



อุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราซาวด์

INFRASONIC DETECTOR



นายภาณุมาศ ขำศรี

รหัส 51364446

นายอักรเดช แย้มนิยม

รหัส 51364576

|                                  |
|----------------------------------|
| ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์        |
| วันที่รับ..... ๔ ส.ค. 2555 ..... |
| เลขทะเบียน..... 16067748 .....   |
| เลขเรียกหนังสือ..... ผร. ....    |
| มหาวิทยาลัยนเรศวร ๓๕๖๔๑          |

25๕๕

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554



|                  |  |
|------------------|--|
| หัวข้อโครงการ    | อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก             |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายภาณุมาศ จำศรี รหัส 51364446             |
|                  | นายอักรเดช เข้มนิยม รหัส 51364576          |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บงกช ชนบดีเฉลิมรุ่ง |
| สาขาวิชา         | วิศวกรรมไฟฟ้า                              |
| ภาควิชา          | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์                |
| ปีการศึกษา       | 2554                                       |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เกิดขึ้นเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิกที่เกิดจากแผ่นดินไหวเป็นส่วนสำคัญ เพื่อช่วยในการเตือนภัยจากการเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ โดยใช้ไมโครโฟน WM-61A รับสัญญาณเสียงและผ่านวงจรกรองความถี่ให้อยู่ในช่วง 0.1-20 Hz ในตัวอุปกรณ์เราได้ใช้ไอซี LT1014 2 ตัว (Op-Amp 8 ตัว) ในการกรองความถี่ใช้งานในช่วง 0.1-20 Hz รวมถึงภาคขยาย การอินทิเกรเตอร์ เนื่องจากการรับคลื่นอินฟราโซนิกของไมโครโฟนรับได้ไม่ดีในช่วงความถี่ 0.1-12 Hz จึงจำเป็นต้องชดเชยการตอบสนองความถี่ให้กับไมโครโฟนด้วย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะวัดความถี่ 0.1-20 Hz ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สัญญาณคลื่นอินฟราโซนิกจากอุปกรณ์ตรวจจับนี้จะถูกนำไปแสดงเป็นสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคปหรือเครื่องวัดสัญญาณต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเกิดขึ้นของคลื่นอินฟราโซนิกต่อไป

**Project title**                    **Infrasonic Detector**

**Name**                               **Mr. Panumaas Khamsri**                    **ID. 51364446**  
**Mr. Accaradet Yamniyom**                    **ID. 51364576**

**Project advisor**               **Assistant Professor Yongyut Chonbodeechalermroong, Ph.D.**

**Major**                               **Electrical Engineering**

**Department**                    **Electrical and Computer Engineering**

**Academic**                         **year 2011**

.....

### **Abstract**

This project is created for developing the infrasonic wave detectors for faster warning to the people in disaster areas, by using the WM-61A microphone for receiving the audio sound and passing through the filter in the range of frequency 0.1-20 Hz. This device uses two LT1014 ICs (8 Op-Amps) with the band pass frequency of 0.1-20 Hz, the audio signal amplifier and integrator circuits due to the weak response of the microphone in the range 0.1-12 Hz. Therefore, to add up the frequency response is also required to the microphone. As a result, the frequency of 0.1-20 Hz is measured effectively.

The infrasonic wave from the detector is then showed as a signal on the oscilloscope or the other instruments for further analysis.

## กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำโครงการ “อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก” ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในโครงการนี้ให้สามารถ ดำเนินไปได้ด้วยดี โดยให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการตลอด ทั้งให้ความเอื้อเฟื้อทั้งด้าน อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ คำแนะนำและช่วยเหลือในครั้งนี้



นายภาณุมาศ ขำศรี

นายอักรเดช เข้มนิยม

## สารบัญ

หน้า

|   |    |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ก  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                       | ข  |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ค  |
| สารบัญ.....   | ง  |
| สารบัญตาราง.....  | ช  |
| สารบัญรูป.....  | ซ  |
| <br>  |    |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1  |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....                      | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน.....                           | 2  |
| 1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน.....                                 | 3  |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงานตลอด โครงการงาน..... | 4  |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการงาน.....              | 5  |
| 1.6 งบประมาณในการดำเนิน โครงการงาน.....                       | 6  |
| <br>  |    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                               | 3  |
| 2.1 ปรัชญาการณ้ทางธรรมชาติ.....                               | 4  |
| 2.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง.....                   | 7  |
| 2.2.1 ตัวต้านทาน.....   | 7  |
| 2.2.2 ตัวเก็บประจุ.....                                       | 10 |
| 2.2.3 ไดโอด (diode).....                                      | 11 |
| 2.2.4 ออปแอมป์ (Op-Amp).....                                  | 12 |
| 2.2.5 คอนเดนเซอร์ไมค์ (Condenser Microphones).....            | 14 |
| 2.3 วงจรพื้นฐาน.....  | 15 |
| 2.3.1 วงจรขยายแบบอินทิเกรต (Ideal Integrating Amplifier)..... | 15 |
| 2.3.2 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Practical Integrator circuit).....   | 16 |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter).....  | 17 |
| 2.3.4 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter).....   | 19 |
| 2.3.5 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter).....  | 20 |
| 2.3.6 วงจรขยายแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier).....  | 22 |
| <b>บทที่ 3</b> วิธีการออกแบบการทดลอง.....  | 24 |
| 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....   | 24 |
| 3.1.1 เครื่องตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก.....  | 24 |
| 3.1.2 เครื่องขยายเสียงความถี่ 0.07Hz-100kHz.....   | 25 |
| 3.2 หลักการทั่วไป.....   | 26 |
| 3.3 วิธีการออกแบบ.....   | 27 |
| 3.3.1 ศึกษาวงจรภาคจ่ายไฟ (power supply) .....  | 27 |
| 3.3.2 โครงสร้างแสดงการต่ออุปกรณ์แบบละเอียด.....  | 28 |
| 3.4 การคำนวณหาย่านความถี่ cut-off ในส่วนต่างๆ.....   | 29 |
| 3.4.1 วงจร Summing.....  | 29 |
| 3.4.3 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit).....  | 30 |
| 3.4.2 วงจร Band Pass Filter ในตำแหน่ง U2B.....   | 33 |
| <b>บทที่ 4</b> ผลการทดลอง.....   | 35 |
| 4.1 ระบบการทำงาน.....  | 35 |
| 4.1.1 ภาครับสัญญาณเสียง.....   | 35 |
| 4.1.2 ภาคประมวลผล.....   | 35 |
| 4.1.3 ภาคกำเนิดสัญญาณเสียง.....  | 36 |
| 4.2 วิธีทำการทดลองและผลการทดลอง.....   | 37 |
| 4.2.1 การวัดผลตอบสนองความถี่ของเครื่อง Stereo integrated amplifier.....  | 37 |
| 4.2.2 การวัดอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ร่วมกับภาคประมวลผล<br>ของเครื่อง Stereo integrated amplifier..... | 39 |
| 4.2.3 การวัดผลตอบสนองความถี่ของเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge.....   | 41 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.4 การวัดอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ร่วมกับภาคประมวลผล<br>ของเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge.....                    | 43 |
| 4.2.5 การทดสอบการกระเพื่อมของคอกลำโพง.....   | 44 |
| 4.2.6 การทดสอบการตอบสนองของไมโครโฟน WM-61A.....  | 48 |
| 4.2.7 ผลการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก.....   | 49 |
| 4.2.8 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกที่ผ่านการชดเชย<br>ผลของไมโครโฟนแล้ว (ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบ Bridge)..... | 65 |
| <br>   |    |
| บทที่ 5 สรุปผล.....  | 71 |
| 5.1 สรุปผลของโครงการ.....  | 71 |
| 5.2 ปัญหาที่พบ.....  | 72 |
| 5.2.1 ปัญหาทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง.....  | 72 |
| 5.2.2 ปัญหาทางด้านตัวขยายสัญญาณ.....   | 72 |
| 5.2.3 ปัญหาทางด้านไมโครโฟน.....  | 72 |
| 5.3 แนวทางแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....   | 72 |
| 5.3.1 แก้ไขปัญหาทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง.....   | 72 |
| 5.3.2 แก้ไขปัญหาทางด้านตัวขยายสัญญาณ.....  | 72 |
| 5.3.3 แก้ไขปัญหาทางด้านไมโครโฟน.....   | 73 |
| 5.4 แนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติม.....   | 73 |
| เอกสารอ้างอิง.....   | 74 |
| ภาคผนวก.....   | 75 |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....  | 2    |
| 4.1 ผลตอบสนองความถี่เครื่อง Stereo integrated amplifier.....   | 37   |
| 4.2 แสดงลายละเอียดลำโพงที่ใช้ในการทดสอบ.....   | 39   |
| 4.3 ตารางผลการทดสอบลำโพง.....  | 41   |
| 4.4 ผลตอบสนองความถี่เครื่องขยายเสียงแบบ Bridge.....  | 42   |
| 4.5 ค่าแรงดันอินพุตที่ทำให้ลำโพงกระเพื่อมขึ้นที่ 4 mm. โดยมีค่ากลางที่ 5.5 mm. ....  | 47   |
| 4.6 แสดงการทดสอบการตอบสนองของไมโครโฟน WM-61A.....  | 48   |
| 4.7 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ.....   | 50   |
| 4.8 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจร Band Pass Filter.....   | 52   |
| 4.9 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2A.....  | 55   |
| 4.10 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U1B.....   | 58   |
| 4.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2B.....   | 61   |
| 4.12 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของอุปกรณ์ Infrasonic detector.....  | 64   |
| 4.13 แสดง $V_{out} (V_{p-p})$ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก โดยการชดเชยการตก<br>ของไมโครโฟน กำหนดให้ลำโพงกระเพื่อมเท่ากันคือ 4 mm. โดยที่ไมโครโฟนห่าง<br>จากลำโพงระยะ 20, 50 และ 80 cm. .... | 68   |

## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโกเมื่อ พ.ศ. 2449.....                  | 3    |
| 2.2 ความเสียหายของอาคารจากแผ่นดินไหวที่โกเบ เมื่อ พ.ศ. 2538.....   | 3    |
| 2.3 แสดงตำแหน่งแผ่นดินไหว.....                                     | 6    |
| 2.4 ชนิดตัวต้านทาน.....  | 8    |
| 2.5 ตัวเก็บประจุ.....  | 10   |
| 2.6 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ.....                                     | 10   |
| 2.7 ไดโอดเทียบกับสัญลักษณ์ของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ.....             | 11   |
| 2.8 ไดโอดชนิดต่างๆ.....  | 11   |
| 2.9 กราฟคุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดันของรอยต่อ p-n ของไดโอด..... | 12   |
| 2.10 แสดงสัญลักษณ์ออปป์แอมป์.....                                  | 13   |
| 2.11 Condenser Microphone.....                                     | 14   |
| 2.12 วงจรขยายแบบอินทิเกรต.....                                     | 15   |
| 2.13 วงจรอินทิเกรเตอร์.....  | 16   |
| 2.14 ผลตอบสนองของวงจร Integrator.....                              | 17   |
| 2.15 ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำ.....                              | 18   |
| 2.16 กราฟของการกรองความถี่ต่ำ.....                                 | 19   |
| 2.17 ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูง.....                              | 19   |
| 2.18 กราฟของการกรองความถี่สูง.....                                 | 20   |
| 2.19 ลักษณะของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง.....                         | 20   |
| 2.20 กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง.....                            | 22   |
| 2.21 วงจรรวมสัญญาณ โดยใช้ออปป์แอมป์.....                           | 22   |
| 3.1 Block Diagram แสดงหลักการทำงานทั่วไป.....                      | 26   |
| 3.2 วงจรภาคจ่ายไฟ (power supply).....                              | 27   |
| 3.3 แสดงลายวงจรแบบละเอียด.....                                     | 28   |
| 3.4 แสดงวงจรรวมสัญญาณ.....   | 29   |

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 3.5 วงจร Integrator ในตำแหน่ง U1D.....   | 30   |
| 3.6 วงจร Integrator ในตำแหน่ง U2A.....   | 31   |
| 3.7 วงจร Integrator ในตำแหน่ง U1B.....   | 32   |
| 3.8 วงจร Band Pass Filter.....   | 33   |
| 4.1 ไมโครโฟน Panasonic WM-61A.....   | 35   |
| 4.2 ภาควจ่ายไฟ (Power supply).....   | 36   |
| 4.3 แผงวงจรประมวลผลสัญญาณ.....   | 36   |
| 4.4 ผลตอบสนองของเครื่อง Stereo integrated amplifier.....                                       | 38   |
| 4.5 แสดงการทดสอบลำโพง.....   | 39   |
| 4.6 ตัวอย่างการทดสอบลำโพงยี่ห้อ Obom.....  | 40   |
| 4.7 แสดงการทำสอบเครื่องเคาะสัญญาณเวลา.....   | 40   |
| 4.8 การต่อเครื่องขยายสัญญาณ Stereo integrated amplifier กับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา.....          | 40   |
| 4.9 ผลตอบสนองความถี่เครื่องขยายเสียงแบบ Bridge.....  | 43   |
| 4.10 วงจรเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge.....   | 44   |
| 4.11 แสดงการทดสอบลำโพง.....  | 44   |
| 4.12 ตัวอย่างการทดสอบลำโพงยี่ห้อ Anaba.....  | 45   |
| 4.13 ขั้นตอนการทดสอบลำโพง.....   | 45   |
| 4.14 ลักษณะการผ่านดินสอทางด้านหัวและท้ายของดินสอ.....  | 46   |
| 4.15 การติดดินสอบนคอกลำโพง.....  | 46   |
| 4.16 การติดกระดาษกับไม้บรรทัดเหล็ก.....  | 46   |
| 4.17 ซึนเส้นตอนที่คอกลำโพงยังไม่กระเพื่อม.....   | 47   |
| 4.18 ทำการวัดการกระเพื่อมของคอกลำโพง.....  | 47   |
| 4.19 ผลการกระเพื่อมของคอกลำโพงที่ความถี่ 0.2Hz – 20Hz.....                                     | 47   |
| 4.20 การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน WM-61A แสดงความสัมพันธ์<br>ระหว่างความถี่กับ $V_{out}$ ..... | 50   |

