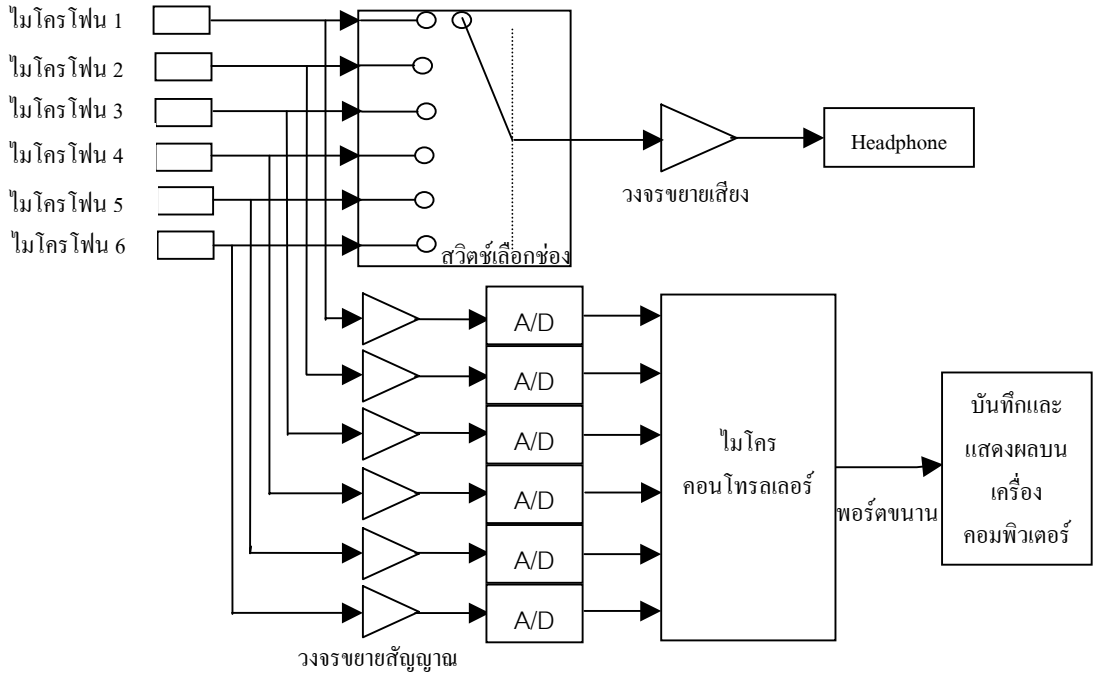
บทที่3

การออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอรายละเอียดวิธีการออกแบบวงจรในภาครับ ซึ่งประกอบด้วย คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนใช้เป็นตัวเปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า วงจรขยายสัญญาณที่รับจากไมโครโฟน และวงจรขยายเสียงเพื่อขับสัญญาณเสียงที่ได้รับออกทางลำโพง

3.1 การออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าวงจรขยายสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ จะประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณที่รับจากไมโครโฟน และวงจรขยายเสียง ในงานวิจัยนี้จะสร้างวงจรขยายสัญญาณที่รับจากไมโครโฟนทั้งหมด 6 วงจรด้วยกันเพื่อรับสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆบริเวณหน้าอก ในส่วนของวงจรขยายเสียงเพื่อขับเสียงฟังออกทางลำโพงจะสร้างเพียงวงจรเดียว แต่จะใช้สวิตช์สำหรับเลือกฟังเสียงแต่ละตำแหน่งตามต้องการ สามารถแสดงบล็อคไดอะแกรมการออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจดังภาพประกอบ 3-1



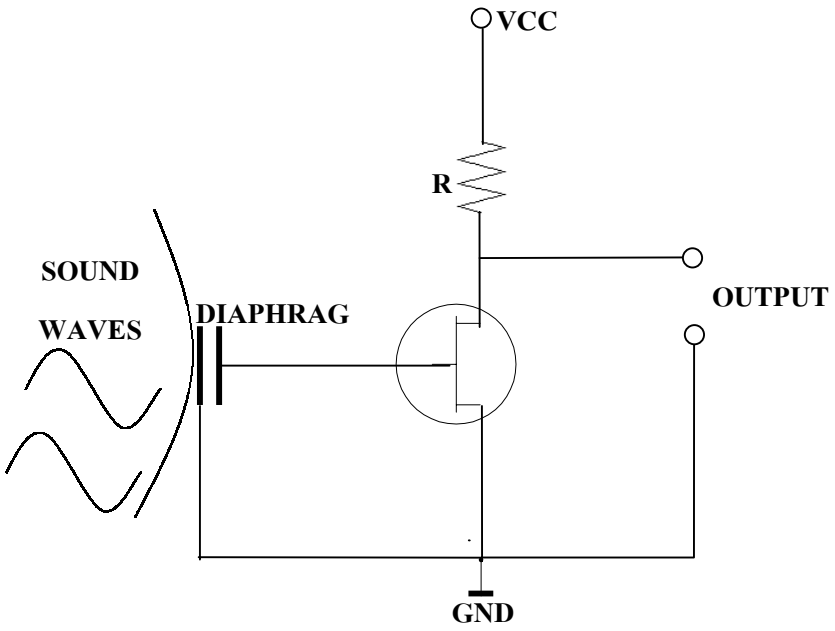
ภาพประกอบ 3-1 แสดงบล็อคไดอะแกรมการออกแบบวงจรขยายสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ

3.2 ไมโครโฟน

ในการฟังเสียงเต้นของหัวใจด้วยการใช้หูฟังแพทย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์รูปกรวยวางแนบบริเวณหน้าอก เพื่อส่งเสียงไปตามสายมายังหูผู้ฟัง เสียงเต้นของหัวใจสำหรับคนที่ปกติโดยทั่วไปแล้วจะมีย่านความถี่ต่ำ และในกรณีที่เป็นผู้ป่วยจะมีความถี่เสียงที่สูงประมาณไม่เกิน 1 kHz ดังนั้นในการเลือกใช้ไมโครโฟนเพื่อแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งมีใช้งานอยู่หลายชนิด จะต้องพิจารณาถึงผลตอบสนองต่อย่านความถี่ของเสียงเต้นหัวใจด้วย

