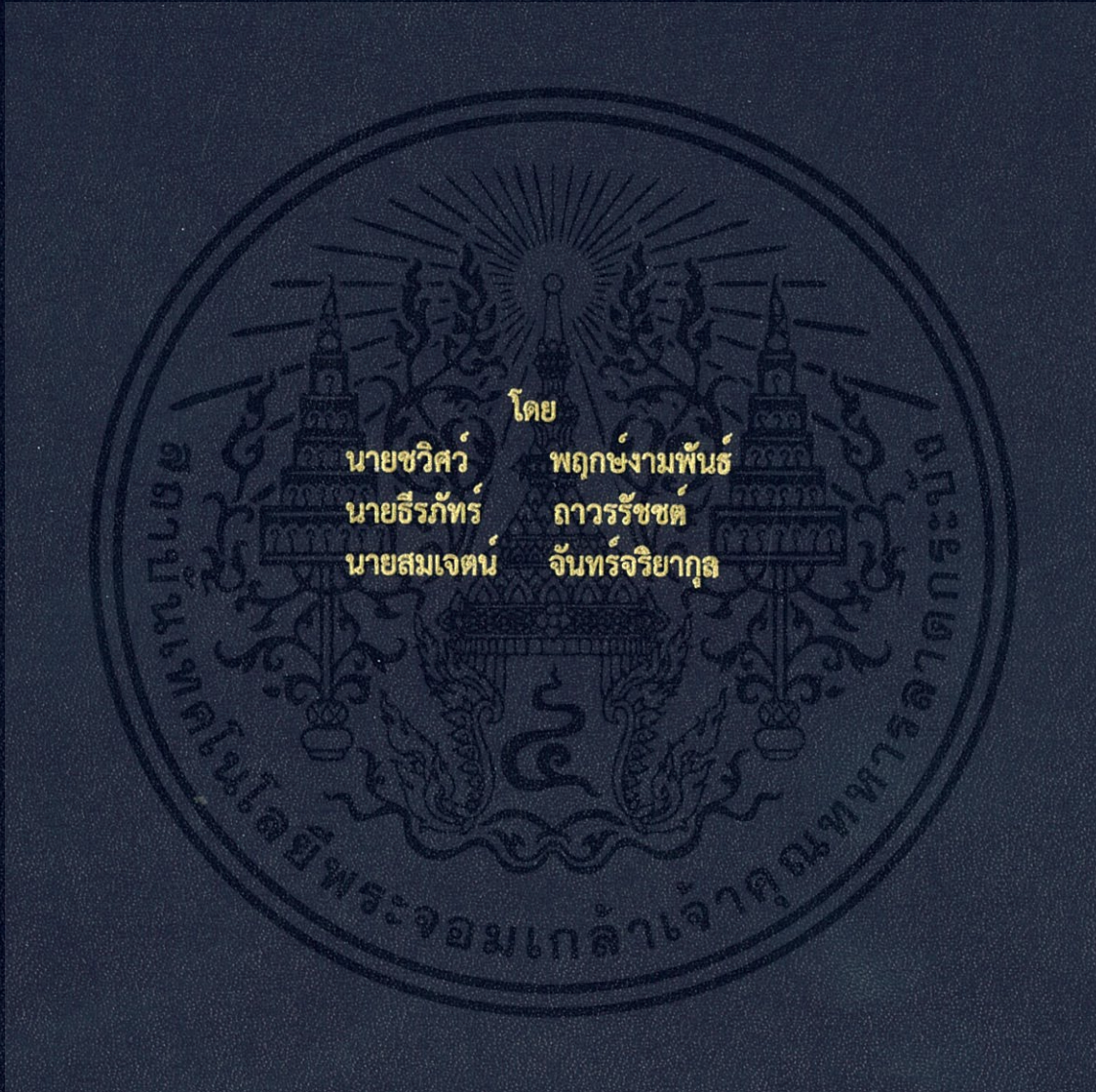


เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน  
SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน  
SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS



โดย

นายวิชาวี

พฤกษ์งามพันธ์

นายธีรภัทร์

ถาวรรัชชต์

นายสมเจตน์

จันทร์จรรย์กุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน  
SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS

โดย

นายวิชาวีร์	พฤกษ์งามพันธ์	56010282
นายธีรภัทร์	ถาวรรัชชต์	56010624
นายสมเจตน์	จันทร์จரியกุล	56011265

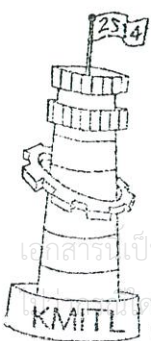


อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. มนตรี คำเงิน  
รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

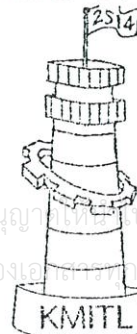


ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(*And Pm*)  
.....  
อาจารย์ที่ปรึกษา

18/05/60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส. 18/05/60 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(*and pm*)  
.....  
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

18/5/60

วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

โครงการปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน

SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS

ผู้จัดทำ

- |                |                |          |
|----------------|----------------|----------|
| 1. นายชวิศว์   | พฤกษ์งามพันธ์  | 56010282 |
| 2. นายธีรภัทร์ | ถาวรรัชชต์     | 56010624 |
| 3. นายสมเจตน์  | จันทร์จรรย์กุล | 56011265 |



(ผศ. ดร. มนตรี คำเงิน)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ “ เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน ” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยดี หากขาดการสนับสนุน และกำลังใจจากหลายๆ ฝ่ายอาทิ

ครอบครัว ที่คอยไต่ถาม เฝ้าติดตามการทำปริญญาานิพนธ์ด้วยความห่วงใยและมอบกำลังใจให้ในยามที่เกิดปัญหา รวมทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมที่มีประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์

รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี และ ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาในการทำปริญญาานิพนธ์ รวมทั้งสนับสนุน เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในระหว่างการทำปริญญาานิพนธ์และขอขอบคุณอย่างยิ่ง สำหรับเงินทุนสนับสนุนปริญญาานิพนธ์

ผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยให้การดำเนินปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี



นายชวิศว์ พฤกษ์งามพันธ์  
นายธีรภัทร์ ถาวรรัชชต์  
นายสมเจตน์ จันทร์จริยากุล  
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน  
SELF-PROGRAMMABLE DIGITAL HEARING AIDS

โดย	นายชวิศว์ พฤกษ์งามพันธ์	56010282
	นายธีรภัทร์ ถาวรรัชต์	56010624
	นายสมเจตน์ จันทร์จรัญกุล	56011265

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

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน มีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยสร้างเครื่องช่วยฟังเสียงสำหรับผู้ประสบปัญหาการได้ยิน ซึ่งสามารถปรับแต่งการขยายสัญญาณในความถี่ที่ผู้ใช้นั้นมีการตอบสนองที่ด้อยกว่าปกติได้โดยผู้ใช้งาน โดยเสียงที่มีความถี่ต่างกันจะถูกสร้างขึ้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดสมรรถภาพการตอบสนองต่อความถี่นั้นๆ ซึ่งความดังของเสียงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นระดับขั้น ขั้นละ 2 เดซิเบล จำนวน 7 ขั้น โดยขีดจำกัดในการขยายสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 12 เดซิเบล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเครื่องช่วยฟังนี้เหมาะสำหรับผู้ที่มีปัญหาทางการได้ยินในระดับเล็กน้อยถึงปานกลางเพื่อเพิ่มความสามารถทางการได้ยินของผู้ใช้งาน

### ABSTRACT

The project presents self-programmable hearing aid equipment for people who have 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 device will mainly test user's hearing ability by using five different tones and different sound level. The microcontroller generates the testing tones up to 7 levels for each tone. Each of the testing signal steps has maximum gain about 2 decibels. The user can memorized the appropriated sound pattern during the testing process in the memory. After finished the testing process, the equalizer will be adjusted by user data from the testing process. In conclusion this device is appropriate to slight or moderate hearing aid people for helping their hearing ability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2	2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	2
2.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	2
2.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	3
2.2 I2C BUS (INTER INTEGRATE CIRCUIT BUS)	4
2.3 SPI BUS (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE BUS)	6
2.4 การได้ยิน	7
2.4.1 กลไกการได้ยินเสียง	7
2.4.2 ประเภทของการสูญเสียการได้ยิน	8
2.4.3 การตรวจการได้ยิน	8
2.5 MICROPHONE SENSITIVITY	10
2.6 EQUALIZER	11
2.7 EQUALIZER IC TDA7317	12
2.8 วงจรขยาย (AMPLIFIER)	12
2.9 วงจรขยายภาคก่อน (PREAMPLIFIER)	14
2.10 ANALOG SWITCH	15
บทที่ 3	16
การออกแบบและการจัดทำโครงการ	16
3.1 การออกแบบ	16
3.1.1 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการใช้	16
3.1.2 วงจร IC TDA7317	17
3.1.3 วงจร Preamplifier และ Amplifier	17
3.1.4 ออกแบบวงจรรวม	18
3.1.5 FLOW CHART	19
3.1.6 BLOCK DIAGRAM	21

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
	22
	22
บทที่ 4	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง	22
ผลการทดลอง	24
4.1 ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของ Digital equalizer	24
4.1.1 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 57 Hz ขนาดสัญญาณ 400mV	22
4.1.2 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 270 Hz ขนาดสัญญาณ 640mV	26
4.1.3 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 1000 Hz ขนาดสัญญาณ 500mV	27
4.1.4 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 3000 Hz ขนาดสัญญาณ 360mV	29
4.1.5 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 8000 Hz ขนาดสัญญาณ 420mV	30
4.2 ทดสอบผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการขยายสัญญาณ ที่ต่างกันในแต่ละย่านความถี่	32
4.3 ทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของผู้ใช้งานเมื่อมีการใช้งาน จริงในผู้ใช้ที่ต่างกัน	35
บทที่ 5	39
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผล	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก ชุดคำสั่งทำงานของระบบ	
ภาคผนวก ข tda7317	
ภาคผนวก ค Arduino nano datasheet	
ภาคผนวก ง Analog Switch	

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.1.1	การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	2
2.1.2.1	การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	3
2.2.1	ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C BUS	4
2.2.2	รูปแบบการเขียน/อ่านข้อมูลแบบ I2C BUS	4
2.2.3	I2C Bus Start and Stop Conditions	5
2.2.4	I2C Bus (Control Byte)	5
2.2.5	การรับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS	6
2.3.1	การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave	6
2.4.1.1	แสดงกลไกการได้ยินเสียง	8
2.4.3.1	การตรวจสอบการได้ยิน	8
2.4.3.2	PRESSURE LEVEL	9
2.4.3.3	Audiogram	10
2.6.1	ชุด Filter ภายใน Equalize	12
2.6.2	รูปแบบความกว้างของช่วงความถี่เสียงภายใน Equalizer	12
2.7.1	TDA7317	13
2.7.2	สูตรการคำนวณหาค่าความถี่ในย่านต่างๆ	13
2.8.1	การทำงานของวงจรรขยาย	14
2.10.1	PIN CONFIGURATION OF CD4066	15
2.10.2	BILATERAL SWITCH ใช้งานในการทำ ANALOG SIGNAL SWITCHING, MULTIPLEXING	15
3.1.2.1	ลายวงจร Equalizer IC TDA7317	17
3.1.3.1	วงจร Preamplifier	17
3.1.3.2	วงจร amplifier	18
3.1.4.1	วงจรของเครื่องช่วยฟัง	18
3.1.4.2	ลาย PCB ของเครื่องช่วยฟัง	19
3.1.5.1	FLOW CHART การทำงานของเครื่องตั้งค่า	20
3.1.6.1	BLOCK DIAGRAM ของอุปกรณ์	21
4.1.1.1	เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 57 Hz	24
4.1.1.2	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจุนสูงที่สุดของความถี่ 57 HZ	24
4.1.2.1	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 260 HZ	25
4.1.2.2	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจุนสูงที่สุดของความถี่ 260 HZ	26
4.1.3.1	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 1000 HZ	27
4.1.3.2	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจุนสูงที่สุดของความถี่ 1000 HZ	28
4.1.4.1	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 3000 HZ	29
4.1.4.2	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจุนสูงที่สุดของความถี่ 3000 HZ	29
4.1.5.1	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 8000 HZ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.5.2	เมื่อใช้ EQUALIZER IC ขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 8000 HZ	31
4.2.1	สัญญาณที่ความถี่ 57 HZ	31
4.2.2	สัญญาณที่ความถี่ 260 HZ	32
4.2.3	สัญญาณที่ความถี่ 1000 HZ	32
4.2.4	สัญญาณที่ความถี่ 3000 HZ	33
4.2.5	สัญญาณที่ความถี่ 8000 HZ	33
4.3.1	กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่จากตาราง 4.3.2	36
4.3.2	กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่จากตาราง 4.3.4	38



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.4.3.4	SPL-HL CONVERSION ตามมาตรฐาน ANSI S3.6-1996	10
3.1.1	ค่าที่คำนวณได้แต่ละย่านความถี่	16
4.1.1.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 57 HZ	25
4.1.1.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 57 HZ	25
4.1.2.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 270 HZ	27
4.1.2.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 270 HZ	27
4.1.3.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1000 HZ	28
4.1.3.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1000 HZ	28
4.1.4.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3000 HZ	30
4.1.4.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3000 HZ	30
4.1.5.1	ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8000 HZ	31
4.1.5.2	อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8000 HZ	31
4.2.1	ตารางเทียบความต้องการขยายสัญญาณกับค่าที่ขยายได้จริงในแต่ละความถี่	35
4.3.1	ตารางอัตราขยายของย่านความถี่จากผู้ใช้งานที่ 1	35
4.3.2	ตารางแสดงอัตราขยายในความถี่ต่างๆของผู้ใช้งานที่ 1 เมื่อป้อนสัญญาณขนาด 400 VPP	35
4.3.3	ตารางอัตราขยายของย่านความถี่จากผู้ใช้งานที่ 2	37
4.3.4	ตารางแสดงอัตราขยายในความถี่ต่างๆของผู้ใช้งานที่ 1 เมื่อป้อนสัญญาณขนาด 400 VPP	37

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโรคหูหนวกหรือผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยินได้มีวิวัฒนาการทางการรักษามากแตกต่างจากเมื่อ 20 ปีที่แล้ว บุคคลที่หูหนวกนั้นแม้ว่าจะสูญเสียในระดับมากจนไม่สามารถได้ยินและเข้าใจเสียงพูด แต่ก็ยังสามารถมีสภาพการได้ยินอยู่บ้างบางส่วน เช่น เสียงที่ดังๆมากและรับรู้ความรู้สึกได้จากการสั่นสะเทือนโดยการสัมผัส เป็นต้น ผู้ที่เสื่อมสมรรถภาพทางการได้ยินในแต่ละคนนั้นจะมีรูปแบบของความเสื่อมที่เกิดขึ้นกับความสามารถในการได้ยินเสียงต่างออกไป โดยมีการตอบสนองต่อเสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงไม่เท่ากัน

ในปัจจุบันเครื่องช่วยฟังจะถูกออกแบบมาโดยเฉพาะแต่ละบุคคลซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการทดสอบซึ่งยุ่งยากและไม่สามารถปรับแต่งได้ ทำให้ผู้ป่วยจำเป็นต้องเข้าพบแพทย์โดยตรงเพื่อปรับแต่งเครื่องช่วยฟังอยู่เป็นระยะก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวันทั้งยังสร้างภาระให้แก่ผู้ป่วยมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการสร้างเครื่องช่วยฟังที่มีขีดความสามารถในการปรับแต่งค่าต่างๆได้ โดยใช้การตรวจวัดความสามารถในการได้ยินของผู้ป่วยจากการปล่อยคลื่นเสียงในแต่ละย่านความถี่ที่ต่างกันออกมาและค่อยๆเพิ่มความดังของเสียงนั้นเพื่อทดสอบว่าผู้ใช้งานแต่ละรายมีความสามารถในการได้ยินเสียงที่ความถี่ต่างๆและความถี่สูงมากน้อยเท่าใดเพื่อนำไปปรับเครื่องช่วยฟังให้เหมาะสมกับผู้ป่วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์

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

#### 1.3 ขอบเขตโครงการ

1. สร้างเครื่องช่วยฟังโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการปรับเสียงเพื่อชดเชยสมรรถภาพ ในการได้ยินเสียงของผู้ป่วย
2. ผู้ป่วยสามารถปรับแต่งเครื่องช่วยฟังตามความสามารถในการได้ยินของตนเองได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

โครงการเครื่องช่วยฟังแบบบันทึกข้อมูลผู้ใช้งานได้ใช้ MICROCONTROLLER ARDUINO และ EQUALIZER IC TDA7317 ในการปรับแต่งกำลังเสียงในแต่ละย่านความถี่ให้เหมาะสม

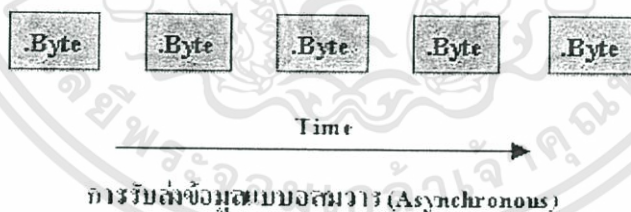
#### 2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลที่ละบิตแทนที่จะทำการรับส่งข้อมูลพร้อมกันทุกบิตในเวลาเดียวกันข้อดีของการสื่อสารแบบนี้คือใช้จำนวนสายในการสื่อสารน้อยสามารถรับส่งได้ในระยะทางที่ไกลๆแต่ก็มีข้อเสียในด้านเวลาเพราะต้องใช้เวลาในการสื่อสารมากเมื่อเทียบกับการสื่อสารแบบขนานอีกทั้งโอกาสเกิดการผิดพลาดของข้อมูลก็สูงกว่าแบบขนาน

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Data Transmission) และการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Data Transmission)

##### 2.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

จะไม่ใช้บิตเริ่มต้นและบิตหยุด จะไม่มีการหยุดชั่วขณะระหว่างอักขระ จะใช้วิธีให้จังหวะเวลาทั้งสองทางที่ติดต่อกัน มีอยู่สองวิธีที่ปฏิบัติคือ ใช้อักขระซิงก์ (SINC CHARACTER) หรือใช้สัญญาณนาฬิกา (CLOCK SIGNAL) การใช้อักขระซิงก์ไว้หน้าบล็อก (BLOCK) ของอักขระที่ใหญ่ โดยการใส่อักขระซิงก์ไว้หน้าบล็อกของข้อมูลอักขระซิงก์นี้เป็นบิตจำนวนหนึ่งที่ทางอุปกรณ์เครื่องรับสามารถใช้ ในการกำหนดอัตราเร็วของข้อมูลให้ตรงกับทางอุปกรณ์เครื่องส่ง การใช้สัญญาณนาฬิกาของด้านส่ง และสัญญาณนาฬิกาของด้านรับจะใช้คนละสายหรือคนละช่องสัญญาณในการส่งข่าวสารเกี่ยวกับเวลาของ ข้อมูลที่จะส่ง โดยทั่วไปการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสจะทำงานภายใต้การควบคุมของโปรโตคอลในระบบนั้น และนิยมใช้กับเทอร์มินัลตลาดและเทอร์มินัลอัจฉริยะ