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.21 ผลตอบสนองความถี่วงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice.....   | 52   |
| 4.22 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง.....  | 52   |
| 4.23 ผลตอบสนองความถี่วงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID ที่ได้จากโปรแกรม Pspice.....  | 54   |
| 4.24 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID ที่ได้จากการทดลอง.....   | 55   |
| 4.25 ผลตอบสนองความถี่วงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2A ที่ได้จากโปรแกรม Pspice .....   | 57   |
| 4.26 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2A ที่ได้จากการทดลอง.....   | 58   |
| 4.27 ผลตอบสนองความถี่วงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U1B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice.....  | 60   |
| 4.28 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรมินิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U1B ที่ได้จากการทดลอง.....   | 61   |
| 4.29 ผลตอบสนองความถี่วงจรมินิเกรเตอร์ Band pass filter ในตำแหน่ง U2B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice.....  | 63   |
| 4.30 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรมินิเกรเตอร์ Band pass filter ในตำแหน่ง U2B<br>ที่ได้จากการทดลอง.....  | 64   |
| 4.31 ผลตอบสนองของอุปกรณ์ Infrasonic detector.....  | 66   |
| 4.32 แสดงการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก.....   | 67   |
| 4.33 ตัวอย่างแสดงลักษณะการวางไมโครโฟนห่างจากตัวลำโพง.....  | 67   |
| 4.34 สัญญาณทางเวลาที่ความถี่ 9 Hz โดยไมโครโฟนห่างจากลำโพงระยะ 50 cm. ....  | 68   |
| 4.35 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่<br>กับ $V_{out}$ ( $V_{pp}$ ) โดยไมโครโฟนกับลำโพงห่างกัน 20, 50 และ 80 cm. .... | 70   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเหตุการณ์ที่โลกเราได้ประสบกับวิกฤติการณ์ความรุนแรงและการเปลี่ยนแปลงมากมายในปัจจุบัน โลกก็ยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ จัดเป็นกระบวนการธรรมชาติซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของพลังงาน โดยเกิดขึ้นทั้งใน บรรยากาศบนผิวโลก พื้นโลก พื้นสมุทร รวมถึงในชีวมณฑล (Biosphere) ด้วย มีตั้งแต่ปรากฏการณ์ที่ไม่รุนแรงและเกิดขึ้นเสมอๆ ไปจนถึงเหตุการณ์ที่เป็นภัยพิบัติร้ายแรงและเป็นที่ยอมรับกันอยู่แล้วว่าภัยธรรมชาติต่างๆ ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมหึมา ทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สินภัยธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติแต่ มนุษย์ก็มี ส่วนร่วมทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยภัยธรรมชาติครั้งล่าสุด ที่เป็นข่าวใหญ่ไปทั่วโลก ในวันที่ 11 เมษายน 2555 ที่ผ่านมานี้คือเกิดแผ่นดินไหว 8.6 ริกเตอร์ที่เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย มีจุดศูนย์กลางอยู่ลึกลงใต้พื้นทะเล 33 กิโลเมตร ห่างจากเมืองบันดา อาแจห์ ของจังหวัดอาแจห์ ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา 495 กิโลเมตร แรงสั่นสะเทือนรับรู้ได้ถึงภาคใต้ของไทย และบางพื้นที่ของกรุงเทพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อถึงภาวะการท่องเที่ยวในไทยอีกด้วย

จากที่เกิดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณหลายๆแห่งนั้น หลายครั้งเห็นได้ว่าการเตือนภัยทำได้ล่าช้า จนเป็นเหตุให้มีความสูญเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้คิดและพยายามสร้างอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก (infrasonic) ที่สามารถตรวจจับได้เร็วขึ้น เพื่อที่จะเป็นการเตือนภัยให้กับประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ประสบภัยได้เร็วขึ้น

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาค้นอินฟราโซนิก
2. เพื่อศึกษาเครื่องมือตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก
3. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. เป็นการศึกษาคุณลักษณะของคลื่นอินฟราโซนิก
2. เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก เพื่อการใช้งานตามรูปแบบงาน

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

| รายละเอียด   | ปี 2554 |     |     |     |     |     |     | ปี 2555 |     |      |      |
|--|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|------|------|
|  | มี.ย    | ก.ค | ส.ค | ก.ย | ต.ก | พ.ย | ธ.ค | ม.ค     | ก.พ | มี.ค | เม.ย |
| 1.รวบรวมข้อมูล   | ←       |     | →   |     |     |     |     |         |     |      |      |
| 2.ศึกษาและออกแบบการทำงาน<br>ของเครื่องตรวจจับ<br>อินฟราโซนิก |         |     |     | ←   |     | →   |     |         |     |      |      |
| 3.จัดทำอุปกรณ์และทำการ<br>ทดลองเครื่องตรวจจับอิน<br>ฟราโซนิก |         |     |     |     | ←   |     | →   |         |     |      |      |
| 4.จัดทำรายงานและสรุปผล<br>การทดลอง                           |         |     |     |     |     |     |     |         | ←   |      | →    |

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. เพื่อเป็นการพัฒนาอุปกรณ์เทียบ
2. เพื่อให้ผู้สนใจสามารถนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ได้โดยมีประสิทธิภาพ

## 1.6 งบประมาณในการดำเนินโครงการ

|                             |              |            |
|-----------------------------|--------------|------------|
| รายจ่าย 1. ค่าจัดทำเอกสาร   | 200          | บาท        |
| 2. ค่าวัสดุ อุปกรณ์สำนักงาน | 1,500        | บาท        |
| 3. ค่าจัดทำรูปเล่มโครงการ   | 200          | บาท        |
| 4. อื่นๆ                    | 100          | บาท        |
| <b>รวม</b>                  | <b>2,000</b> | <b>บาท</b> |

หมายเหตุ : ขออนุญาตตัวเฉลี่ยทุกรายการ

รายรับ ค่าดำเนินการ โครงการจากคณะ 2,000 บาท

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากแนวคิดของผู้จัดทำในการสร้าง ตัวตรวจจับคลื่น Infrasonic โดยใช้ไมโครโฟน WM-61A 4 ตัวเพื่อรับคลื่น Infrasonic ในช่วงความถี่ 0.1-20 Hz ผ่านวงจรกรองสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณและ Integrator เพื่อลด noise จากสัญญาณความถี่อื่นที่เข้ามา และนำคลื่นที่ได้จากเครื่องตรวจจับมาเปรียบเทียบและส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณเตือนภัยอื่นๆ เนื่องจากโครงการนี้เป็นตัวตรวจจับคลื่นความถี่ต่ำ เมื่อเกิดแผ่นดินไหวคลื่นสั้นสะเทือนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูดโลก คลื่นความถี่ต่ำที่เกิดจากแผ่นดินไหวจะเคลื่อนที่ผ่านไปทั้งๆที่ทุกสิ่งทุกอย่างบนผิวโลกยังปกติเหมือนเดิมรวมถึงพฤติกรรมสัณฐานวิทยาของสัตว์บางชนิดที่สามารถบอกได้ถึงมหันตภัยที่เข้ามาโดยไม่รู้ตัว จึงขอกล่าวทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นดินไหวและหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

#### 2.1 ปรัชญาการณทางธรรมชาติ

##### แผ่นดินไหว

นิยาม ภัยธรรมชาติซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานใต้พิภพ

##### แผ่นดินไหวจากธรรมชาติ



รูปที่ 2.1 แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโกเมื่อ พ.ศ. 2449



รูปที่ 2.2 ความเสียหายของอาคารจากแผ่นดินไหวที่โกเบ เมื่อ พ.ศ. 2538

แผ่นดินไหวจากธรรมชาติเป็นธรณีพิบัติภัยชนิดหนึ่ง ส่วนมากเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงานเพื่อระบายความร้อนที่สะสมไว้ภายในโลกออกมายังชั้นเปลือกโลกเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ โดยปกติเกิดจากการเคลื่อนไหวของรอยเลื่อนภายในชั้นเปลือกโลกที่อยู่ด้านนอกสุดของโครงสร้างของโลก มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ อยู่เสมอ (ดูการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก) แผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงมีมากเกินไป ภาวะนี้เกิดขึ้นบ่อยในบริเวณขอบเขตของแผ่นเปลือกโลก ที่ที่แบ่งชั้นเปลือกโลกออกเป็นธรณีภาค (lithosphere) เรียกแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบริเวณขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกนี้ว่า แผ่นดินไหวระหว่างแผ่น (interplate earthquake) ซึ่งเกิดได้บ่อยและรุนแรงกว่า แผ่นดินไหวภายในแผ่น (intraplate earthquake)

#### แผ่นดินไหวจากการกระทำของมนุษย์

มีทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การระเบิด การทำเหมือง สร้างอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนใกล้รอยเลื่อน การทำงานของเครื่องจักรกล การจรรजर รวมถึงการเก็บขยะนิวเคลียร์ไว้ใต้ดิน เป็นต้น

- การสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งอาจพบปัญหาการเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากน้ำหนักของน้ำในเขื่อนกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยพลังงาน ทำให้สภาวะความเครียดของแรงในบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งทำให้แรงดันของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดพลังงานด้านทานที่สะสมตัวในชั้นหิน เรียกแผ่นดินไหวลักษณะนี้ว่า แผ่นดินไหวท้องถิ่น ส่วนมากจะมีศูนย์กลางอยู่ที่ระดับความลึก 5-10 กิโลเมตร ขนาดและความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะปกติ รายงานการเกิดแผ่นดินไหวในลักษณะเช่นนี้เคยมีที่ เขื่อนฮูเวอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อ พ.ศ. 2488 แต่มีความรุนแรงเพียงเล็กน้อย เขื่อนการิบา ประเทศซิมบับเว เมื่อ พ.ศ. 2502 เขื่อนครีมีส์ต้า ประเทศกรีซ เมื่อ พ.ศ. 2506 และครั้งที่มีความรุนแรงครั้งหนึ่งเกิดจากเขื่อนคอยน่า ในประเทศอินเดีย เมื่อ พ.ศ. 2508 ซึ่งมีขนาดถึง 6.5 ริกเตอร์ ทำให้มีผู้เสียชีวิตกว่า 180 คน
- การทำเหมืองในระดับลึก ซึ่งในการทำเหมืองจะมีการระเบิดหิน ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนขึ้นได้
- การสูบน้ำใต้ดิน การสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากเกินไป รวมถึงการสูบน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ ซึ่งอาจทำให้ชั้นหินที่รองรับเกิดการเคลื่อนตัวได้
- การทดลองระเบิดนิวเคลียร์ใต้ดิน ก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนจากการทดลองระเบิด ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อชั้นหินที่อยู่ใต้เปลือกโลกได้



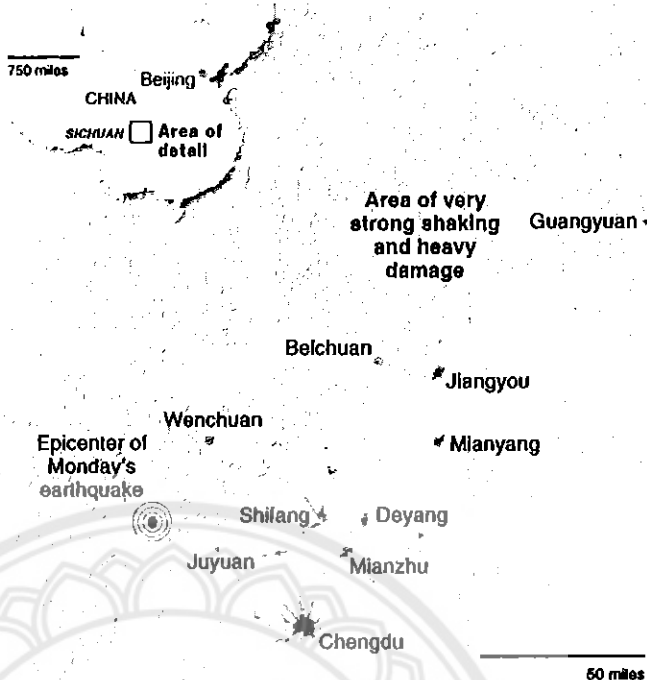
### สัญญาณสึนามิในข้อมูลเสียงความถี่ต่ำ

สัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวคาบยาวพิเศษที่อาจเกิดขึ้นจากสึนามิจากสถานีชายฝั่ง รวมถึงความเป็นไปได้ในการตรวจวัดสึนามิจากแผ่นดินถล่มใต้ทะเล อย่างไรก็ตาม การติดตามในระยะยาว (0.1 sps) จากสถานีมาตรฐานเครือข่ายแผ่นดินไหวทั่วโลก พบว่ามีหลากหลายปัญหาในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้ความพยายามอย่างมาก ดังนั้นเราจึงหันมาค้นหาสัญญาณสึนามิจาก ข้อมูลเสียงความถี่ต่ำ เพราะคลื่นเสียงความถี่ต่ำเดินทางได้เร็วกว่าสึนามิ การสังเกตการณ์ตรงนี้สามารถนำมาใช้กับการเตือนภัยสึนามิล่วงหน้าได้