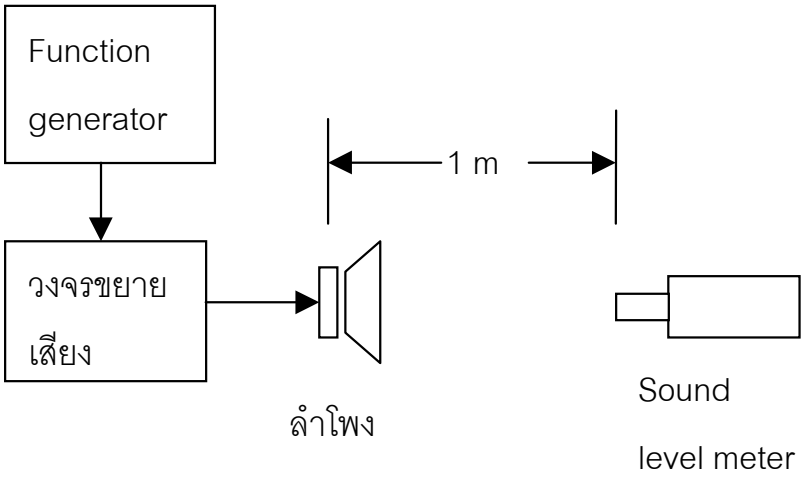
3.2.1 คุณลักษณะโดยทั่วไปของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนภายในจะประกอบด้วย FET ซึ่งจะต้องทำการไบอัสกระแสผ่านตัวต้านทานมาเลี้ยงตัวไมโครโฟนเพื่อทำงาน และยังมีแผ่นโลหะสองแผ่น แผ่นหนึ่งจะอยู่คงที่และอีกแผ่นหนึ่งจะเคลื่อนที่อย่างอิสระ ทำหน้าที่เป็นแผ่นไดอะแฟรม เป็นผลทำให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลง โดยแผ่นโลหะทั้งสองจะถูกคั่นไว้ด้วยฉนวน เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่นไดอะแฟรม เป็นผลให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน และค่าแรงดันตกคร่อมเป็นสัญญาณเอาต์พุตของไมโครโฟนนำไปใช้งานต่อไป

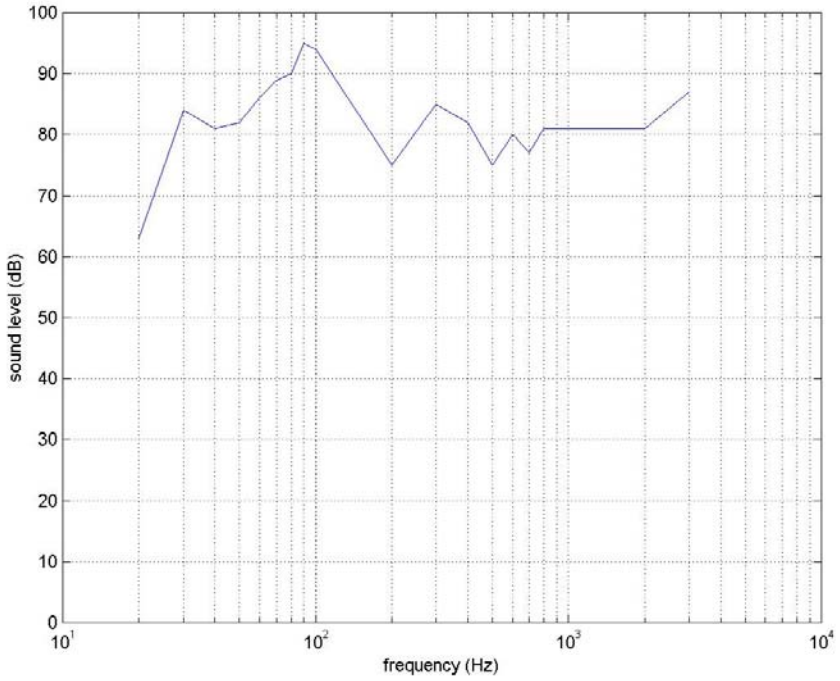


ภาพประกอบ 3-2 แสดงลักษณะโครงสร้างคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

ในรายงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อบันทึกเสียงเต้นของหัวใจ (มณฑรพ พืชสะกะ, 2546) ในงานวิจัยดังกล่าวได้เลือกใช้คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน โดยได้ทำการทดสอบวัดผลตอบสนองเชิงความถี่วิธีการคือ ได้ใช้เป็นต้นกำเนิดเสียงประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ให้สัญญาณไซด์ ปรับความถี่ได้ วงจรขยายเสียงที่สามารถปรับอัตราการขยายได้ชุดลำโพงที่มี subwoofer เพื่อให้ระดับเสียงออกมาสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่ที่สนใจโดยเฉพาะย่านความถี่ต่ำๆ ในการทดลองได้เลือกใช้ชุดวงจรขยายเสียงและลำโพงของ cambridge sound works รุ่น SW320 ในเบื้องต้นได้ทำการวัดดูระดับเสียงที่ดังออกทางลำโพง จัดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-3 ป้อนรูปคลื่นสัญญาณซายน์ที่มีขนาดคงที่ให้กับวงจรขยายเสียง สัญญาณที่ป้อนสามารถปรับความถี่ได้ สัญญาณที่ถูกขยายแล้วขับลำโพงให้ส่งเสียงออกมาโดยรอบทำการวัดระดับเสียงด้วยเครื่อง sound level meter ของ rion รุ่น NL31 ซึ่งวางอยู่หน้าลำโพงห่างออกไป 1 เมตร ระดับเสียงที่วัดได้ใช้หน่วย dB ผลของการวัดแสดงด้วยกราฟในภาพประกอบที่ 3-4 โดยที่สัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรขยายมีค่า 100 mV



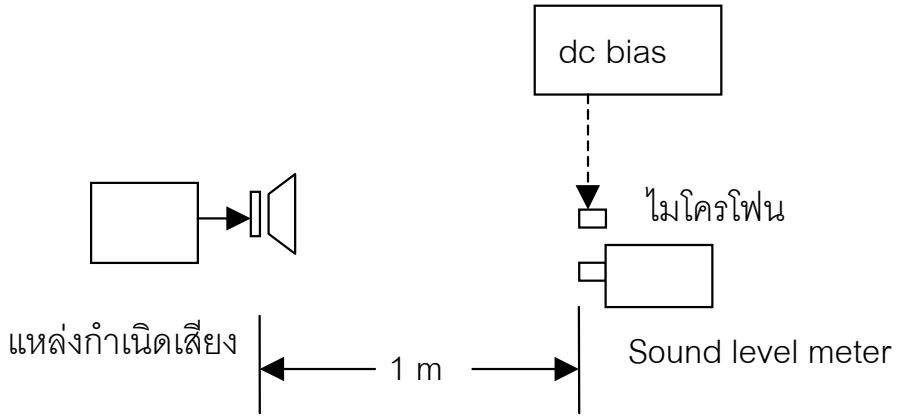
ภาพประกอบที่ 3-3 การจัดวางอุปกรณ์เพื่อวัดแหล่งกำเนิดของเสียง



