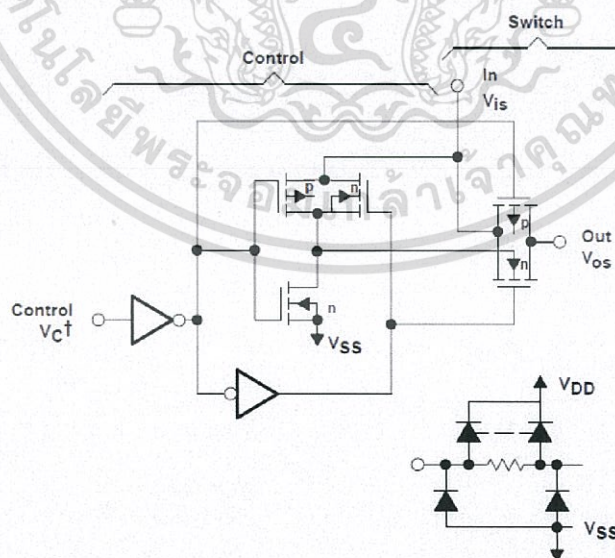
รูป 2.7.2 Bilateral CMOS Switch โดยอาศัยคู่ของ NMOS และ PMOS เพื่อลดความแปรผัน ของ ความต้านทานที่มีต่อระดับแรงดันสัญญาณ [8]



รูป 2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและระดับแรงดันสัญญาณของ bilateral CMOS Switch [8]

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง R_{on} และ Signal voltage สำหรับ N-type และ P-type นั้นแต่เดิมความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าความต้านทานและระดับสัญญาณจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในด้านความแม่นยำของสัญญาณ Direct Current และความผิดเพี้ยนของสัญญาณ Alternative Current การใช้งาน Bilateral CMOS Switch สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้ได้โดยสังเกตจากความเรียบของกราฟ

จากนั้นได้เริ่มมีการพัฒนาการใช้งานของ Bilateral Switch ให้รองรับการใช้งานได้อย่างหลากหลายมากขึ้นโดยมีส่วนการควบคุมการทำงานของ Switch ได้ด้วยแรงดันไฟฟ้าสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นอีกมากมาย



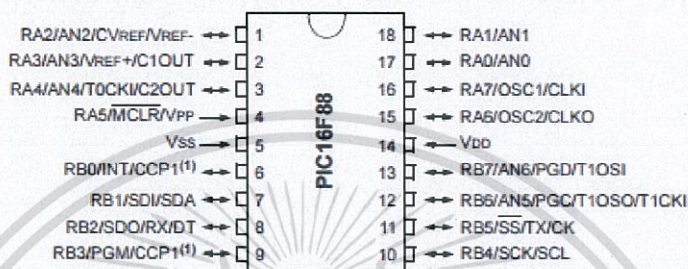
รูปที่ 2.7.4 Bilateral Switch ใช้ในการทำ Analog Signal Switching, Multiplexing [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Microcontroller PIC16F88

Microcontroller PIC16F88 ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆโดยใช้ภาษา C ในการเขียนคำสั่งการทำงานต่างๆผ่านโปรแกรม PIC C Compiler โดย PIC16F88 จะมีหน่วยความจำ EEPROM ภายในจำนวน 256 Bytes สำหรับเก็บข้อมูลขนาดเล็กๆได้

18-Pin PDIP, SOIC

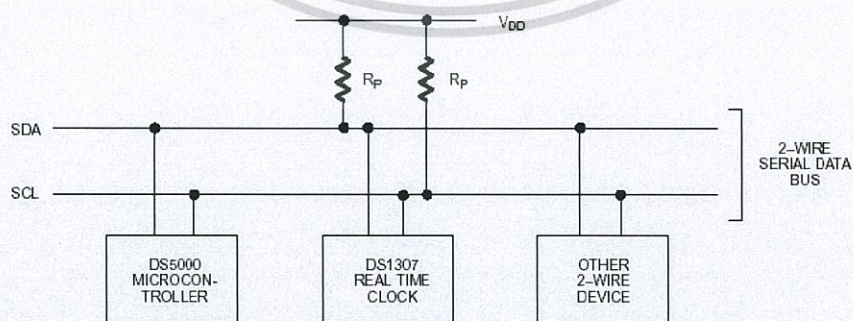


รูปที่ 2.8 PIC16F88 [9]

โดย PIC16F88 สามารถใช้ฟังก์ชัน I²C เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

2.9 I²C Bus

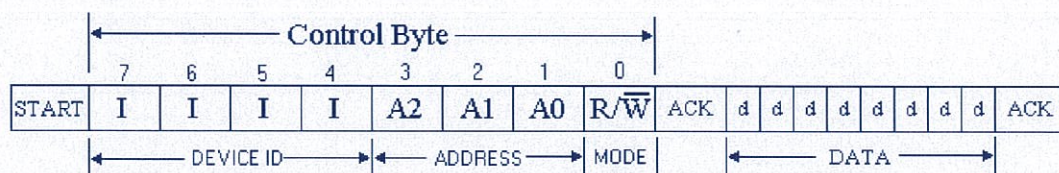
I²C BUS ใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ SCL ,SDA สำหรับติดกับอุปกรณ์แบบ 2 ทิศทาง โดยที่ขาสัญญาณทั้ง 2 จะต้องต่อกับตัวต้านทานแบบ pull up 2-10K เนื่องจากเอาต์พุตมีลักษณะเป็นแบบ Open Darin หรือเป็นแบบ Open Collector เพื่อให้เอาต์พุตเชื่อมต่อกันได้หลายตัว



รูปที่ 2.9.1 ลักษณะการการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I²C Bus [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียน-อ่านข้อมูลกับอุปกรณ์แบบ I²C Bus



รูปที่ 2.9.2 รูปแบบการเขียน/อ่านข้อมูลแบบ I²C Bus [10]

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I2C Bus MCU จะเริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการ

- ส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส
- แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบ ด้วยรหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID ,Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์ รับผิดชอบต่อ MCU ต้องการ จะติดต่อด้วยก็ตองส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้อง
- และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่ง สถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่า สิ้นสุดการใช้บัส
- สถานะบัสว่าง คือ เมื่อบัสไม่ได้ถูกใช้งาน ทั้ง SCL และ SDA จะเป็น 1 ทั้งคู่
- การกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C Bus (Start and Stop

Conditions)

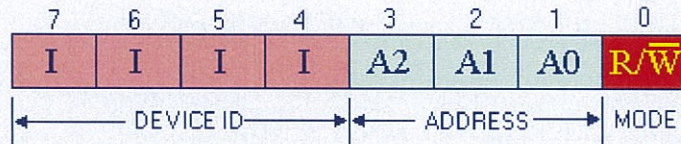


รูปที่ 2.9.3 I²C Bus Start and Stop Conditions [10]

ลักษณะการกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I²C Bus

- เมื่อต้องการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะเริ่มต้น (Start Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 1 มาเป็น 0 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1
- เมื่อสิ้นสุดการการใช้บัส MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (Stop Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 0 มาเป็น 1ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1

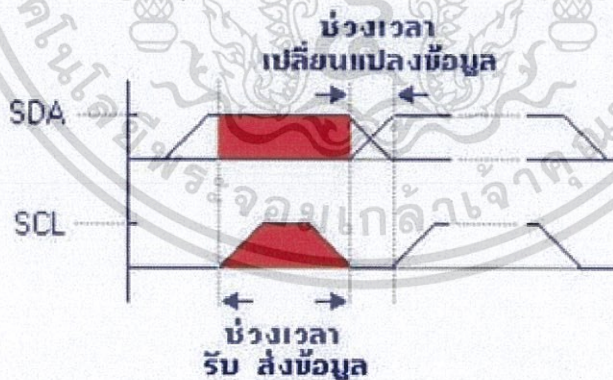
รหัสควบคุมของ I²C Bus (Control Byte)



รูปที่ 2.9.4 I²C Bus (Control Byte) [10]

- รหัสควบคุมของ I²C Bus ประกอบด้วยรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ (Device ID) ประกอบด้วยบิต 1-7 และบิต 0 เป็นบิตควบคุมการเขียนอ่าน
- รหัสประจำตัวของอุปกรณ์ ประกอบด้วยรหัสประจำตัวจากผู้ผลิต Product ID 4 บิต (บิต 4-7) ที่เปลี่ยนแปลงแก้ไขไม่ได้ และ Device Address 3 บิต (บิต 1-3) ซึ่งผู้ใช้สามารถ กำหนด เองได้ รวมแล้วเป็นรหัส 7 บิต ใช้ระบุตัวอุปกรณ์ ที่ต่ออยู่บนบัส จะมีค่าซ้ำกันไม่ได้
- บิตควบคุมการเขียนอ่าน (Mode) บิต 0 เมื่อ MCU ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 0 และเมื่อต้องการอ่านข้อมูล จากอุปกรณ์ ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 1

ช่วงเวลารับส่งบิตข้อมูลของ I²C BUS



รูปที่ 2.9.5 การรับส่งบิตข้อมูลของ I²C BUS [10]

- สถานะการรับ-ส่งข้อมูล จะกระทำในขณะที่ขา SCL เป็น 1
- สถานะการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะกระทำในขณะที่ขา SCL เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำโครงการ

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการใช้

โดยในแต่ละย่านความถี่จะมีสูตรการคำนวณดังนี้

ให้ f_0 คือ Center Frequency

G_v คือ Gain/Loss ที่ f_0

$f_1, f_2 = 3\text{dB Bandwidth limits}$

$$G_v = 20\log(A_v)$$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

$$A_v = \frac{(R_2 \cdot C_2) + (R_2 \cdot C_1) + (R_1 \cdot C_1)}{(R_2 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)}$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2}}{(R_2 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

ถ้า C_1 เป็นค่าที่กำหนดเอง

$$C_2 = \frac{Q^2}{A_v - 1 - Q^2} \cdot C_1$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi \cdot C_1 \cdot f_0 \cdot \frac{(A_v - 1) \cdot Q}{(A_v - 1 - Q^2)}}$$

$$R_1 = \frac{(A_v - 1)}{A_v - 1 - Q^2} \cdot R_2$$

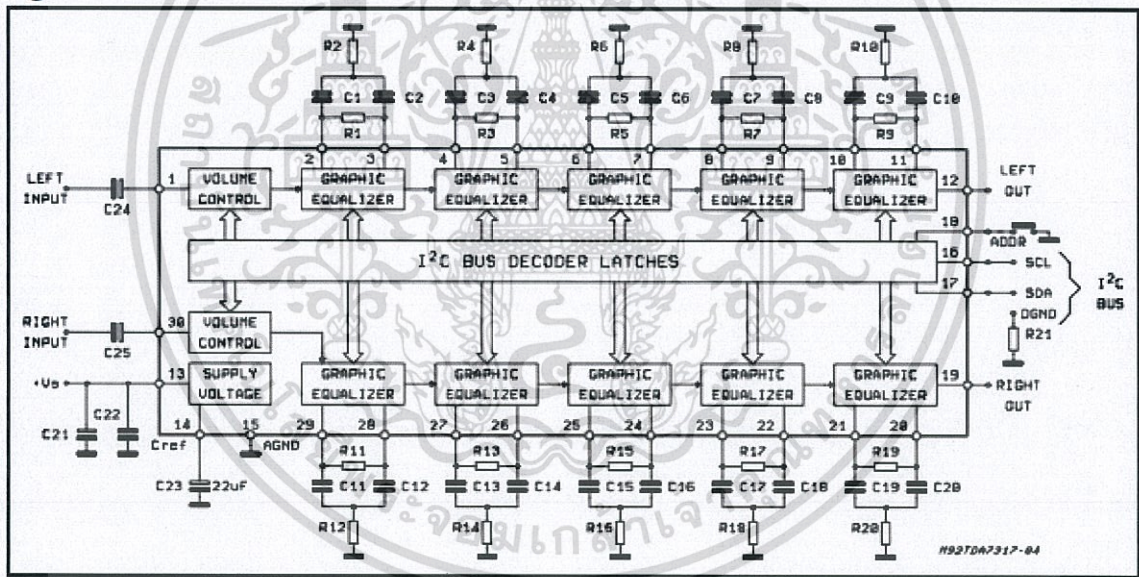
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1.1 ค่าที่คำนวณได้แต่ละย่านความถี่