ในการสังเกตการณ์คลื่นสึนามิที่เกิดจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ณ บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน โดยข้อมูลแผ่นดินไหวจากเกาะ Ocean Island หรือตามสถานีชายฝั่งระยะทาง 80 กิโลเมตร คลื่นสึนามิสามารถเห็นได้เมื่อ ส่วนประกอบแนวราบ (horizontal components) ของคลื่นอยู่ในคาบเวลามากกว่า 1000 วินาที ซึ่งคาดว่าเกิดจากความเอียงของพื้นผิวจากน้ำหนักของสึนามิ การแทนที่ของระดับน้ำเหนือศูนย์กลางการสั่นสะเทือนสามารถทำให้เกิดคลื่น เสียงความถี่ต่ำที่คาบเวลาระหว่าง 300 ถึง 600 วินาที ซึ่งพบได้จากการเฝ้าสังเกตคลื่นความถี่ต่ำเหล่านี้รอบมหาสมุทรอินเดีย เรายังประสบความสำเร็จในการสังเกตสัญญาณเสียงความถี่ต่ำจากส่วนประกอบแนวราบ ของคลื่นจากสถานีแผ่นดินไหว ความเร็วของคลื่นสึนามิในน้ำลึกอยู่ที่เกือบ 260 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วของคลื่นเสียงความถี่ต่ำอยู่ที่เกือบ 330 เมตรต่อวินาที เรากำลังพิจารณาถึงศักยภาพในการใช้ส่วนที่แตกต่างนี้ในการเตือนภัยสึนามิ ล่วงหน้า ผลลัพธ์ที่ได้ยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครือข่ายแผ่นดินไหวทั่วโลกที่มีอยู่แล้วในการเฝ้าสังเกตสึนามิและสัญญาณเสียงความถี่ต่ำที่เกิดจากสึนามิ โดยตรง

### พฤติกรรมของสัตว์ต่อการเกิดแผ่นดินไหว

ในช่วงเวลาไม่กี่นาทีก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวที่ประเทศจีนเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2551 หมีแพนด้าที่ศูนย์เพาะเลี้ยงแพนด้าวูลอง มณฑลเสฉวน ใกล้เมืองเฉิงตูซึ่งอยู่ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหว ก็เริ่มแสดงพฤติกรรมผิดปกติ “ที่แรกนั้นแพนด้าดูขี้เกียจ กินไม่แต่นิดหน่อย” ไคแอน เอีทกิ้นส์ นักท่องเที่ยวที่อยู่ที่วูลองพอดีเล่า “แล้วอยู่ดีๆ แพนด้าก็ถูกเดินวนไปมารอบกรงไม่ยอมหยุด เมื่อได้มองย้อนกลับไปคิดแล้ว สงสัยว่าแพนด้าคงต้องรู้แน่เลยที่กำลังมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น”



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งแผ่นดินไหว

แพนด้า ตัวเต็มวัย 86 ตัวที่ถูกลอนันปลอดคภัยดี ไม่ได้รับบาดเจ็บจากแผ่นดินไหว ส่วนลูกแพนด้า นั้นถูกย้ายไปที่เมืองชางวัน ซึ่งปลอดภัยกว่า รายงานของสัตว์ซึ่งแสดงพฤติกรรมผิดปกติก่อนเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาตินั้นมีอยู่หลายครั้ง ครั้งล่าสุดที่มีพยานเห็นเหตุการณ์บันทึกอย่างชัดเจนคือ ครั้งเกิดซินามิ ปี พ.ศ. 2549 นั้น ช้างที่แถบชายฝั่ง ประเทศศรีลังกาต่างก็หวีดร้อง แล้ววิ่งหนีขึ้นที่สูง ส่วนสัตว์ในสวนสัตว์ก็วิ่งกลับเข้าคอกกักในจังหวัดก่อนที่คลื่นซินามิจะมาในครั้งนั้นมีผู้คนตายกว่า 150,000 คน ในขณะที่รายงานการตายของสัตว์นั้นมีน้อยมาก จึงทำให้หลายคนคิดว่าสัตว์อาจมีสัญชาตญาณรู้ล่วงหน้าถึงภัยอันตราย

สัตว์หลายชนิดนั้นมีประสาทสัมผัสที่ไวกว่าคนมาก เช่น งูนั้นสามารถรับรู้แรงสั่นสะเทือนของเหยื่อซึ่งอยู่ในโพรงหลุมใต้ดินได้ ส่วนช้างนั้นก็สื่อสารผ่านทางแรงสั่นสะเทือนของคลื่นเสียงความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์สามารถได้ยิน (infrasonic) ซึ่งคลื่นความถี่ต่ำนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าความถี่สูง ช้างจึงสามารถสัมผัสและ “ได้ยิน” ถึงแรงสั่นสะเทือนของโขลงช้างที่อยู่ห่างออกไปถึง 32 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ดร. ไรส์ ก็เตือนว่าอย่าพึ่งด่วนสรุปใดๆ จากพฤติกรรมผิดปกติแปลกไปของแพนด้าครั้งนี้ “มันเป็นจุดสังเกตที่น่าสนใจ แต่หากอยากรู้ว่าแพนด้า นั้นตอบสนองต่อแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวจริงหรือไม่ เราก็ต้องรู้พฤติกรรมตามปกติของแพนด้ามากกว่านี้” แต่ในความเป็นจริงก็น่าคิดว่าแพนด้า นั้นเป็นสัตว์ที่นักวิทยาศาสตร์มีการจด พฤติกรรมในกรงเลี้ยงละเอียดคมมากที่สุดในโลกแล้ว หากยังดูไม่ออกอีก ก็แทบจะไม่ต้องหวังพึ่งสัตว์ป่าใดๆ แต่สัตว์เลี้ยงซึ่งอยู่กับมนุษย์อย่างใกล้ชิดคิดว่า นั้นอาจมีโอกาสสังเกตพฤติกรรมได้ง่ายกว่า

หลักฐานครั้งแรกที่ปรากฏของสัตว์ซึ่งเตือนภัยแผ่นดินไหว คือเมื่อ พ.ศ. 170 หนู งู และ พังพอน ต่างวิ่งหนีออกจากเมืองเฮลิซ อาณาจักรกรีก เพียงไม่กี่วันก่อนจะเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ นอกจากนั้นในครั้งอื่นๆ ก็มีบันทึก เช่น ไก่หยุดวางไข่ ผึ้งแตกหนีออกจากรัง สุนัขเห่าหอน ไม่ยอม หุค หรือแสดงอาการลุกถูกลนแต่จริงๆ แล้วสัตว์นั้นรู้สึกสัมผัสสิ่งใด ทฤษฎีหนึ่งกล่าวว่า ก่อน เกิดเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่นั้นมักจะมีการสั่นไหวย่อยๆ ก่อน ซึ่งสัตว์อาจสามารถสัมผัส รู้สึกได้ หรืออีกทฤษฎีก็กล่าวว่าอาจสัมผัสได้ถึงปฏิกิริยาทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปในอากาศ หรือก๊าซที่ถูก ปล่อยออกมาจากใต้พื้นพิภพ แม้จะมีความพยายามในการศึกษาการใช้สัตว์เป็นตัวชี้วัดแผ่นดินไหว มากมาย แต่สุดท้ายแล้วก็ยังไม่ได้ข้อสรุป แอนดี มิเชล นักธรณีฟิสิกส์ ซึ่ง ได้ศึกษาเรื่องนี้คิดว่า “เรา มีแค่เพียงคำบอกเล่าลือ แต่สัตว์นั้นก็แสดงปฏิกิริยาตอบสนองต่อหลายสิ่งเหลือเกิน ทั้งความหวาด การปกป้องถิ่นอาศัย การสืบพันธุ์ การถูกไล่ล่า ฉะนั้นจึงเป็นการยากที่จะศึกษาแบบควบคุมปัจจัย ต่างๆ ที่จะตรวจวัดล่วงหน้าก่อนเกิดแผ่นดินไหว”

นักธรณีวิทยาส่วนใหญ่จึงไม่เชื่อในคำร่ำลือถึงพฤติกรรมที่ผิดปกติของสัตว์ก่อน เกิด แผ่นดินไหว โดยกล่าวว่ามันเป็นผลของสภาวะจิตที่เรามุ่งสนใจสิ่งใดสิ่งหนึ่ง หลังเกิดแผ่นดินไหว คนก็พยายามจดจำสิ่งต่างๆ ที่เกิดว่าเป็นลางสังหรณ์ แต่หากไม่มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น ก็คงไม่มีใคร เอะใจว่าพฤติกรรมสัตว์เหล่านั้นผิดปกติ

### คลื่นเสียง

- คลื่นใต้เสียงหรือคลื่นอินฟราโซนิก (Infrasonic) เช่นคลื่นแผ่นดินไหว  $f < 20 \text{ Hz}$  หูมนุษย์รับฟัง ไม่ได้ แต่รับรู้ได้
- คลื่นเสียง (Audible range)  $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$  หูมนุษย์รับฟังได้
- คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic)  $f > 20 \text{ kHz}$  หูมนุษย์รับฟังไม่ได้ แต่ สัตว์บางประเภทรับฟังได้

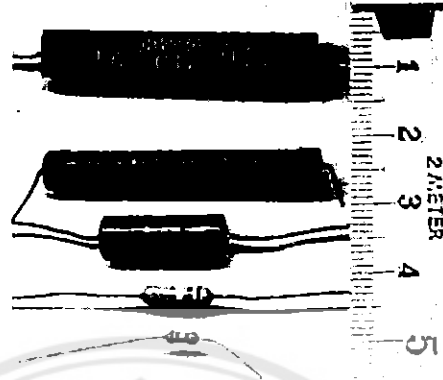
## 2.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน หรือ รีซิสเตอร์ (อังกฤษ: resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสองขั้ว ที่สร้างความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นคร่อมขั้วทั้งสอง โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามกระแสที่ไหลผ่าน อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หรือค่าความต้านทาน หน่วยค่าความต้านทานไฟฟ้าตามระบบเอสไอ คือ โอห์ม อุปกรณ์ที่มีความต้านทาน

ค่า 1 โอมห์ หากมีความต่างศักย์ 1 โวลต์ไหลผ่าน จะให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ซึ่งเท่ากับการไหลของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (ประมาณ  $6.241506 \times 10^{18}$  elementary charge) ต่อวินาที

ชนิดของตัวต้านทาน



รูปที่ 2.4 ชนิดตัวต้านทาน

ตัวต้านทานชนิดต่าง ๆ

อาจจำแนกชนิดของตัวต้านทาน ได้หลายวิธี อาทิ

- แบ่งตามความสามารถในการปรับค่า จำแนกได้ออกเป็น
  - ตัวต้านทานที่มีค่าคงที่
  - ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (อาจจำแนกย่อยลงไปอีกว่า ปรับค่าได้โดยผู้ปรับ หรือปรับค่าได้ตามแสงสว่าง อุณหภูมิ ฯลฯ)
- แบ่งตามชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตตัวต้านทาน เช่น ตัวต้านทานประเภทเซรามิก

ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่

ตัวต้านทานทั่วไปอาจมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยที่มีสารตัวต้านทานอยู่ที่แกนกลาง หรือ เป็นฟิล์มอยู่ที่ผิว และมีแกนโลหะตัวนำออกมาจากปลายทั้งสองข้าง ตัวต้านทานที่มีรูปร่างนี้ เรียกว่า ตัวต้านทานรูปร่างแบบ แอกเซียล ค้างในรูปค้ำขวามือ ตัวต้านทานใช้สำหรับกำลังสูงจะถูกออกแบบให้มีรูปร่างที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยมักจะเป็น ตัวต้านทานแบบขดลวด ตัวต้านทานที่มักจะพบเห็นบนแผงวงจร เช่นคอมพิวเตอร์นั้น โดยปกติจะมีลักษณะเป็น ตัวต้านทานแบบประกบผิวหน้า (surface-mount) ขนาดเล็ก และไม่มีขาโลหะตัวนำยื่นออกมา นอกจากนั้นตัวต้านทานอาจจะถูกรวมอยู่ใน อนุกรมวงจรรวม (IC - integrated circuit) โดยตัวต้านทานจะถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต และแต่ละ IC อาจมีตัวต้านทานถึงหลายล้านตัวอยู่ใน

### ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวต้านทาน ที่ค่าความต้านทานสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอาจมีปุ่มสำหรับ หมุน หรือ เลื่อน เพื่อปรับค่าความต้านทาน และบางครั้งก็เรียก โปเทนติโอมิเตอร์ (potentiometers) หรือ รีโอสแตต (rheostats)

ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ มีทั้งแบบที่หมุนได้เพียงรอบเดียว จนถึง แบบที่หมุนแบบเป็นเกลียวได้หลายรอบ บางชนิดมีอุปกรณ์แสดงนับรอบที่หมุน เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ มีส่วนของโลหะที่ขจัดสีสึกกร่อน บางครั้งจึงอาจขาดความน่าเชื่อถือ ในตัวต้านทานปรับค่าได้รุ่นใหม่ จะใช้วัสดุซึ่งทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการสึกกร่อนจากการขจัดสี และ กัดกร่อน

- รีโอสแตต (rheostat) : เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้มี 2 ขา โดยที่ขาหนึ่งถูกยึดตายตัว ส่วนขาที่เหลือเลื่อนไปมาได้ ปกติใช้สำหรับส่วนที่มีปริมาณกระแสผ่านสูง
- โปเทนติโอมิเตอร์ (potentiometer) : เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ ที่พบเห็นได้ทั่วไป โดยเป็นปุ่มปรับความดัง สำหรับเครื่องขยายเสียง