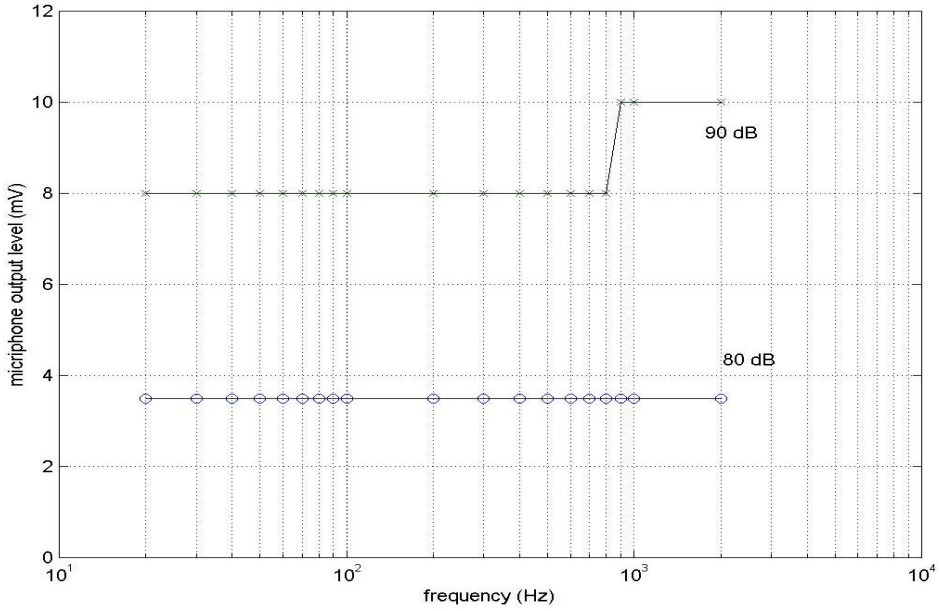
ภาพประกอบที่ 3-4 ระดับเสียงที่เปล่งออกจากลำโพงเมื่อป้อนวงจรขยายด้วยแรงดันคงที่

จากผลการทดลองจะพบว่าระดับของเสียงที่เปล่งออกจากลำโพงจะไม่สม่ำเสมอตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน แต่เมื่อนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงเพื่อทดสอบไมโครโฟนแล้ว สามารถปรับสัญญาณด้านเข้าเพื่อให้ระดับของเสียงออกมาคงที่ตลอดย่านความถี่

การวัดผลตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนได้จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงภาพประกอบที่ 3-5 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดเสียงตามที่แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-3 แสดงจากด้านหน้าของแหล่งกำเนิดเสียงห่างออกไป 1 เมตร จัดวางคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนและ sound level meter ไว้ ตัวคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจะประกอบด้วยวงจรดีซีไบอัส ตั้งไว้ที่ 2 V วัดสัญญาณ AC ที่ออกจากตัวไมโครโฟนด้วยออสซิโลสโคปทำการปรับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงตลอดย่านความถี่ที่ต้องการวัด และปรับระดับความดังของแหล่งกำเนิดเสียงให้มีระดับความดังเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่วางไมโครโฟนให้คงที่ตลอดย่านความถี่ที่แปรเปลี่ยนไป ผลการทดลองได้แสดงไว้ด้วยกราฟในภาพประกอบที่ 3-6 ในรูปได้แสดงผลการตอบสนองของไมโครโฟนเมื่อระดับความดังของเสียงเกิดขึ้นที่หน้าไมโครโฟน 80 และ 90 dB ในการทดสอบครั้งนี้ไม่สามารถทำที่ความถี่ต่ำลงกว่า 20 Hz ได้ เนื่องจากการตอบสนองของลำโพงไม่สามารถทำได้ต่ำกว่านี้



ภาพประกอบที่ 3-5 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดผลตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน



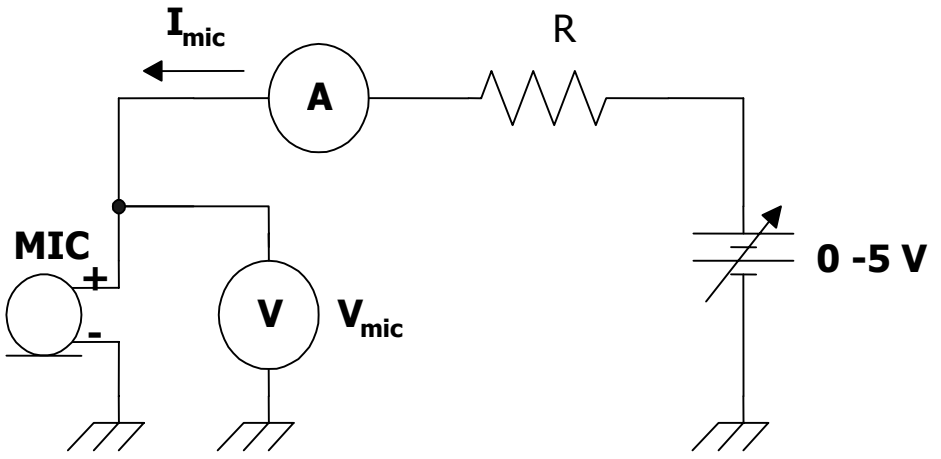
ภาพประกอบที่ 3-6 กราฟแสดงการตอบสนองของไมโครโฟนเมื่อให้ระดับเสียงที่ส่งเข้าไมโครโฟนคงที่

ซึ่งสรุปได้ว่าคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนสามารถตอบสนองต่อย่านความถี่เสียงเต้นของหัวใจ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเครื่องมือที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในประเทศและราคาถูก ทั้งนี้ก็เพื่อสะดวกในการซ่อมบำรุงรักษาด้วย ในงานวิจัยนี้เราใช้คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนเป็นทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ทั่วไป ราคาตัวละ 10-15 บาท ซึ่งมีคุณภาพในการรับสัญญาณเสียงค่อนข้างดี แต่ทางผู้ผลิตผู้จะไม่มีข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของแต่ละตัว เพราะฉะนั้นก่อนนำมาใช้จะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติก่อนทุกครั้ง เพื่อจะได้แน่ใจถึงผลตอบสนองเชิงความถี่ครอบคลุมต่อย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน

3.2.2 การวัดคุณสมบัติของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

ในการที่จะนำคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนมาใช้งานนั้นจะต้องมีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติก่อนทุกครั้งเพื่อที่จะได้คุณภาพของเสียงที่ดี สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน เพื่อจะได้รู้ว่าคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนแต่ละตัวมีคุณสมบัติเมื่อมีช่วงของการไบอัสกระแสและแรงดันตกคร่อมไมโครโฟนอยู่ในช่วงใด ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-7 วงจรที่ใช้ในการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

สำหรับวิธีการทดสอบได้ทำการปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงมีค่าอยู่ในช่วง 0-5 V แล้ววัดวัดค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายผ่านไมโครโฟนที่ได้ทดสอบ แล้วจดบันทึกค่าที่วัดได้เป็นช่วงๆ เพื่อนำมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนสำหรับสูตรวิธีการคิดหาค่าความต้านทานเพื่อไบอัสแรงดันให้กับไมโครโฟนจะใช้หลักการกฎของโอห์ม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยใช้ค่า R เท่ากับ 1kΩ ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการคิดคำนวณหาค่า I_{mic} โดยใช้แหล่งจ่าย DC ปรับค่าได้เป็นช่วงๆ วัดค่าแรงดันของ V_{mic} จดบันทึกค่าเป็นช่วงๆ จากนั้นนำค่าที่จดบันทึกได้ในแต่ละช่วงเพื่อคำนวณหาค่า I_{mic} มีสูตรวิธีคิดดังนี้

$$\mathbf{I_{mic} = \frac{V_{cc} - V_{mic}}{R}}$$

เมื่อ

V_{cc} = แหล่งจ่ายปรับค่าได้มีค่าช่วง 0-5 V

V_{mic} = แรงดันไบอัสคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

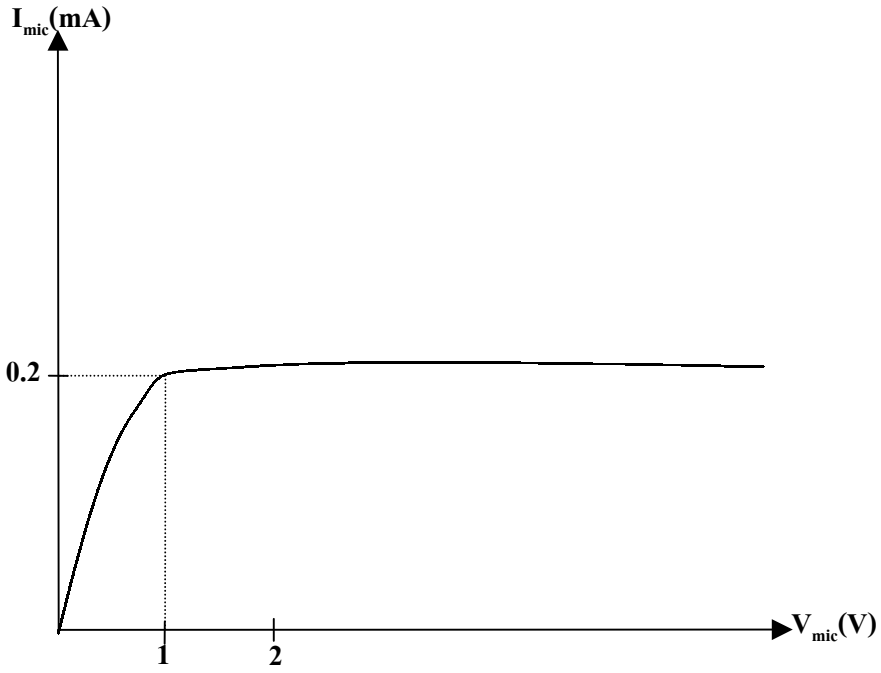
I_{mic} = กระแสที่จ่ายให้กับคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

R = ค่าความต้านทาน(ใช้ 1 kΩ เพื่อสะดวกในการคำนวณในการหาค่า I_{mic} มีหน่วยเป็น mA)

หลังจากที่ได้ค่าระหว่าง V_{mic} กับ I_{mic} แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟเพื่อดูคุณสมบัติผลตอบสนองเชิงความถี่คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนในย่านที่นำไปใช้งานระหว่างค่าแรงดันและกระแส จากนั้นนำค่าช่วงย่านใช้งานของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนไปคำนวณหาค่าความต้านทานเพื่อกำหนดค่าการไปอัสแรงดันให้กับคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน โดยในการออกแบบใช้แหล่งจ่ายไฟ DC 5 Vใช้วิธีการคำนวณได้ดังนี้

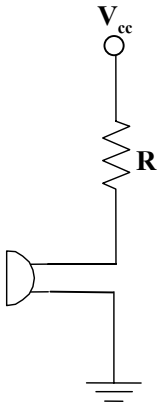
$$\mathbf{R = \frac{5 - V_{mic}}{I_{mic}}}$$

โดยหาค่า V_{mic} และค่า I_{mic} จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส ซึ่งค่าของแรงดันและกระแส จะอยู่ในช่วงผลตอบสนองเชิงความถี่คงที่ของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน ดังภาพประกอบที่ 3-8



ภาพประกอบ 3-8 กราฟที่ใช้ในการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่าไมโครโฟนมีการทำงานที่เหมาะสมเมื่อมีช่วงของการไบอัสกระแสประมาณ 0.2 mA และแรงดันตกคร่อมไมโครโฟนประมาณ 1-2 V จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสจะสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมเพื่อไบอัสแรงดันให้กับคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนได้



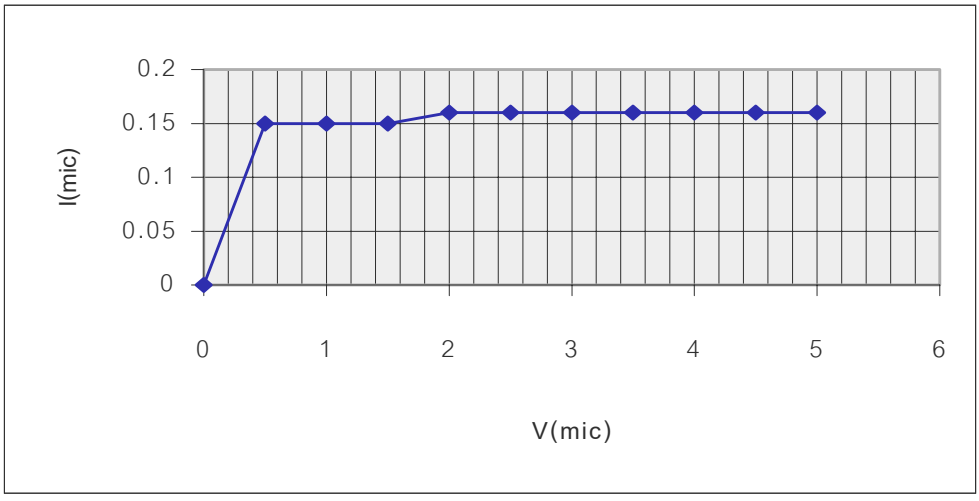
ภาพประกอบ 3-9 แสดงการไบอัสแรงดันคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