	F(HZ)	Q	R1 (K)	R2 (K)	C1 (n)	C2 (n)	Av max (dB)
BAND 1	8233	1.49	47	5.1	1	1.2	13.52
BAND 2	261.03	1.49	47	5.1	33	44	13.63
BAND 3	1036.34	1.49	47	5.1	8.2	12	13.52
BAND 4	3168.08	1.49	47	5.1	2.7	3.9	13.57
BAND 5	57	1.11	47	7.5	220	100	13.88

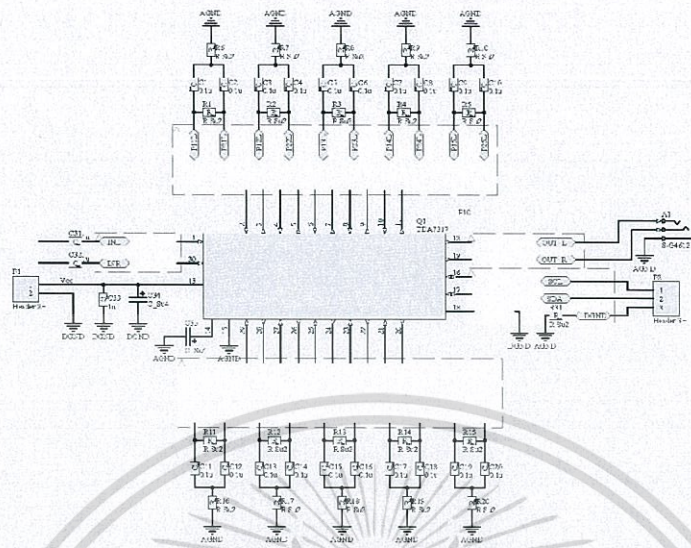
3.1.2 วงจร IC

ในส่วนการออกแบบวงจร IC หลังจากการคำนวณค่าตัวต่างๆ

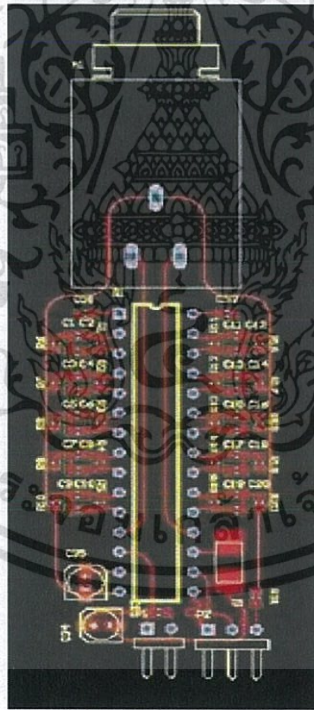


รูปที่ 3.1.2.1 ลายวงจร Equalizer IC [6]

หลังจากที่ได้ลายวงจร ก็นำไปลากลายในโปรแกรม Altium Designer แล้วนำไปกัดปรินต์บอร์ดทองแดง



รูปที่ 3.1.2.2 ลายวงจร Equalizer IC



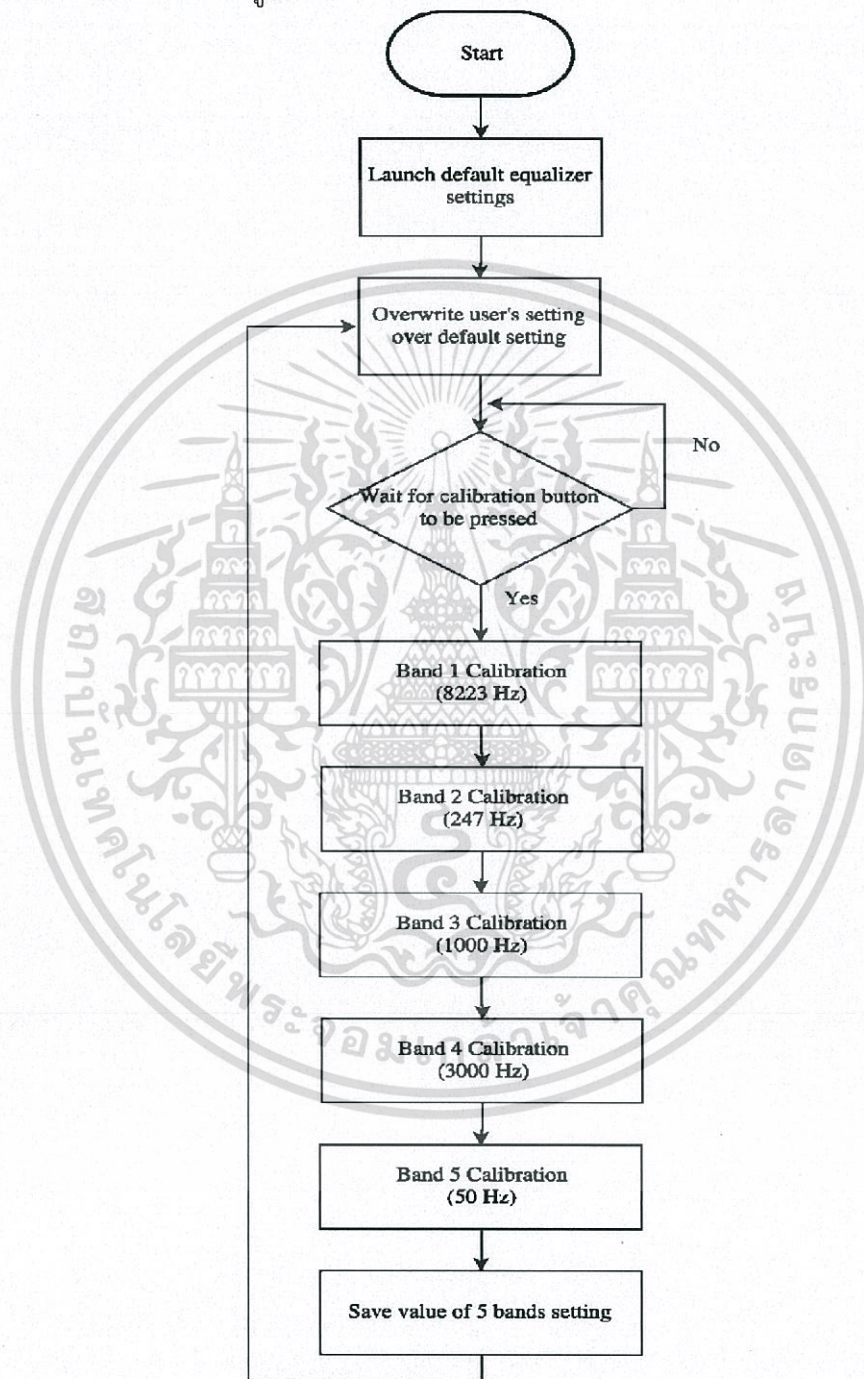
รูปที่ 3.1.2.3 ลายวงจร PCB ของ Equalizer IC

จากรูปที่ 3.1.2.3 โดยทำการออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็ก มีขนาดเท่ากับ รีเลย์ 3 ตัว เพื่อที่สะดวกต่อการพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Flow chart

การทำงานของ IC Equalizer ร่วมกับ Microcontroller เพื่อทำการค้นหาย่านความถี่ของหูที่ผิดเพี้ยนไป และสามารถจดจำผู้ใช้งาน

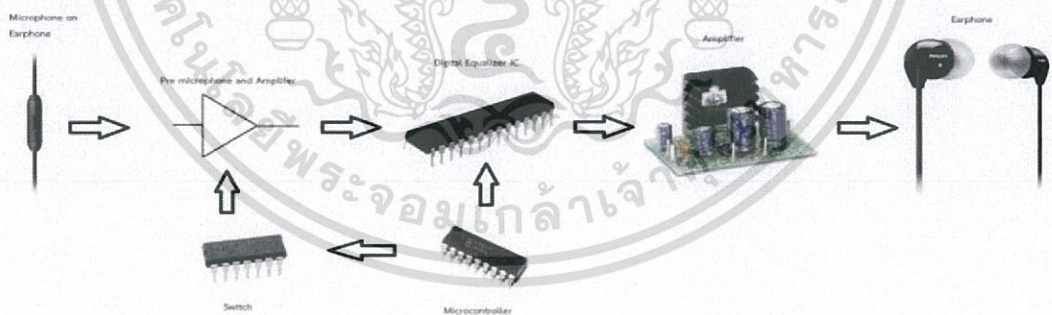


รูปที่ 3.1.4.1 Flow chart การทำงานของเครื่องตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อเริ่มการทำงาน Microcontroller จะป้อนชุดคำสั่งสำหรับปรับแต่งขนาดของสัญญาณด้วย Equalizer IC อิงจากหน่วยความจำภายในซึ่งเป็นค่าล่าสุดที่ผู้ใช้ได้ปรับปรุงไว้ ในกรณีที่ยังไม่มีการปรับแต่งค่าใดๆจะเป็นชุดคำสั่งให้ Equalizer ไม่ขยายสัญญาณใดๆ
2. อุปกรณ์จะทำงานตามปกติจนผู้ใช้งานกดปุ่มเพื่อทำการวัดระดับการได้ยิน
3. เมื่อผู้ใช้กดปุ่มวัดระดับการได้ยินไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่ง Switch ให้ตัดเสียงจาก Microphone ออกไปแล้วทำการสร้างสัญญาณเสียงที่ย่านความถี่ที่ 1 แล้วค่อยๆขยายขนาดสัญญาณผ่าน Equalizer จนผู้ใช้เริ่มได้ยินเสียงนั้นๆแล้วกดปุ่ม
4. เมื่อผู้ใช้งานเริ่มได้ยินเสียงและกดปุ่มไมโครคอนโทรลเลอร์จะจดจำค่าสำหรับการขยายสัญญาณ ณ เวลานั้นเอาไว้และหยุดสร้างสัญญาณเสียงแล้วทำการสร้างสัญญาณเสียงในย่านความถี่ถัดไป
5. เมื่ออุปกรณ์ทำการทดสอบระดับการได้ยินของผู้ใช้จนครบทุกย่านความถี่แล้วจะเก็บค่าในการขยายสัญญาณในย่านความถี่ต่างๆไว้ในหน่วยความจำภายในสำหรับเรียกใช้เมื่อมีการเปิดเครื่องในครั้งถัดไป และป้อนชุดคำสั่งให้ Equalizer ปรับแต่งขนาดสัญญาณตามที่ผู้ใช้ได้ทดสอบมาและวนกลับไปทำงานปกติรอรับคำสั่งสำหรับการวัดระดับการได้ยินครั้งต่อไป