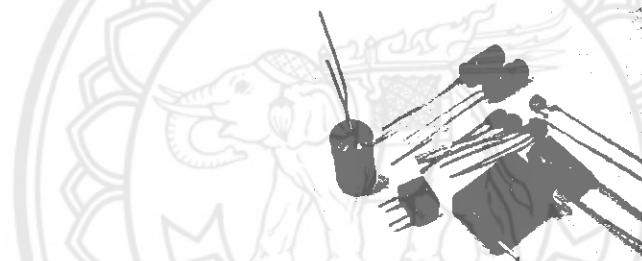
### ตัวต้านทานชนิดพิเศษอื่น ๆ

- วาริสเตอร์โลหะออกไซด์ (metal oxide varistor-MOV) เป็นตัวต้านทานที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีค่าความต้านทาน 2 สถานะ คือ ค่าความต้านทานสูงมากที่ ความต่างศักย์ต่ำ (ต่ำกว่าค่าความต่างศักย์กระตุ้น) และ ค่าความต้านทานต่ำมากที่ ความต่างศักย์สูง (สูงกว่าความต่างศักย์กระตุ้น) ใช้ประโยชน์ในการป้องกันวงจร เช่น ใช้ในการป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้า หรือใช้เป็น สนับเบอร์ ในวงจรตัวเหนี่ยวนำ
- เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิ แบ่งเป็นสองประเภท คือ
  - ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นบวก (PTC - Positive Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้นตาม มีพบใช้ในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์ โดยต่ออนุกรมกับ ขดลวดลบสนามแม่เหล็ก (demagnetizing coil) เพื่อป้องกันกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ ให้กับขดลวดในขณะที่เปิดโทรทัศน์ นอกจากนั้นแล้ว ตัวต้านทานประเภทนี้ยังมีการออกแบบเฉพาะเพื่อใช้เป็น ฟิวส์ (fuse) ที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ เรียกว่า โพลีสวิตช์ (polyswitch)
  - ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ (NTC - Negative Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าลดลง ปกติใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ
- เซนซิเตอร์ (sensistor) เป็นตัวต้านทานที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ ใช้ในการชดเชยผลของอุณหภูมิ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

- แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) ตัวต้านทานปรับค่าตามแสงตกกระทบ ยิ่งมีแสงตกกระทบมากยิ่งมีความต้านทานต่ำ
- ลวดตัวนำ ลวดตัวนำทุกชนิด ยกเว้น ซูเปอร์คอนดักเตอร์(superconductor) จะมีความต้านทานซึ่งเกิดจากเนื้อวัสดุที่ใช้ทำลวดนั้น โดยจะขึ้นกับ ภาวตัดขวางของลวด และ ค่าความนำไฟฟ้าของเนื้อสาร

### 2.2.2 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (Capacitor) หรือ ตัว C เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าไว้ที่ตัวมันและคายประจุไฟฟ้าออกมา ตัวเก็บประจุ จะมีหน่วยเป็น F (ฟารัด) ซึ่งตัวเก็บประจุเองจะแบ่งชนิดออกเป็น ตัวเก็บประจุแบบมีขั้ว และ ตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุ

#### ค่าประจำตัวของตัวเก็บประจุ

ค่าความจุ ตัวเก็บประจุจะมีค่าความจุซึ่งแตกต่างกันไป เช่น 10 $\mu$ F, 1 $\mu$ F เป็นต้น ซึ่งถ้าตัวเก็บประจุตัวใดมีค่าความจุมาก แสดงว่าตัวเก็บประจุนั้นสามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มากกว่านั่นเอง (การอ่านค่า และการแปลงหน่วยของตัวเก็บประจุสามารถอ่านได้ที่บทความเรื่อง การอ่านค่า แปลงค่า R และ ตัว C)

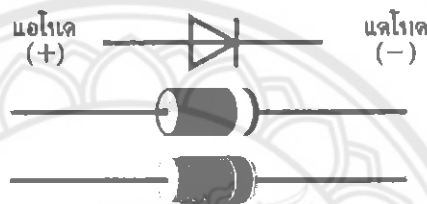
ค่าทนแรงดัน ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะทนแรงดันได้จำกัด การใช้งานจะต้องดูด้วยว่าตัวเก็บประจุนั้นๆสามารถทนแรงดัน ได้เท่าไร เช่น 10 $\mu$ F 16V แสดงว่าตัวเก็บประจุนี้สามารถใช้งานที่แรงดันได้ไม่เกิน 16V เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ

### 2.2.3 ไดโอด (diode)

ไดโอด (อังกฤษ: diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้ว ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ขั้วทางไฟฟ้าสองขั้ว ส่วนไดโอดแบบหลอดสุญญากาศ (Vacuum tube diode) ถูกใช้เฉพาะทางในเทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงบางประเภท เป็นหลอดสุญญากาศที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว ซึ่งก็คือแผ่นตัวนำ (plate) และแคโทด (cathode)



รูปที่ 2.7 ไดโอดเทียบกับสัญลักษณ์ของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ

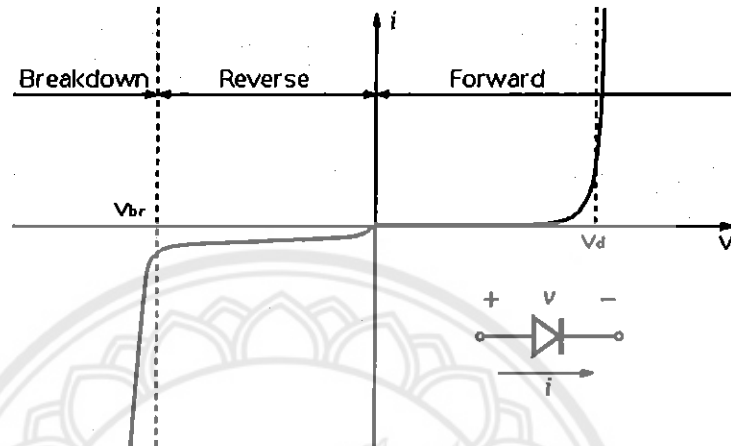


รูปที่ 2.8 ไดโอดชนิดต่างๆ

ส่วนใหญ่เราจะใช้ไดโอดในการยอมให้กระแสไปในทิศทางเดียว โดยยอมให้กระแสไฟไหลในทางใดทางหนึ่ง ส่วนกระแสที่ไหลทิศทางตรงข้ามกันจะถูกกั้น ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นเรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรภาคจ่ายไฟ เป็นต้น

### คุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดัน

พฤติกรรมของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำในวงจรจะก่อให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดัน (current-voltage characteristic) หรือเรียกว่ากราฟ I-V (กราฟด้านล่าง) รูปร่างของเส้นโค้งถูกกำหนดจากสัณฐานประจุผ่านเขตปลอดพาหะ (depletion region หรือ depletion layer) ซึ่งอยู่ไยรอยต่อ p-n

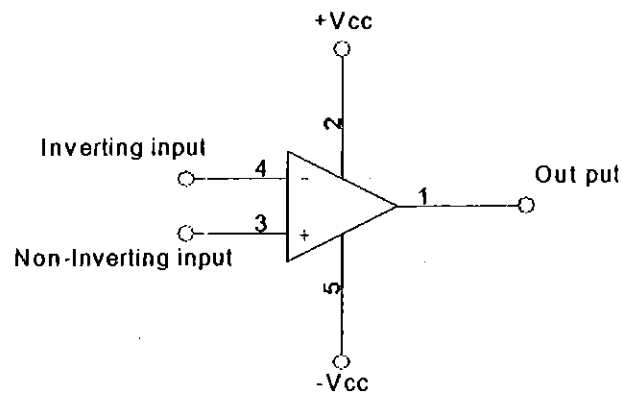


รูปที่ 2.9 กราฟคุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดันของรอยต่อ p-n ของไดโอด

### 2.2.4 ออปแอมป์ (Op-Amp)

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นชื่อย่อสำหรับเรียกวงจรขยายที่มาจาก Operating Amplifier เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน ภาคคือ วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับและวงจรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือ ไอซีออปแอมป์มีขาอินพุต 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้า





รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์ออปแอมป์

#### คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

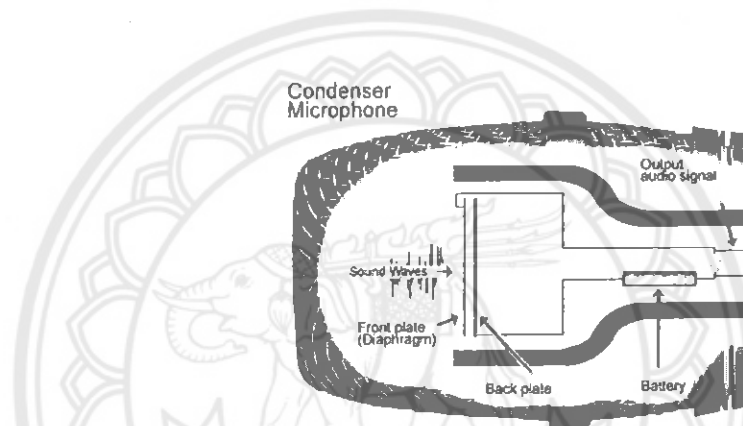
1. อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์หรือ อินฟินิตี้ ( $AV = \infty$ )
2. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ( $Z_i = \infty$ )
3. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์ ( $Z_o = 0$ )
4. ความกว้างของแบนด์วิธ (Bandwidth) ในการขยายสูงมาก ( $BW = \infty$ )
5. สามารถขยายสัญญาณ ได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC
6. การทำงาน ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วพบว่า ออปแอมป์ได้รวมข้อดีของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟกระแสสลับและไฟกระแสตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราขยายก็สามารถทำได้โดยการป้อนกลับ (Feed Back) เพื่อมาลดอัตราขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คืออิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีอิมพีแดนซ์สูงมาก จึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุตไหลเลยลักษณะเช่นนี้จึงทำให้วงจรทางอินพุตไม่ไหลลงวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกันที่เอาท์พุตมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์สามารถนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

### 2.2.5 คอนเดนเซอร์ไมค์ (Condenser Microphones)

หลักการทำงานใช้ไดอะแฟรม (diaphragm) เป็นตัวรับเสียงเหมือนเดิมซึ่งมักทำจากแผ่นพลาสติกเคลือบทองยึติดอกอยู่เหนือ blank plate (ทำจากเซรามิกเคลือบทอง) ซึ่งทำให้มีช่องว่างเล็กๆ เพื่อการเคลื่อนตัวไปมาซึ่งการเคลื่อนตัวที่วุ่นๆ จะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้าหา blank plate และกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปมาได้ด้วยไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดที่เรียกว่าแฟนทอม (phantom) โดยผ่านตัวเก็บประจุ (capacitor) ซึ่งจะมีขั้วบวกและลบอยู่ โดยขั้วบวกและลบจะถูกต่อไว้ที่ไดอะแฟรม (diaphragm)

คนละแผ่น



รูปที่ 2.11 Condenser Microphone

ดังนั้นทุกครั้งที่ไดอะแฟรม (diaphragm) เคลื่อนที่เข้ามาหากันประจุไฟฟ้าก็จะถูกเหนี่ยวนำและมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของเสียงที่มากระทบไดอะแฟรม (diaphragm) นั่นเอง หากแรงมากไดอะแฟรม (diaphragm) ก็แตกกันนานขึ้นกระแสไฟฟ้าก็ไหลได้มากขึ้นตรงข้ามหากแตกกันเร็วก็ไหลได้น้อยลงผลของการไหลนี้เองจะถูกส่งผ่านไปยังปรีแอมป์ (pre-amp) เพื่อขยายให้แรงพอที่จะป้อนเข้าสู่ میکเซอร์

เนื่องจากคอนเดนเซอร์ไมค์ใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยและต้องใช้ไฟมาเลี้ยงซึ่งมีตั้งแต่ 1.5 ไปจนถึง 48 โวลต์ (volts) ดังนั้นความไวต่อการรับเสียงซึ่งสูงมากและสามารถตอบสนองต่อเสียงได้ราบรื่นตลอดย่านความถี่อีกด้วยจึงเหมาะมากสำหรับการบันทึกสัญญาณต่างๆ เช่น เสียงร้อง เครื่องดนตรีแบบอะคูสติคหรือจับสัญญาณเสียงที่ไม่ดังมาก แต่ไม่เหมาะกับการบันทึกสัญญาณที่แรงมาก เช่น เสียงจากตู้แอมป์กีตาร์ ซึ่งอาจทำความเสียหายต่อไดอะแฟรม (diaphragm) ได้ง่าย

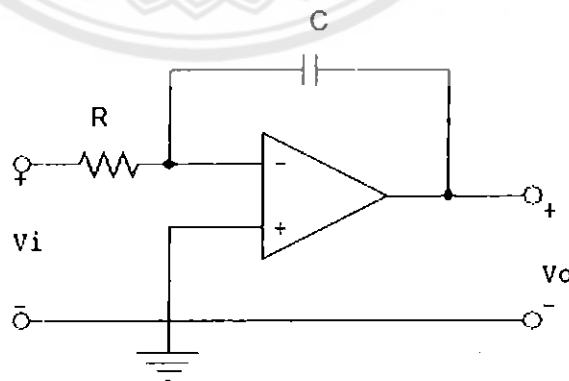
Microphone ไม่ว่าจะ เป็น Dynamic หรือ Condenser จะมีทิศทางการรับเสียงอยู่หลายๆ แบบขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามความต้องการ ในการใช้งาน ทิศทางการรับเสียงหรือ Directional Pattern หรือเรียกว่า Polar Pattern จะมีอยู่หลักๆ 3 แบบคือ Omnidirectional ที่สามารถรับเสียงจากทุกทิศทางรอบ Microphone ได้ดั่งเท่ากันหมด Unidirectional จะรับเสียงจากด้านหน้าของ Microphone ได้ดั่งที่สุดส่วนเสียงที่อยู่ด้านหลัง Microphone จะเบาลง Bidirectional จะรับเสียงได้ดั่งที่สุดที่ด้านหน้าและด้านหลังของ Microphone และ Unidirectional ยังแบ่งได้อีกเป็น Cardioid Supercardioid และ Hypercardioid