ในงานวิจัยนี้เราได้ทำการทดสอบไมโครโฟนที่ใช้ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ตัวด้วยกัน สามารถแสดงรูปกราฟคุณสมบัติของไมโครโฟนทั้ง 6 ตัวได้ดังต่อไปนี้

-ไมโครโฟนตัวที่1

V(mic) V	I(mic) mA
0.5	0.15
1.0	0.15
1.5	0.15
2.0	0.16
2.5	0.16
3.0	0.16
3.5	0.16
4.0	0.16
4.5	0.16
5.0	0.16

ตาราง 3-1 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่1

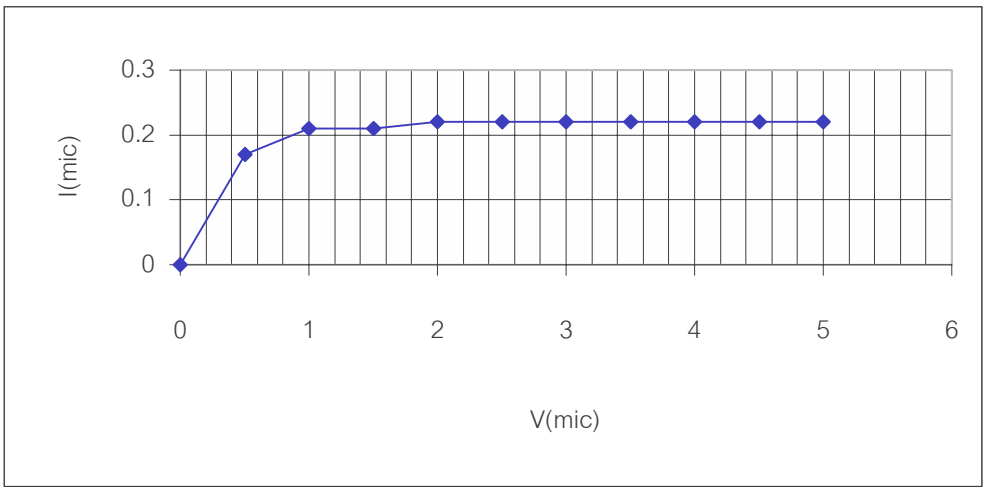


ภาพประกอบ 3-10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่1

- ไมโครโฟนตัวที่2

V(mic) V	I(mic) mA
0.5	0.17
1.0	0.21
1.5	0.21
2.0	0.22
2.5	0.22
3.0	0.22
3.5	0.22
4.0	0.22
4.5	0.22
5.0	0.22

ตาราง 3-2 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่2

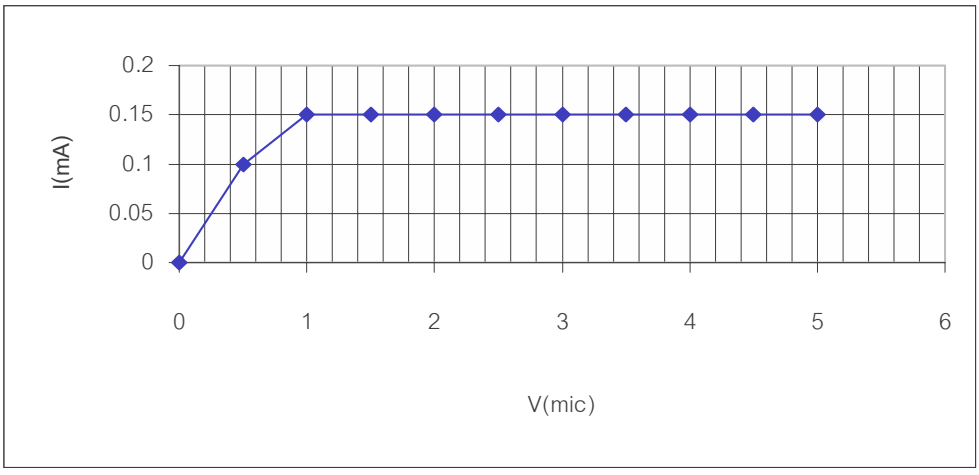


ภาพประกอบ 3-11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่2

- ไมโครโฟนตัวที่3

V(mic) V	I(mic) mA
0.5	0.10
1.0	0.15
1.5	0.15
2.0	0.15
2.5	0.15
3.0	0.15
3.5	0.15
4.0	0.15
4.5	0.15
5.0	0.15

ตาราง 3-3 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่3

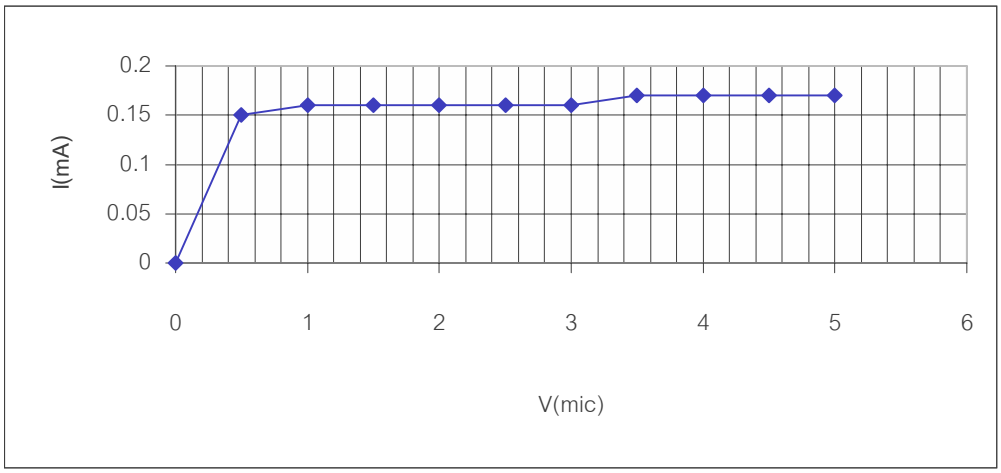


ภาพประกอบ 3-12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่3

- ไมโครโฟนตัวที่4

V(mic) V	I(mic) mA
0.5	0.15
1.0	0.16
1.5	0.16
2.0	0.16
2.5	0.16
3.0	0.16
3.5	0.17
4.0	0.17
4.5	0.17
5.0	0.17