3.1.5 Block Diagram



รูปที่ 3.1.5 Block Diagram

1. ไมโครโฟนทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงที่ได้ยินและนำไปผ่านวงจรขยายเพื่อประมวลผลต่อไป
2. วงจร Pre microphone และ Amplifier ในส่วนแรกทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของสัญญาณเสียงและขยายขนาดขึ้นมาให้เหมาะสมในการปรับแต่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Equalizer ทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณเสียงในย่านความถี่ต่างๆ
4. Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจาก Equalizer เพื่อรับฟังผ่านหูฟัง Earphone
5. Microcontroller อุปกรณ์สร้างชุดคำสั่งให้แก่ Equalizer และสร้างสัญญาณสำหรับทดสอบสมรรถภาพในการได้ยินของผู้ใช้งาน
6. Switch ถูกควบคุมโดย Microcontroller เพื่อเลือกสัญญาณเสียงในการใช้งาน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) บอร์ดทดลอง	1 แผ่น
2) PIC 16F88	1 ตัว
3) TDA 7317	1 ตัว
4) TDA2822	2 ตัว
5) Analog switch 4066BE	1 ตัว
6) บอร์ดสำหรับ Burn Microcontroller	1 ตัว
7) Power supply	1 ตัว
8) Function generator	1 ตัว
9) Oscilloscope	1 ตัว
10) R ขนาด 47K โอห์ม	13 ตัว
11) R ขนาด 5.1K โอห์ม	8 ตัว
12) R ขนาด 5.6K โอห์ม	4 ตัว
13) R ขนาด 10K โอห์ม	4 ตัว
14) R ขนาด 15K โอห์ม	2 ตัว
15) R ขนาด 10 โอห์ม	4 ตัว
16) R ขนาด 100 โอห์ม	2 ตัว
17) R ขนาด 82K โอห์ม	2 ตัว
18) R ปรับค่าได้ ขนาด 10K โอห์ม	2 ตัว
19) ตัวเก็บประจุขนาด 1 uF	2 ตัว
20) ตัวเก็บประจุขนาด 2 uF	1 ตัว
21) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1uF	2 ตัว
22) ตัวเก็บประจุขนาด 47uF	4 ตัว
23) ตัวเก็บประจุขนาด 10uF	2 ตัว
24) ตัวเก็บประจุขนาด 0.047uF	4 ตัว
25) ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 uF	4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

ในการเก็บผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. ทดสอบหากำลังอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณ

โดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave เข้าไปในวงจร Amplifier แล้วทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุต และนำมาทำการเปรียบเทียบกับอินพุตของสัญญาณ

2. ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของอุปกรณ์

ในการทดลองนี้จะให้ Microcontroller สร้างสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับย่านความถี่ที่จะทำการขยายสัญญาณออกมาและนำไปผ่านวงจรขยายโดยจะวัดขนาดสัญญาณก่อนและหลังขยายทุกครั้งที่มีการขยายเพื่อคำนวณหากำลังขยายของระบบและระดับความดันของเสียง เพื่อหาขีดความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์

3. ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบ

ในการทดลองนี้จะทำให้ Microcontroller ป้อนชุดคำสั่งเพื่อขยายสัญญาณที่ย่านความถี่หนึ่งและสร้างสัญญาณ Sine wave ด้วย Function Generator ที่มี Amplitude คงที่เข้าระบบและทำการวัดขนาด Amplitude ที่เปลี่ยนไปเพื่อทำการคำนวณหาอัตราขยายโดยจะทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปเรื่อยๆเพื่อวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ

4. ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการจำลองกรณีการใช้งานเครื่องช่วยฟัง

ทดลองให้เครื่องช่วยฟังทำหน้าที่โดยปรับแต่งสัญญาณเมื่อมีการใช้งานจริงโดยทำการขยายขนาดสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ดังนี้

I.	ย่านความถี่ที่ 1 (8223 Hz)	:	6	dB
II.	ย่านความถี่ที่ 2 (247 Hz)	:	10	dB
III.	ย่านความถี่ที่ 3 (1243 Hz)	:	2	dB
IV.	ย่านความถี่ที่ 4 (3067 Hz)	:	12	dB
V.	ย่านความถี่ที่ 5 (55 Hz)	:	8	dB

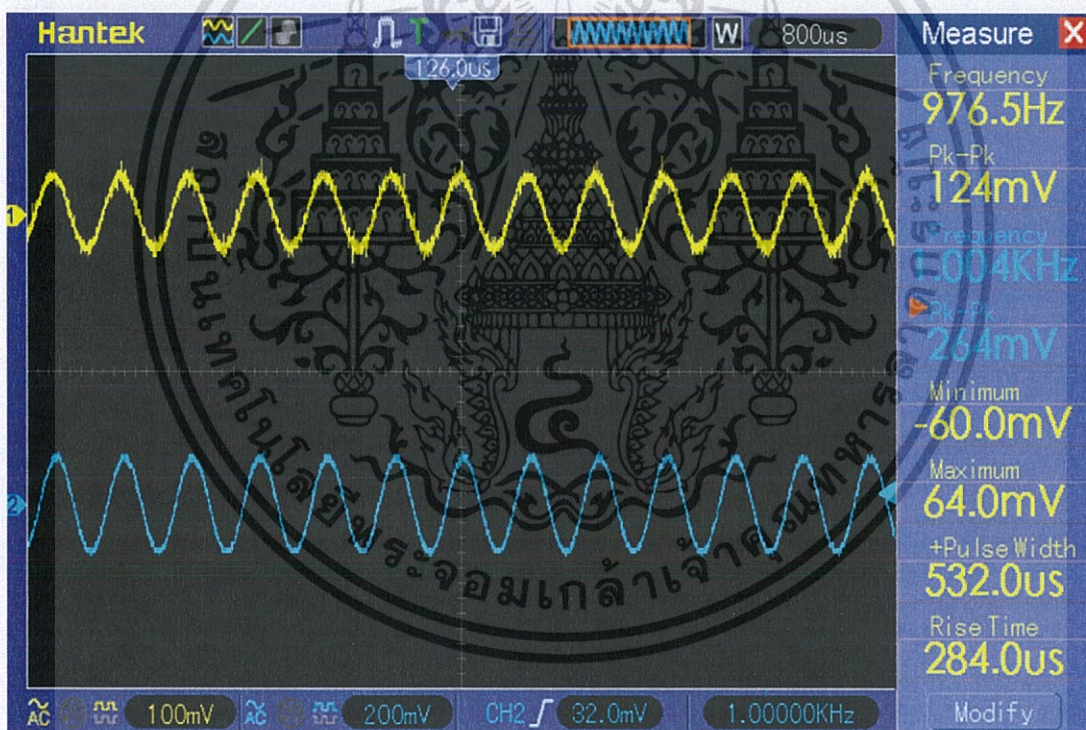
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ทดสอบหากำลังขยายของวงจรขยายสัญญาณ

ในการทดลองส่วนที่ 1 นั้นจะเป็นการทดลองขีดความสามารถในการขยายสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณที่นำมาใช้กับสัญญาณเสียงโดยการสร้างสัญญาณ Sine wave ขนาด 124 mV จาก Function generator และป้อนเข้าวงจรขยายสัญญาณที่สามารถปรับค่าอัตราขยายได้โดยอาศัยความต้านทานปรับค่าได้

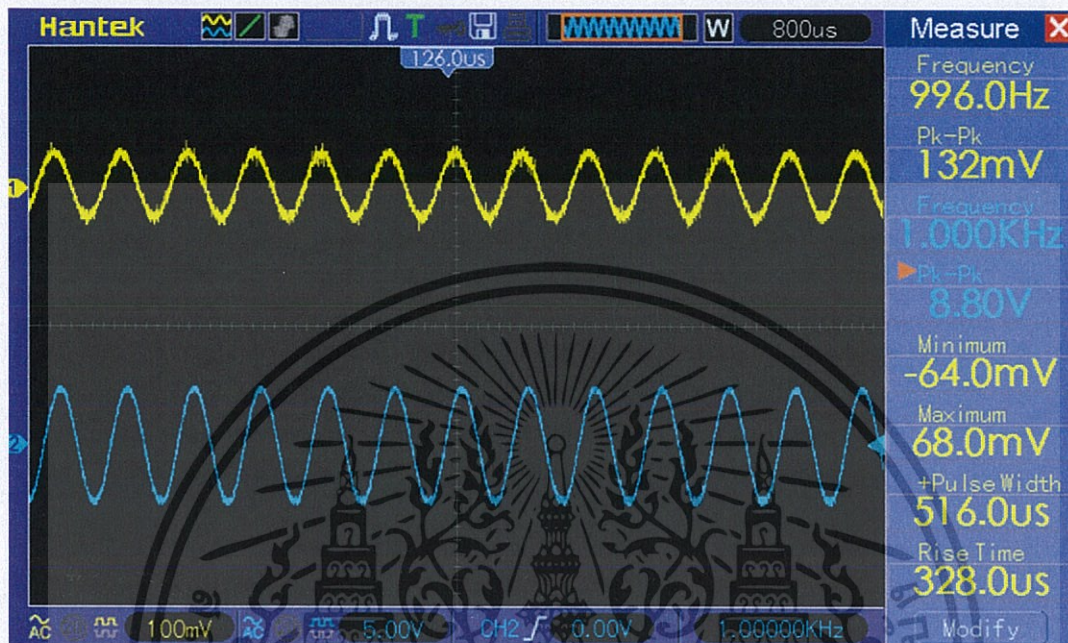
ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อปรับความต้านทานให้วงจรมีอัตราขยายต่ำสุดได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาขนาด 264 mV ซึ่งคิดเป็นอัตราขยาย 2.13 เท่า หรือ 6.57 dB เมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุตดังรูปที่ 4.1.1



รูปที่ 4.1.1 เมื่อปรับเสียงของวงจรขยายให้เบาที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อปรับอัตราขยายให้สูงที่สุดได้สัญญาณเอาต์พุทขนาด 8.8V ซึ่งคิดเป็นอัตราขยาย 66.67 เท่าหรือ 36.5 dB ดังรูปที่ 4.1.2



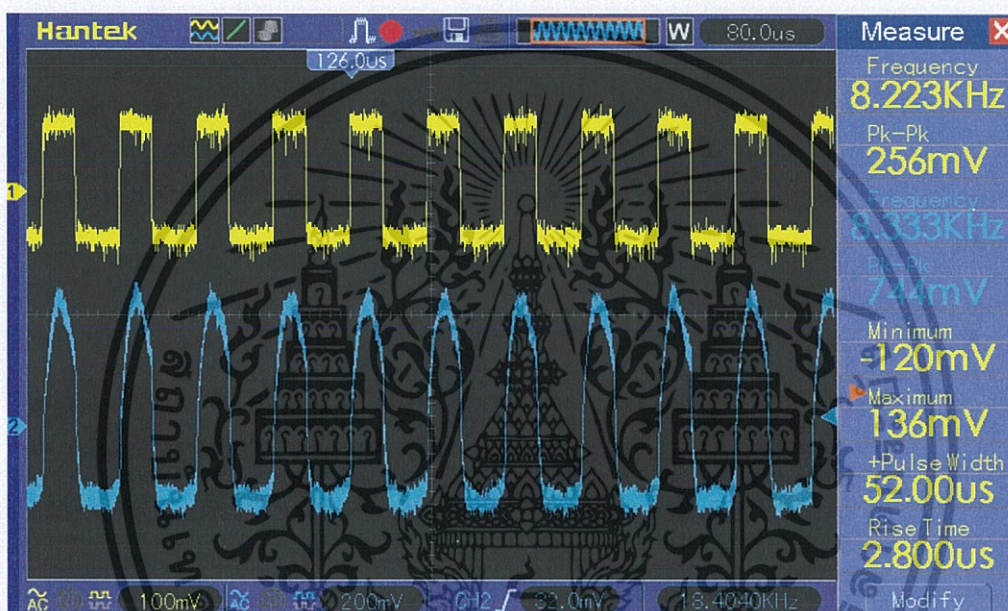
รูปที่ 4.1.2 เมื่อปรับเสียงของวงจรขยายให้ดังที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของDigital equalizer