Proximity Effect เป็นผลที่เกิดกับ Microphone ที่มี Pattern แบบ Unidirectional และ Bidirectional โดยที่ Microphone จะมีเสียงความถี่ต่ำดังมากขึ้นเมื่อ Microphone เข้าใกล้แหล่งกำเนิดเสียงมากๆ Microphone บางตัวจะออกแบบให้มีมัล Roll-Off เพื่อลด Proximity Effect ผลที่เกิดขึ้นจาก Proximity Effect อาจนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มเสียงความถี่ต่ำด้วยการตั้ง Microphone ให้ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง

## 2.3 วงจรพื้นฐาน

### 2.3.1 วงจรขยายแบบอินทิเกรต (Ideal Integrating Amplifier)

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรต (Integrator) จะขึ้นอยู่กับกรอินทิเกรต (Integral) บนเวลาของสัญญาณอินพุต ซึ่งจะมีค่าคงตัวเวลาของอาร์ซี (RC Time Constant) ของวงจรจะกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของวงจรอินทิเกรต ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรขยายแบบอินทิเกรต

ความสัมพันธ์ของวงจร

จาก

$$i_R = i_c \quad (2-1)$$

$$i_R = \frac{V_i}{R} \quad (2-2)$$

$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} = -C \frac{dV_o}{dt} \quad (2-3)$$

แทนค่าสมการ (2-3) ลงในสมการ (2-2) เราจะได้

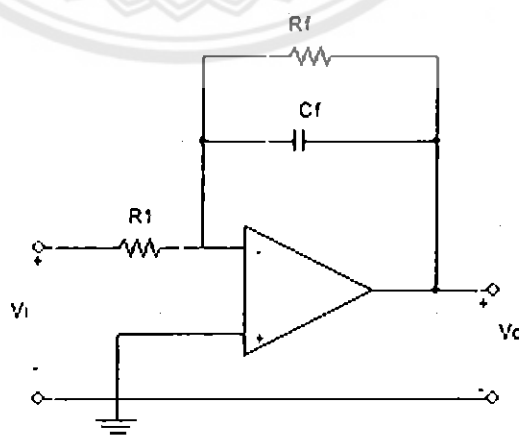
$$\frac{V_i}{R} = -C \frac{dV_o}{dt} \quad (2-4)$$

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt \quad (2-5)$$

### 2.3.2 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Practical Integrator circuit)

Op-Amp Integrator circuit คือวงจรใช้ IC ออปแอมป์ สร้างเป็นวงจร Integrator สัญญาณแรงดันอินพุตที่เข้ามา สมการของแรงดันขาออกจะเป็นไปตามสมการของการ Integrator สัญญาณแรงดันขาเข้า

ความสัมพันธ์ของความถี่สัญญาณขาเข้าก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกเช่นกันจึงต้องใช้  $R_f$  ต่อขนานกับ  $C_f$  เพื่อจำกัด (Low Frequency Resistor) เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงการทำงาน ถ้า  $f_i > f_c$  วงจรทำงานเป็น Integrator และ ถ้า  $f_i < f_c$  วงจรทำงานเป็น Inverting Amp



รูปที่ 2.13 วงจรอินทิเกรเตอร์

$f_b$  คือความถี่ที่มีอัตราขยายเป็น 0 dB หาได้จาก

$$f_b = \frac{1}{2\pi R_1 C_f} \quad (2-6)$$

คำนวณความถี่คัตออฟ

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \quad (2-7)$$

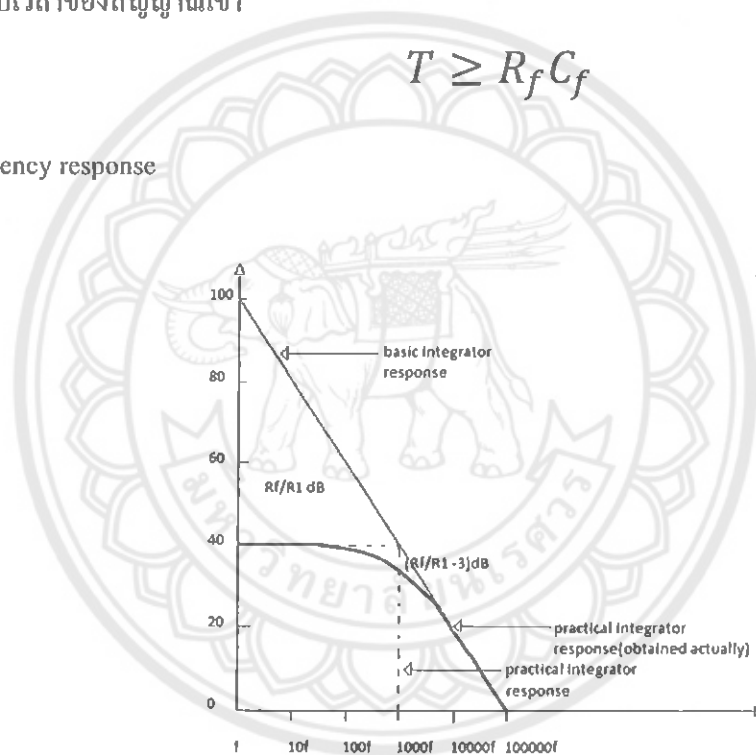
คำนวณอัตราขยาย

$$Av(\max) = \frac{R_f}{R_1} \quad (2-8)$$

ค่าคาบเวลาของสัญญาณเข้า

$$T \geq R_f C_f \quad (2-9)$$

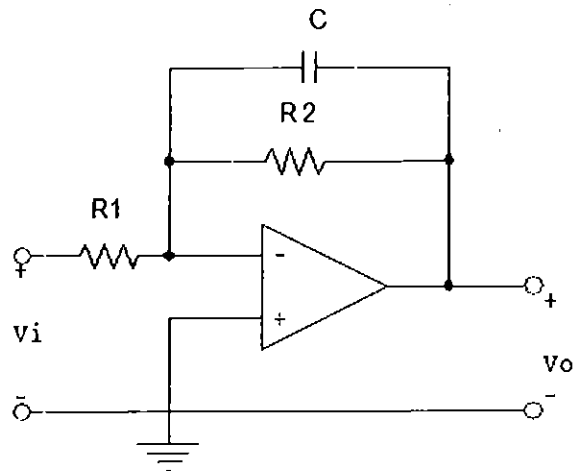
Frequency response



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองของวงจร Integrator

### 2.3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้าไปได้เท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนั้นจะถูกกำจัดออกไป ในวงจรกรองความถี่ต่ำนั้น จะไม่ให้สัญญาณที่ความถี่สูงๆ ผ่านไปได้ ซึ่งวงจรเป็นดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำ

สามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+j\omega R_2 C} \quad (2-10)$$

แต่ค่าที่ได้ ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ  $A_v$

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C)^2}} \quad (2-11)$$

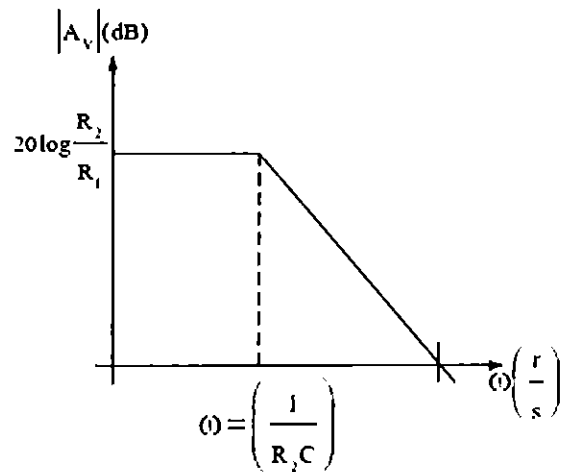
พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้  $R_2 C \omega \ll 1$  ดังนั้นสมการ (2-6) จะเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2-12)$$

พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้  $R_2 C \omega \gg 1$  ดังนั้นสมการ (2-6) จะเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\omega R_2 C} = \frac{1}{\omega R_1 C} \quad (2-13)$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น 0 ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ  $-20$  dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด  $\omega = \frac{1}{R_2 C}$  และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 2.16

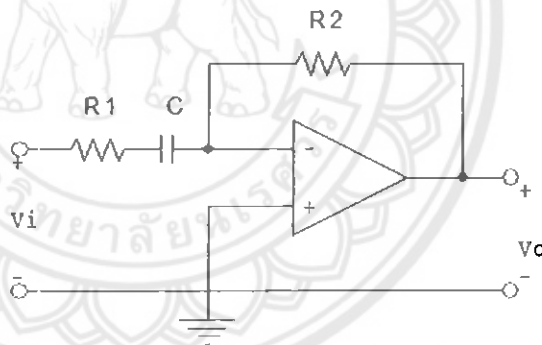


รูปที่ 2.16 กราฟของการกรองความถี่ต่ำ

2.3.4 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูง เป็นวงจรที่กรองไม่ให้ความถี่ต่ำ ๆ ผ่านไปได้ ลักษณะของวงจรเป็น

คังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูง

หาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+j/\omega R_1 C} \tag{2-14}$$

แต่ค่าที่ได้ ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ  $A_v$

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(1/\omega R_1 C)^2}} \tag{2-15}$$

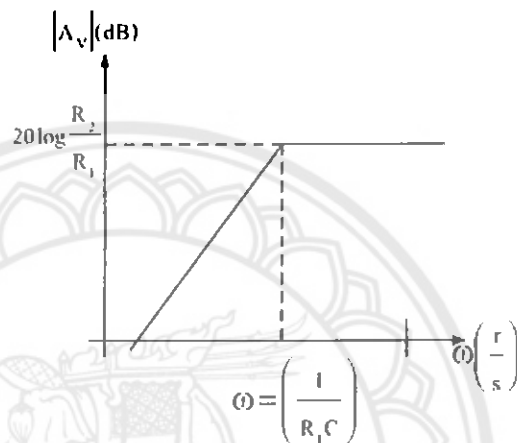
พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้  $R_1 C \omega \ll 1$  ดังนั้นสมการ (2-15) จะเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \tag{2-16}$$

พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้  $R_2 C \omega \gg 1$  ดังนั้นสมการ (2-15) จะเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{1/\omega R_1 C} = \omega R_2 C \quad (2-17)$$

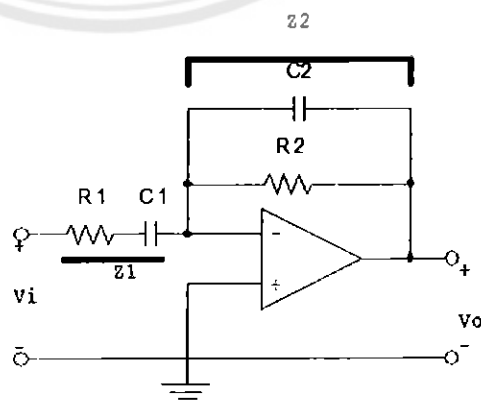
สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น +20 dB/decade ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ 0 และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด  $\omega = \frac{1}{R_1 C}$  และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟของการกรองความถี่สูง

### 2.3.5 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter)

เป็นวงจรที่ยอมให้บางความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น ซึ่งรวมทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำและกรองความถี่สูงเข้าไว้ด้วยกัน มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง



$$\text{โดยที่ } Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \quad (2-18)$$

$$Z_1 = \frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2} \quad (2-19)$$

อัตราขยายของวงจรเป็น

$$A_v = \frac{-Z_2}{Z_1} \quad (2-20)$$

$$= \frac{-R_2/R_1}{(1+j\omega R_2 C_2)(1+\frac{j}{\omega C_1 R_1})} \quad (2-21)$$

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(\omega R_2 C_2)^2} \times \sqrt{1+(\frac{1}{\omega C_1 R_1})^2}} \quad (2-22)$$

พิจารณาช่วงเป็นสามช่วง คือ ช่วงความถี่ระหว่าง  $\omega_L$  และ  $\omega_H$ , ช่วงความถี่สูง  $\omega \gg \omega_H$

และช่วงความถี่ต่ำ  $\omega \ll \omega_L$

ช่วงความถี่ระหว่าง  $\omega_L$  และ  $\omega_H$  (Mid-Frequency Range)

จะได้  $\omega R_2 C_2 \gg 1$  และ  $(1/\omega R_1 C_1) \ll 1$  จะได้อัตราขยายเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0} \times \sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2-23)$$

ช่วงความถี่สูง  $\omega \gg \omega_H$

จะได้  $(1/\omega R_1 C_1) \ll 1$  แต่  $\omega R_2 C_2$  จะได้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

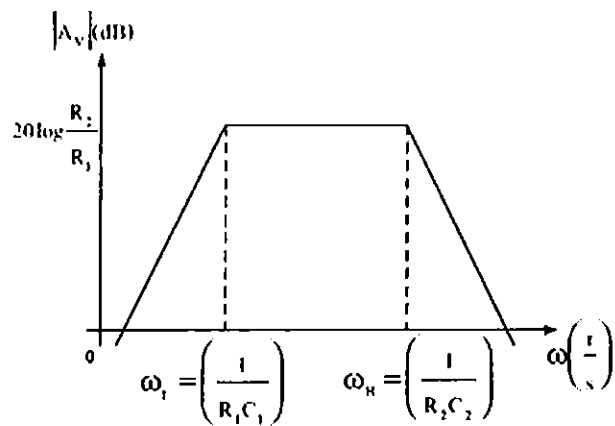
$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(\omega R_2 C_2)^2} \times \sqrt{1+0}} = \frac{1}{\omega R_1 C_2} \quad (2-24)$$