ตาราง 3-4 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่4

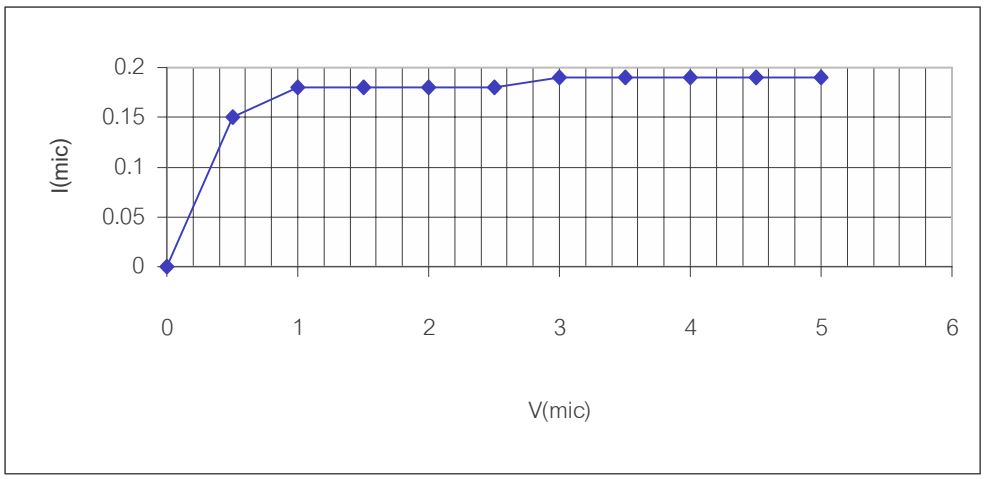


ภาพประกอบ 3-13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่4

- ไมโครโฟนตัวที่5

V(mic) V	I(mic)
0.5	0.15
1.0	0.18
1.5	0.18
2.0	0.18
2.5	0.18
3.0	0.19
3.5	0.19
4.0	0.19
4.5	0.19
5.0	0.19

ตาราง 3-5 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่5

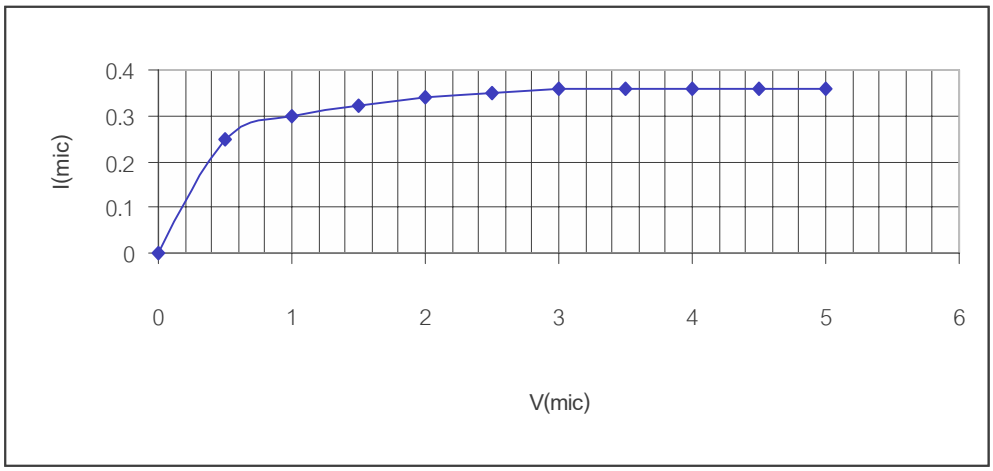


ภาพประกอบ 3-14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่5

- ไมโครโฟนตัวที่6

V(mic) V	I(mic)
0.5	0.25
1.0	0.30
1.5	0.32
2.0	0.34
2.5	0.35
3.0	0.36
3.5	0.36
4.0	0.36
4.5	0.36
5.0	0.36

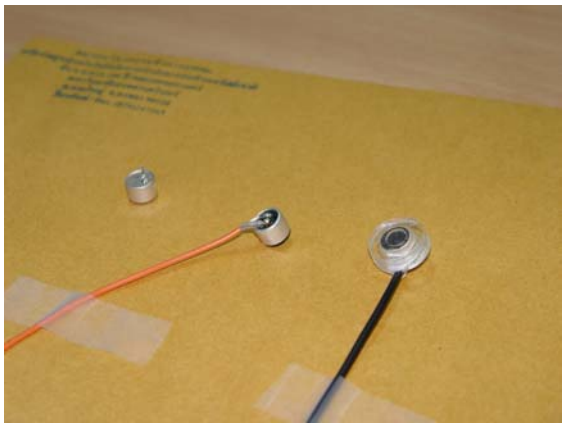
ตาราง 3-6 แสดงค่าของกระแสและแรงดันของการไบอัสไมโครโฟนตัวที่6



ภาพประกอบ 3-15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของไมโครโฟนตัวที่6

3.3 การยึดไมโครโฟนเข้ากับร่างกาย

ในการวัดสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจจะวัดที่ตำแหน่งต่างๆบริเวณหน้าอกพร้อมๆกัน เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นจะต้องวางไมโครโฟนยึดเข้ากับหน้าอกและต้องแน่นพอสมควร เนื่องจากว่าคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนที่ได้จัดหามาจะมีลักษณะเปลือย ในเบื้องต้นเราได้ทำการใช้มือจับยึดโดยตรงเพื่อบันทึกเสียงเต้นหัวใจที่ละช่องทั้งหมด 6 ช่องเพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ จากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์สามารถทำการบันทึกเสียงเต้นหัวใจได้ทั้ง 6 ช่องสัญญาณได้ แต่ในการใช้งานจริงเราจะทำการบันทึกเสียงพร้อมๆกันหลายตำแหน่ง ซึ่งคงไม่สามารถใช้มือจับยึดตัวไมโครโฟนเข้ากับหน้าอกได้ทั้งหมด เนื่องจากในการบันทึกจะบันทึกพร้อมๆกันหลายตำแหน่ง เพราะฉนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์เพื่อทำการยึดติดตัวไมโครโฟนเข้ากับหน้าอกและแน่นพอที่ตัดเสียงรบกวนรอบข้างได้ดีพอสมควร ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำกรอบครอบไมโครโฟนขึ้นเพื่อให้สะดวกแก่การจับยึด สำหรับบันทึกเสียงเต้นหัวใจดังภาพประกอบ 3-16 อย่างไรก็แล้วแต่ ในการบันทึกเสียงเต้นหัวใจ ห้องที่บันทึกควรเป็นห้องที่เงียบ เก็บเสียงได้อุณหภูมิต้องไม่เย็นหรือร้อนจนเกินไป