ใช้ Microcontroller สร้างสัญญาณที่สำหรับการทดสอบความสามารถในการได้ยินของผู้ป่วยโดยสัญญาณที่สร้างจะเป็นสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันโดยเริ่มจากสัญญาณที่มีความถี่ต่ำที่สุดและค่อยๆขยายระดับสัญญาณไปจนสุดขีดความสามารถในการขยายผลที่ได้จึงมี 5 ส่วนดังนี้

4.2.1 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 8233 Hz ขนาดสัญญาณ 268 mVpp



รูปที่ 4.2.1.1 เมื่อใช้ Equalizer ICขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 8233 Hz

ตารางที่ 4.2.1.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8233 Hz

ความถี่(Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย(V)	
8233	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 1 (V)	0.32
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 2 (V)	0.4
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 3 (V)	0.48
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 4 (V)	0.56
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 5 (V)	0.64
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 6 (V)	0.7
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 7 (V)	0.744

เมื่อได้ขนาดสัญญาณเมื่อผ่านการขยายแต่ละครั้งนำมาคำนวณหาอัตราขยายในรูป dB เมื่อมี V reference เป็นขนาดสัญญาณอินพุตจะได้ผลดัง ตารางที่ 4.2.1.2 และอาศัยหลักการ Sound Pressure Level และ Hearing Level เพื่อคำนวณหาระดับการได้ยินเสียงของมนุษย์จากสัญญาณที่ผ่านการขยายออกมาได้ดังตารางที่ 4.2.1.2 และ 4.2.1.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2.1.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8233 Hz

ความถี่ (Hz)		
8233	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.540303686
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	3.478503946
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.062128867
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	6.40106466
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	7.560903599
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	8.33926492
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	8.86876283

ตารางที่ 4.2.1.3 ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 8233 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB SPL)	
8233	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB SPL)	78.55217468
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB SPL)	81.09247836
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB SPL)	83.03067862
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB SPL)	84.61430354
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB SPL)	85.95323934
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB SPL)	87.11307828
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB SPL)	87.8914396
		88.42093751

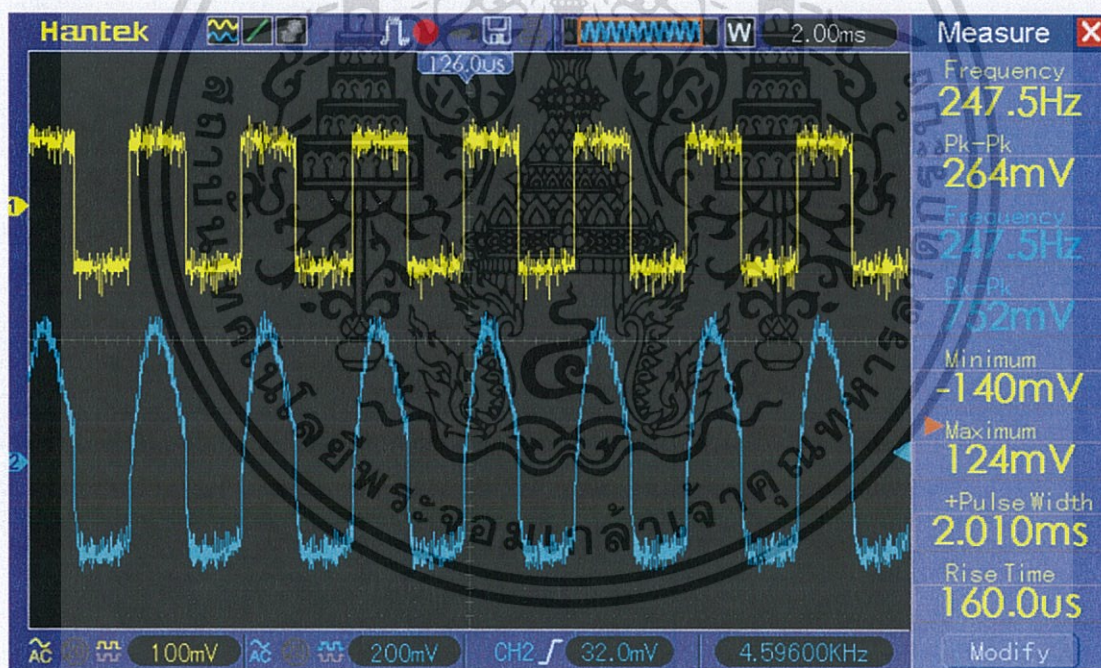
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.1.4 ระดับการได้ยินที่ความถี่ 8233 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB HL)	
8233	ก่อนขยาย (dB HL)	63.05217468
	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB HL)	65.59247836
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB HL)	67.53067862
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB HL)	69.11430354
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB HL)	70.45323934
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB HL)	71.61307828
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB HL)	72.3914396
หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB HL)	72.92093751	

และในส่วนที่เหลืออีก 5 ย่านความถี่ใช้หลักการคำนวณและเก็บผลเช่นเดียวกับส่วน 4.2.1

4.2.2 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 247.5Hz ขนาด 264 mVpp



รูปที่ 4.2.2.1 เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 247.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 247.5Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย(V)	
247.5	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 1 (V)	0.264
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 2 (V)	0.311
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 3 (V)	0.397
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 4 (V)	0.48
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 5 (V)	0.55
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 6 (V)	0.631
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 7 (V)	0.699

ตารางที่ 4.2.2.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 247.5 Hz

ความถี่ (Hz)		
247.5	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.423129243
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	3.543731598
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.19274621
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	6.375175252
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	7.568508647
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	8.457464978
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	9.092278274

ตารางที่ 4.2.2.3 ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 247.5Hz

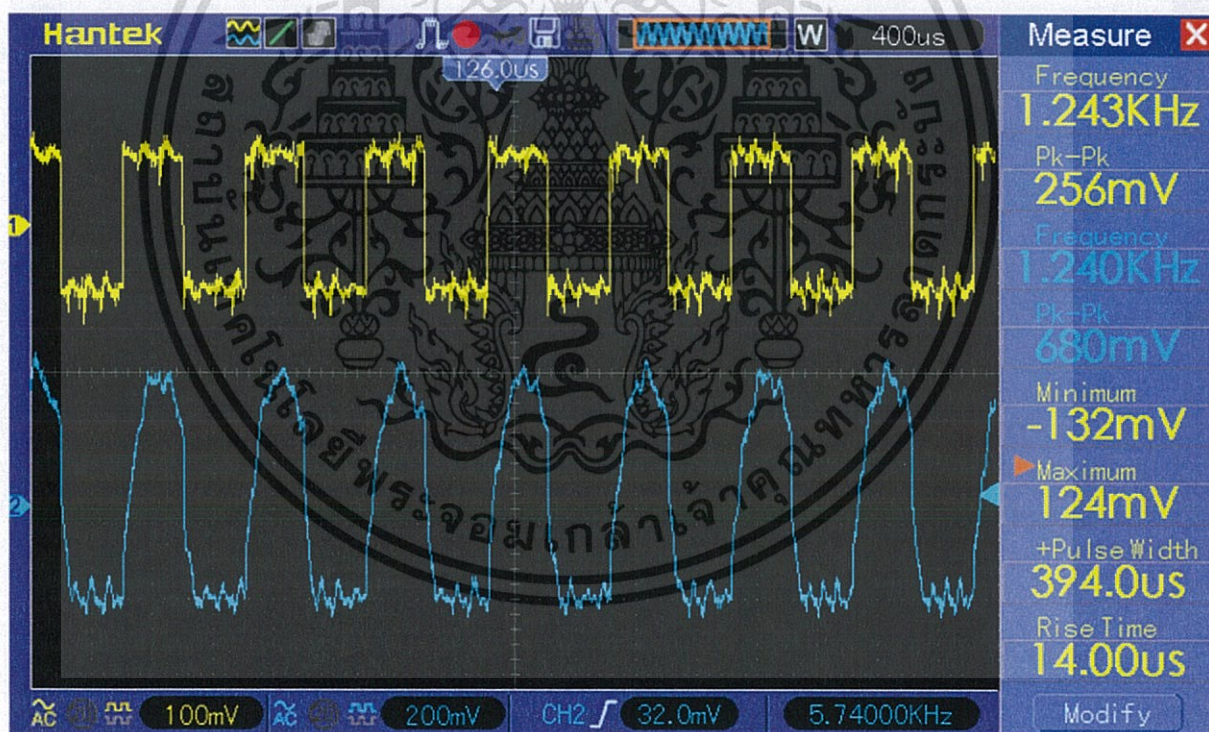
ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB SPL)	
247.5	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB SPL)	79.42155733
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB SPL)	80.84468658
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB SPL)	82.96528893
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB SPL)	84.61430354
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB SPL)	85.79673259
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB SPL)	86.99006598
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB SPL)	87.87902231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2.4 ระดับการได้ยินที่ความถี่ 247.5Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB HL)	
247.5	ก่อนขยาย (dB HL)	52.42155733
	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB HL)	53.84468658
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB HL)	55.96528893
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB HL)	57.61430354
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB HL)	58.79673259
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB HL)	59.99006598
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB HL)	60.87902231
หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB HL)	61.51383561	

4.2.3 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 1243 Hz ขนาด 256 mVpp



รูปที่ 4.2.3.1 เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 1243 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.3.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1243 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย(V)	0.256
1243	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 1 (V)	0.3
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 2 (V)	0.354
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 3 (V)	0.431
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 4 (V)	0.491
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 5 (V)	0.557
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 6 (V)	0.612
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 7 (V)	0.68

ตารางที่ 4.2.3.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1243 Hz

ความถี่ (Hz)		
1243	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.377625788
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	2.815265934
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	4.524746097
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	5.656830536
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	6.752304597
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	7.570229137
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	8.485378948

ตารางที่ 4.2.3.3 ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 1243 Hz

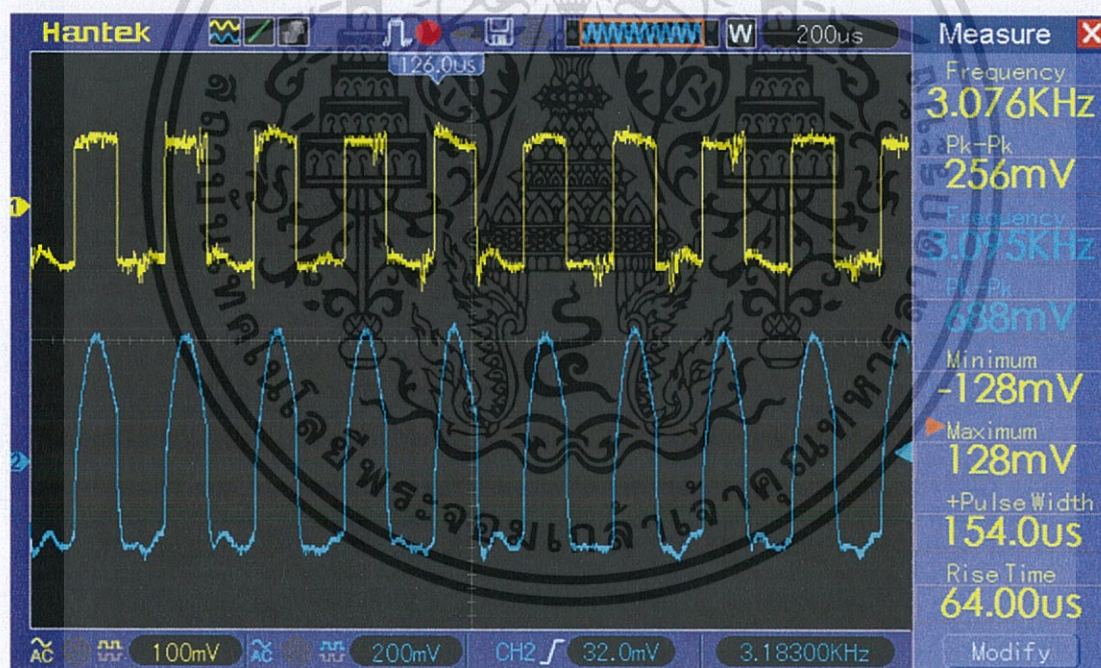
ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB SPL)	79.1542781
1243	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB SPL)	80.53190389
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB SPL)	81.96954404
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB SPL)	83.6790242
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB SPL)	84.81110864
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB SPL)	85.9065827
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB SPL)	86.72450724
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB SPL)	87.63965705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.3.4 ระดับการได้ยินที่ความถี่ 1243 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB HL)	
1243	ก่อนขยาย (dB HL)	71.6542781
	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB HL)	73.03190389
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB HL)	74.46954404
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB HL)	76.1790242
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB HL)	77.31110864
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB HL)	78.4065827
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB HL)	79.22450724
หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB HL)	80.13965705	