ช่วงความถี่ต่ำ  $\omega \ll \omega_L$

จะได้  $\omega R_2 C_2 \gg 1$  แต่  $(1/\omega R_1 C_1)$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

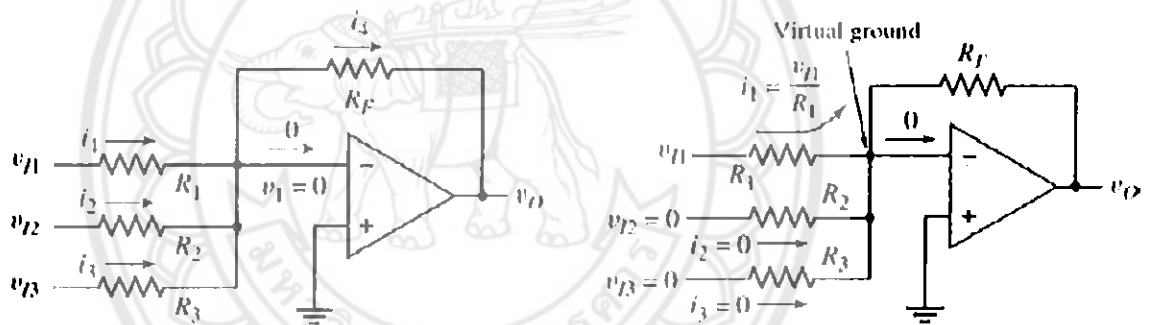
$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0} \times \sqrt{1+(\frac{1}{\omega C_1 R_1})^2}} = \omega R_2 C_1 \quad (2-25)$$

เมื่อได้ความถี่ทั้งสามช่วง สามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง

2.3.6 วงจรขยายแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)



รูปที่ 2.21 วงจรรวมสัญญาณ โดยใช้โอปแอมป์

พิจารณา op-amp เป็น ideal ดังนั้นค่าความต้านทานขาเข้านั้นมีค่าใกล้เคียงนั้ันต์เป็นเหตุให้พิจารณาว่ากระแสที่ไหลเข้า op-amp นั้นเป็นศูนย์ ดังนั้นกระแสที่เกิดจากแหล่งจ่าย  $V_{11}$   $V_{12}$   $V_{13}$  นั้นผ่านไปยัง  $R_4$  ทั้งหมด

$$i_4 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V_{11}}{R_1} + \frac{V_{12}}{R_2} + \frac{V_{13}}{R_3} \tag{2-26}$$

แรงดันขาออก

$$v_o = -R_F i_4 = -R_F \left( \frac{V_{11}}{R_1} + \frac{V_{12}}{R_2} + \frac{V_{13}}{R_3} \right) \tag{2-27}$$

หากให้ค่าความต้านทาน  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  ดังนั้น

$$v_o = -R_F i_4 = -\frac{R_F}{R} (V_{I1} + V_{I2} + V_{I3}) \quad (2-28)$$

ซึ่งเห็นได้ว่าแรงดันขาออกนั้นเป็นผลรวมของแรงดันขาเข้าที่มีอัตราขยายและกลับเฟส จึงเรียกว่า “วงจรขยายรวมสัญญาณแบบกลับเฟส” การประยุกต์การใช้งานของวงจรนี้ก็นำไปใช้ในการรวมสัญญาณที่เป็นแอนะล็อก



## บทที่ 3

### วิธีการออกแบบการทดลอง

หลังจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้กับ โครงงานนี้ จากบทที่ผ่านมาสามารถนำ การประยุกต์ของหลักการดังกล่าวมาสร้างเป็น โครงงานที่สามารถใช้งานได้จริง

การดำเนินการของ โครงงานนี้วางแผนไว้โดยรวม ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ภาค จ่ายไฟ (power supply) ให้กับส่วนหลักของวงจร โดยอาศัยการทำงานของ ไอซีแอลพี 2951 ทำงาน ร่วมกับ ไอซี 7660 สร้างแรงดันไฟฟ้า +7,+2 และ -7 โวลต์ ต่อมาส่วนที่สอง เป็นภาคของวงจรหลัก ทำการตรวจจับสัญญาณอินฟราโซนิก (infrasonic) เข้าทางไมโครโฟนจากนั้นผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (low-pass filter) โดยอาศัยการทำงานของ ไอซีแอลพี 1014 จากนั้นก็ขยายสัญญาณที่ได้โดยใช้ DIP Switcher

การวัดความถี่ต่ำในระดับ 0.1Hz-20Hz นั้นจำเป็นต้องสร้างเครื่องขยายเสียงให้ตอบสนอง ตามความถี่ที่เราใช้งาน โดยใช้ ไอซีเบอร์ TDA7294 สองตัวมาต่อแบบ Bridge ซึ่งให้กำลังวัตต์ถึง 150 วัตต์

### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

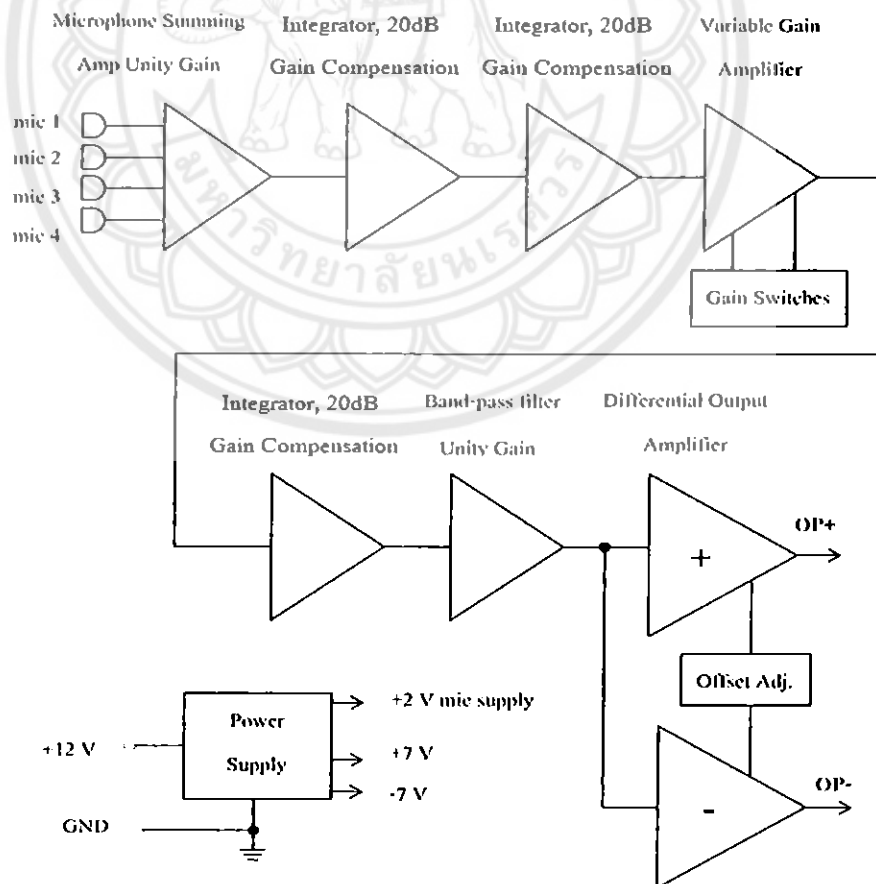
#### 3.1.1 เครื่องตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. ไอซีทีแอลพีเบอร์ 1014 | 1 ตัว                     |
| 2. ไอซีทีแอลเบอร์ 1355   | 1 ตัว                     |
| 3. ไอซีทีพีเบอร์ 2951    | 1 ตัว                     |
| 4. ไอซีแอลเบอร์ 7660     | 1 ตัว                     |
| 5. ไคโอดเบอร์ 1N5819     | 1 ตัว                     |
| 6. DIP Switcher          | 1 ตัว                     |
| 7. ตัวต้านทาน            | ขนาด 3.3 กิโลโอห์ม 4 ตัว  |
|                          | ขนาด 330 กิโลโอห์ม 5 ตัว  |
|                          | ขนาด 5.1 กิโลโอห์ม 7 ตัว  |
|                          | ขนาด 82 กิโลโอห์ม 5 ตัว   |
|                          | ขนาด 1 เมกกะโอห์ม 6 ตัว   |
|                          | ขนาด 20.5 กิโลโอห์ม 1 ตัว |

|  |                     |       |
|--|---------------------|-------|
|  | ขนาด 324 กิโลโอห์ม  | 1 ตัว |
|  | ขนาด 5 กิโลโอห์ม    | 1 ตัว |
|  | ขนาด 10 กิโลโอห์ม   | 5 ตัว |
|  | ขนาด 510 กิโลโอห์ม  | 1 ตัว |
|  | ขนาด 150 โอห์ม      | 2 ตัว |
|  | ขนาด 22 กิโลโอห์ม   | 1 ตัว |
|  | ขนาด 100 กิโลโอห์ม  | 1 ตัว |
|  | ขนาด 47 กิโลโอห์ม   | 1 ตัว |
| 8. ตัวเก็บประจุ                                    | ขนาด 10 ไมโครฟาร์ด  | 9 ตัว |
|  | ขนาด 6.8 นาโนฟาร์ด  | 1 ตัว |
|  | ขนาด 3.3 ไมโครฟาร์ด | 2 ตัว |
|  | ขนาด 2.2 ไมโครฟาร์ด | 2 ตัว |
|  | ขนาด 0.1 ไมโครฟาร์ด | 6 ตัว |
|  | ขนาด 10 นาโนฟาร์ด   | 4 ตัว |
| 9. ตัวต้านทานปรับค่าได้                            | 100 กิโลโอห์ม       | 1 ตัว |
| 10. ไดโอดเบอร์                                     | P6KE7V5A            | 2 ตัว |
| 11. ไดโอดเบอร์                                     | P6KE20(C)A          | 1 ตัว |
| 12. Electret Condenser Microphone เบอร์            | KECG2742PBL-A       | 4 ตัว |
| 13. หม้อแปลง                                       | 12 โวลต์ 500-800mA  | 1 ตัว |
| 14. สายสเตอริโอ                                    |                     |       |
| 15. สายไฟเส้นเล็ก                                  |                     |       |
| 16. หัวแร้งบัดกรีและตะกั่วเชื่อม                   |                     |       |
| 17. กัตเตอร์                                       |                     |       |
| 18. คีมปลอกสายไฟ                                   |                     |       |
| <b>3.1.2 เครื่องขยายเสียงความถี่ 0.07Hz-100kHz</b> |                     |       |
| 1. ไอซีเบอร์                                       | TDA7294             | 2 ตัว |
| 2. ไอซีเบอร์                                       | LM7805              | 1 ตัว |
| 3. ไอซีเบอร์                                       | LM7905              | 1 ตัว |
| 4. หม้อแปลง  | 24 โวลต์ 1 A        | 1 ตัว |
| 5. ตัวต้านทาน                                      | ขนาด 22 กิโลโอห์ม   | 5 ตัว |
|  | ขนาด 680 โอห์ม      | 2 ตัว |

|                         |                       |       |
|-------------------------|-----------------------|-------|
|                         | ขนาด 20 กิโลโอห์ม     | 1 ตัว |
|                         | ขนาด 10 กิโลโอห์ม     | 1 ตัว |
|                         | ขนาด 30 กิโลโอห์ม     | 1 ตัว |
|                         | ขนาด 22 กิโลโอห์ม     | 1 ตัว |
| 6. ตัวเก็บประจุ         | ขนาด 0.22 ไมโครฟารัด  | 2 ตัว |
|                         | ขนาด 2200 ไมโครฟารัด  | 6 ตัว |
|                         | ขนาด 22 ไมโครฟารัด    | 6 ตัว |
|                         | ขนาด 100 ไมโครฟารัด   | 2 ตัว |
|                         | ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด   | 2 ตัว |
|                         | ขนาด 0.022 ไมโครฟารัด | 2 ตัว |
| 7. ไดโอดเบอร์           | IN4002                | 8 ตัว |
| 8. ตัวต้านทานปรับค่าได้ | 5 กิโลโอห์ม           | 2 ตัว |

### 3.2 หลักการทั่วไป

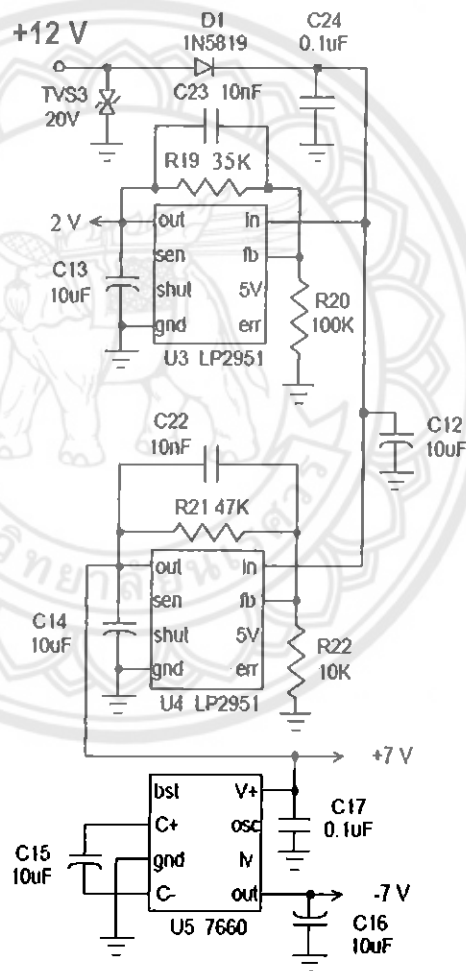


รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงหลักการทำงานทั่วไป

รูปที่ 3.1 เป็น Block Diagram แสดงให้เห็นการทำงานของอุปกรณ์โดยรวม มี Power supply สร้างแรงดันไฟเพื่อต่อไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ ส่วนในภาคของเครื่อง Infrasonic detector ใช้การรับสัญญาณจากอิเล็กทรอนิกส์คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (electret condenser microphones) จากนั้นรวมสัญญาณด้วยวงจร Summing โดยกรองความถี่ให้อยู่ในช่วง 0.1-20 Hz ผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit) เพื่อชดเชยการตอบสนองความถี่ที่ตกลงของไมโครโฟน จากนั้นเข้าภาคขยายสัญญาณแล้วได้สัญญาณออกมาที่ Output โดยที่ OP+ คือสัญญาณทางบวก OP- คือสัญญาณทางลบ