รูปที่ 2.1.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การส่งข้อมูลจะนำข้อมูล 1 ไบต์ มาส่งออกไปตามสายไฟฟ้าเรียงกันไปจนครบ 8 บิต ซึ่งเท่ากับ 1 ตัวอักษร ข้อดี คือ สามารถส่งได้ระยะทางไกลมากกว่า Parallel Transmission ข้อเสีย คือ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลมีจำกัด ต้องคำนึงถึงรายละเอียดในการรับส่งข้อมูล เช่น การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนของการส่งข้อมูลดิจิทัลโดยวิธีแบบซิงโครนัสมีดังนี้

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสเป็นลักษณะของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านสายสื่อสารจะถูกส่งไปเป็นบิตของอักขระหรือกลุ่มบิตโดยไม่จำเป็นต้องมีบิตเริ่มต้นและบิตจบ การเข้าจังหวะสามารถแบ่งได้ 3 ระดับ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเข้าจังหวะบิต หรือ การซิงโครไนส์บิต เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการส่งข้อมูลของแต่ละบิต
2. การเข้าจังหวะอักขระ หรือ การซิงโครไนส์อักขระ เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดการส่งข้อมูลของแต่ละตัวอักขระ
3. การเข้าจังหวะบล็อก หรือ การซิงโครไนส์บล็อก เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของจำนวนข้อมูลขนาดใหญ่ หรือบล็อกข้อมูล

### 2.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

มักจะใช้กับเทอร์มินัลธรรมดา (DUMB TERMINAL) ไว้สำหรับรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แม่และแสดงผลที่จอ โดยไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ การส่งข้อมูลแบบนี้มักจะมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่แน่นอนมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (BIT PER SECOND) เมื่ออุปกรณ์อะซิงโครนัสจะส่งข้อมูล 1 ไบต์ ก็จะส่งบิตเริ่มต้น (START BIT) ก่อน ซึ่งมักจะเป็น "0" และตามด้วยข้อมูลทั้ง 8 บิตใน 1 ไบต์ แล้วจึงจะส่งบิตหยุด (STOP BIT) ซึ่งมักจะเป็น "1" บิตทั้งหมดนี้ จะรวมกันเป็น 10 บิต ในการส่งข้อมูลเรียงตามลำดับดังนี้ 1 บิตเริ่มต้น 7 บิตข้อมูล (DATA BIT) 1 บิต ภาวะเสมอมูล และ 1 บิตหยุด กระบวนการเหล่านี้จะห่างกัน 1 วินาทีที่จะส่งข้อมูลชุดต่อไป ซึ่งก็หมายถึงว่าเมื่อคอมพิวเตอร์แม่ได้รับบิตเริ่มต้น ก็คาดหวังว่าจะได้รับอีก 9 บิตภายในเวลา 1 วินาที



รูปที่ 2.1.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ในระบบนี้จะเกี่ยวข้องกับเวลาที่เมื่อไรบิตต่อไปจะมาถึง ถ้าไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ การส่งข้อมูลก็จะล้มเหลว ระบบนี้เหมาะในการส่งอักขระจากเทอร์มินัลมายังคอมพิวเตอร์แม่ทันที เคาะแป้นพิมพ์ของเทอร์มินัลก็จะรู้ทันทีว่าจะต้องส่งบิตใดโดยเติมบิตเริ่มต้นและบิตหยุดที่หัวและท้ายของข้อมูลไบต์นั้น ตามลำดับให้ครบ 10 บิตที่จะส่ง ในการส่งข้อมูลอัตราการส่งข้อมูลอาจจะเป็น 110, 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ทางด้านส่งและด้านรับจะต้องมีการตั้งค่าความเร็วให้เท่ากัน ตัวอย่างเช่น การติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องปลายทาง (TERMINAL) ที่โดยธรรมชาติแล้วเป็นการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส เพราะผู้ใช้จะพิมพ์ทีละ 1 ตัวอักขระจากเครื่องปลายทางไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความเร็วสูงในการติดต่อสื่อสาร

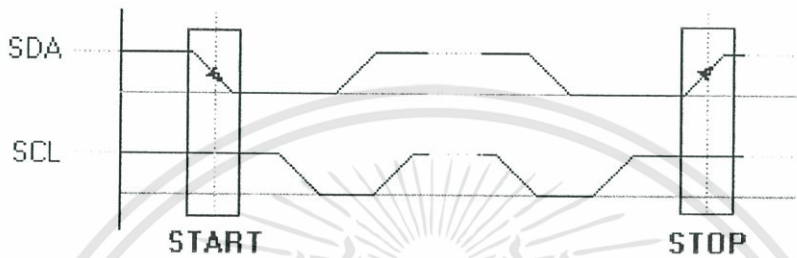
ขั้นตอนของการส่งข้อมูลดิจิทัลโดยวิธีแบบอะซิงโครนัสมีดังนี้

1. ก่อนจะเริ่มทำการส่งข้อมูล สัญญาณจะมีค่าเป็น "1" ตลอดเวลา
2. เมื่อเริ่มส่งข้อมูลสัญญาณบิตแรกจะเปลี่ยนเป็น "0" นั่นคือบิตเริ่มต้น เครื่องรับ จะเริ่มสัญญาณนาฬิกาของตัวเอง เมื่อเวลาผ่านไป 1/2 บิต ถ้าสัญญาณยังคงเป็น "0" ต่อไปอีก 1/2บิตต่อมาก็จะเป็นการเริ่มของสัญญาณข้อมูล แต่ถ้าสัญญาณกลับไปเป็น "1" อีก ก็แสดงว่าเกิดความผิดพลาดอันเกิดจากสัญญาณรบกวนในสายส่งและยังไม่มีสัญญาณข้อมูลใดๆส่งมายังปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- เมื่ออุปกรณ์ รับผิดชอบต่อ MCU ต้องการ จะติดต่อกับก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (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)

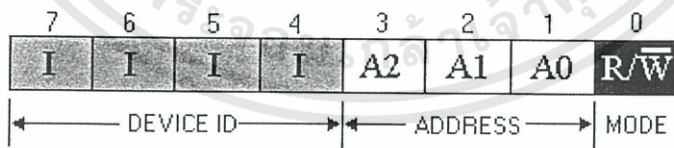


รูปที่ 2.2.3 I2C BUS START AND STOP CONDITIONS

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 1 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1

รหัสควบคุมของ I2C BUS (CONTROL BYTE)



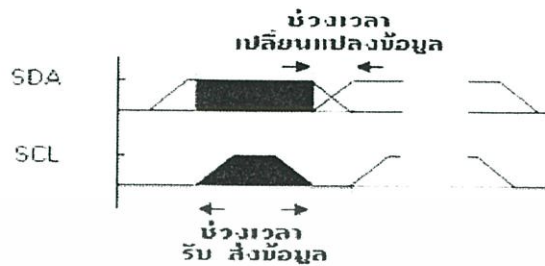
รูปที่ 2.2.4 I2C BUS (CONTROL BYTE)

- 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) ซึ่งผู้ใช้ สามารถ กำหนด เองได้ รวมแล้วเป็นรหัส 7 บิต ใช้ระบุตัวอุปกรณ์ ที่ต่ออยู่บนบัส จะมีค่าซ้ำกันไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บิตควบคุมการเขียนอ่าน (Mode) บิต 0 เมื่อ MCU ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 0 และเมื่อต้องการอ่านข้อมูล จากอุปกรณ์ ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 1

ช่วงเวลารับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS

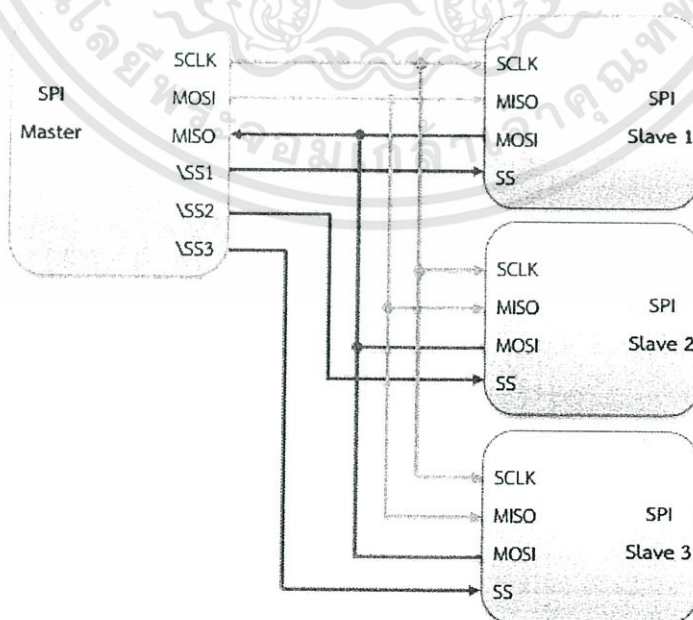


รูปที่ 2.2.5 การรับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS

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

### 2.3 SPI BUS (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE BUS)

เป็นรูปแบบหนึ่งของการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แบบดิจิทัลที่พบเห็นได้บ่อย และใช้กับอุปกรณ์ได้มากกว่าสองขึ้นไปและนำมาต่อกันเป็นบัส (BUS) บัส SPI ส่งและรับข้อมูลที่ละบิต (BIT SERIAL) และใช้สัญญาณ CLOCK เป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงาน (ดังนั้นจึงเรียกว่า SYNCHRONOUS, BIT-SERIAL DATA COMMUNICATION) มีการกำหนดบทบาทในการทำงานของอุปกรณ์ในระบบบัส แบ่งเป็น SPI MASTER และ SPI SLAVE โดยที่ SPI MASTER เป็นฝ่ายเริ่มการสื่อสารข้อมูล และสร้างสัญญาณ CLOCK (มักใช้ชื่อสัญญาณว่า SCLK) มากำหนดจังหวะการส่งและรับข้อมูล และด้าน SPI SLAVE จะเป็นฝ่ายคอยตอบสนอง และในระบบบัส SPI อาจมีอุปกรณ์ที่เป็น SPI SLAVE ได้มากกว่าหนึ่ง (SINGLE-MASTER, MULTI-SLAVE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปที่ 2.3.1 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ MASTER – SLAVE

SPI ใช้สัญญาณ 4 เส้น (ใช้งานในแบบที่เรียกว่า 4-WIRE SPI) ได้แก่

- SCK (Serial Clock) — เป็นสัญญาณ CLK ที่ถูกสร้างโดยอุปกรณ์ที่เป็น SPI Master
- MOSI (Master-Out Slave-In) — เป็นสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลบิตออกจาก SPI Master ไปยัง SPI Slave
- MISO (Master-In Slave-Out) — เป็นสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลบิตออกจาก SPI Slave ไปยัง SPI Master
- /SS (Slave Select, Active-Low) — เป็นสัญญาณที่สร้างโดย SPI Master เพื่อใช้ระบุว่า ต้องการสื่อสารกับ SPI Slave หรือไม่ — ในกรณีที่มีอุปกรณ์ SPI Slave มากกว่าหนึ่งชุด จะต้องมีสัญญาณ Slave Select มากกว่าหนึ่งเส้น และแยกสำหรับแต่ละอุปกรณ์

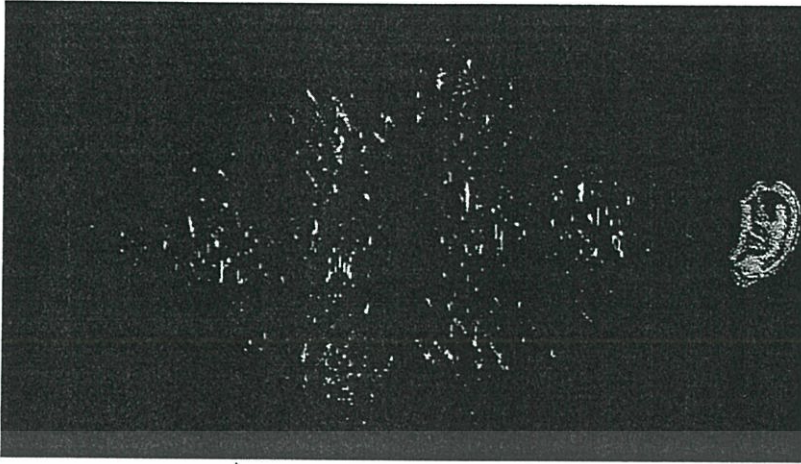
เมื่อจะส่ง-รับข้อมูลผ่านบัส SPI (เรียกว่า SPI DATA TRANSFER) สัญญาณ SLAVE SELECT (/SS) จะต้องเปลี่ยนจาก HIGH เป็น LOW จากนั้นข้อมูลหนึ่งไบต์จะถูกเลื่อนบิตและส่งออกไปที่ละบิตจาก SPI MASTER ตามจังหวะของ SCK และเลือกได้ว่าจะให้บิต MSB (MOST-SIGNIFICANT BIT) หรือ LSB (LEAST-SIGNIFICANT BIT) ถูกส่งออกมาก่อน และในขณะเดียวกันก็จะรับข้อมูลที่ละบิตจาก SPI SLAVE จนได้ครบหนึ่งไบต์ (หรือกล่าวได้ว่า DATA FRAME = 8 บิต) ดังนั้นเมื่อ SPI MASTER ส่งข้อมูลจำนวนหนึ่งไบต์ไปยัง SPI SLAVE ก็จะได้ข้อมูลหนึ่งไบต์จาก SPI SLAVE เช่นกัน ในช่วงเวลาที่สัญญาณ /SS เป็น LOW อาจมีการส่ง-รับข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งไบต์ (MULTI-BYTE SPI TRANSFER)

การทำงานของ SPI มี 4 โหมด จำแนกตามพารามิเตอร์สองตัวที่เรียกว่า CPOL (CLOCK POLARITY) และ CPHA (CLOCK PHASE) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการทำงานอย่างเช่น จะส่ง-รับบิตที่ขอบขาขึ้นหรือลงของสัญญาณ CLK และสัญญาณ CLK จะอยู่ที่ลอจิก HIGH หรือ LOW เมื่อไม่อยู่ในช่วงของการส่งข้อมูลใดๆในบัส SPI (ช่วงที่เรียกว่า IDLE) แต่โดยทั่วไปจะใช้ SPI MODE 0

## 2.4 การได้ยิน

### 2.4.1 กลไกการได้ยินเสียง

ช่องหูจะทำให้คลื่นเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 2,000 – 5,000 HZ มีพลังงานสูงขึ้นเนื่องจากเกิด RESONANCE ในช่องหู ถ้าความถี่ ต่ำกว่า 400 HZ การรับคลื่นเสียงไม่ค่อยดี

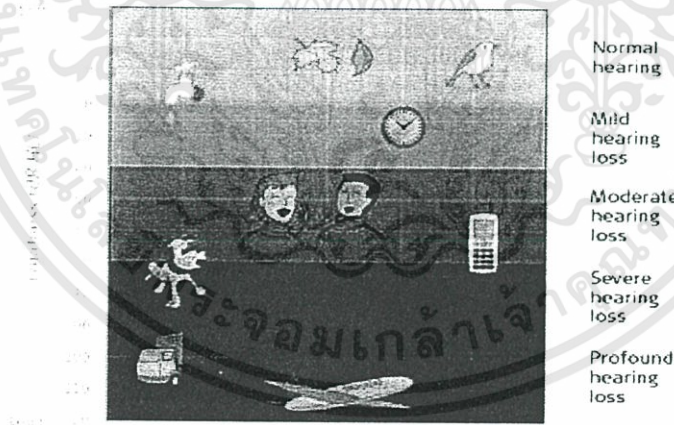


รูปที่ 2.4.1.1 แสดงกลไกการได้ยินเสียง

#### 2.4.2 ประเภทของการสูญเสียการได้ยิน

การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องการเกิดปัญหาใดๆ บริเวณหูชั้นนอกหรือชั้นกลางซึ่งปิดกั้นไม่ให้เสียงถูกส่งต่อไปอย่างเหมาะสม เรียกว่า การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่อง การสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องมักมีระดับความรุนแรงอยู่ที่ขั้นต้นหรือปานกลาง ตั้งแต่ 25 ถึง 65 เดซิเบล ในการสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่องอาจบรรเทาได้ด้วยการใช้เครื่องช่วยฟังหรือฝังประสาทหูชั้นกลางเทียม

#### 2.4.3 การตรวจการได้ยิน



รูปที่ 2.4.3.1 การตรวจสอบการได้ยิน

ผลการตรวจการได้ยิน (AUDIOGRAM) คือ ภาพกราฟที่แสดงความสามารถในการได้ยินและระดับการสูญเสียการได้ยินของบุคคลในหูแต่ละข้าง แนวด้านบนของกราฟจะมีตัวเลขเรียงกันตั้งแต่ 125 ถึง 8000 ตัวเลขเหล่านี้แสดงความถี่ของเสียงหรือระดับเสียงที่แตกต่างกันออกไป

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

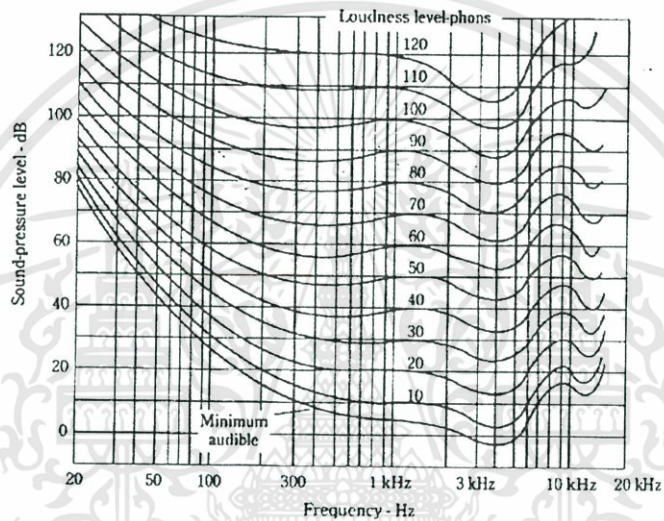
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดังของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล อย่างไรก็ตามค่าศูนย์เดซิเบล (0 DB) ไม่ได้แปลว่า "ไม่มีเสียง" เพียงแต่เสียงดังกล่าวนั้นเอง ระดับเสียงสนทนาอยู่ที่ 65 เดซิเบล ส่วน 120 เดซิเบล ถือว่าดังมาก-พอๆ กับเสียงเครื่องบินที่อยู่ห่างออกไปเพียง 25 เมตรเลยทีเดียว สังเกตได้จากตัวเลขด้านข้างกราฟที่แสดงระดับการได้ยินเป็นเดซิเบล