4.2.4 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 3076 Hz ขนาด 256 mVpp



รูปที่ 4.2.4.1 เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 3076 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.4.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3076 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย(V)	0.256
3076	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 1 (V)	0.299
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 2 (V)	0.344
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 3 (V)	0.442
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 4 (V)	0.51
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 5 (V)	0.561
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 6 (V)	0.622
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 7 (V)	0.688

ตารางที่ 4.2.4.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3076 Hz

ความถี่ (Hz)		
3076	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.34862446
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	2.566369545
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	4.743646081
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	5.986604216
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	6.814457919
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	7.711008388
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	8.586969458

ตารางที่ 4.2.4.3 ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 3076 Hz

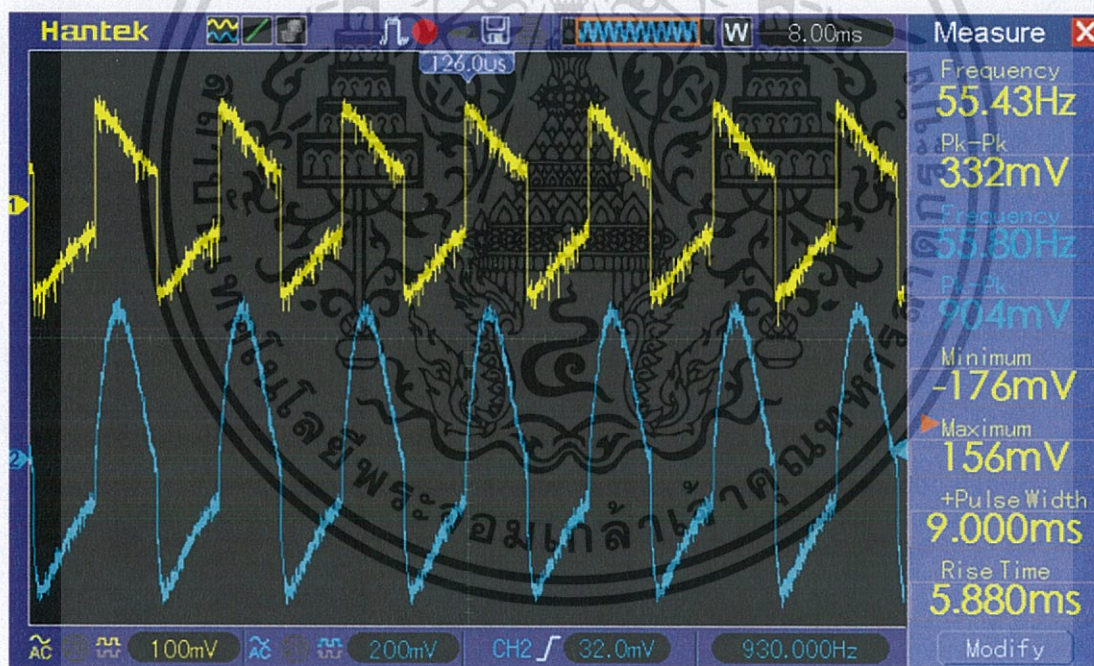
ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB SPL)	79.1542781
3076	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB SPL)	80.50290256
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB SPL)	81.72064765
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB SPL)	83.89792418
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB SPL)	85.14088232
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB SPL)	85.96873602
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB SPL)	86.86528649
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB SPL)	87.74124756

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.4.4 ระดับการได้ยินที่ความถี่ 3076 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB HL)	
3076	ก่อนขยาย (dB HL)	67.6542781
	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB HL)	69.00290256
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB HL)	70.22064765
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB HL)	72.39792418
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB HL)	73.64088232
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB HL)	74.46873602
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB HL)	75.36528649
หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB HL)	76.24124756	

4.2.5 Microcontroller สร้างสัญญาณที่ความถี่ 55 Hz ขนาด 332 mVpp



รูปที่ 4.2.5.1 เมื่อ IC ขยายจนสูงที่สุดที่ความถี่ 55 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.5.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 55 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย(V)	
55	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 1 (V)	0.332
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 2 (V)	0.402
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 3 (V)	0.481
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 4 (V)	0.567
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 5 (V)	0.642
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 6 (V)	0.726
	ขนาดสัญญาณหลังจากขยายครั้งที่ 7 (V)	0.819

ตารางที่ 4.2.5.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 55 Hz

ความถี่ (Hz)		
55	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.661759388
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	3.220139853
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	4.648899504
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	5.727938887
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	6.79597074
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	7.842916361
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	8.700606935

ตารางที่ 4.2.5.3 ระดับความดันเสียงที่ความถี่ 55 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB SPL)	
55	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB SPL)	81.41224047
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB SPL)	83.07399986
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB SPL)	84.63238032
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB SPL)	86.06113997
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB SPL)	87.14017936
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB SPL)	88.20821121
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB SPL)	89.25515683

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.5.4 ระดับการได้ยินที่ความถี่ 55 Hz

ความถี่ (Hz)	ก่อนขยาย (dB HL)	
55	หลังจากขยายครั้งที่ 1 (dB HL)	35.41224047
	หลังจากขยายครั้งที่ 2 (dB HL)	37.07399986
	หลังจากขยายครั้งที่ 3 (dB HL)	38.63238032
	หลังจากขยายครั้งที่ 4 (dB HL)	40.06113997
	หลังจากขยายครั้งที่ 5 (dB HL)	41.14017936
	หลังจากขยายครั้งที่ 6 (dB HL)	42.20821121
	หลังจากขยายครั้งที่ 7 (dB HL)	43.25515683
		44.11284741

4.3 ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบ

ในการทดลองตอนที่ 4.3 จะเป็นการทดลองหาผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบเมื่อทำการขยายขนาดสัญญาณที่ละย่านความถี่เพื่อหาผลตอบสนองของระบบเมื่อขยายขนาดสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ โดยวัดสัญญาณ input และ output และนำมาคำนวณหาอัตราขยายในรูปของเดซิเบลในช่วงความถี่ 10 – 100000 และนำค่าที่ได้มาพล็อตหาผลตอบสนองของระบบได้ผลดังตารางที่ 4.3.1 และ กราฟที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 อัตราการขยายเสียงในแต่ละย่านความถี่

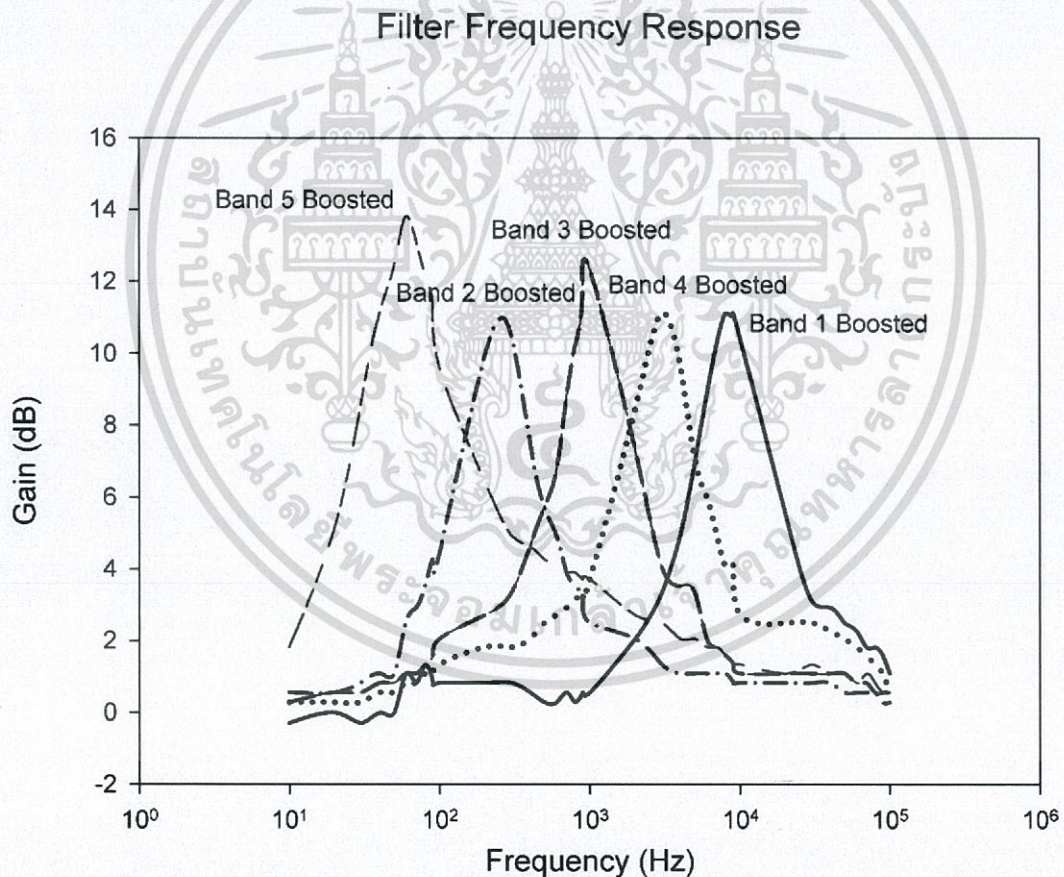
ความถี่ (Hz)	อัตราการขยายสัญญาณที่ความถี่ 8233 Hz (dB)	อัตราการขยายสัญญาณที่ความถี่ 247 Hz (dB)	อัตราการขยายสัญญาณที่ความถี่ 1243 Hz (dB)	อัตราการขยายสัญญาณที่ความถี่ 3760 Hz (dB)	อัตราการขยายสัญญาณที่ความถี่ 55 Hz (dB)
10	-0.294465136	0.560574472	0.284808782	0.284808782	1.821609387
20	0	0.560574472	0.560574472	0.284808782	5.105450102
30	-0.294465136	0.827853703	0.560574472	0.284808782	8.519374645
40	0	1.087153246	0.827853703	0.560574472	11.12605002
50	0	1.087153246	0.827853703	0.560574472	12.39577517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60	1.087153246	2.498774732	1.087153246	0.827853703	13.8039216
70	0.827853703	2.922560714	1.087153246	0.827853703	13.19198625
80	1.338935793	3.521825181	1.338935793	1.087153246	12.25567713
90	0.827853703	4.261496506	1.583624921	1.087153246	11.44193536
100	0.827853703	4.436974992	2.053246838	1.338935793	9.638402752
200	0.827853703	9.920131978	2.71325204	1.821609387	6.444385895
300	0.827853703	10.54400238	3.326628435	1.821609387	4.943092298
400	0.560574472	7.604224834	4.608978428	2.053246838	4.608978428
500	0.284808782	5.726134777	5.726134777	2.498774732	4.261496506
600	0.284808782	4.943092298	6.715842038	2.71325204	4.082399653
700	0.560574472	3.899532064	8.733851953	2.922560714	3.899532064
800	0.284808782	3.521825181	10.19300959	3.126944017	3.899532064
900	0.560574472	3.126944017	11.51914378	3.326628435	3.712731539
1000	0.560574472	2.498774732	12.39577517	3.712731539	3.712731539
2000	2.053246838	2.053246838	7.359535706	8.410116731	2.71325204
3000	3.326628435	1.338935793	4.082399653	11.12605002	2.498774732
4000	4.943092298	1.087153246	3.521825181	9.733331453	2.053246838
5000	6.97907096	1.087153246	3.326628435	7.10775316	2.053246838
6000	8.839136753	1.087153246	2.053246838	6.020599913	1.821609387
7000	10.28209642	1.087153246	1.821609387	4.943092298	1.821609387
8000	11.12605002	1.087153246	1.583624921	4.082399653	1.583624921
9000	11.04525046	0.827853703	1.338935793	4.082399653	1.338935793
10000	10.45757491	0.827853703	1.087153246	2.71325204	1.338935793
20000	5.575072019	0.827853703	1.087153246	2.498774732	1.087153246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30000	3.126944017	0.827853703	1.087153246	2.498774732	1.338935793
40000	2.922560714	0.827853703	1.087153246	2.278867046	1.087153246
50000	2.498774732	0.560574472	1.087153246	2.053246838	1.087153246
60000	2.278867046	0.560574472	0.827853703	1.821609387	0.827853703
70000	1.821609387	0.560574472	0.827853703	1.583624921	1.087153246
80000	1.821609387	0.560574472	0.560574472	1.338935793	0.827853703
90000	1.583624921	0.284808782	0.560574472	1.087153246	0.560574472
100000	1.087153246	0.284808782	0.560574472	0.560574472	0.560574472