### 3.3 วิธีการออกแบบ

#### 3.3.1 วงจรภาคจ่ายไฟ (power supply)

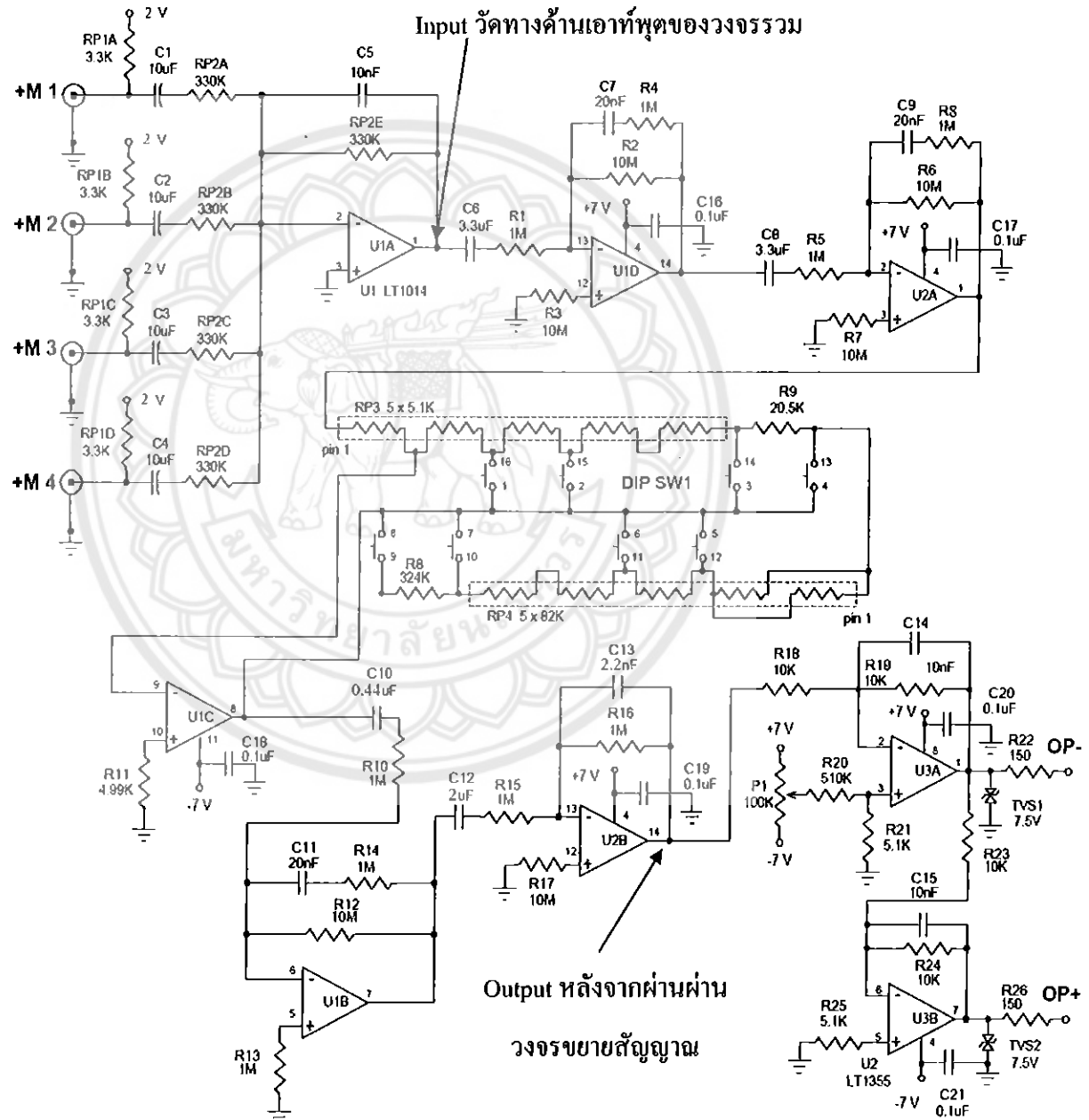


รูปที่ 3.2 วงจรภาคจ่ายไฟ (power supply)

จากรูปที่ 3.2 ข้างต้นเป็นการแสดงวงจรภาคจ่ายไฟ (power supply) ให้กับส่วนหลัก โดยอาศัยการทำงานของไอซีแอลพี 2951 ทำงานร่วมกับไอซี 7660 โดยป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับไอซีแอลพี 2951 สามารถกำหนดค่าแรงดันเอาต์พุตได้จากตัวต้านทานที่นำมาต่อกับไอซีแอลพี

2951 ส่วนโคโอดใช้เพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวมันในทิศทางเดียว ไอซี 7660 ทำหน้าที่แปลงไฟบวกให้เป็นไฟลบ เมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 3.2 ไอซีแอลพี 2951 ในตัวที่ 1 จะได้แรงดันออกที่ขาที่ 1 (ขา out) เป็น 2 โวลต์ และไอซีแอลพี 2951 ในตัวที่ 2 แรงดันออกที่ขาที่ 1 (ขา out) เป็น 7 โวลต์ และเมื่อป้อนแรงดัน 7 โวลต์ ที่ขา V+ ของไอซี 7660 จะได้แรงดัน -7 โวลต์ที่ขาเอาต์พุท

3.3.2 โครงสร้างแสดงการต่ออุปกรณ์แบบละเอียด



รูปที่ 3.3 แสดงลายวงจรแบบละเอียด



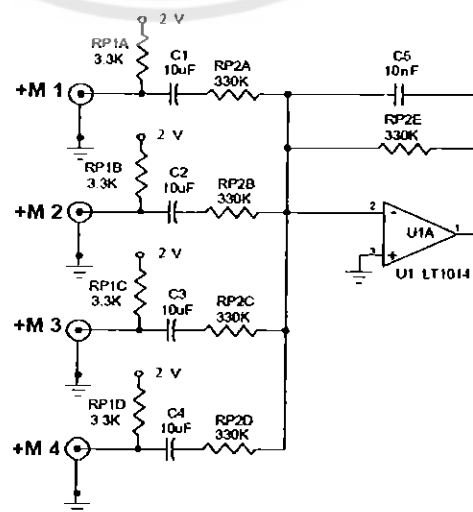
จากรูปที่ 3.3 ข้างต้นเป็นรูปการแสดงการต่อวงจรแบบละเอียดเพื่อช่วยให้สามารถต่อวงจรการเชื่อมต่อได้อย่างถูกต้อง โดยจะแบ่งออกการทำงานเป็น 5 ส่วนหลักๆซึ่งมีวิธีการทำดังนี้คือ

1. ส่วนแรกเป็นส่วนของการรับสัญญาณ Infrasonic (ความถี่ 0.1-20 Hz) โดยใช้ไมโครโฟนตัวที่ 1 ถึง 4 เป็นเซนเซอร์
2. รวมสัญญาณเข้าด้วยกัน แล้วกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการ(Band-pass-filter) ความถี่คัตออฟ 0.04และ20Hz เพื่อใช้ในส่วนของอินพุตของสัญญาณ
3. ภาคตัวกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการ(Band-pass filter) รวมถึงวงจรอินทิเกรเตอร์(Integrator circuit) ทำการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ด้วยเครื่องออสซิโลสโคป (Oscilloscope)
4. ภาคขยายสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่แรงขึ้น เพื่อเตรียมส่งไปยังภาคเอาต์พุต ทำการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ด้วยเครื่องออสซิโลสโคป (Oscilloscope)
5. สัญญาณภาคเอาต์พุตใช้เครื่องออสซิโลสโคป (Oscilloscope) วัดสัญญาณทางเวลาและทางความถี่

### 3.4 การคำนวณหาย่านความถี่ cut-off ในส่วนต่างๆ

#### 3.4.1 วงจร Summing

ในวงจรรวมสัญญาณนี้เป็นการรวมสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟนทุกตัวรับสัญญาณเข้ามา จากนั้นก็ผ่านวงจรกรองความถี่ในขั้นแรกด้วยเป็นวงจรกรองแบบ Band Pass Filter แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

การคำนวณหาย่านความถี่ cut-off

$$\text{จากสมการ } f = \frac{1}{2\pi \times R \times C} \quad (3.1)$$

ดังนั้น เราจะได้ความถี่ cut-off ด้านต่ำ เท่ากับ

$$f_L = \frac{1}{2\pi \times R_{P2A} \times C_1} = \frac{1}{2\pi \times (330 \times 10^3) \times (10 \times 10^{-6})} = 0.04822 \text{ Hz}$$

และความถี่ cut-off ด้านสูง เท่ากับ

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times R_{P2E} \times C_5} = \frac{1}{2\pi \times (330 \times 10^3) \times (10 \times 10^{-9})} = 48.22877 \text{ Hz}$$

คำนวณหาอัตราขยายค่าแรงดันเอาต์พุต เกิดจากผลรวมของอัตราขยายสัญญาณอินพุตทั้งสี่

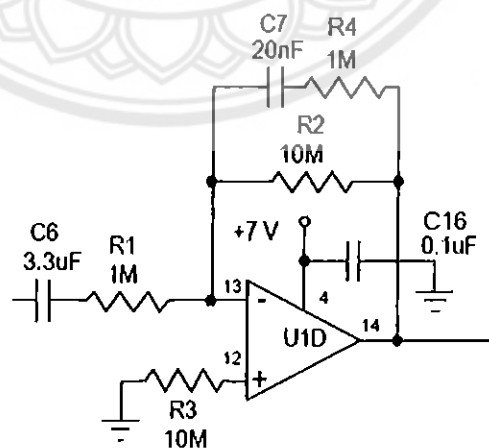
$$\begin{aligned} A_{V(\max)} &= R_{P2E} \left( \frac{1}{R_{P2A}} + \frac{1}{R_{P2B}} + \frac{1}{R_{P2C}} + \frac{1}{R_{P2D}} \right) \\ &= 330 \times 10^3 \left( \frac{1}{330 \times 10^3} + \frac{1}{330 \times 10^3} + \frac{1}{330 \times 10^3} + \frac{1}{330 \times 10^3} \right) \\ &= 4 \end{aligned}$$

หรือ

$$A_{V(\max)}(dB) = 20 \log(A_V) = 12 \text{ dB}$$

### 3.4.2 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator circuit)

ในตำแหน่ง UID ใช้วงจรอินทิเกรเตอร์เพื่อช่วยในการชดเชยการตอบสนองความถี่ที่ตกลงของไมโครโฟนแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจร Integrator ในตำแหน่ง UID

การคำนวณหาขั้วความถี่ cut-off จากสมการ (3.1)

เราจะได้ความถี่ cut-off ด้านต่ำ เท่ากับ

$$f_L = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times C_6} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (3.3 \times 10^{-6})} = 0.04822 \text{ Hz}$$

และความถี่ cut-off ด้านสูง เท่ากับ

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times R_2 \times C_7} = \frac{1}{2\pi \times (10 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 0.79577 \text{ Hz}$$

คำนวณหาอัตราขยาย

$$A_{V(\max)} = \frac{R_6}{R_5} = \frac{10 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 10$$

หรือ

$$A_{V(\max)}(dB) = 20 \log(A_V) = 20 \text{ dB}$$

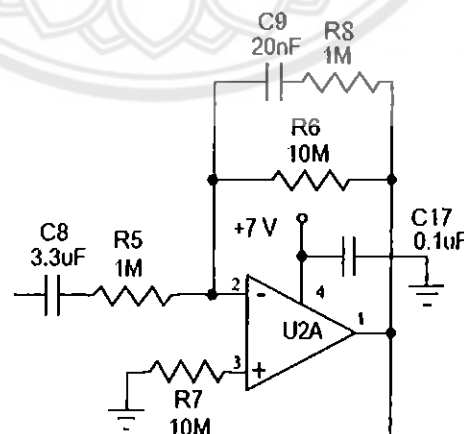
จากรูปมีการต่อ R = 1M เพื่อชดเชยให้สามารถวัดความถี่ที่ 20 Hz ได้

$$A_{V(\max, \text{ชดเชย})} = \frac{R_4}{R_1} = \frac{1 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 1$$

คำนวณความถี่ cut-off จากการชดเชย

$$f_{\text{ชดเชย}} = \frac{1}{2\pi \times R_4 \times C_7} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 7.95774 \text{ Hz}$$

ในตำแหน่ง U2A ใช้วงจรรวมอินทิเกรเตอร์เพื่อช่วยในการชดเชยการตอบสนองความถี่ที่ตกลงของไมโครโฟนแสดงคังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจร Integrator ในตำแหน่ง U2A

การคำนวณหาขั้วความถี่ cut-off จากสมการ (3.1)

เราจะได้ความถี่ cut-off ด้านต่ำ เท่ากับ

$$f_L = \frac{1}{2\pi \times R_5 \times C_8} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (3.3 \times 10^{-6})} = 0.04822 \text{ Hz}$$