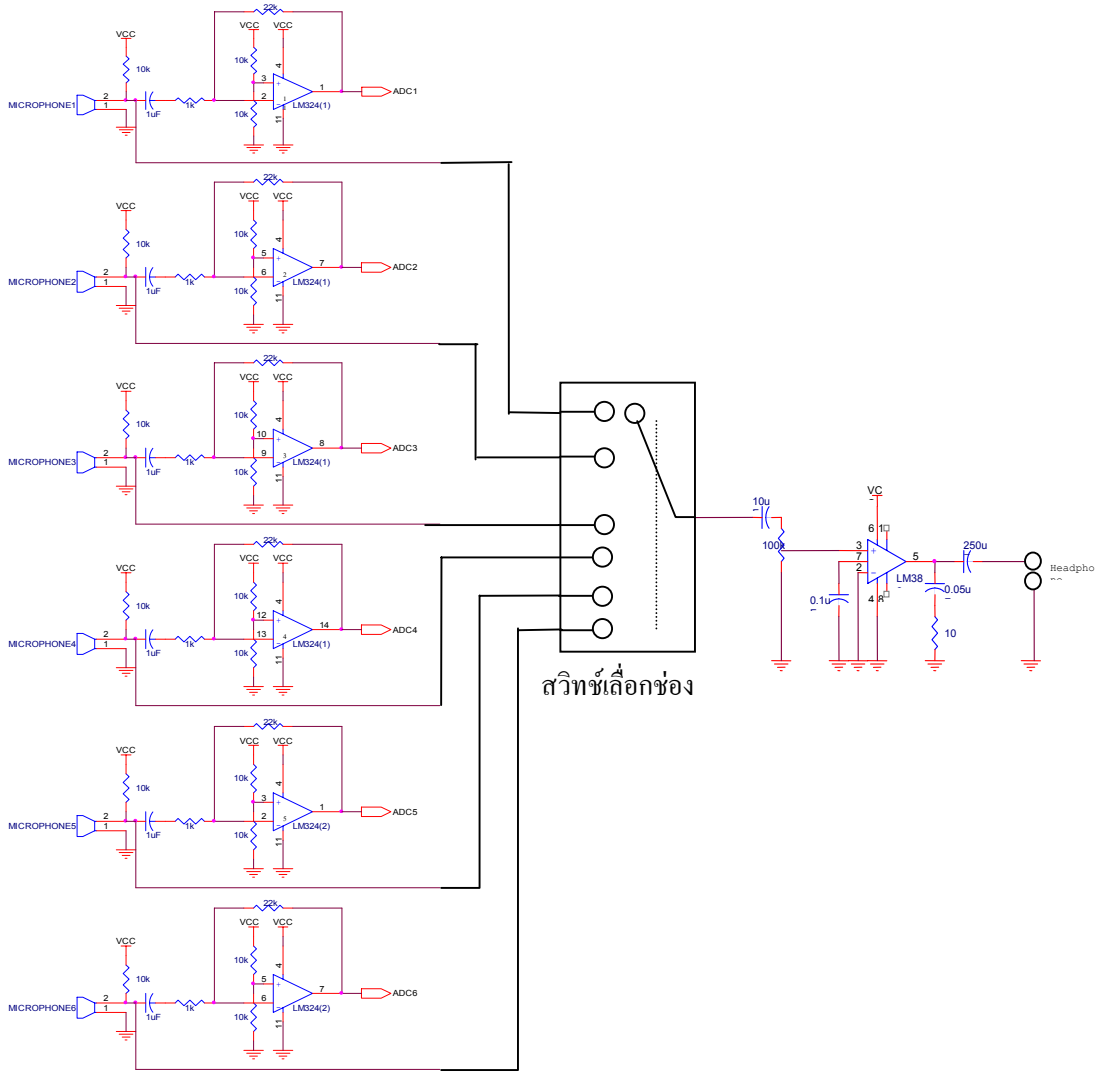


ภาพประกอบ 3-16 แสดงคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

ในการยึดติดไมโครโฟนเข้ากับร่างกายสำหรับทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในเบื้องต้นนี้ เราได้ทำการวางไมโครโฟนที่บริเวณต่างๆที่หน้าอกโดยใช้ผ้าเทปกาวแปะที่ใช้ติดทั่วไปเพื่อติดให้แนบแน่นและก็ยังคงใช้มือช่วยในการจับด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวยังไม่สรุปว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการยึดตัวไมโครโฟนโดยไม่ต้องใช้มือจับ

3.4 วงจรขยายสัญญาณและวงจรขยายเสียงเต้นของหัวใจ

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อขยายสัญญาณที่ได้รับจากไมโครโฟน มีส่วนประกอบทั้งหมด 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนวงจรขยายสัญญาณเพื่อเพิ่มขนาดระดับสัญญาณก่อนป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนวงจรขยายเสียงซึ่งรับสัญญาณมาจากไมโครโฟน สำหรับรายละเอียดแสดงดังภาพประกอบ 3-17



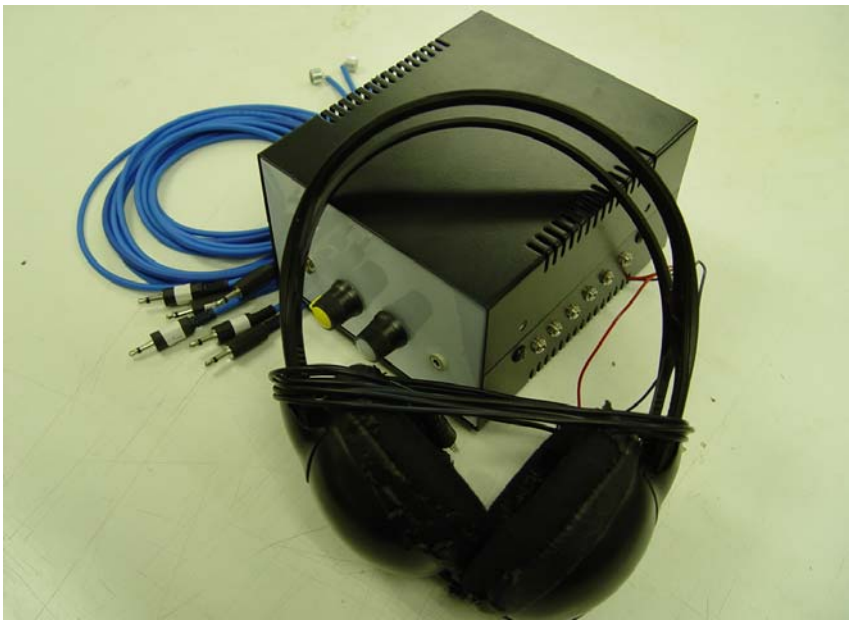
ภาพประกอบที่ 3-17 วงจรขยายสัญญาณและวงจรขยายเสียง