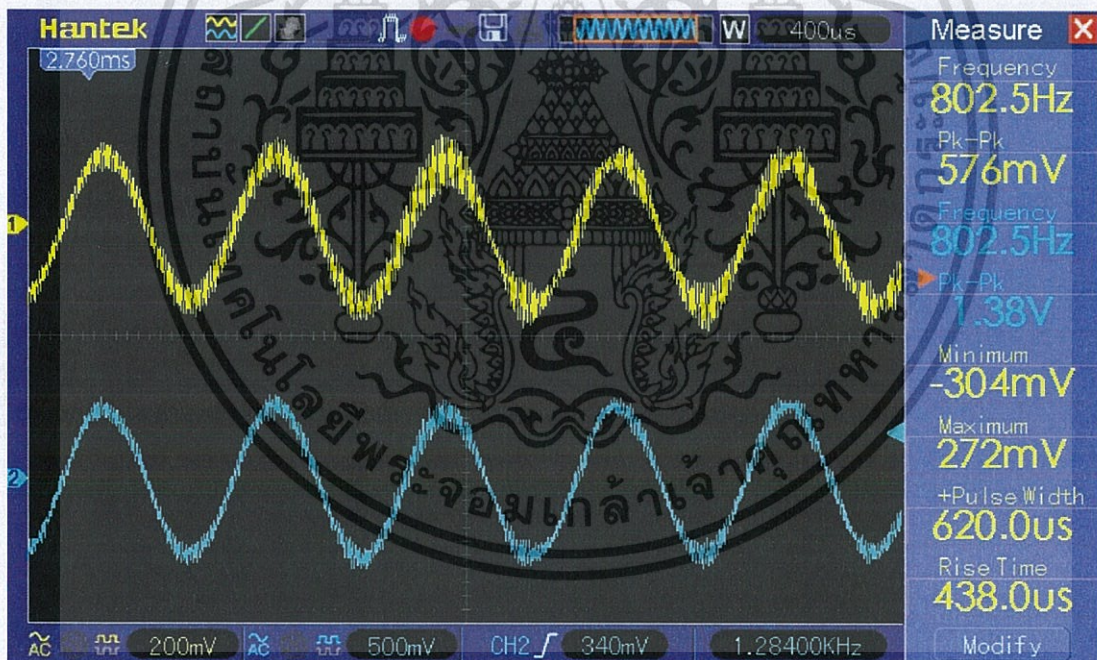
รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการขยายสัญญาณที่ต่างกันในแต่ละย่านความถี่

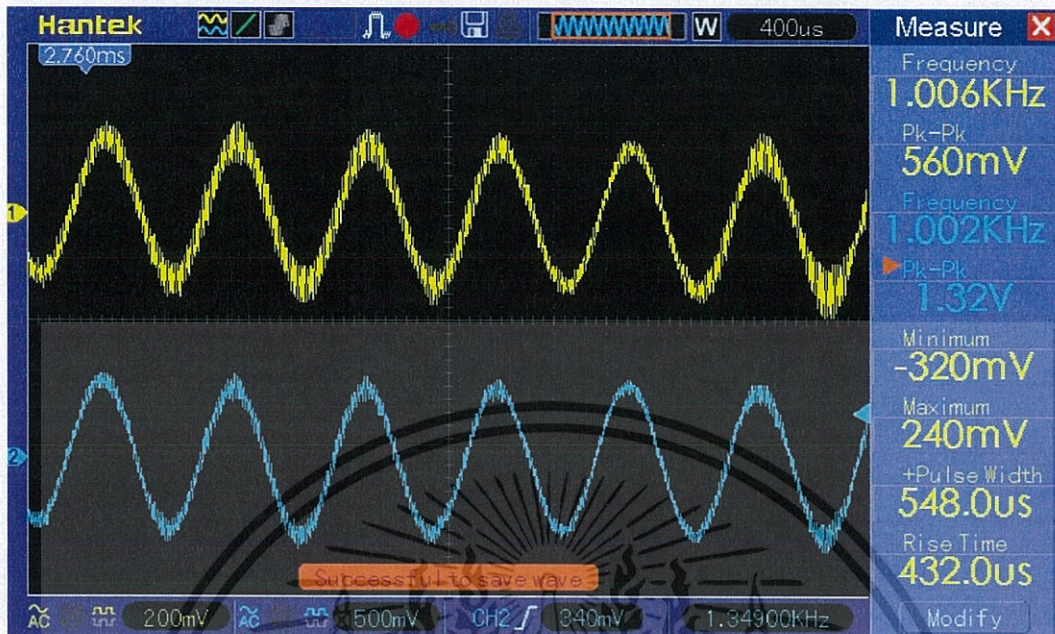
ทดลองให้เครื่องช่วยฟังทำหน้าที่โดยปรับแต่งสัญญาณเมื่อมีการใช้งานจริงโดยทำการขยายขนาดสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ดังนี้ได้ทำการสร้างสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ขนาด 600 Vpp เข้าที่ Equalizer IC และทำการวัดผลการทดลอง

- I. ย่านความถี่ที่ 1 (8223 Hz) : 6 dB
- II. ย่านความถี่ที่ 2 (247 Hz) : 10 dB
- III. ย่านความถี่ที่ 3 (1243 Hz) : 2 dB
- IV. ย่านความถี่ที่ 4 (3067 Hz) : 12 dB
- V. ย่านความถี่ที่ 5 (55 Hz) : 8 dB

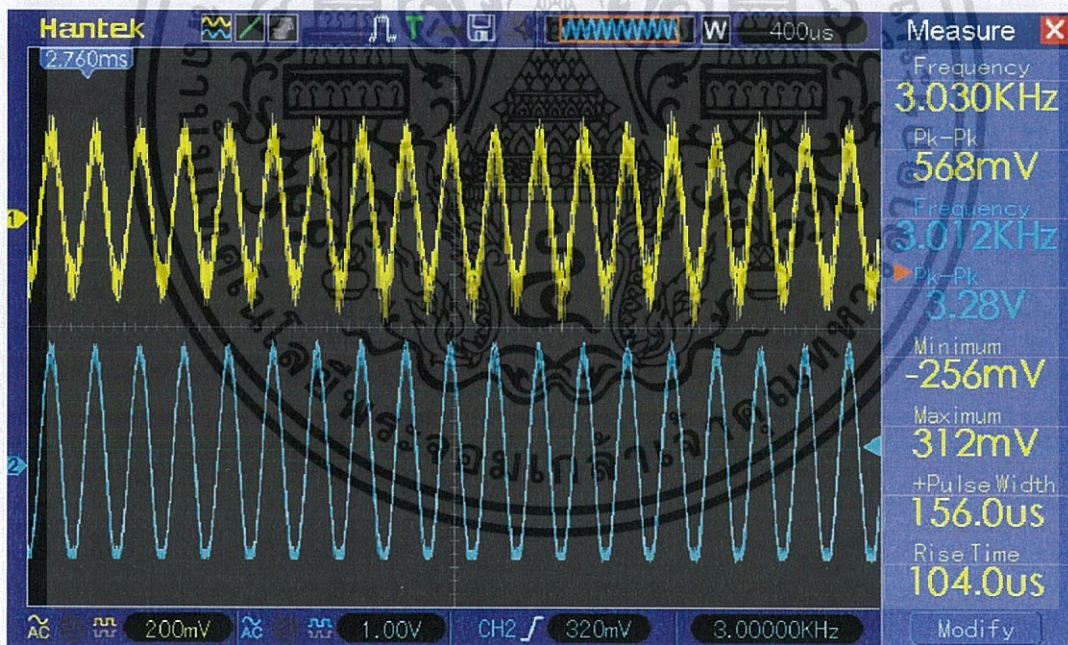


รูปที่ 4.4.1 สัญญาณที่ความถี่ 800 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2 สัญญาณที่ความถี่ 1000 Hz



รูปที่ 4.4.3 สัญญาณที่ความถี่ 3000 Hz

และนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาอัตราการขยายในรูปของเดซิเบลในช่วงความถี่ 10 - 100000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4.1 แสดงอัตราการขยายในกรณีที่ย้ายในย่านความถี่ที่ต่างกัน

ความถี่ (Hz)	Case 1
10	0.284808782
20	3.326628435
30	5.575072019
40	7.10775316
50	9.966211076
60	10.50089614
70	9.873807123
80	8.786653877
90	8.891304415
100	9.733331453
200	11.04525046
300	10.54400238
400	9.247959958
500	8.299466959
600	7.171386335
700	6.305408696
800	5.024650546
900	6.092682399
1000	7.543695742
2000	11.12605002
3000	12.76978514
4000	11.78409341