ระหว่าง การทดสอบการได้ยิน จะเปิดเสียงครั้งละหนึ่งระดับความถี่ โดยเสียงที่เบาที่สุดที่บุคคลสามารถได้ยินในแต่ละความถี่จะถูกทำเครื่องหมายไว้บนกราฟแสดงผลที่ระดับความถี่และความดังของเสียงนั้นๆ เรียกว่า "ระดับการได้ยินเริ่มต้น"

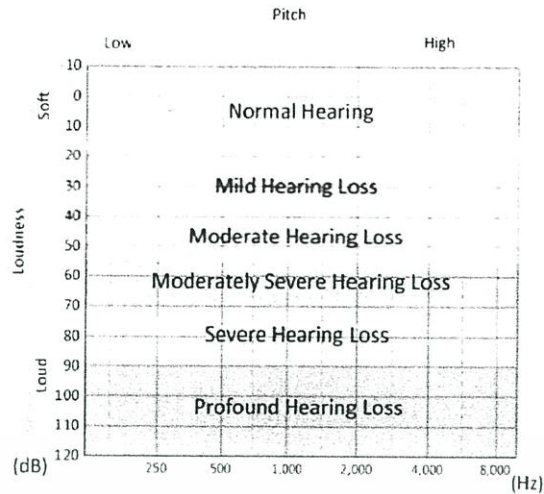
#### HEARING LEVEL (HL)

ระดับการได้ยิน (HEARING LEVEL, HL) เป็นระดับความดังที่มีความสัมพันธ์กัน SOUND PRESSURE LEVEL แต่จะใช้อ้างอิงจากระดับเสียงที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ปกติในการได้ยินเสียงที่ย่านความถี่ต่างๆ ซึ่งจะถูกนำมาสร้างเป็น AUDIOGRAM เพื่อวัดระดับความบกพร่องทางการได้ยิน



รูปที่ 2.4.3.2 เส้นล่างสุดของ SOUND PRESSURE LEVEL บอกความดังของเสียงที่มนุษย์เริ่มได้ยิน

มนุษย์จะเริ่มได้ยินเสียงที่ย่านความถี่ต่างๆที่ระดับความดังตามเส้นกราฟเส้นล่างสุดในรูปที่ 2.1.3.2 เมื่อเราอาศัยเส้นที่บอก MINIMUM AUDIBLE ซึ่งเป็นเส้นที่มนุษย์ธรรมดาเริ่มได้ยินเสียงมาสร้างเป็น AUDIOGRAM ซึ่งวัดระดับเป็น HEARING LEVEL จะพบว่าที่ความถี่ต่างๆนั้นระดับ SPL และ HL จะมีความแตกต่างกันเมื่อได้ระดับการได้ยินที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ถึงความบกพร่องทางการรับเสียงแล้วสามารถนำมาสร้าง AUDIOGRAM ได้



รูปที่ 2.4.3.3 AUDIOGRAM

ตารางที่ 2.4.3.4 : 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

## 2.5 MICROPHONE SENSITIVITY

ค่าความไวของไมโครโฟน คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณเอาต์พุตที่เป็น VOLTAGE และระดับความดันเสียงซึ่งเป็นอินพุตของไมโครโฟน โดยทั่วไปแล้วค่าความไวของไมโครโฟนจะถูกวัดกับสัญญาณไซน์ 1KHZ ที่ระดับความดันเสียง 94DB SPL หรือ 1 PA โดยจะอยู่ในหน่วย DBMV/PA

กล่าวคือเมื่อมีการให้เสียงที่มีความดัน 94 DB SPL เข้ามาที่ไมโครโฟนแล้วไมโครโฟนจะสร้างสัญญาณเสียงในรูปของ VOLTAGE ออกมาเท่าใดนั่นก็คือความไวของไมโครโฟน เช่น ถ้าไมโครโฟนป้อนสัญญาณออกมา 1.85MV เทียบกับ 1V เมื่อได้รับเสียงที่มีความดัน 94DB SPL ดังนั้นเมื่อผ่านการคำนวณจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าความไวของไมโครโฟนตัวนี้อยู่ที่ -54.5 DBV/PA ดังนั้นเมื่อค่าความไวของไมโครโฟนเพิ่มขึ้นหมายความว่าไมโครโฟนจะสร้างสัญญาณเสียงเชิงไฟฟ้าได้มีขนาดสูงขึ้น

#### 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

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

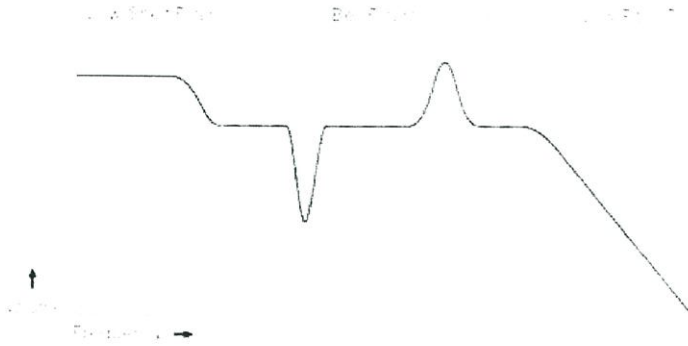
ตัวอย่างเช่นในระบบใช้ไมโครโฟนที่มี SENSITIVITY = -46 DBV/PA แล้ววัดระดับสัญญาณเสียงเอาต์พุตได้ 2.5V

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

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

#### 2.6 EQUALIZER

คือ วงจรที่ประกอบด้วยชุด FILTER ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมความดัง (LOUDNESS) และความกว้าง (BANDWIDTH) ของความถี่ใดๆในสเปคตรัมตามที่กำหนดไว้ โดยสัญญาณจะถูกแยกเป็นช่วงความถี่เมื่อเข้าสู่ EQUALIZER ให้เหมาะสมกับ FILTER ที่บรรจุไว้แต่ละตัวแล้วค่อยนำมารวมกันที่ OUTPUT เป็นรูปสัญญาณเดิมอีกครั้ง



รูปที่ 2.6.1 เป็นชุด FILTER ภายใน EQUALIZE

EQUALIZER มีตัวแปรหลักดังนี้

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

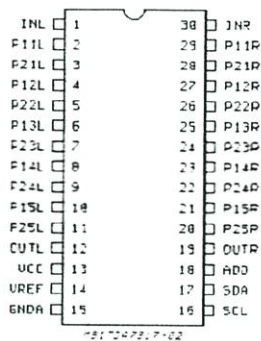


รูปที่ 2.6.2 รูปแบบความกว้างของช่วงความถี่เสียงภายใน Equalizer

## 2.7 Equalizer IC TDA7317

เป็น Digital Graphic Equalizer IC สำหรับใช้ในการปรับแต่งกำลังแต่ละย่านความถี่โดยรับคำสั่งจาก Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7.1 TDA7317

Graphic equalizer

เป็นชนิดของ Equalizer ที่จะทำการปรับแต่งขนาดของสัญญาณในแต่ละช่องความถี่ (Band, Channel) จะมีกำหนดค่าความกว้างของย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ, 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  $f_2, f_1 = 3\text{dB Bandwidth limits.}$

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

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

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

If  $C1$  is fixed, then:

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

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

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

รูปที่ 2.7.2 สูตรการคำนวณหาค่าความถี่ในย่านต่างๆ

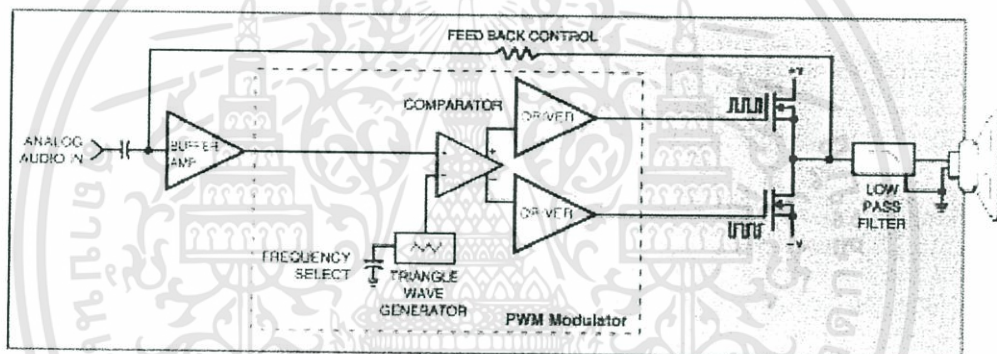
2.8 วงจรขยาย (Amplifier)

การประยุกต์ทรานซิสเตอร์ไปสร้างเป็น วงจรขยาย (Amplifier) ที่สามารถขยายได้ทั้งปริมาณของกระแสไฟฟ้า และขนาดของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งก็จะหมายถึง มีความสามารถในการขยายกำลังไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ วงจรขยาย นับได้ว่า เป็นวงจรพื้นฐานสำหรับการทำงานของระบบต่างๆ อย่างมากมาย ซึ่งในโครงการฉบับนี้ได้ นำ วงจรขยาย (Amplifier) ไปขยายสัญญาณเสียงให้มีขนาดสัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับขนาดของสัญญาณที่ป้อนสู่วงจรและการขยายยังสามารถมีค่าเป็นบวก (Positive Gain) หรือ เป็นลบ (Negative Gain) ก็ได้เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าหรือเฟสของสัญญาณ วงจรขยายจึงมีลักษณะเป็นวงจรสองพอร์ตที่มีขาเข้าหนึ่งคู่ และขาออกอีกหนึ่งคู่ โดยอาจมีขาเข้าขาเข้าหนึ่งกับอีกขาหนึ่งของวงจรทางด้านขาออกเป็น ขั้วร่วม (Common Terminal) ของสัญญาณ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการต่อวงจรทรานซิสเตอร์ ที่จะต้องมีขาหนึ่งเป็นขั้วร่วมของสัญญาณที่ผ่านวงจรเสมอโดยทั่วไปแล้วการใช้งานทรานซิสเตอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์นั้นจะต้องทำงานอยู่ในย่านต้นตัว

สำหรับตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรขยายนั่น ซึ่งทำหน้าที่ผ่านเฉพาะสัญญาณกระแสสลับเข้าสู่หรือออกจากวงจร ในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ป้องกันหรือแยกส่วน (Isolation) แรงดันกระแสตรง (Direct Current Component) ออกจากวงจรส่วนอื่นไม่ให้เข้ามารบกวน จุดการทำงาน (Operating Point) ของทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้ การผ่านสัญญาณต่างๆ ของวงจร จะขึ้นอยู่กับลักษณะการจับวงจรอีกต่อหนึ่ง ที่จะกำหนดให้ขั้วใดเป็นขาเข้า ขั้วใดเป็นขาออก และ ขั้วใดเป็นขั้วร่วมของสัญญาณ



รูปที่ 2.8.1 การทำงานของวงจรขยาย

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

## 2.9 วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier)

โดยหน้าที่หลักๆของ วงจรขยายภาคก่อน (Preamplifier) ขยายสัญญาณในระดับต่ำเพื่อให้มีระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนสู่ภาคขยายอื่น ๆ ต่อไป รวมถึงการทำตัวเป็นวงจรบัฟเฟอร์ (กันชน) เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ทางเสียงที่อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานภายในต่างกันให้ทำงานร่วมกันได้และสามารถที่จะขยายสัญญาณพร้อมการปรับแต่ง และ การปรุงแต่งเสียงซึ่งอาจกำหนดให้มีการขยายระดับสัญญาณให้สูงขึ้น หรือไม่มีการขยายสัญญาณก็ได้

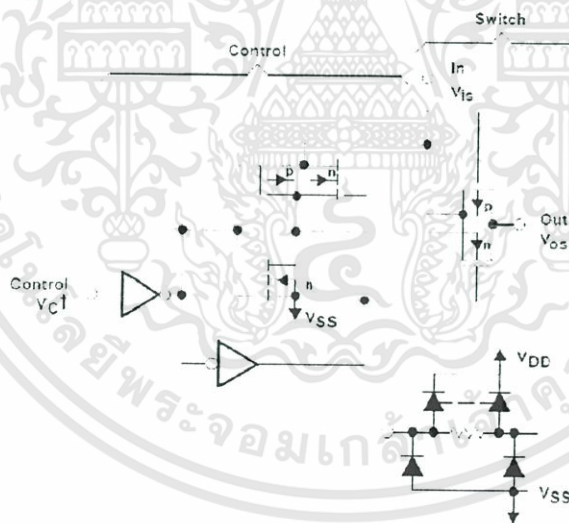
## 2.10 ANALOG SWITCH

CD4066 คือ ไบแลเทอร์อล สวิตช์หรือแอนาล็อกสวิตช์ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าคล้ายคลึงกับรีเลย์เพียงแต่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวขณะทำงาน ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นแอนาล็อก สวิตช์ในสถานะ ON นั้นจะไม่มี ความต้านทานใดๆและในสถานะ OFF จะมีความต้านทานเป็นค่าอนันต์และไม่มี TIME DELAY เกิดขึ้นใน CMOS SWITCHES จะอาศัย MOSFET TRANSISTOR เป็นตัวต้านที่ถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR) โดยในสถานะ ON ของ SWITCH นั้นจะมีความต้านทานภายในต่ำกว่า  $1\Omega$  ในขณะที่อยู่ในสถานะ OFF สามารถมีค่าความต้านทานสูงเกิน  $100\text{ M}\Omega$  และมีกระแสรั่วไหล (LEAKAGE CURRENT) ต่ำกว่าระดับ PICO AMPERE

N, J, D, NS, or PW Packages  
14-Pin PDIP, CDIP, SOIC, SO, or TSSOP  
Top View



รูปที่ 2.10.1 PIN CONFIGURATION OF CD4066



รูปที่ 2.10.2 BILATERAL SWITCH ใช้งานในการทำ ANALOG SIGNAL SWITCHING, MULTIPLEXING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการจัดทำโครงการงาน

##### 3.1 การออกแบบ

###### 3.1.1 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการใช้

โดยในแต่ละย่านความถี่จะมีสูตรการคำนวณดังนี้

ให้  $F_0$  คือ CENTER FREQUENCY

$G_V$  คือ GAIN/LOSS ที่  $F_0$

$F_1, F_2 = 3\text{DB BANDWIDTH LIMIT}$

$$G_V = 20\text{LOG}(A_V)$$

$$Q = \frac{F_0}{F_2 - F_1}$$

$$A_V = \frac{(R_2 \times C_2) + (R_2 \times C_1) + (R_1 \times C_1)}{(R_2 \times C_2) + (R_2 \times C_1)}$$

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

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_2 \times R_1 \times C_1 \times C_2}}$$

ถ้า  $C_1$  เป็นค่าที่กำหนดเอง

$$C_2 = \frac{Q^2}{A_V - 1 - Q^2} \times C_1$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi \times C_1 \times F_0 \times \frac{(A_V - 1) \times Q}{A_V - 1 - Q^2}}$$

$$R_1 = \frac{(A_V - 1)}{A_V - 1 - Q^2} \times R_2$$

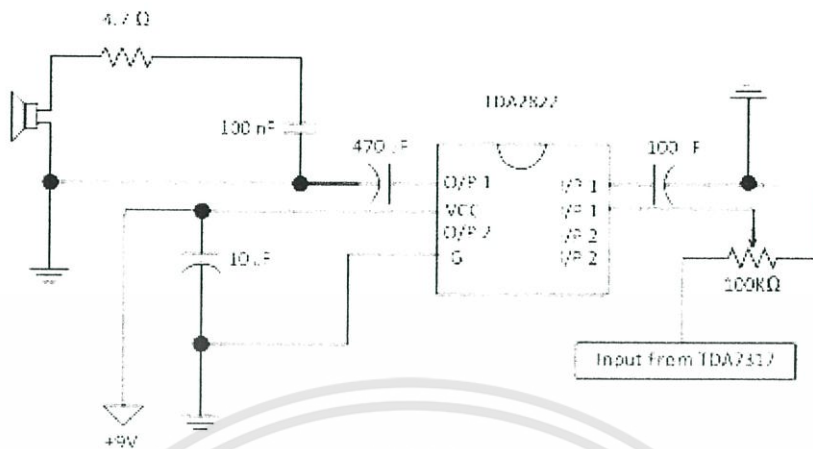
	FREQUENCY(HZ)	Q	R1(K)	R2(K)	C1(N)	C2(N)	$A_V$ MAX(DB)
BAND 1	57	1.11	47	7.5	220	100	13.88
BAND 2	261.7	1.49	47	5.1	33	44	13.63
BAND 3	1029	1.49	47	5.1	8.2	12	13.52
BAND 4	3025	1.49	47	5.1	2.7	3.9	13.57
BAND 5	8130	1.49	47	5.1	1	1.2	13.52

ตารางที่ 3.1.1 ค่าที่คำนวณได้แต่ละย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