วงจรประกอบด้วยคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนมี FET ที่ฝังตัวอยู่ภายในไมโครโฟน มีการไบอัสแรงดันดีซีให้ทำงาน โดยสัญญาณที่รับได้จะป้อนไปยังวงจร 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนวงจรขยายสัญญาณได้ใช้ IC เบอร์ LM324 มีวงจรขยายทั้งหมด 6 วงจรด้วยกันสำหรับบันทึกตามตำแหน่งต่างๆ มีอัตราขยายแรงดัน 50 เท่าเพื่อขยายแรงดันที่ได้จากไมโครโฟนเพื่อเพิ่มระดับสัญญาณก่อนที่ป้อนไปยังส่วนวงจร A/D ต่อไป ส่วนที่สองคือส่วนของวงจรขยายเสียงซึ่งจะรับสัญญาณมาจากไมโครโฟนโดยตรงมาผ่านซีเล็คเตอร์เพื่อเลือกฟังเสียงแต่ละช่องตามต้องการ มีการคัปปลิงระหว่างวงจรได้พิจารณาถึงความถี่ด้านต่ำของสัญญาณเสียงที่ขยาย โดยวงจรขยายเสียงได้เลือกใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ LM386 ตั้งอัตราขยายแรงดันไว้ที่ 200 เท่า เพื่อขับลำโพงที่มีอิมพีแดนซ์ขนาด 8-32 โอห์ม

จากการทดลองฟังเสียงเต้นของหัวใจด้วยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถฟังเสียงเต้นของหัวใจคนปกติได้อย่างชัดเจนออกทางลำโพง

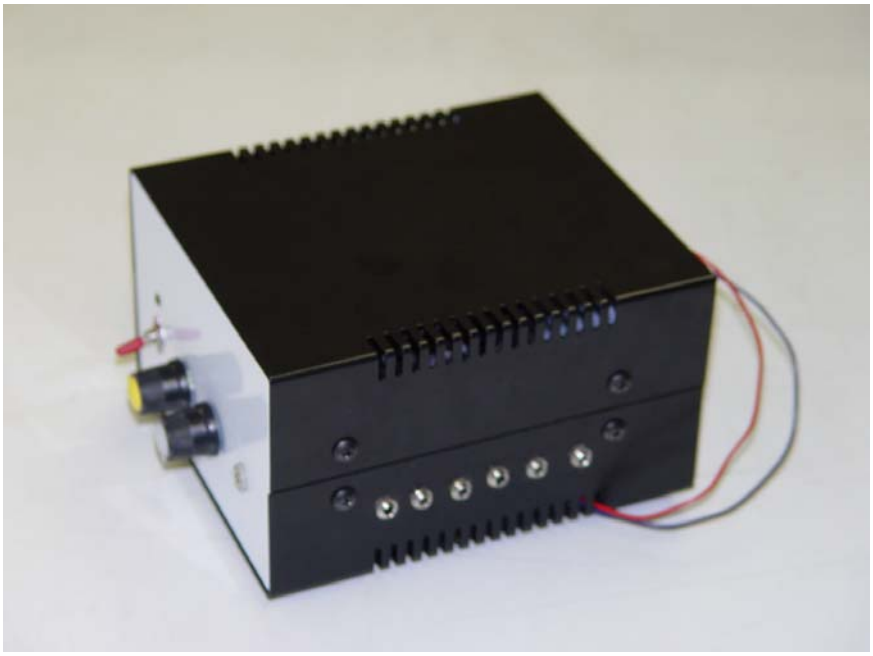
3.5 การจัดสร้างวงจรขยายสัญญาณและวงจรขยายเสียงเต้นหัวใจ

ในส่วนการจัดสร้างอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้จัดสร้างอุปกรณ์วงจรอิเล็คทรอนิกส์ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังภาพประกอบ 3-18

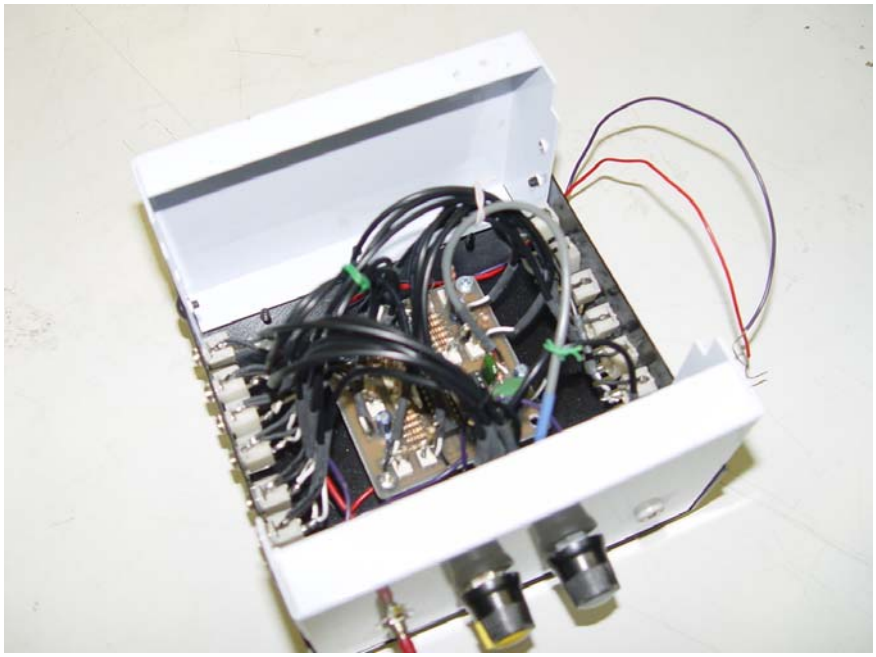


ภาพประกอบที่ 3-18 แสดงอุปกรณ์วงจรขยายสัญญาณและวงจรขยายเสียงที่จัดสร้างขึ้น

ภาพประกอบที่ 3-19 แสดงด้านช่องเสียบไมโครโฟน



ภาพประกอบที่ 3-20 แสดงด้านช่องเสียบสัญญาณที่ผ่านการขยายเพื่อส่งต่อไปยังส่วน A/D



ภาพประกอบที่ 3-21 แสดงอุปกรณ์ภายใน