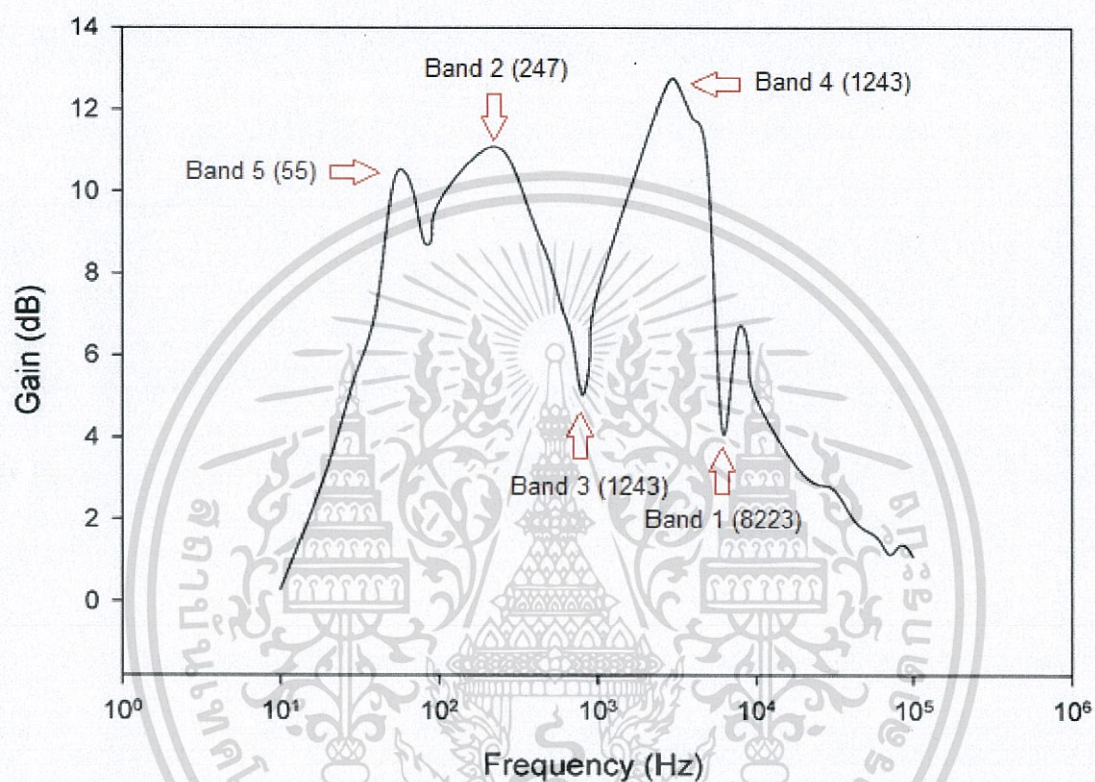
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5000	10.50089614
6000	9.445375039
7000	10.41403652
8000	9.733331453
9000	8.943160627
10000	8.943160627
20000	6.092682399
30000	4.777641778
40000	4.082399653
50000	3.326628435
60000	2.922560714
70000	2.278867046
80000	1.338935793
90000	1.338935793
100000	1.087153246

และนำค่าที่ได้มาพล็อตหาผลตอบสนองของระบบได้ผลตาม รูปที่ 4.4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter Frequency Response



รูปที่ 4.4.4 กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบในอัตราขยายที่ย่านความถี่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองในบทที่ 4 การใช้วงจรขยายสัญญาณที่มีขีดความสามารถในการขยายสัญญาณสูงสุดถึง 36.5 dB เพียงพอสำหรับการชดเชยการได้ยินระดับเสียงโดยรวมของผู้ป่วยและการใช้งาน Digital Equalizer ช่วยเพิ่มระดับสัญญาณในแต่ละช่วงความถี่ทำให้ผู้ป่วยสามารถปรับแต่งการขยายสัญญาณได้ด้วยตนเอง

เมื่อนำฟังก์ชันการทำงานทั้งสองอย่างร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการรับคำสั่งการทำงานและสร้างชุดคำสั่งสำหรับปรับแต่งค่าต่างๆแล้วสามารถสร้างเครื่องช่วยฟังที่ทดสอบสมรรถภาพในการได้ยินเสียงในแต่ละย่านความถี่ของผู้ป่วยและปรับค่าได้ด้วยตนเองเพื่อลดภาระในการเดินทางและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ป่วยโดยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะสั่งให้ Analog switch ตัดสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนออกก่อนและสร้างสัญญาณเสียงมาผ่าน Equalizer และวงจรขยายเพื่อทดสอบผู้ใช้โดยจะหยุดทดสอบเมื่อผู้ใช้เริ่มได้ยินเสียงต่างๆครบแล้วและจะเก็บค่าต่างๆไว้ในหน่วยความจำภายในของ Microcontroller สำหรับการเรียกใช้เมื่อมีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ครั้งต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อชดเชยสมรรถภาพในการได้ยินของผู้ป่วยที่มีความรุนแรงสูงนั้นควรเปลี่ยน Digital equalizer IC ให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น
2. ไมโครโฟนสำหรับการรับสัญญาณเสียงนั้นถ้ามีการออกแบบเฉพาะทางสำหรับวงจรช่วยฟังโดยการหันทิศทางรับเสียงออกไปในทิศทางเดียวกับใบหูจะช่วยให้คุณภาพเสียงมีความคมชัดมากขึ้น
3. การเลือกใช้ค่า Quality Factor (Q) เพื่อกำหนดความกว้างของย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบในการขยายแต่ละช่วงสัญญาณของ Equalizer ให้เหมาะสมเพราะเมื่อเลือกค่า Q ให้แคบนั้นจะส่งผลให้สัญญาณเสียงเกิดความผิดเพี้ยนได้

บรรณานุกรม

- [1] แสดงกลไกการได้ยินเสียง
<https://sites.google.com/site/nutchanun2432/bth-thi8-reuxng-khlun-seiyng/xatrarew-seiyng/khwam-khem-seiyng-laea-radab-khwam-khem-seiyng/khunlaksna-khxng-seiyng/hu-laea-klki-khxng-kar-diyin-seiyng>
- [2] การตรวจสอบการได้ยิน
<http://www.medel.com/th/audiogram/>
- [3] Listening levels
<https://primeloops.com/blog/blog/post/slug/the-art-of-mixing-part-3>
- [4] Audiogram
<http://www.geocities.ws/sclegern/slp/audiogram.html>
- [5] Equalizer
<http://www.eleccircuit.com/5-channel-graphic-equalizer-by-bc548-transistor/>
- [6] TDA 7317
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000149.pdf>
- [7] Amplifier
<https://www.iconfinder.com/search/?q=audio>
- [8] Analog SW
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/26882/TI/CD4066.html?>
- [9] PIC16F88
<http://www.marutsu.co.jp/contents/shop/marutsu/datasheet/PIC16F88.pdf>
- [10] I²C Bus
<http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/I2CBUS.htm>



ภาคผนวก ก

ชุดคำสั่งการทำงานจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <16F88.h>
#device ADC=16
#FUSES NOWDT, NOBROWNOUT, NOLVP
#FUSES INTRC_IO
#use delay(internal=4000000)
#use i2c(Master,Slow,sda=PIN_B1,scl=PIN_B4)
#rom 0x2100 = {0x00,0x80,0x90,0xA0,0xB0,0xC0} //Default block
#rom 0x2106 = {0x00,0x80,0x90,0xA0,0xB0,0xC0} //User block
voidswitchcontrol(intnum)
{
if(num==0)
{
output_high(PIN_A1);
output_low(PIN_A2);
delay_ms(250);
}
if(num==1)
{
output_low(PIN_A1);
output_high(PIN_A2);
delay_ms(250);
}
if(num==2)
{
output_low(PIN_A1);
output_low(PIN_A2);
delay_ms(250);
}
}
voidprogram_init() //Add more initialization
{
output_float(PIN_B6); //Set B6 as Button 2
delay_ms(100);
}
voidrom_to_equalizer(int8 device_address,int j) //Setting
with preset, 0 -> Default
{
inti;
i2c_start();
i2c_write(device_address);
for (i=0;i<6;i++)
{
i2c_write(read_eeprom(i+j)); //Reset all setting to be
0 for all bands
}
i2c_stop();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

voidband_calibration(intnum)
{
    int8 count1,flag;
    int8 count2;
    i2c_start();
    i2c_write(0x86);
    i2c_write(0x00);
    i2c_write(0x80);
    i2c_write(0x90);
    i2c_write(0xA0);
    i2c_write(0xB0);
    i2c_write(0xC0);
    i2c_stop();
    flag = 0;
    switch(num)
    {
    case 1:
        i2c_start();
        i2c_write(0x86);
        i2c_write(0x2F);
        i2c_stop();
        delay_ms(250);
        for(count1=0;count1<=7;count1++)
        {
            if(flag == 0)
            {
                int16i;
                i = 0;
                i2c_start();
                i2c_write(0x86);
                i2c_write(0x80+count1);
                i2c_stop();
                for(i=1;i<19900;i++)
                {
                    if(input_state(PIN_B6)==0)
                    {
                        count2=count1;
                        flag=1;
                    }
                }
                output_high(PIN_B0);
                delay_us(48);
                output_low(PIN_B0);
                delay_us(48);
                if(input_state(PIN_B6)==0)
                {
                    count2=count1;
                    flag=1;
                }
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
if(count1 == 7)
{
    count2 = 7;
}
write_eeprom(7,0x80+count2); //Write into temporary block
count2=0;
break;
case 2:
    i2c_start();
    i2c_write(0x86);
    i2c_write(0x2F);
    i2c_stop();
delay_ms(250);
for(count1=0;count1<=7;count1++)
{
if(flag == 0)
{
int16i;
i = 0;
i2c_start();
i2c_write(0x86);
i2c_write(0x90+count1);
i2c_stop();
for(i=1;i<600;i++)
{
if(input_state(PIN_B6)==0)
{
count2=count1;
flag=1;
output_high(PIN_B0);
delay_ms(2);
output_low(PIN_B0);
delay_ms(2);
if(input_state(PIN_B6)==0)
{
count2=count1;
flag=1;
}
}
}
}
}
if(count1 == 7)
{
count2 = 7;
}
write_eeprom(8,0x90+count2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        count2=0;
break;
case 3:
        i2c_start();
        i2c_write(0x86);
        i2c_write(0x2F);
        i2c_stop();
delay_ms(250);
for(count1=0;count1<=7;count1++)
    {
    if(flag == 0)
        {
        int16i;
        i = 0;
        i2c_start();
        i2c_write(0x86);
        i2c_write(0xA0+count1);
        i2c_stop();
for(i=1;i<3000;i++)
        {
        if(input_state(PIN_B6)==0)
            {
            count2=count1;
flag=1;
            }
        output_high(PIN_B0);
        delay_us(390);
        output_low(PIN_B0);
        delay_us(390);
        if(input_state(PIN_B6)==0)
            {
            count2=count1;
flag=1;
            }
        }
        }
    }
if(count1 == 7)
    {
        count2 = 7;
    }
write_eeprom(9,0xA0+count2);
count2=0;
break;
case 4:
        i2c_start();
        i2c_write(0x86);
        i2c_write(0x2F);
        i2c_stop();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(250);
for(count1=0;count1<=7;count1++)
{
if(flag == 0)
{
int16i;
i = 0;

i2c_start();
i2c_write(0x86);
i2c_write(0xB0+count1);
i2c_stop();

for(i=1;i<7200;i++)
{
if(input_state(PIN_B6)==0)
{
count2=count1;

flag=1;
}

output_high(PIN_B0);
delay_us(150);
output_low(PIN_B0);
delay_us(150);
if(input_state(PIN_B6)==0)
{
count2=count1;

flag=1;
}
}

if(count1 == 7)
{
count2 = 7;

write_eeprom(10,0xB0+count2);
count2=0;

break;
case 5:
i2c_start();
i2c_write(0x86);
i2c_write(0x2F);
i2c_stop();

delay_ms(250);
for(count1=0;count1<=7;count1++)
{
if(flag == 0)
{

int16i;
i = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        i2c_start();
        i2c_write(0x86);
        i2c_write(0xC0+count1);
        i2c_stop();

for(i=1;i<140;i++)
    {
    if(input_state(PIN_B6)==0)
        {
            count2=count1;
        }
    flag=1;
    output_high(PIN_B0);
    delay_ms(9);
    output_low(PIN_B0);
    delay_ms(9);
    if(input_state(PIN_B6)==0)
        {
            count2=count1;
        }
    flag=1;
    }
}
if(count1 == 7)
    {
        count2 = 7;
    }
write_eeprom(11,0xC0+count2);
count2=0;
break;
}
}
void main()
{
rom_to_equalizer(0x86,0); //Default setting
switchcontrol(1);
rom_to_equalizer(0x86,6); //User setting
for(int cc=0;cc<=1000000;cc++)
    {
    if(input_state(PIN_B6)==0)
        {
        switchcontrol(2);
        switchcontrol(0);
        delay_ms(200);
        band_calibration(1);
        band_calibration(2);
        band_calibration(3);
        band_calibration(4);
        band_calibration(5);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
switchcontrol(2);  
switchcontrol(1);  
  