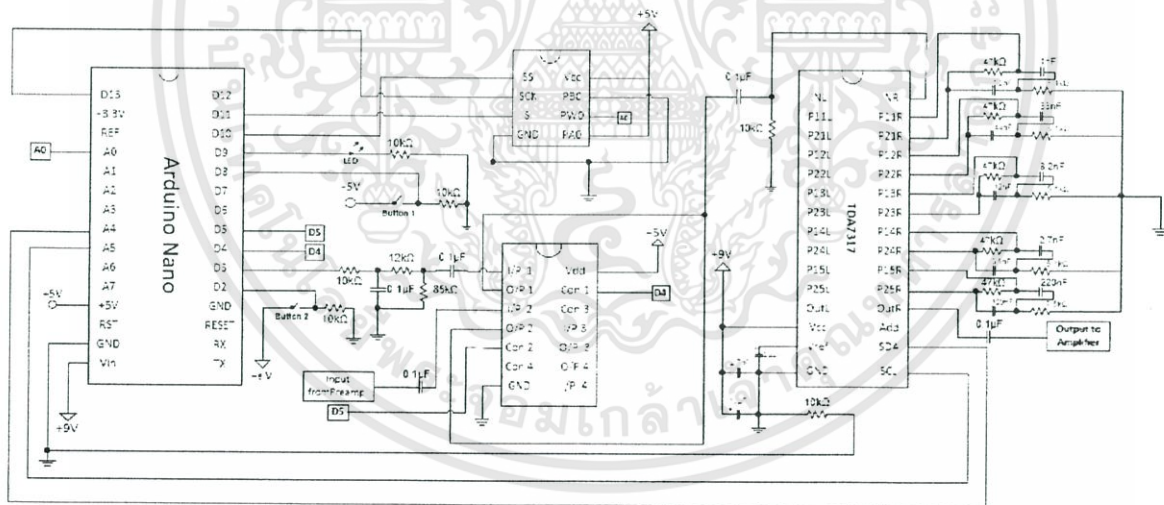
### AMPLIFIER



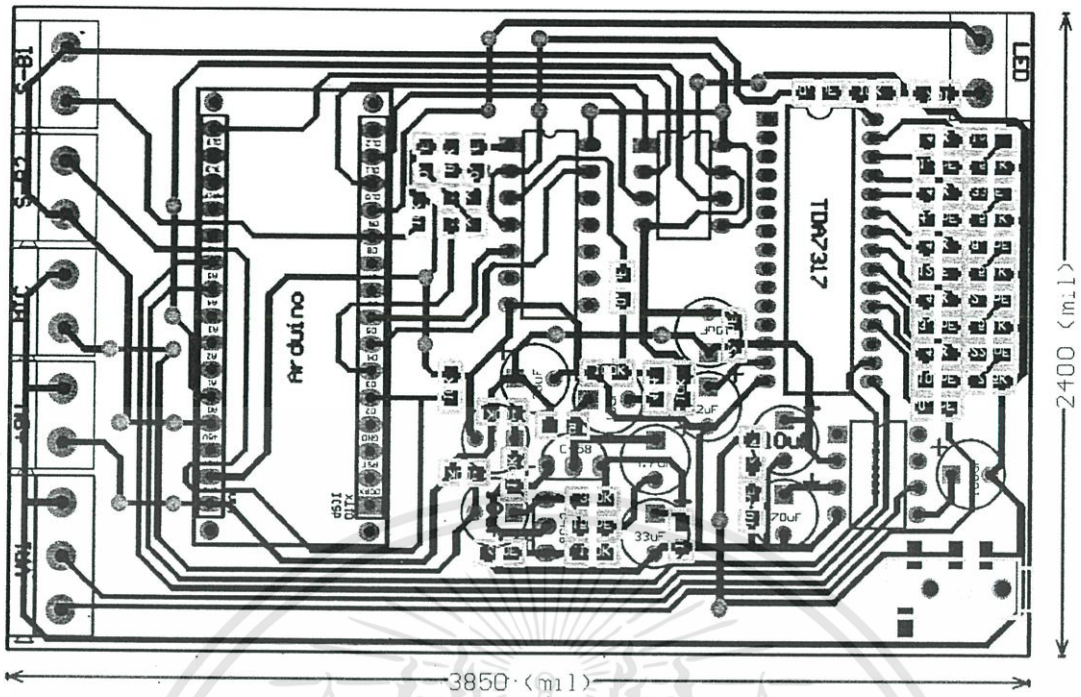
รูปที่ 3.1.3.2 วงจร amplifier

#### 3.1.4 ออกแบบวงจรรวม

เมื่อได้วงจรครบถ้วนแล้ว ออกแบบลายวงจรที่สามารถทำงานได้ โดยให้หลังเสียงเข้าจากไมค์ผ่านวงจร Preamplifier แล้วผ่าน CD4066 ที่ทำหน้าที่เป็น IC Switch เมื่อกดปุ่มทดสอบ สวิตช์จะสับไปที่วงจรทดสอบ การได้ยินและเมื่อกดเรียกค่าจาก EEPROM สวิตช์จะสับไปที่ output ของวงจร Preamplifier จากนั้นไปที่ TDA7317 ที่ถูกโปรแกรมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงไปสู่วงจร Amplifier ก่อนออกหูฟัง



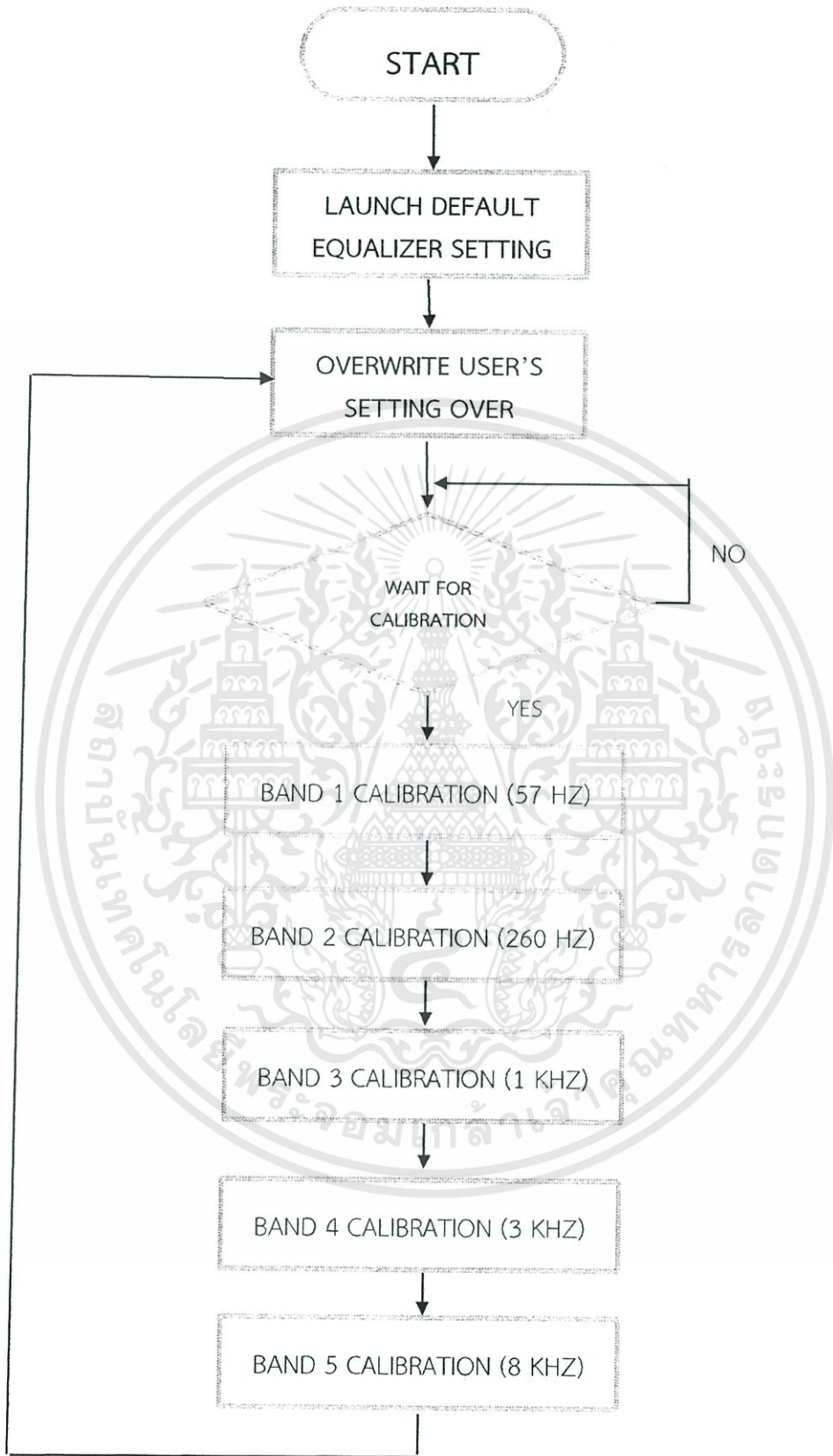
รูปที่ 3.1.4.1 วงจรของเครื่องช่วยฟัง



รูปที่ 3.1.4.2 ลาย PCB ของเครื่องช่วยฟัง

### 3.1.5 FLOW CHART

การทำงานของ IC EQUALIZER ร่วมกับ MICROCONTROLLER เพื่อทำการค้นหาความถี่ของหูที่ผิดปกติ และสามารถจดจำผู้ใช้งาน

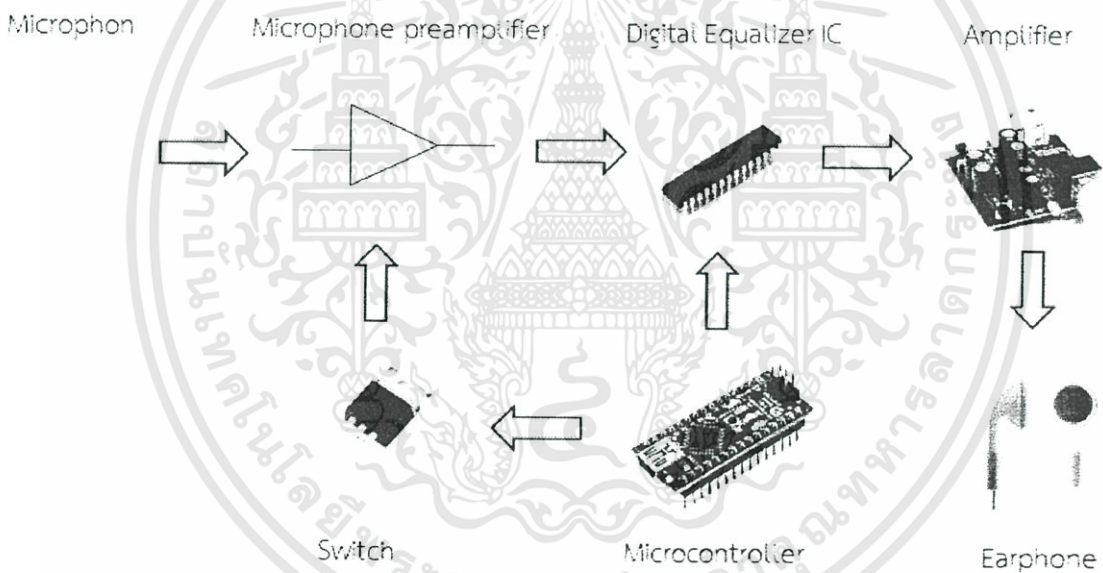


รูปที่ 3.1.3.1 FLOW CHART การทำงานของเครื่องตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อเริ่มการทำงาน Microcontroller จะป้อนชุดคำสั่งสำหรับปรับแต่งขนาดของสัญญาณ ด้วย Equalizer IC อิงจากหน่วยความจำภายในซึ่งเป็นค่าล่าสุดที่ผู้ใช้ได้ปรับปรุงไว้ ในกรณี ที่ยังไม่มีการปรับแต่งค่าใดๆจะเป็นชุดคำสั่งให้ Equalizer ไม่ขยายสัญญาณใดๆ
2. อุปกรณ์จะทำงานตามปกติจนผู้ใช้งานกดปุ่มเพื่อทำการวัดระดับการได้ยิน
3. เมื่อผู้ใช้กดปุ่มวัดระดับการได้ยินไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่ง Switch ให้ตัดเสียงจาก Microphone ออกไปแล้วทำการสร้างสัญญาณเสียงที่ย่านความถี่ที่ 1 แล้วค่อยๆขยาย ขนาดสัญญาณผ่าน Equalizer จนผู้ใช้เริ่มได้ยินเสียงนั้นๆแล้วกดปุ่ม
4. เมื่อผู้ใช้งานเริ่มได้ยินเสียงและกดปุ่มไมโครคอนโทรลเลอร์จะจดจำค่าสำหรับการขยาย สัญญาณ ณ เวลานั้นเอาไว้และหยุดสร้างสัญญาณเสียงแล้วทำการสร้างสัญญาณเสียงใน ย่านความถี่ถัดไป
5. เมื่ออุปกรณ์ทำการทดสอบระดับการได้ยินของผู้ใช้จนครบทุกย่านความถี่แล้วจะเก็บค่าใน การขยายสัญญาณในย่านความถี่ต่างๆไว้ในหน่วยความจำภายในสำหรับเรียกใช้เมื่อมีการ เปิดเครื่องในครั้งถัดไป และป้อนชุดคำสั่งให้ Equalizer ปรับแต่งขนาดสัญญาณตามที่ผู้ใช้ได้ทดสอบมาและวนกลับไปทำงานปกติรอรับคำสั่งสำหรับการวัดระดับการได้ยินครั้ง ต่อไป

### 3.1.4 BLOCK DIAGRAM



3.1.4.1 BLOCK DIAGRAM ของอุปกรณ์

1. ไมโครโฟนทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงที่ได้ยินและนำไปผ่านวงจรขยายเพื่อประมวลผลต่อไป
2. วงจร Pre microphone และ Amplifier ในส่วนแรกทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของ สัญญาณเสียง และขยายขนาดขึ้นมาให้เหมาะสมในการปรับแต่งสัญญาณ
3. Equalizer ทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณเสียงในย่านความถี่ต่างๆ
4. Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจาก Equalizer เพื่อรับฟังผ่านหูฟัง Earphone
5. Microcontroller อุปกรณ์สร้างชุดคำสั่งให้แก่ Equalizer และสร้างสัญญาณสำหรับทดสอบสมรรถภาพในการได้ยินของผู้ใช้งาน
6. Switch ถูกควบคุมโดย Microcontroller เพื่อเลือกสัญญาณเสียงในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) บอร์ดทดลอง	1 แผ่น
2) ARDUINO NANO MICROCONTROLLER	1 ตัว
3) TDA7317	1 ตัว
4) OSCILLOSCOPE	1 เครื่อง
5) R ขนาด 47K โอห์ม	13 ตัว
6) R ขนาด 5.1K โอห์ม	8 ตัว
7) R ขนาด 5.6K โอห์ม	4 ตัว
8) R ขนาด 10K โอห์ม	4 ตัว
9) R ขนาด 15K โอห์ม	2 ตัว
10) R ขนาด 10 โอห์ม	4 ตัว
11) R ขนาด 100 โอห์ม	2 ตัว
12) R ขนาด 82K โอห์ม	2 ตัว
13) ตัวเก็บประจุขนาด 1 UF	2 ตัว
14) ตัวเก็บประจุขนาด 2 UF	1 ตัว
15) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 UF	2 ตัว
16) ตัวเก็บประจุขนาด 47 UF	4 ตัว
17) ตัวเก็บประจุขนาด 10 UF	2 ตัว
18) ตัวเก็บประจุขนาด 0.047 UF	4 ตัว
19) ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 UF	4 ตัว
20) ถ่าน ALKALINE ขนาด 9 VOLTS	1 ตัว

### 3.3 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

ในการเก็บผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

#### 1. ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของอุปกรณ์

ในการทดลองนี้จะให้ MICROCONTROLLER สร้างสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับย่านความถี่ที่จะทำการขยายสัญญาณออกมาและนำไปผ่านวงจรขยายโดยจะวัดขนาดสัญญาณก่อนและหลังขยายทุกครั้งที่มีการขยายเพื่อคำนวณหา กำลังขยายของระบบและระดับความดันของเสียง เพื่อหาขีดความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์

#### 2. ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบ

ในการทดลองนี้จะทำให้ MICROCONTROLLER บ้อนชุดคำสั่งเพื่อขยายสัญญาณที่ย่านความถี่หนึ่ง และสร้างสัญญาณ SINE WAVE ด้วย FUNCTION GENERATOR ที่มี AMPLITUDE คงที่เข้าระบบและทำการวัดขนาด AMPLITUDE ที่เปลี่ยนไปเพื่อทำการคำนวณหาอัตราขยายโดยจะทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปเรื่อยๆเพื่อวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ

#### 3. ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการจำลองกรณีการใช้งานเครื่องช่วยฟัง

ทดลองให้เครื่องช่วยฟังทำหน้าที่โดยปรับแต่งสัญญาณเมื่อมีการใช้งานจริงโดยทำการขยาย ขนาดสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I. ย่านความถี่ที่ 1 (57 Hz) : 2 dB
- II. ย่านความถี่ที่ 2 (260 Hz) : 6 dB
- III. ย่านความถี่ที่ 3 (1000 Hz) : 12 dB
- IV. ย่านความถี่ที่ 4 (3000 Hz) : 8 dB
- V. ย่านความถี่ที่ 5 (8000 Hz) : 10 dB

4. ทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของผู้ใช้งานเมื่อมีการใช้งานจริงในผู้ใช้ที่ต่างกัน

ทดสอบใช้งานโดยมีการสมมติว่าผู้ใช้งานได้ทำการทดสอบและได้ผลตามตารางที่บันทึกค่าหาผลตอบสนองความถี่เป็นรูปแบบของกราฟผลตอบสนองความถี่ของผู้ใช้งาน 2 คนที่ต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

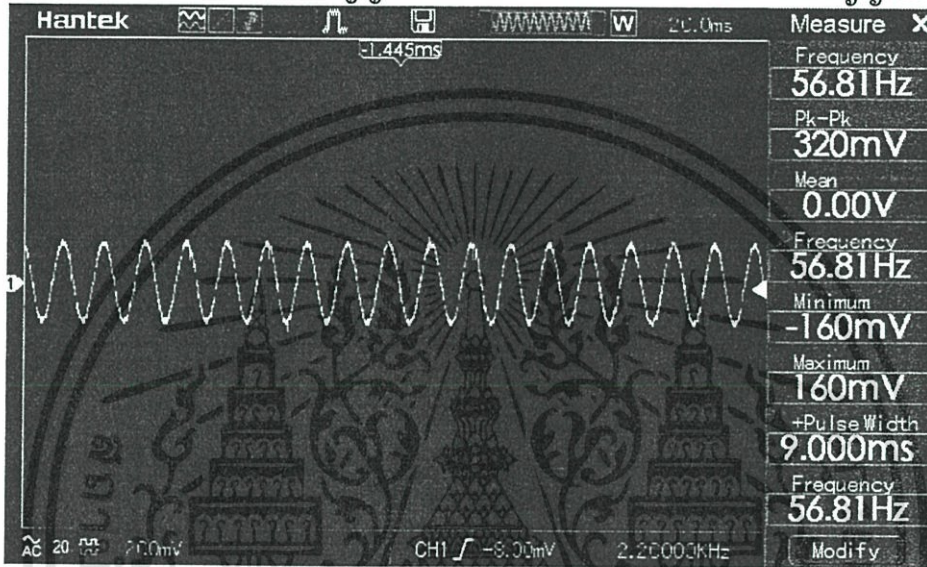
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

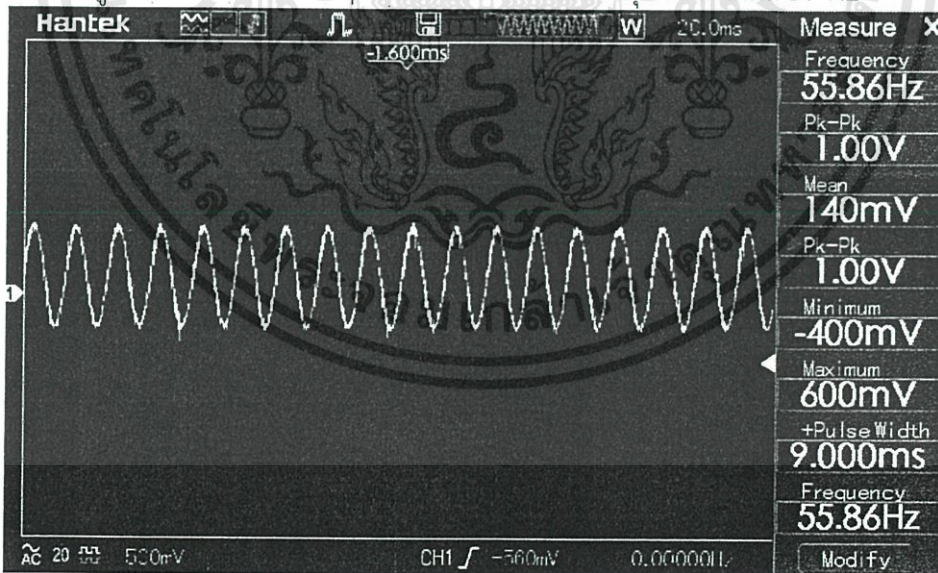
#### 4.1 ทดสอบกำลังขยายสัญญาณแต่ละความถี่ในแต่ละชั้นการขยายของ Digital equalizer

ใช้ Microcontroller สร้างสัญญาณที่สำหรับการทดสอบความสามารถในการได้ยินของผู้ป่วยโดยสัญญาณที่สร้างจะเป็นสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันโดยเริ่มจากสัญญาณที่มีความถี่ต่ำที่สุดและค่อยๆขยายระดับสัญญาณไปจนถึงขีดความสามารถในการขยายผลที่ได้จึงมี 5 ส่วนดังนี้

##### 4.1.1 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 57 Hz ขนาดสัญญาณ 320 mV



รูปที่ 4.1.1.1 เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจนต่ำที่สุดของความถี่ 57 Hz



รูปที่ 4.1.1.2 เมื่อใช้ Equalizer IC ขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 57 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 57 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	0.32
57	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 1 (V)	0.417
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 2 (V)	0.514
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 3 (V)	0.611
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 4 (V)	0.708
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 5 (V)	0.805
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 6 (V)	0.902
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 7 (V)	0.1

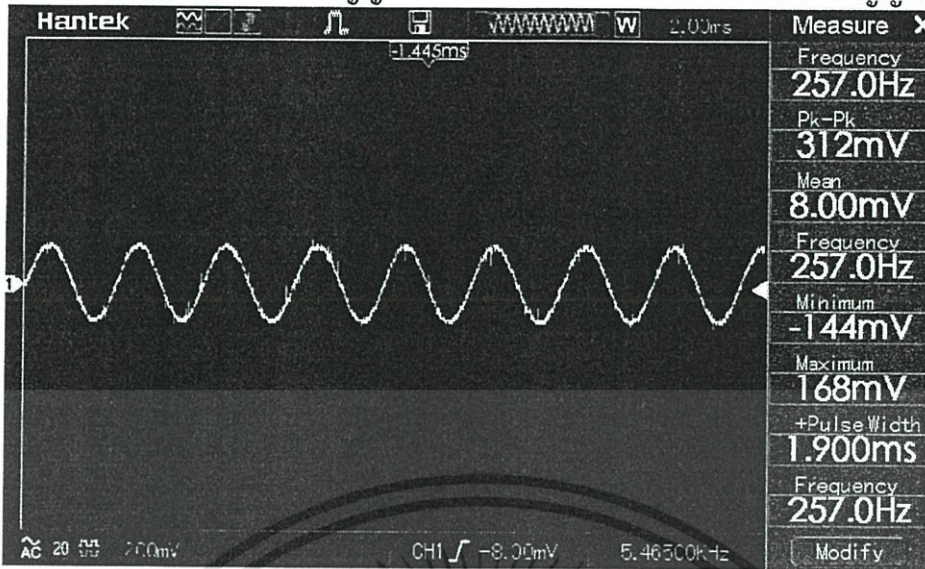
เมื่อได้ขนาดสัญญาณเมื่อผ่านการขยายแต่ละครั้งนำมาคำนวณหาอัตราขยายในรูป dB เมื่อมี V reference เป็นขนาดสัญญาณอินพุทจะได้ผลดัง ตารางที่ 4.1.1.2 และอาศัยหลักการ Sound Pressure Level และ Hearing Level เพื่อคำนวณหาระดับการได้ยินเสียงของมนุษย์จากสัญญาณ ที่ผ่านการขยายออกมาได้ดังตารางที่ 4.1.1.2 และ 4.1.1.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1.1.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 57 Hz

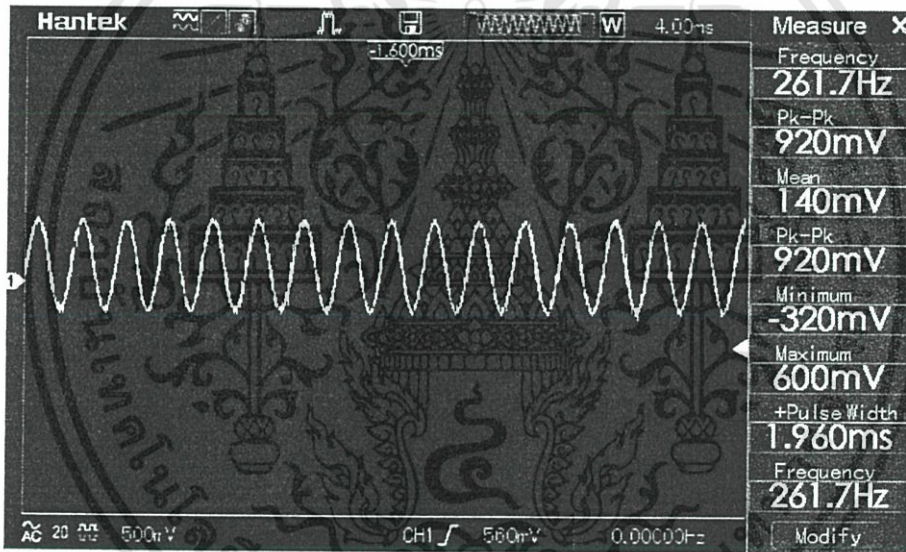
ความถี่ (Hz)		
57	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	2.299
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	4.110
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.617
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	6.897
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	8.012
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	9.001
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	9.897

และในส่วนที่เหลืออีก 5 ย่านความถี่ใช้หลักการคำนวณและเก็บผลเช่นเดียวกับส่วน 4.1.1

#### 4.1.2 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 260 Hz ขนาดสัญญาณ 312 mV



รูปที่ 4.1.2.1 เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 260 Hz



รูปที่ 4.1.2.2 เมื่อใช้ Equalizer IC ขยายขนาดจุนสูงที่สุดของความถี่ 260 Hz

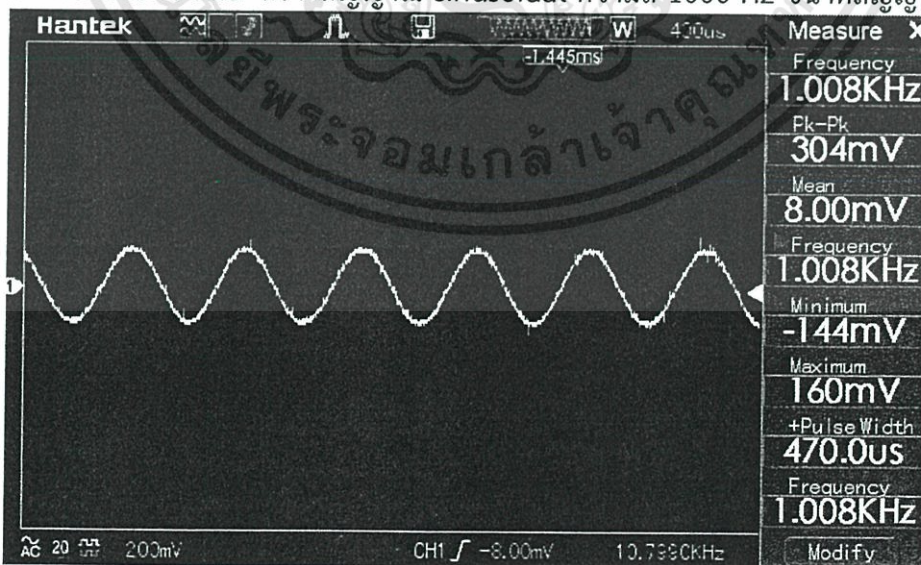
ตารางที่ 4.1.2.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 260 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	
270	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	0.312
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 1 (V)	0.398
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 2 (V)	0.484
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 3 (V)	0.571
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 4 (V)	0.657
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 5 (V)	0.743
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 6 (V)	0.829
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 7 (V)	0.92

ตารางที่ 4.1.2.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 260 Hz

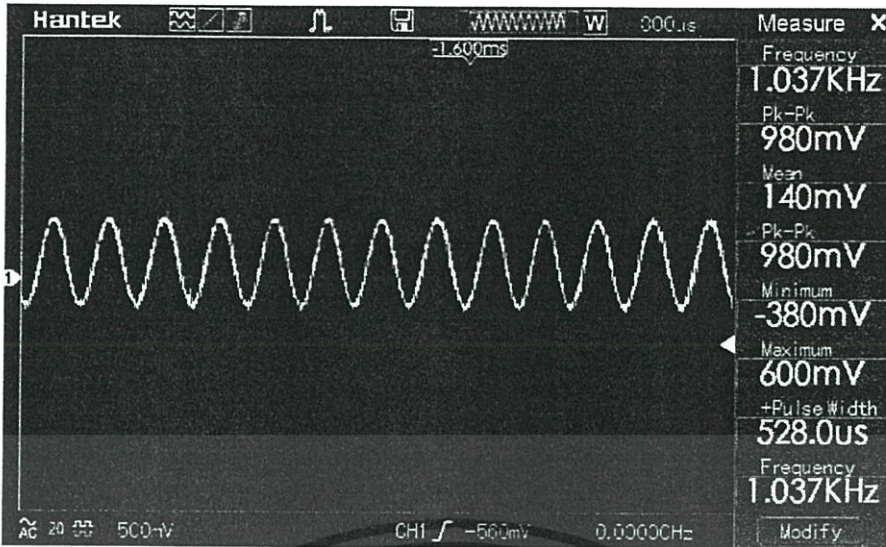
ความถี่ (Hz)		
270	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	2.114
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	3.814
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.249
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	6.468
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	7.536
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	8.487
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	9.392

4.1.3 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 1000 Hz ขนาดสัญญาณ 304 mV



รูปที่ 4.1.3.1 เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจนต่ำที่สุดของความถี่ 1000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.3.2 เมื่อใช้ Equalizer IC ขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 1000 Hz  
ตารางที่ 4.1.3.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1000 Hz

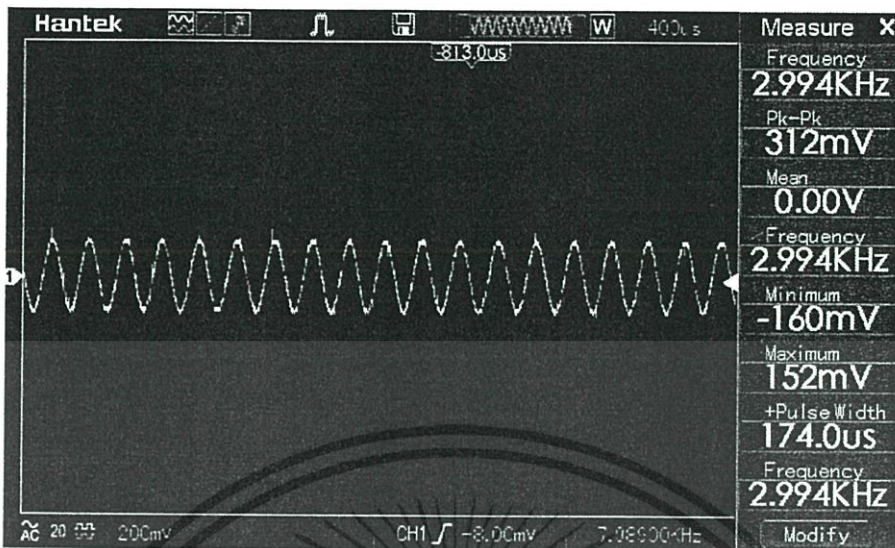
ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	
1000	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 1 (V)	0.304
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 2 (V)	0.4
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 3 (V)	0.496
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 4 (V)	0.592
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 5 (V)	0.688
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 6 (V)	0.784
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 7 (V)	0.88

ตารางที่ 4.1.3.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 1000 Hz

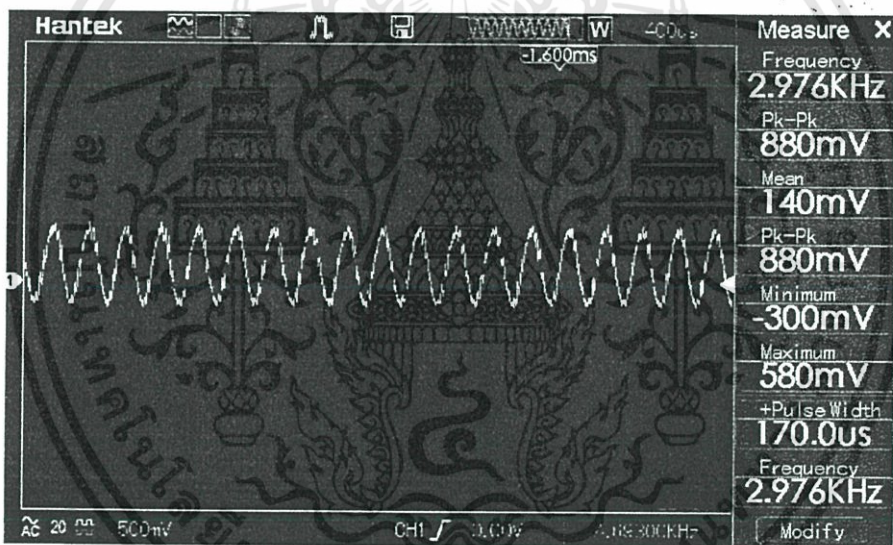
ความถี่ (Hz)		
1000	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	2.383
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	4.252
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.788
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	7.094
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	8.228
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	9.232
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	10.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 3000 Hz ขนาดสัญญาณ 312mV



รูปที่ 4.1.4.1 เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจันท้าที่สุดของความถี่ 3000 Hz



รูปที่ 4.1.4.2 เมื่อใช้ Equalizer IC ขยายขนาดจันท้าสูงสุดของความถี่ 3000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

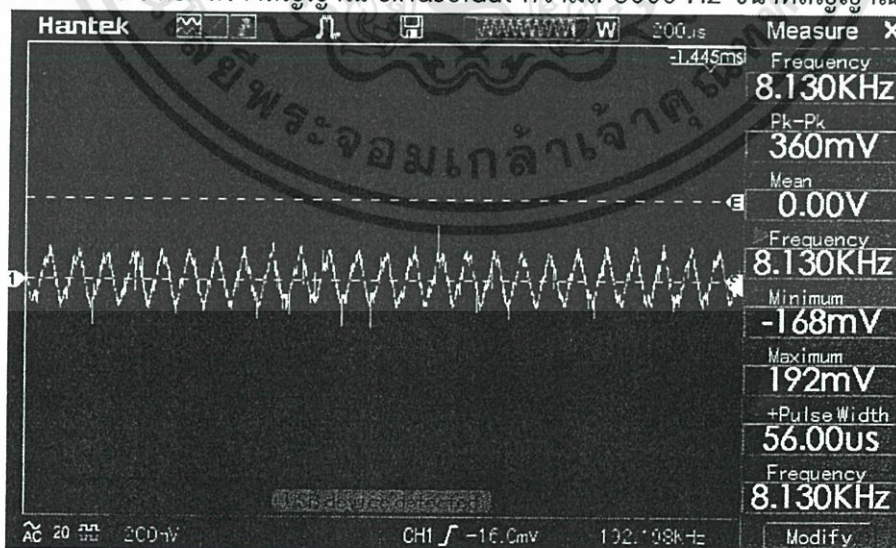
ตารางที่ 4.1.4.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3000 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	
3000	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	0.312
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 1 (V)	0.393
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 2 (V)	0.474
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 3 (V)	0.555
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 4 (V)	0.636
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 5 (V)	0.717
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 6 (V)	0.798
ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 7 (V)	0.88	

ตารางที่ 4.1.4.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 3000 Hz

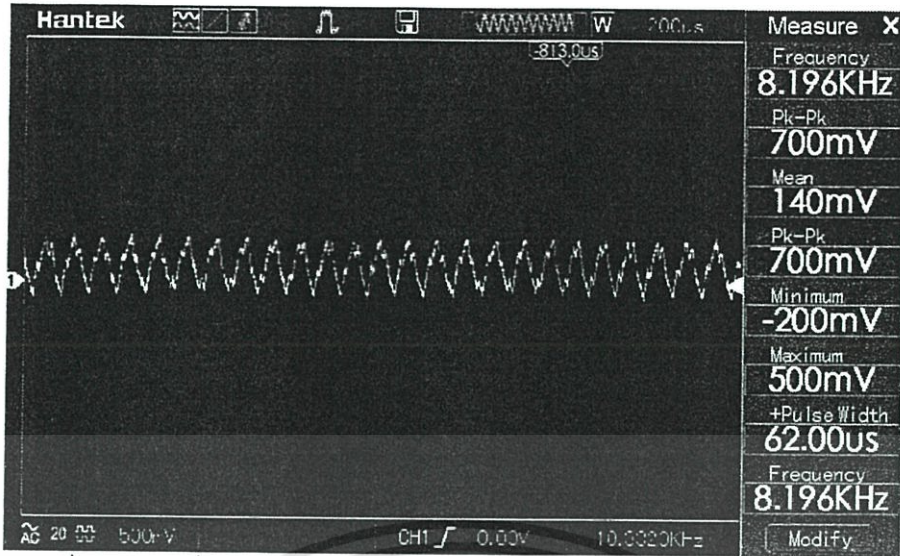
ความถี่ (Hz)		
3000	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	2.004
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	3.632
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	5.002
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	6.186
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	7.227
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	8.156
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	9.006