    }  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



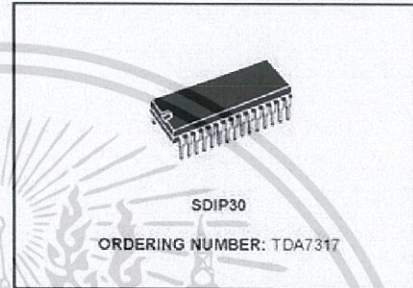
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TDA7317

FIVE BANDS DIGITAL CONTROLLED GRAPHIC EQUALIZER

- VOLUME CONTROL IN 0.375dB STEP
- FIVE BANDS STEREO GRAPHIC EQUALIZER
- CENTER FREQUENCY, BANDWIDTH, MAX BOOST/CUT DEFINED BY EXTERNAL COMPONENTS
- ± 14 dB CUT/BOOST CONTROL IN 2dB/STEP
- ALL FUNCTIONS PROGRAMMABLE VIA SERIAL BUS
- VERY LOW DISTORTION
- VERY LOW NOISE AND DC STEPPING BY USE OF A MIXED BIPOLAR/CMOS TECHNOLOGY

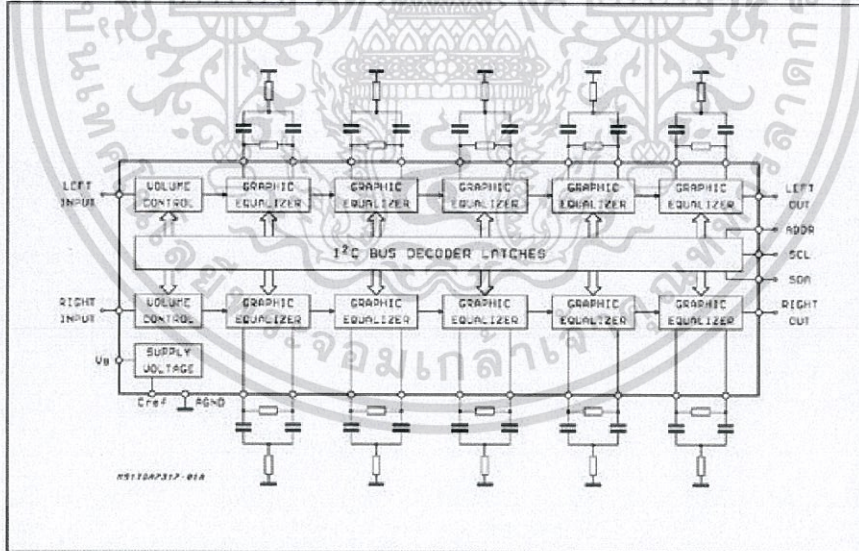


DESCRIPTION

The TDA7317 is a monolithic digitally controlled graphic equalizer realized in BiCMOS mixed technology. The stereo signal, before any filtering, can be at-

tenuated up to -17.625 dB in 0.375dB step. All the functions can be programmed via serial bus making easy to build a μ P controlled system. Signal path is designed for very low noise and distortion.

BLOCK DIAGRAM



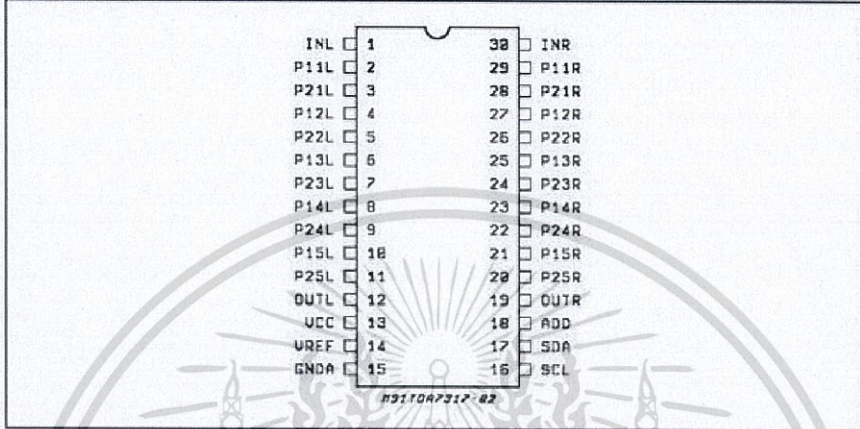
November 1999

1/12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TDA7317

PIN CONNECTION



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	10.2	V
T_{OP}	Operating Temperature Range	-40 to +85	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
$R_{\theta JNC}$	Thermal Resistance Junction pins	max 85	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 9\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, $R_G = 600\Omega$, $f = 1\text{kHz}$, $V_{IN} = 1\text{V}_{rms}$, all controls in flat position ($AV = 0\text{dB}$) unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
--------	-----------	----------------	------	------	------	------

SUPPLY

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage		6	9	10	V
I_S	Supply Current		8	14	20	mA
SVR	Ripple Rejection	$f = 300\text{Hz to } 10\text{kHz}$	60	80		dB



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
INPUT						
R_i	Input Resistance		20	30	40	K Ω
V_{INmax}	Max Input Signal	THD = 0.3%	2	2.5		V _{RMS}
I_{NS}	Input Separation (1)		80	100		dB

VOLUME CONTROL

C_{RANGE}	Control Range			17.625		dB
A_{Vmin}	Min. Attenuation		-0.5	0	0.5	dB
A_{Vmax}	Max. Attenuation		16.7	17.625	18.6	dB
A_{STEP}	Step Resolution		0.175	0.375	0.675	dB
E_A	Attenuation Set Error		-1		1	dB
E_T	Tracking Error				0.5	dB
V_{DC}	DC Steps	adjacent attenuation steps		0	3	mV

GRAPHIC EQUALIZER

THD	Distortion			0.01	0.1	%
C_c	Channel Separation		80	100		dB
e_{NO}	Output Noise	BW = 20Hz to 20KHz flat, AV = 0dB		8	20	μ V
		A curve		6		μ V
		BW = 20Hz to 20KHz AV = 0dB All bands = max. boost		24		μ V
		All bands = max. cut		6		μ V
S/N	Signal to Noise Ratio	AV = 0dB; $V_{ref} = 1V_{RMS}$		100		dB
B_{STEP}	Step Resolution		1	2	3	dB
C_{RANGE}	Control Range	max boost/cut	± 12	± 14	± 16	dB
V_{DC}	DC Steps	Adjacent Control Steps		0.5	3	mV

AUDIO OUTPUTS

V_o	Output Voltage	THD = 0.3%	2	2.5		V _{RMS}
R_o	Output Load Resistance		2			K Ω
C_o	Output Load Capacitance				10	nF
R_{D_o}	Output Resistance		5	10	20	Ω
V_{OUT}	DC Voltage Level		4.2	4.5	4.8	V

BUS INPUTS

V_{IL}	Input Low Voltage				1	V
V_{IH}	Input High Voltage		3			V
I_{BI}	Input Current		-5		+5	μ A
V_o	Output Voltage SDA Acknowledge	$I_o = 1.6mA$			0.4	V

ADDRESS PIN (internal 50K Ω pull down resistor)

V_{IL}	Input Low Voltage				1	V
V_{IH}	Input High Voltage		$V_{CC} - 1V$			V

NOTE: The input is grounded thru the 2.2 μ F capacitors



ภาคผนวก ค
Datasheet 4066BE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

- 15-V Digital or ± 7.5 -V Peak-to-Peak Switching
- 125- Ω Typical On-State Resistance for 15-V Operation
- Switch On-State Resistance Matched to Within 5 Ω Over 15-V Signal-Input Range
- On-State Resistance Flat Over Full Peak-to-Peak Signal Range
- High On/Off Output-Voltage Ratio: 80 dB Typical at $f_{is} = 10$ kHz, $R_L = 1$ k Ω
- High Degree of Linearity: <0.5% Distortion Typical at $f_{is} = 1$ kHz, $V_{is} = 5$ V p-p, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10$ V, $R_L = 10$ k Ω
- Extremely Low Off-State Switch Leakage, Resulting in Very Low Offset Current and High Effective Off-State Resistance: 10 pA Typical at $V_{DD} - V_{SS} = 10$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated From Signal Circuit): 10^{12} Ω Typical
- Low Crosstalk Between Switches: -50 dB Typical at $f_{is} = 8$ MHz, $R_L = 1$ k Ω
- Matched Control-Input to Signal-Output Capacitance: Reduces Output Signal Transients
- Frequency Response, Switch On = 40 MHz Typical
- 100% Tested for Quiescent Current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V Parametric Ratings
- Meets All Requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13-B, *Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices*
- Applications:
 - Analog Signal Switching/Multiplexing: Signal Gating, Modulator, Squelch Control, Demodulator, Chopper, Commutating Switch
 - Digital Signal Switching/Multiplexing
 - Transmission-Gate Logic Implementation
 - Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversion
 - Digital Control of Frequency, Impedance, Phase, and Analog-Signal Gain

E, F, M, NS, OR FW PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The CD4066B is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with the CD4016B, but exhibits a much lower on-state resistance. In addition, the on-state resistance is relatively constant over the full signal-input range.

The CD4066B consists of four bilateral switches, each with independent controls. Both the p and the n devices in a given switch are biased on or off simultaneously by the control signal. As shown in Figure 1, the well of the n-channel device on each switch is tied to either the input (when the switch is on) or to V_{SS} (when the switch is off). This configuration eliminates the variation of the switch-transistor threshold voltage with input signal and, thus, keeps the on-state resistance low over the full operating-signal range.

The advantages over single-channel switches include peak input-signal voltage swings equal to the full supply voltage and more constant on-state impedance over the input-signal range. However, for sample-and-hold applications, the CD4016B is recommended.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PIC16F87/88

18/20/28-Pin Enhanced Flash MCUs with nanoWatt Technology

Low-Power Features:

- Power-Managed modes:
 - Primary Run: RC oscillator, 76 μ A, 1 MHz, 2V
 - RC_RUN: 7 μ A, 31.25 kHz, 2V
 - SEC_RUN: 9 μ A, 32 kHz, 2V
 - Sleep: 0.1 μ A, 2V
- Timer1 Oscillator: 1.8 μ A, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.2 μ A, 2V
- Two-Speed Oscillator Start-up

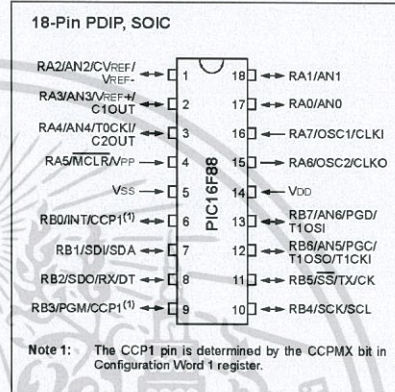
Oscillators:

- Three Crystal modes:
 - LP, XT, HS: up to 20 MHz
- Two External RC modes
- One External Clock mode:
 - ECIO: up to 20 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user selectable frequencies: 31 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz

Peripheral Features:

- Capture, Compare, PWM (CCP) module:
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit, 7-channel Analog-to-Digital Converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master/Slave) and I²C™ (Slave)
- Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (AUSART/SCJ) with 9-bit address detection:
 - RS-232 operation using internal oscillator (no external crystal required)
- Dual Analog Comparator module:
 - Programmable on-chip voltage reference
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Pin Diagram



Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycles Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 typical erase/write cycles EEPROM data memory typical
- EEPROM Data Retention: > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Low-Voltage Programming
- In-Circuit Debugging via two pins
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 1 ms to 268s
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V

Device	Program Memory		Data Memory		I/O Pins	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	AUSART	Comparators	SSP	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F87	7168	4096	368	256	16	N/A	1	Y	2	Y	2/1
PIC16F88	7168	4096	368	256	16	1	1	Y	2	Y	2/1