## 4.1.5 Microcontroller สร้างสัญญาณ sinusoidal ความถี่ 8000 Hz ขนาดสัญญาณ 360mV



รูปที่ 4.1.5.1 เมื่อใช้ Equalizer IC ขนาดจุนต่ำที่สุดของความถี่ 8000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.5.2 เมื่อใช้ Equalizer IC ขยายขนาดจนสูงที่สุดของความถี่ 8000 Hz

ตารางที่ 4.1.5.1 ขนาดของสัญญาณจากการขยายในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8000 Hz

ความถี่ (Hz)	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	
8000	ขนาดสัญญาณก่อนขยาย (V)	0.36
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 1 (V)	0.408
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 2 (V)	0.456
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 3 (V)	0.506
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 4 (V)	0.556
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 5 (V)	0.606
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 6 (V)	0.652
	ขนาดสัญญาณหลังขยายครั้งที่ 7 (V)	0.7

ตารางที่ 4.1.5.2 อัตราการขยายของสัญญาณในแต่ละครั้งที่ความถี่ 8000 Hz

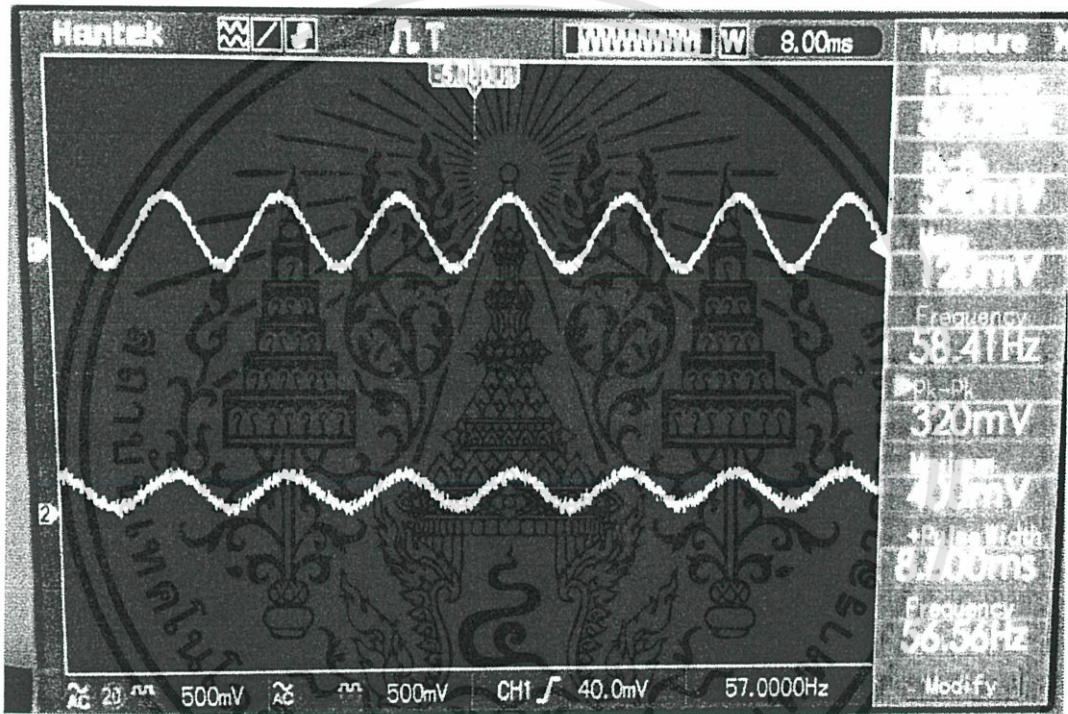
ความถี่ (Hz)		
8000	Gain จากการขยายครั้งที่ 1 (dB)	1.08
	Gain จากการขยายครั้งที่ 2 (dB)	2.09
	Gain จากการขยายครั้งที่ 3 (dB)	3.00
	Gain จากการขยายครั้งที่ 4 (dB)	3.80
	Gain จากการขยายครั้งที่ 5 (dB)	4.55
	Gain จากการขยายครั้งที่ 6 (dB)	5.36
	Gain จากการขยายครั้งที่ 7 (dB)	5.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

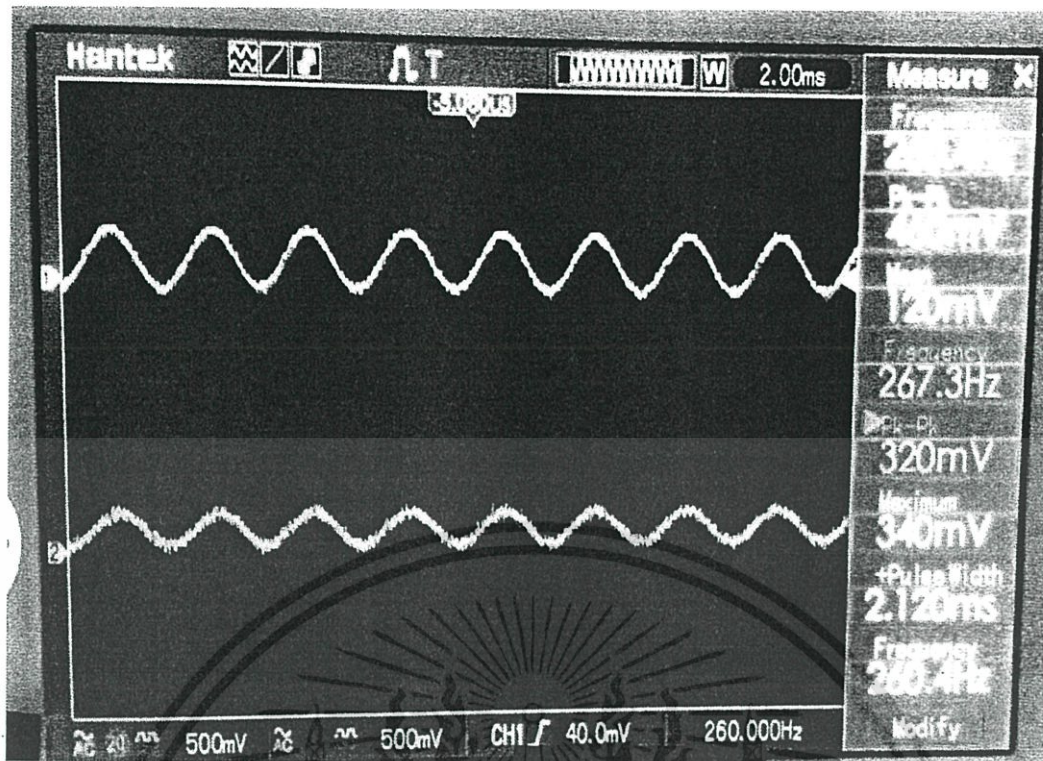
## 4.2 ทดสอบผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการขยายสัญญาณที่ต่างกันในแต่ละย่านความถี่

ทดลองให้เครื่องช่วยฟังทำหน้าที่โดยปรับแต่งสัญญาณเมื่อมีการใช้งานจริงโดยทำการขยาย ขนาดสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ดังนี้ได้ทำการสร้างสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ขนาด 400 Vpp เข้าที่ Equalizer IC และทำการวัดผลการทดลอง

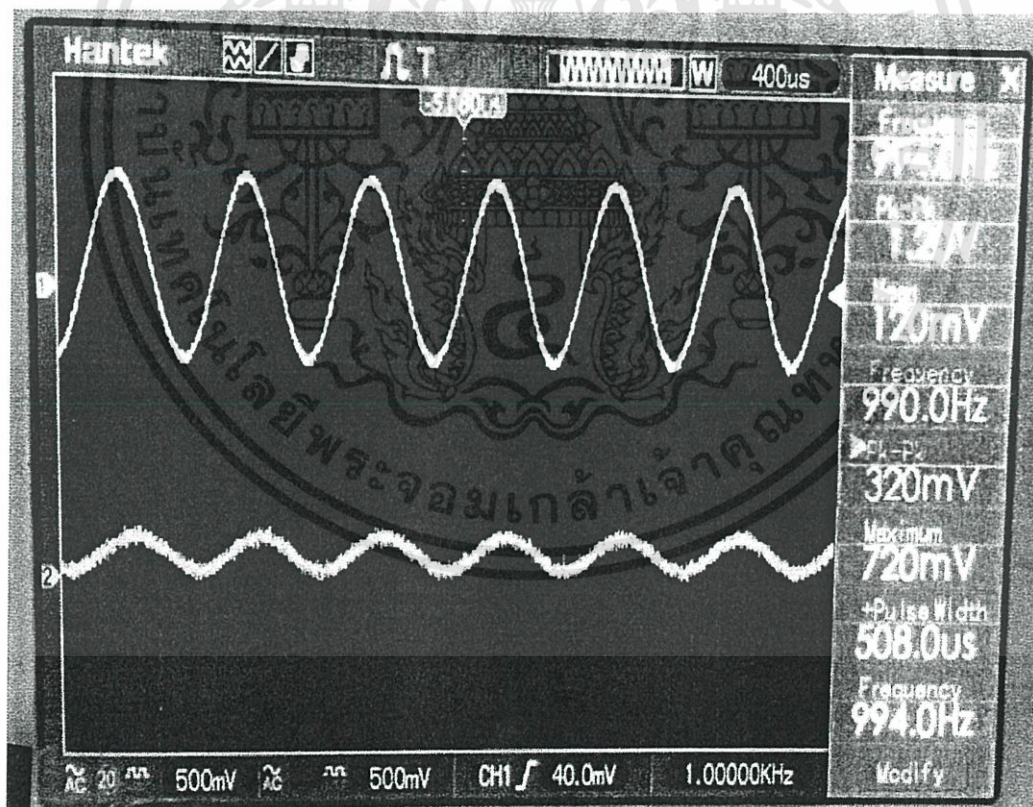
- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| I. ย่านความถี่ที่ 1 (57 Hz)     | : 6 dB  |
| II. ย่านความถี่ที่ 2 (260 Hz)   | : 2 dB  |
| III. ย่านความถี่ที่ 3 (1000 Hz) | : 12 dB |
| IV. ย่านความถี่ที่ 4 (3000 Hz)  | : 10 dB |
| V. ย่านความถี่ที่ 5 (8000 Hz)   | : 8 dB  |



รูปที่ 4.2.1 สัญญาณที่ความถี่ 57 Hz

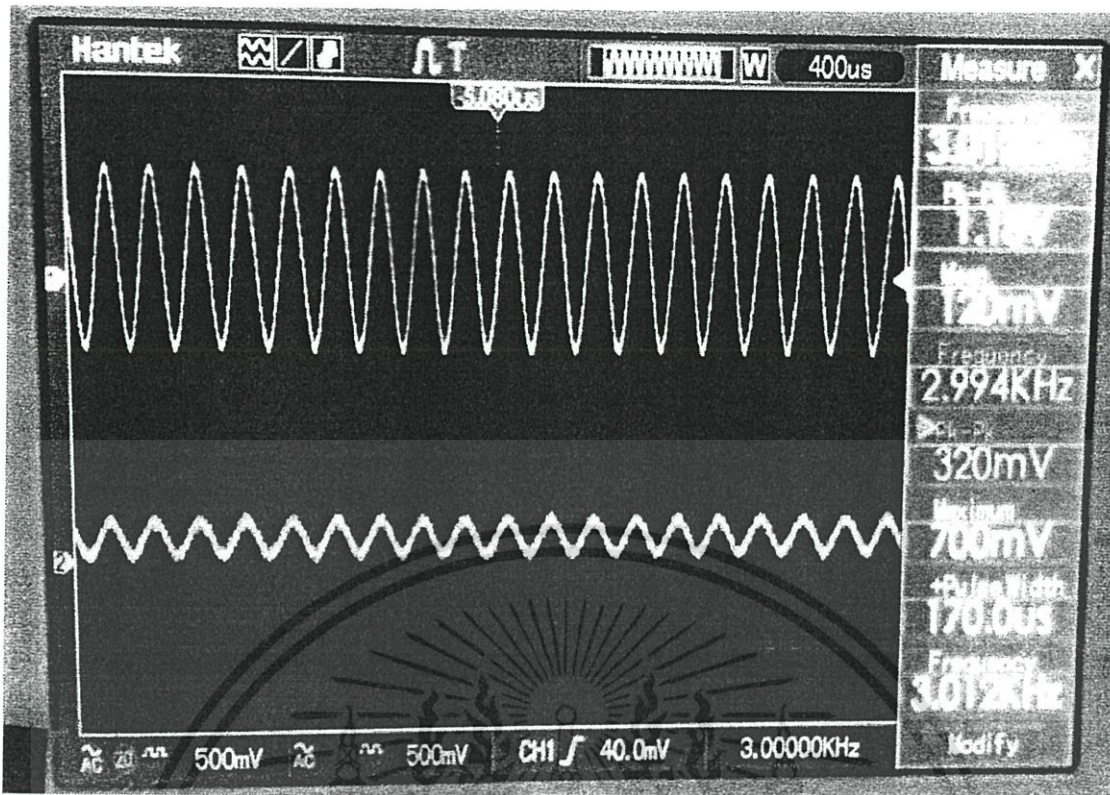


รูปที่ 4.2.2 สัญญาณที่ความถี่ 260 Hz

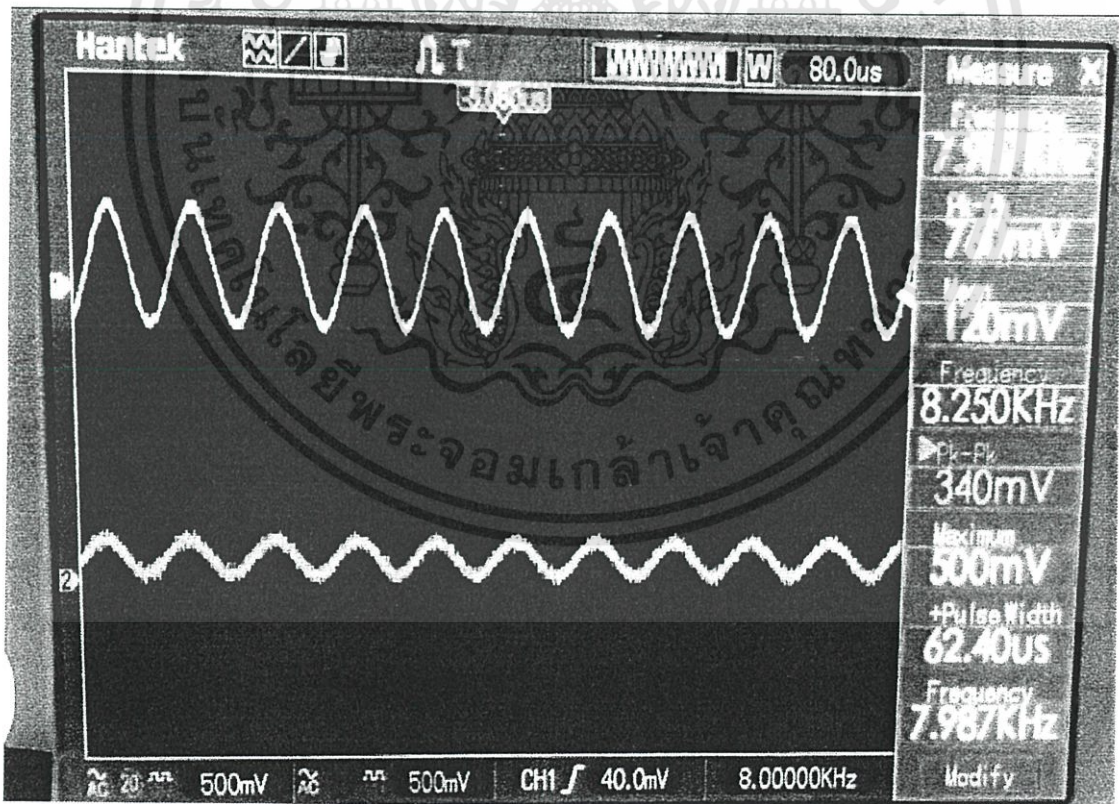


รูปที่ 4.2.3 สัญญาณที่ความถี่ 1000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 สัญญาณที่ความถี่ 3000 Hz



รูปที่ 4.2.5 สัญญาณที่ความถี่ 8000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.1 ตารางเทียบความต้องการขยายสัญญาณกับค่าที่ขยายได้จริงในแต่ละความถี่

ความถี่(Hz)	ขนาดที่ต้องการขยายสัญญาณ(dB)	ขนาดที่ขยายได้จริง(dB)
57	6	5.8
260	2	2.9
1000	12	10.8
3000	10	8.8
8000	8	7.8

#### 4.3 ทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของผู้ใช้งานเมื่อมีการใช้งานจริงในผู้ใช้ที่ต่างกัน

เมื่อมีการใช้งานของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน ทดสอบเพื่อหาผลตอบสนองความถี่ในรูปแบบของกราฟ ผลตอบสนองความถี่ โดยใช้สถานการณ์สมมุติว่ามีผู้ใช้งานสองคนได้ทำการทดสอบการได้ยิน และได้ผลของการทดสอบที่ต่างกันแสดงในตารางผลการทดสอบ เมื่อได้ผลการทดสอบแล้ว จึงสร้างสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ตามตารางขนาด 400 Vpp เข้าสู่วงจร เพื่อทดสอบหาค่า Gain ของระบบ ซึ่งผลที่จะได้แสดงในตาราง อัตราขยายกับความถี่

##### ผู้ใช้งานที่ 1

ตารางที่ 4.3.1 ตารางอัตราขยายของย่านความถี่จากผู้ใช้งานที่ 1

ความถี่	อัตราขยายที่ได้
57	8dB
261	6dB
1000	14dB
3000	10dB
8000	4dB

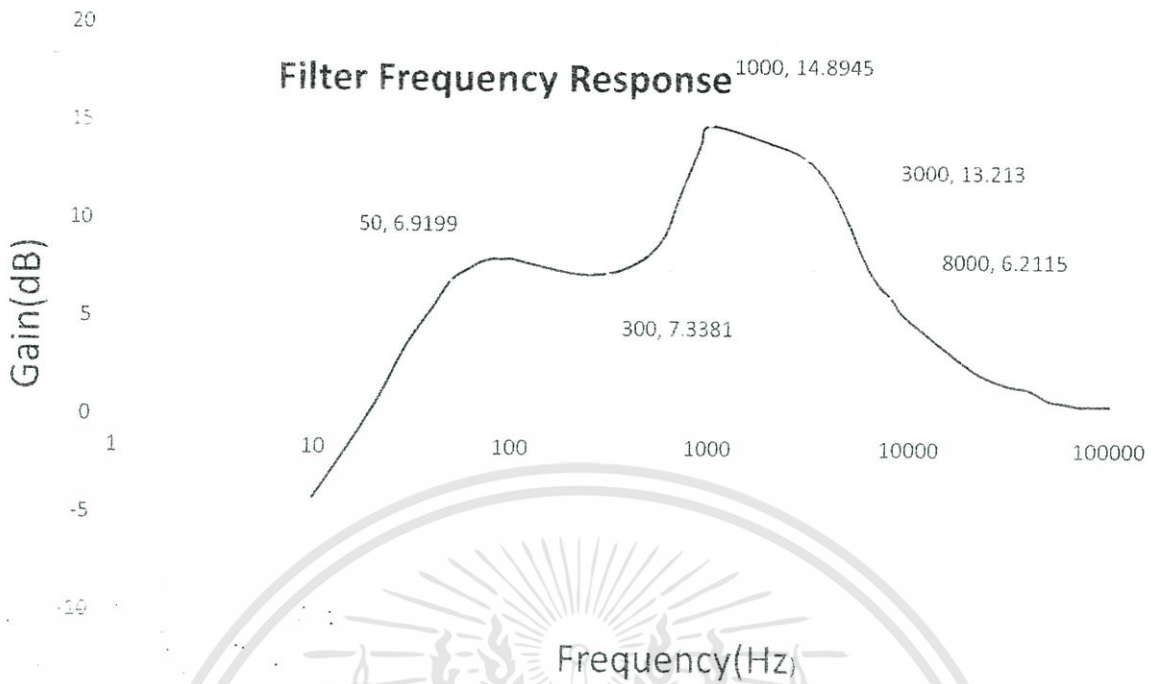
ตารางที่ 4.3.2 ตารางแสดงอัตราขยายในความถี่ต่างๆของผู้ใช้งานที่ 1 เมื่อป้อนสัญญาณขนาด 400 Vpp

ความถี่(Hz)	อัตราขยายสัญญาณที่ความถี่ (dB)
10	-4.1776
20	0.4613
30	3.6783
40	5.4494
50	6.9199
60	7.4716
70	7.8794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80	8.0374
90	8.0374
100	8.0374
200	7.3381
300	7.3381
400	7.7312
500	8.3253
600	9.3404
700	11.2326
800	12.6017
900	13.9407
1000	14.8945
2000	14.0179
3000	13.213
4000	11.7467
5000	9.7333
6000	7.9201
7000	6.7956
8000	6.2115
9000	5.4213
10000	4.9975
20000	2.628
30000	1.7745
40000	1.519
50000	0.9843
60000	0.8453
70000	0.7041
80000	0.7041
90000	0.7041
100000	0.7041

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่จากตาราง 4.3.2

ผู้ใช้งานคนที่ 2

ตารางที่ 4.3.3 ตารางอัตราขยายของย่านความถี่จากผู้ใช้งานที่ 2

ความถี่	อัตราขยายที่ได้
57	4dB
261	8db
1000	10dB
3000	6dB
8000	2dB

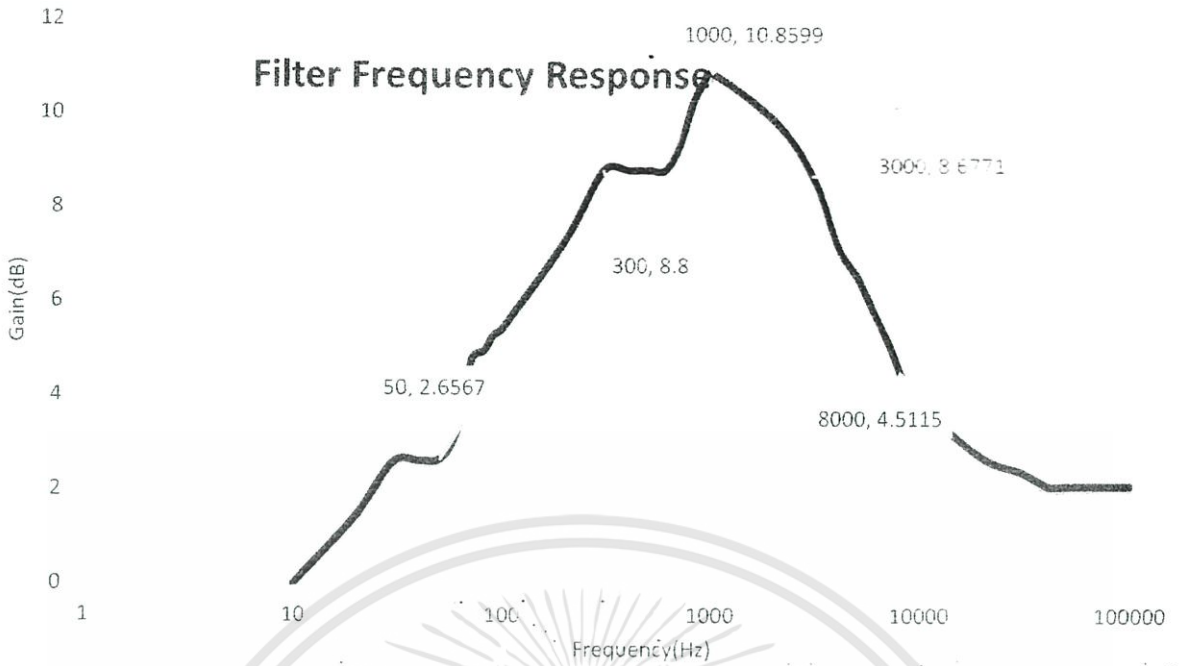
ตารางที่ 4.3.4 ตารางแสดงอัตราขยายในความถี่ต่างๆของผู้ใช้งานที่ 1 เมื่อป้อนสัญญาณขนาด 400 Vpp

ความถี่(Hz)	อัตราขยายสัญญาณที่ความถี่ (dB)
10	0
20	1.443
30	2.5897
40	2.6186
50	2.6567
60	3.2594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70	4.7717
80	4.9489
90	5.293
100	5.46
200	7.349
300	8.8
400	8.8
500	8.8
600	8.8
700	9.3187
800	10.158
900	10.6428
1000	10.8599
2000	9.8369
3000	8.6771
4000	7.1758
5000	6.4942
6000	5.7545
7000	5.1552
8000	4.5115
9000	4.0543
10000	3.7811
20000	2.694
30000	2.3995
40000	2.0947
50000	2.0947
60000	2.0947
70000	2.0947
80000	2.0947
90000	2.0947
100000	2.0947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.2 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่จากตาราง 4.3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองในบทที่ 4 ได้ใช้ MICROCONTROLLER ในการสร้างสัญญาณทดสอบที่มีความถี่เท่ากับความถี่ในแต่ละช่วงของ DIGITAL EQUALIZER ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มระดับของสัญญาณเสียงในการทดสอบ โดยเริ่มจากเสียงที่มีความดังต่ำจนถึงความดังสูงสุด เพื่อทดสอบการได้ยินของผู้ใช้งานว่าได้ยินเสียงอยู่ในระดับใดและจดจำรูปแบบของผู้ใช้แต่ละคน เมื่อทดสอบเสร็จสิ้น MICROCONTROLLER จะประมวลผลค่าที่ได้จากการทดสอบ จากนั้นปรับให้มีอัตราขยายที่ความถี่ต่างๆในการทดสอบเท่ากับอัตราขยายในการทดสอบ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อลดความเสี่ยงสภาพในการได้ยินของผู้ป่วยที่มีความรุนแรงสูงนั้นควรเปลี่ยน DIGITAL EQUALIZER IC ให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น
2. การเลือกใช้ค่า QUALITY FACTOR (Q) เพื่อกำหนดความกว้างของย่านความถี่ที่ได้รับ ผลกระทบในการขยายแต่ละช่วงสัญญาณของ EQUALIZER ให้เหมาะสมเพราะเมื่อเลือกค่า Q ให้แคบนั้นจะส่งผลให้สัญญาณเสียงเกิดความผิดเพี้ยนได้



## บรรณานุกรม

[1] แสดงกลไกการได้ยินเสียง

<https://sites.google.com/site/nutchanun2432/bth-thi8-reuxng-khlunseiyng/xatrawe-seiyng/khwam-khem-seiyng-laea-radab-khwam-khemseiyng/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] I2C Bus

<http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/I2CBUS.htm>

ภาคผนวก ก  
ชุดคำสั่งการทำงานของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

////////////////////////////////
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>
byte address = 0x11;
int CS= 10;
int i;
int A,count;
const int buttonPin = 2;
const int buttonPin2 = 5;
const int ledwait = 9;
int buttonState = 0;
int buttonState2 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState2 = 0;
int B;
////////////////////////////////
#include "avr/pgmspace.h"

// table of 256 sine values / one sine period / stored in flash memory
PROGMEM const unsigned char sine256[] =
{127,130,133,136,139,143,146,149,152,155,158,161,164,167,170,173,176,178,181,184,187,190,192,195,198,20
0,203,205,208,210,212,215,217,219,221,223,225,227,229,231,233,234,236,238,239,240,242,243,244,245,247,2
48,249,249,250,251,252,252,253,253,253,254,254,254,254,254,254,253,253,253,252,252,251,250,249,249,
248,247,245,244,243,242,240,239,238,236,234,233,231,229,227,225,223,221,219,217,215,212,210,208,205,20
3,200,198,195,192,190,187,184,181,178,176,173,170,167,164,161,158,155,152,149,146,143,139,136,133,130,1
27,124,121,118,115,111,108,105,102,99,96,93,90,87,84,81,78,76,73,70,67,64,62,59,56,54,51,49,46,44,42,39,37,
35,33,31,29,27,25,23,21,20,18,16,15,14,12,11,10,9,7,6,5,5,4,3,2,2,1,1,1,0,0,0,0,0,0,1,1,1,2,2,3,4,5,5,6,7,9,10,11,
12,14,15,16,18,20,21,23,25,27,29,31,33,35,37,39,42,44,46,49,51,54,56,59,62,64,67,70,73,76,78,81,84,87,90,93,
96,99,102,105,108,111,115,118,121,124

};
#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))

int ledPin = 13;           // LED pin 7
int testPin = 7;
int t2Pin = 6;
byte bb;

double dfreq;
// const double refclk=31372.549; // =16MHz / 510
const double refclk=31376.6; // measured

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// variables used inside interrupt service declared as volatile
volatile byte icnt;          // var inside interrupt
volatile byte icnt1;        // var inside interrupt
volatile byte c4ms;         // counter incremented all 4ms
volatile unsigned long phaccu; // pahse accumulator
volatile unsigned long tword_m; // dds tuning word m

void setup()
{
  ///////////////////////////////////////////////////
  pinMode(CS, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  pinMode(ledwait, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  SPI.begin();
  // adjust high and low resistance of potentiometer

  ///////////////////////////////////////////////////
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
  Serial.println("DDS Test");

  pinMode(6, OUTPUT); // sets the digital pin as output
  pinMode(7, OUTPUT); // sets the digital pin as output
  pinMode(3, OUTPUT); // pin11= PWM output / frequency output

  Setup_timer2();

  // disable interrupts to avoid timing distortion
  cbi (TIMSK0,TOIE0); // disable Timer0 !!! delay() is now not available
  sbi (TIMSK2,TOIE2); // enable Timer2 Interrupt

  dfreq=1000.0; // initial output frequency = 1000.o Hz
  tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
}

void loop()
{
  byte c;
  int value;
  int wait = 0;
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(wait == 0) {
  digitalWrite(ledwait, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(ledwait, LOW);
  delay(1000);
}
if(buttonState != lastButtonState) { // Start to Setup
  if(buttonState == HIGH){
    buttonState = LOW;
    delay(30000); // For debonuce of button
    band_calibration(1);
    stopsine(); // Delay for stop sine
    band_calibration(2);
    stopsine();
    band_calibration(3);
    stopsine();
    band_calibration(4);
    stopsine();
    band_calibration(5);
    wait = 1;
  }
}

if(buttonState2 != lastButtonState2) { // Start to Setup
  if(buttonState2 == HIGH){
    Wire.beginTransmission(0x43);
    Wire.write(0xC0 + EEPROM.read(1) ); // Band1
    Wire.write(0x90 + EEPROM.read(2) ); // Band2
    Wire.write(0xA0 + EEPROM.read(3) ); // Band3
    Wire.write(0xB0 + EEPROM.read(4) ); // Band4
    Wire.write(0x80 + EEPROM.read(5) ); // Band5
    Wire.endTransmission();
    wait = 1;
  }
}

lastButtonState = buttonState;
lastButtonState2 = buttonState2;
}

//*****
// timer2 setup
// set prscaler to 1, PWM mode to phase correct PWM, 16000000/510 = 31372.55 Hz clock
void Setup_timer2() {

// Timer2 Clock Prescaler to : 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sbi (TCCR2B, CS20);
cbi (TCCR2B, CS21);
cbi (TCCR2B, CS22);

// Timer2 PWM Mode set to Phase Correct PWM
cbi (TCCR2A, COM2B0); // clear Compare Match
sbi (TCCR2A, COM2B1);

sbi (TCCR2A, WGM20); // Mode 1 / Phase Correct PWM
cbi (TCCR2A, WGM21);
cbi (TCCR2B, WGM22);
}

//*****
// Timer2 Interrupt Service at 31372,550 KHz = 32uSec
// this is the timebase REFCLK for the DDS generator
// FOUT = (M (REFCLK)) / (2 exp 32)
// runtime : 8 microseconds ( inclusive push and pop)
ISR(TIMER2_OVF_vect) {

sbi(PORTD,7); // Test / set PORTD,7 high to observe timing with a scope

phaccu=phaccu+tword_m; // soft DDS, phase accu with 32 bits
icnt=phaccu >> 24; // use upper 8 bits for phase accu as frequency information
// read value from ROM sine table and send to PWM DAC
OCR2B=pgm_read_byte_near(sine256 + icnt);

if(icnt1++ == 125) { // increment variable c4ms all 4 milliseconds
c4ms++;
icnt1=0;
}

cbi(PORTD,7); // reset PORTD,7
}

int digitalPotWrite(int value)
{
digitalWrite(CS, LOW);
SPI.transfer(address);
SPI.transfer(value);
digitalWrite(CS, HIGH);
Serial.print("Value : ");
Serial.println(value);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void band_calibration(int num) {
  switch (num) {
    case 1:
      i= 14; // Frequency = 57 Hz
      for(A=0;A<=7;A++) {
        Wire.beginTransmission(0x43);
        Wire.write(0x2F);
        Wire.write(0xC0+A); // Band 5
        Wire.endTransmission();
        Serial.println();
        Serial.println();
        Serial.println();
        Serial.print("A = ");
        Serial.println(A);
        for(count=1;count<=1000;count++) {
          buttonState = digitalRead(buttonPin);
          Serial.println(count);
          if (c4ms > 250) { // timer / wait fou a full second
            c4ms=0;
            digitalPotWrite(i);
            dfreq=analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
            Serial.print("i : ");
            Serial.println(i);

            cbi (TIMSK2,TOIE2); // disble Timer2 Interrupt
            tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
            sbi (TIMSK2,TOIE2); // enable Timer2 Interrupt

            Serial.print(dfreq);
            Serial.print(" ");
            Serial.println(tword_m);
          }
        }
        if(buttonState != lastButtonState){
          if(buttonState ==HIGH){
            B = A;
            EEPROM.write(1,B);
            Serial.print("Adress : 1 B : ");
            Serial.println( EEPROM.read( 1 ));
            A = 9;
            count = 3000;
          }
        }
        lastButtonState = buttonState;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(A == 7) {
  B = A;
  EEPROM.write(1,B);
  Serial.print("Adress : 1 B : ");
  Serial.println( EEPROM.read( 1 ));
  Serial.println("*****");
  Serial.println(A);
  Serial.println("*****");
}
}
A=0;
B=0;
count = 0;
break;
  case 2:
i= 67; // Frequency = 261 Hz
for(A=0;A<=7;A++) {
Wire.beginTransmission(0x43);
Wire.write(0x2F);
Wire.write(0x90+A); // Band2
Wire.endTransmission();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("A = ");
Serial.println(A);
for(count=1;count<=1000;count++) {
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  Serial.println(count);
if (c4ms > 250) { // timer / wait fou a full second
  c4ms=0;
  digitalPotWrite(i);
  dfreq=analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
  Serial.print("i : ");
  Serial.println(i);

  cbi (TIMSK2,TOIE2); // disble Timer2 Interrupt
  tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
  sbi (TIMSK2,TOIE2); // enable Timer2 Interrupt

  Serial.print(dfreq);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(tword_m);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(buttonState != lastButtonState){
  if(buttonState ==HIGH){
    B = A;
    EEPROM.write(2,B);
    Serial.print("Adress : 2 B : ");
    Serial.println( EEPROM.read( 2 ));
    A = 9;
    count = 3000;
  }
}
lastButtonState = buttonState;
}
if(A == 7) {
  B = A;
  EEPROM.write(2,B);
  Serial.print("Adress : 2 B :");
  Serial.println( EEPROM.read( 2 ));
  Serial.println("*****");
  Serial.println(A);
  Serial.println("*****");
}
}
A=0;
B=0;
count = 0;
break;
case 3:
i= 255; // Frequency = 1000 Hz
for(A=0;A<=7;A++) {
Wire.beginTransmission(0x43);
Wire.write(0x2F);
Wire.write(0xA0+A); // Band3
Wire.endTransmission();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("A = ");
Serial.println(A);
for(count=1;count<=1000;count++) {
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  Serial.println(count);
  if (c4ms > 250) { // timer / wait fou a full second
    c4ms=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalPotWrite(i);
dfreq=analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
Serial.print("i : ");
Serial.println(i);

cbi (TIMSK2,TOIE2);          // disble Timer2 Interrupt
tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
sbi (TIMSK2,TOIE2);          // enable Timer2 Interrupt

Serial.print(dfreq);
Serial.print(" ");
Serial.println(tword_m);
}
if(buttonState != lastButtonState){
  if(buttonState ==HIGH){
    B = A;
    EEPROM.write(1,B);
    Serial.print("Adress : 3 B : ");
    Serial.println( EEPROM.read( 3 ));
    A = 9;
    count = 3000;
  }
}
lastButtonState = buttonState;
}
if(A == 7) {
  B = A;
  EEPROM.write(3,B);
  Serial.print("Adress : 3 B : ");
  Serial.println( EEPROM.read( 3 ));
  Serial.println("*****");
  Serial.println(A);
  Serial.println("*****");
}
}
}
A=0;
B=0;
count = 0;
break;
case 4:
i= 255; // Frequency = 3170 Hz
for(A=0;A<=7;A++) {
Wire.beginTransmission(0x43);
Wire.write(0x2F);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wire.write(0xB0+A); // Band4
Wire.endTransmission();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("A = ");
Serial.println(A);
for(count=1;count<=1000;count++) {
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  Serial.println(count);
  if (c4ms > 250) {          // timer / wait fou a full second
    c4ms=0;
    digitalPotWrite(i);
    dfreq=2000+analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
    Serial.print("i : ");
    Serial.println(i);
    cbi (TIMSK2,TOIE2);      // disble Timer2 Interrupt
    tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
    sbi (TIMSK2,TOIE2);      // enable Timer2 Interrupt
    Serial.print(dfreq);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(tword_m);
  }
  if(buttonState != lastButtonState){
    if(buttonState ==HIGH){
      B = A;
      EEPROM.write(4,B);
      Serial.print("Adress : 4 B : ");
      Serial.println( EEPROM.read( 4 ));
      A = 9;
      count = 3000;
    }
  }
  lastButtonState = buttonState;
}
if(A == 7) {
  B = A;
  EEPROM.write(4,B);
  Serial.print("Adress : 4 B : ");
  Serial.println( EEPROM.read( 4 ));
  Serial.println("*****");
  Serial.println(A);
  Serial.println("*****");
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
A=0;
B=0;
count = 0;
break;
    case 5:
i=255; // Frequency = 8000 Hz
for(A=0;A<=7;A++){
Wire.beginTransmission(0x43);
Wire.write(0x80+A); // Band5
Wire.endTransmission();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("A = ");
Serial.println(A);
for(count=1;count<=1000;count++){
    buttonState = digitalRead(buttonPin);
    Serial.println(count);
if (c4ms > 250) { // timer / wait fou a full second
    c4ms=0;
    digitalPotWrite(i);
    dfreq=7000+analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
    Serial.print("i : ");
    Serial.println(i);

    cbi (TIMSK2,TOIE2); // disble Timer2 Interrupt
    tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calulate DDS new tuning word
    sbi (TIMSK2,TOIE2); // enable Timer2 Interrupt

    Serial.print(dfreq);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(tword_m);
}
if(buttonState != lastButtonState){
if(buttonState ==HIGH){
B = A;
EEPROM.write(5,B);
Serial.print("Adress : 5 B : ");
Serial.println( EEPROM.read( 5 ));
A = 9;
count = 3000;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lastButtonState = buttonState;
}
if(A == 7) {
  B = A;
  EEPROM.write(5,B);
  Serial.print("Adress : 5 B : ");
  Serial.println( EEPROM.read( 5 ));
  Serial.println("*****");
  Serial.println(A);
  Serial.println("*****");
}
}
A=0;
B=0;
count = 0;
break;
}
}

void stopsine() {
  int k;
  for(k=0;k<=200;k++){ // time to delay
    Serial.println("k = ");
    Serial.println(k);
    i = 0;
    if (c4ms > 250) { // timer / wait fou a full second
      c4ms=0;
      digitalPotWrite(i);
      dfreq=analogRead(0); // read Poti on analog pin 0 to adjust output frequency from 0..1023 Hz
      Serial.print("i : ");
      Serial.println(i);

      cbi (TIMSK2,TOIE2); // disble Timer2 Interrupt
      tword_m=pow(2,32)*dfreq/refclk; // calculate DDS new tuning word
      sbi (TIMSK2,TOIE2); // enable Timer2 Interrupt

      Serial.print(dfreq);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(tword_m);
    }
  }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

Datasheet TDA7317



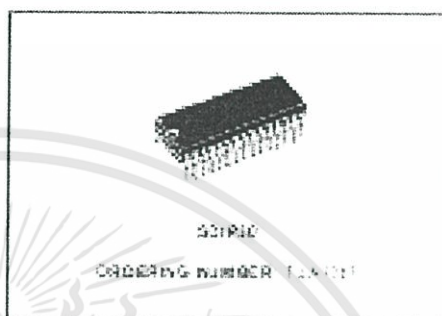
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TDA7317

## FIVE BANDS DIGITAL CONTROLLED GRAPHIC EQUALIZER

- VOLUME CONTROL IN 3 Steps (Soft)
- FIVE BANDS STEREO GRAPHIC EQUALIZER
- CENTER FREQUENCY BANDWIDTH MAP SCALING BY EXTERNAL COMPONENTS
- MARKS OUT BOOST CONTROL (Soft)
- ALL FUNCTIONS PROGRAMMABLE VIA SERIAL
- VERY LOW DISTORTION
- VERY LOW NOISE AND DC STARTING BY USE OF A NOISED ENCLER CODES TECHNOLOGY

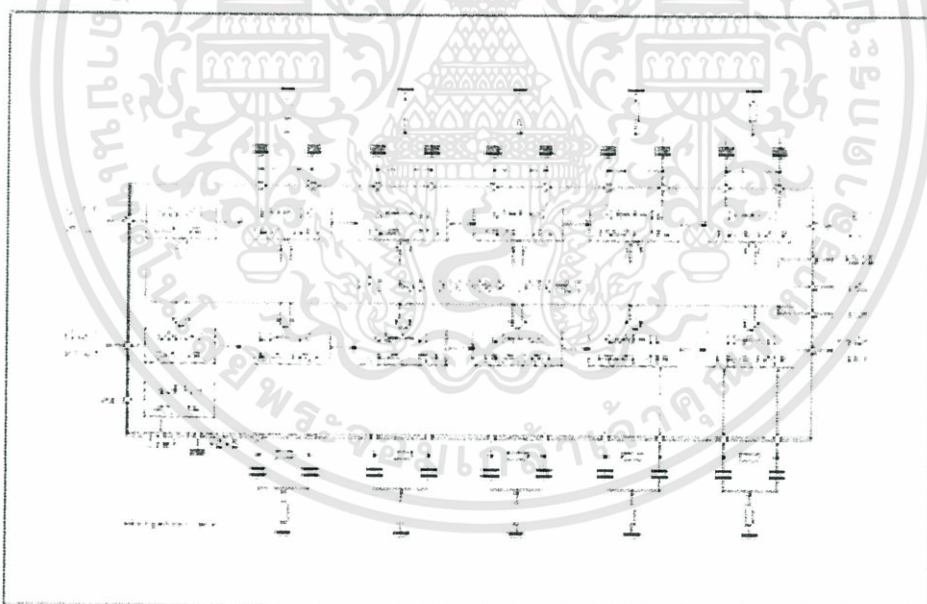


### DESCRIPTION

The TDA7317 is a monolithic, factory calibrated, programmable integrated IC which includes up to 16 channels of 5-band stereo graphic equalizer.

Controlled up to 277 kHz, it is 100% compatible with the TDA7317. All the functions can be programmed via serial bus making easy to build a DTMF controlled system (e.g. digital music synthesizer for very low noise and distortion).

### BLOCK DIAGRAM

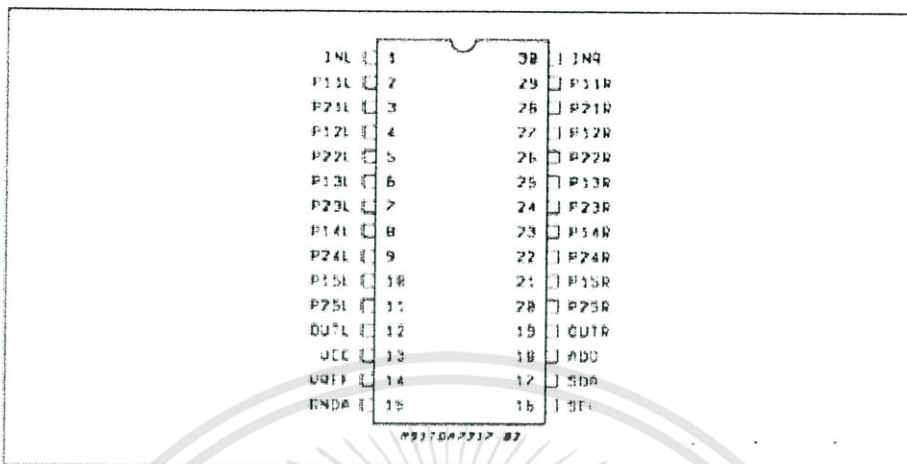


Document 12499

1/12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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
$R_{\theta(jc)}$	Thermal Resistance Junction pins	max 35	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 9\text{V}$ ,  $R_L = 10\text{K}\Omega$ ,  $R_D = 800\Omega$ ,  $f = 1\text{kHz}$ ,  $V_{IN} = 1\text{Vrms}$ , all controls in flat position ( $A_V = 0\text{dB}$ ) unless otherwise specified)

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

## SUPPLY

$V_S$	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	Input Resistance		20	30	40	k $\Omega$
V <sub>IN,MAX</sub>	Max Input Signal	T-TC = 0.3%	2	2.5		V <sub>RMS</sub>
I <sub>NS</sub>	Input Separation (%)		80	100		dB

## VOLUME CONTROL

C <sub>RANGE</sub>	Control Range			17.625		dB
A <sub>MIN</sub>	Min. Attenuation		-0.5	0	0.5	dB
A <sub>MAX</sub>	Max. Attenuation		16.7	17.625	18.8	dB
A <sub>STEP</sub>	Step Resolution		0.175	0.375	0.575	dB
E <sub>A</sub>	Attenuation Set Error		-1		1	dB
E <sub>T</sub>	Tracking Error				0.5	dB
V <sub>DC</sub>	DC Steps	adjacent attenuation steps		0	3	mV

## GRAPHIC EQUALIZER

THD	Distortion			0.01	0.1	%
C <sub>s</sub>	Channel Separation		80	100		dB
e <sub>ns</sub>	Output Noise	BW = 20Hz to 20KHz flat AV = 0dB		8	20	$\mu$ V
		A curve		6		$\mu$ V
		BW = 20Hz to 20KHz AV = 0dB All bands = max. boost All bands = max. cut		24		$\mu$ V
				6		$\mu$ V
S/N	Signal to Noise Ratio	A <sub>v</sub> = 0dB; V <sub>IN,MAX</sub> = 3V <sub>RMS</sub>		100		dB
E <sub>STEP</sub>	Step Resolution		1	2	3	dB
C <sub>RANGE</sub>	Control Range	max boost/cut	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$	dB
VDC	DC Steps	Adjacent Control Steps		0.5	3	mV

## AUDIO OUTPUTS

V <sub>o</sub>	Output Voltage	THD = 0.3%	2	2.5		V <sub>RMS</sub>
R	Output Load Resistance		2			k $\Omega$
C	Output Load Capacitance				10	nF
R <sub>o</sub>	Output Resistance		6	10	20	$\Omega$
V <sub>OUT</sub>	DC Voltage Level		4.2	4.5	4.8	V

## BUS INPUTS

V <sub>L</sub>	Input Low Voltage				1	V
V <sub>H</sub>	Input High Voltage		3			V
I <sub>IN</sub>	Input Current		-5		+5	$\mu$ A
V <sub>o</sub>	Output Voltage SDA Acknowledge	I <sub>o</sub> = 1.8mA			0.4	V

ADDRESS PIN (Internal 50k $\Omega$  pull down resistor)

V <sub>L</sub>	Input Low Voltage				1	V
V <sub>H</sub>	Input High Voltage		V <sub>CC</sub> - 1V			V

NOTE: The inputs are grounded thru the 2.2 $\mu$ F capacitors

TDA7317

DEVICE DESCRIPTION

The TDA7317 is a five bands, digitally controlled stereo Graphic Equalizer. The device is intended for high quality audio application in Hi-Fi, TV and car radio systems where feature like low noise and THD are key factors. A mixed Bipolar Cmos Technology allows. Cmos analog switches for pop free commutations, high frequency op.amp. (GWS = 10MHz) and high linearity polysilicon resistor for THD = 0.01 (at Vin = 1Vrms) and a S/N ratio of 102dB. The internal Block Diagram is shown on page 1.

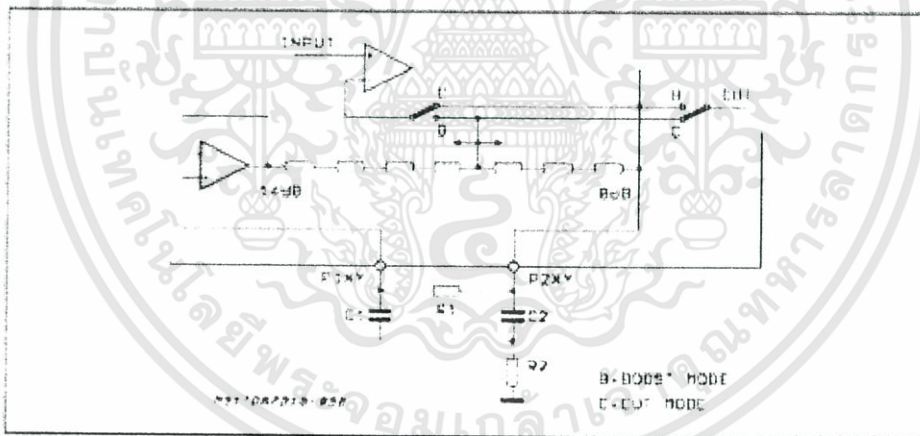
The first stage is a volume control. The control range is 0 to -17.625dB with 0.375dBstep. The very high resolution (0.375dB step) allows the implementation of closed loop amplitude control system completely free from any acoustical effect (stepping variation and pumping effect).

The volume control is followed by a serial five bands equalizer. Each filtering cell is the biquad cell shown in fig 1

The internal resistor string is fixing the boost/cut value while the buffer makes the Q (quality factor) and central frequency, set by external components, fully independent from the internal resistors. Each filtering cell is realized using only 4 external components (2 capacitors and 2 resistors) allowing a flexible selection of centre frequency  $f_0$ , Q factor and gain. Here below the basic formulae and the key features of each band pass filter are reported:

- $f_0$  = center frequency
- $G_v$  = gain/loss at the center frequency  $f_0$
- $G_v = 20 \log(A_v)$

Fig. 1



$$Q = \frac{f_0}{f_c - f}$$

where  $f_c$ ,  $f_c$  = 3dB Bandwidth limits.

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

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

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

If C1 is fixed, then:

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

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

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

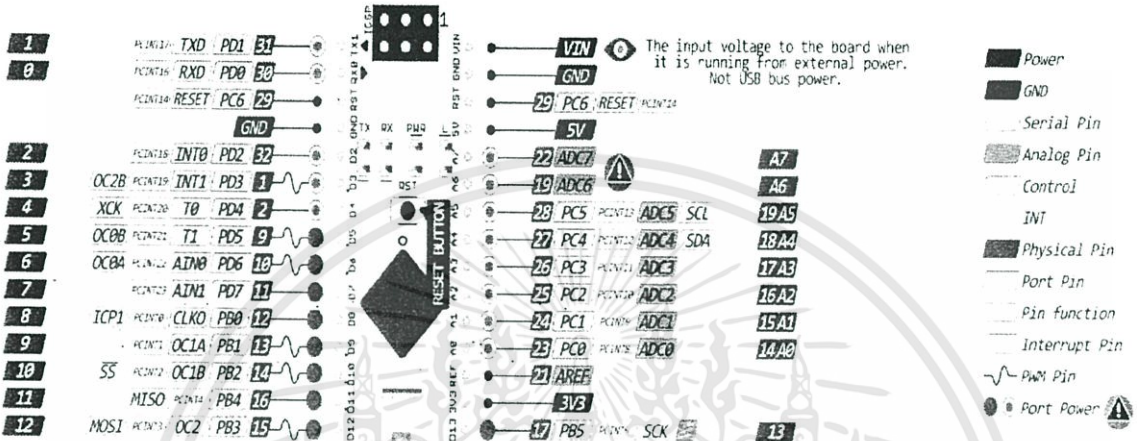
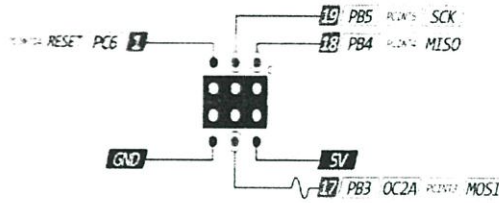
Likewise, the components values can be determined by fixing one of the other three parameters. Referring to fig. 1 the suggested R2 value should be higher than 2KΩ in order to have a good THD (internal op. amp. current limit). Viceversa the R1 value should be equal or lower than 51KΩ in order to keep the "click" (DC step) very low.

A typical application is shown by fig. 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# NANO PINOUT



⚠ Absolute MAX per pin 40mA recommended 20mA

⚠ Absolute MAX 200mA for entire package

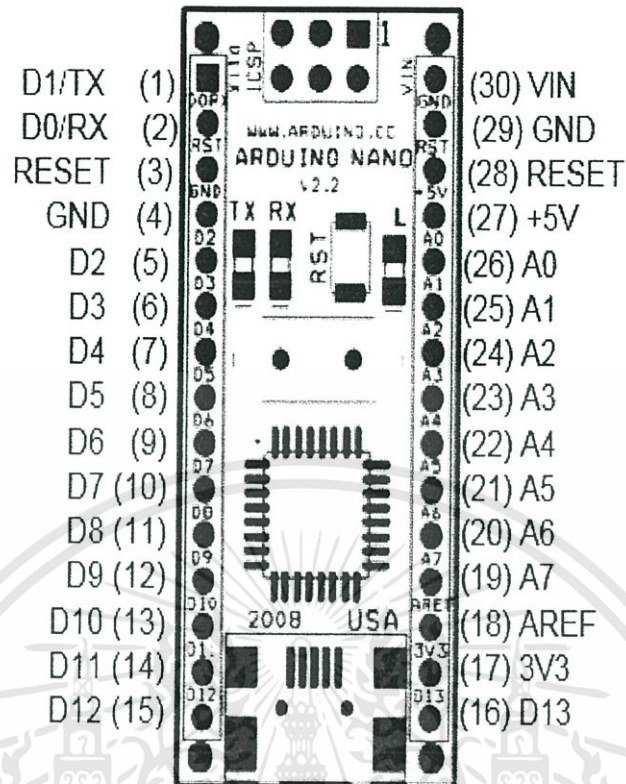
USB JACK Mini Type B

⚠ Analog exclusively Pins

⚠ The power sum for each pin's group should not exceed 100mA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้