และความถี่ cut-off ด้านสูง เท่ากับ

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times R_6 \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times (10 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 0.79577 \text{ Hz}$$

คำนวณหาอัตราขยาย

$$A_{V(\max)} = \frac{R_6}{R_5} = \frac{10 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 10$$

หรือ

$$A_{V(\max)}(dB) = 20 \log(A_V) = 20 \text{ dB}$$

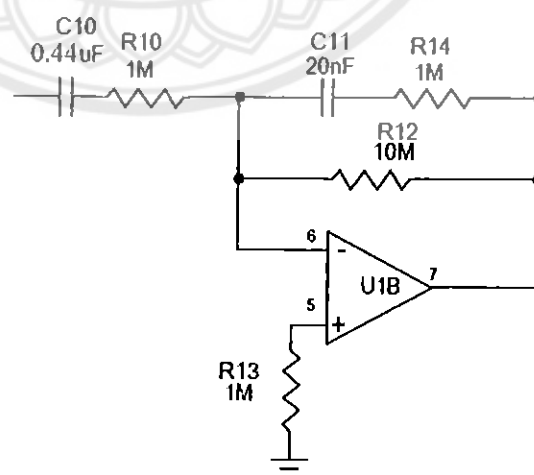
จากรูปมีการต่อ  $R = 1M$  เพื่อชดเชยให้สามารถวัดความถี่ที่ 20 Hz ได้

$$A_{V(\max, \text{ชดเชย})} = \frac{R_8}{R_5} = \frac{1 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 1$$

คำนวณความถี่ cut-off จากการชดเชย

$$f_{\text{ชดเชย}} = \frac{1}{2\pi \times R_8 \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 7.95774 \text{ Hz}$$

ในตำแหน่ง U1B ใช้วงจรรินทิเกรเตอร์เพื่อช่วยในการชดเชยการตอบสนองความถี่ที่ตกลงของไมโครโฟนแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจร Integrator ในตำแหน่ง U1B

การคำนวณหาขั้วความถี่ cut-off จากสมการ (3.1)

เราจะได้ความถี่ cut-off ด้านต่ำ เท่ากับ

$$f_L = \frac{1}{2\pi \times R_{10} \times C_{10}} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (0.44 \times 10^{-6})} = 0.36171 \text{ Hz}$$

และความถี่ cut-off ด้านสูง เท่ากับ

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times R_{12} \times C_{11}} = \frac{1}{2\pi \times (10 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 0.79577 \text{ Hz}$$

คำนวณหาอัตราขยาย

$$A_V(\text{max}) = \frac{R_{12}}{R_{10}} = \frac{10 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 10$$

หรือ

$$A_V(\text{max})(\text{dB}) = 20 \log(A_V) = 20 \text{ dB}$$

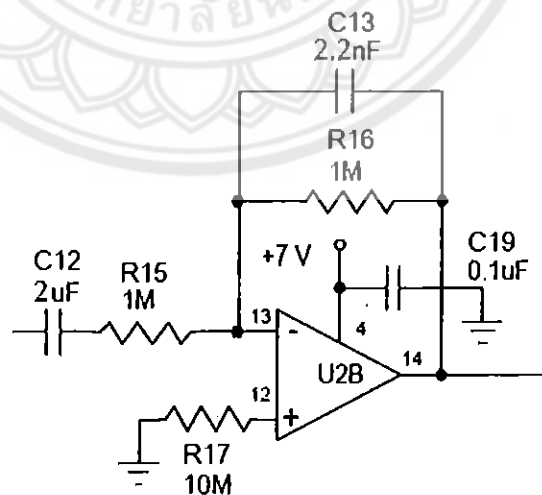
จากรูปมีการต่อ  $R = 1\text{M}$  เพื่อชดเชยให้สามารถวัดความถี่ที่ 20 Hz ได้

$$A_V(\text{max,ชดเชย}) = \frac{R_{14}}{R_{10}} = \frac{1 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 1$$

คำนวณความถี่ cut-off จากการชดเชย

$$f_{\text{ชดเชย}} = \frac{1}{2\pi \times R_{14} \times C_{11}} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (20 \times 10^{-9})} = 7.95774 \text{ Hz}$$

### 3.4.3 วงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B



รูปที่ 3.8 วงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B

การคำนวณหาขั้วความถี่ cut-off จากสมการ (3.1)

ดังนั้น เราจะได้ความถี่ cut-off ด้านต่ำ เท่ากับ

$$f_L = \frac{1}{2\pi \times R_{15} \times C_{12}} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (2 \times 10^{-6})} = 0.07957 \text{ Hz}$$

และความถี่ cut-off ด้านสูง เท่ากับ

$$f_H = \frac{1}{2\pi \times R_{16} \times C_{13}} = \frac{1}{2\pi \times (1 \times 10^6) \times (2.2 \times 10^{-9})} = 72.34315 \text{ Hz}$$

คำนวณหาอัตราขยาย

$$A_{V(\max)} = \frac{R_{16}}{R_{15}} = \frac{1 \times 10^6}{1 \times 10^6} = 1$$

หรือ

$$A_{V(\max)}(\text{dB}) = 20 \log(A_V) = 0 \text{ dB}$$



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ระบบการทำงาน

ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ

##### 4.1.1 ภาครับสัญญาณเสียง

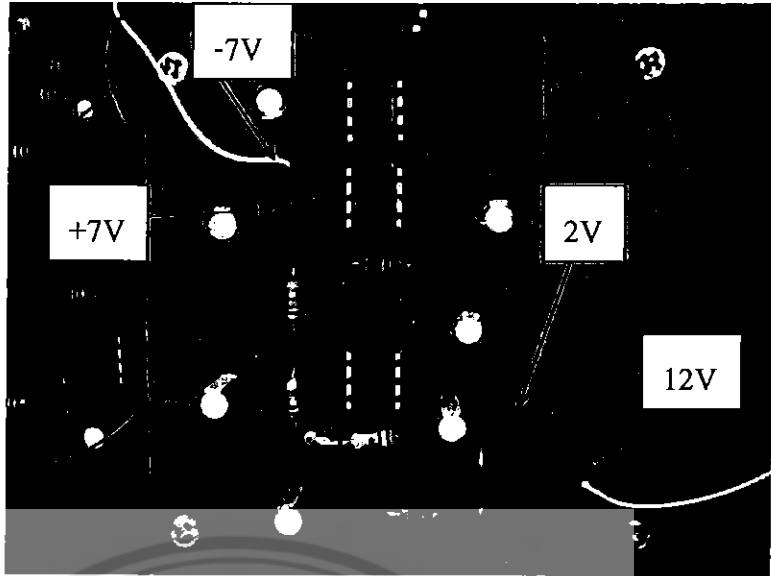


รูปที่ 4.1 ไมโครโฟน Panasonic WM-61A

ต่อไมโครโฟน WM-61A เข้ากับสายนำสัญญาณแบบสเตอริโอแล้วต่อกับแจ็คตัวผู้แบบสเตอริโอขนาด 3.5 mm

##### 4.1.2 ภาจ่ายไฟ

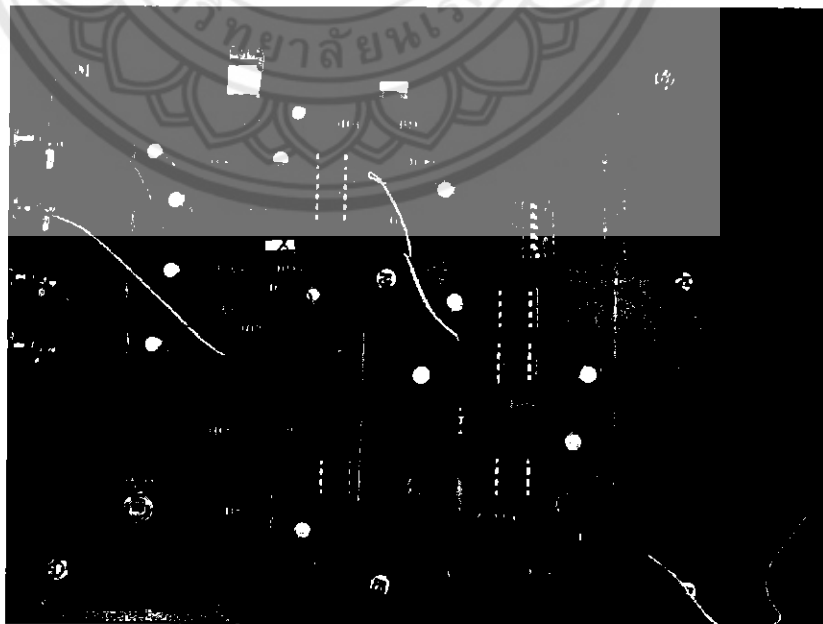
อุปกรณ์ในภาคประมวลผลรวมถึงคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจำเป็นต้องมีภาคจ่ายไฟเพื่อที่จะให้อุปกรณ์ทำงาน โดยเราต้องจ่ายไฟเลี้ยงให้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน +2 โวลต์ จ่ายไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ +7 โวลต์ และ -7 โวลต์



รูปที่ 4.2 ภาคจ่ายไฟ (Power supply)

#### 4.1.3 ภาคประมวลผล

สัญญาณที่ได้รับจากไมโครโฟนจะถูกส่งไปในภาคประมวลผล แล้วได้สัญญาณออกมาที่เอาต์พุต ซึ่งเอาต์พุตที่ได้นี้สามารถนำไปต่อกับเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) หรือเครื่องวัดสัญญาณต่างๆ เพื่อที่จะใช้ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิกที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 4.3 แผงวงจรประมวลผลสัญญาณ



## 4.2 วิธีทำการทดลองและผลการทดลอง

จากการที่เราใช้ลำโพงในการกำเนิดสัญญาณเสียง เราจึงต้องใช้เครื่องขยายสัญญาณเสียงเข้ามาช่วย และใช้เครื่องกำเนิดความถี่หรือ Function Generator เพื่อกำเนิดความถี่ที่เราต้องการ แต่เครื่องกำเนิดความถี่สามารถจ่ายแรงดันได้เพียงอย่างเดียว เราจึงต้องใช้เครื่องขยายสัญญาณเสียงเพื่อที่จะจ่ายกระแสให้ลำโพงด้วย

### 4.2.1 การวัดผลตอบสนองความถี่ของเครื่อง Stereo integrated amplifier

#### วิธีทำการทดลอง

1. ใช้โปรแกรม Scope กำเนิดสัญญาณเข้าเครื่อง Stereo integrated amplifier
2. นำสายโพรบต่อ Channel 1 ของเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) เพื่อวัดอินพุตที่เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) และนำสายโพรบต่อ Channel 2 เพื่อวัดเอาต์พุตของเครื่อง Stereo integrated amplifier
3. ปลดอยสัญญาณ Sine wave ให้ใช้ความถี่ตามตารางที่ 4.1 บันทึกผล

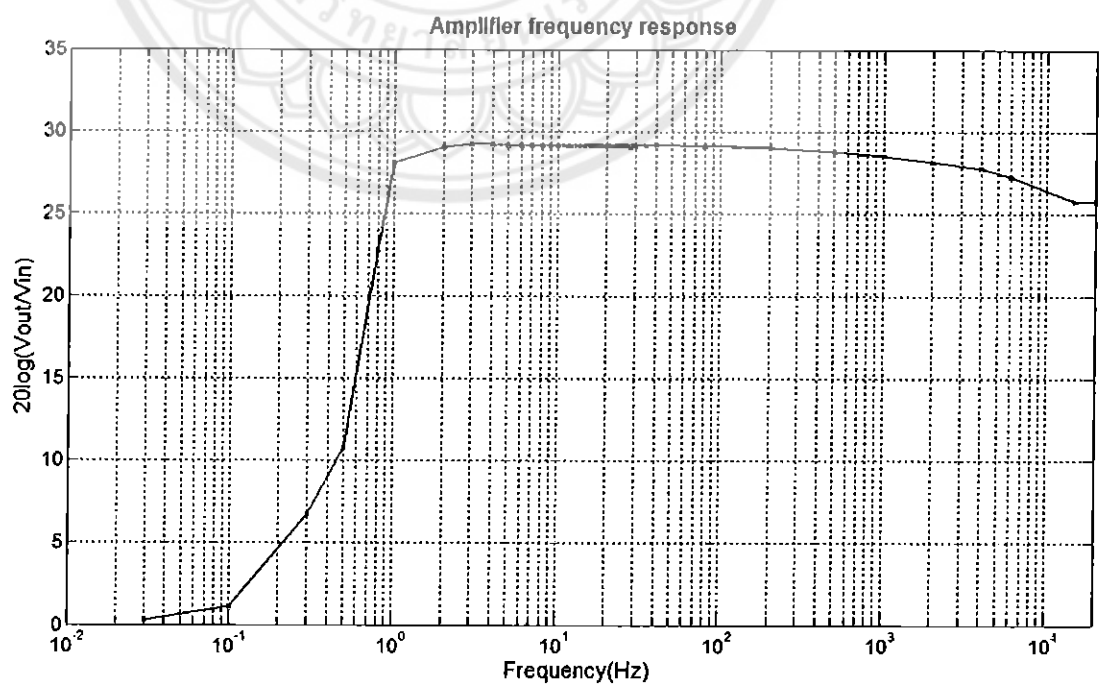
#### ผลการทดลอง

#### ตารางที่ 4.1 ผลตอบสนองความถี่เครื่อง Stereo integrated amplifier

| f(Hz) | $V_{in}(V_{rms})$ | $V_{out}(V_{rms})$ | f(Hz) | $V_{in}(V_{rms})$ | $V_{out}(V_{rms})$ |
|-------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|
| 0.03  | 7.31              | 7.55               | 20    | 7.15              | 204.90             |
| 0.1   | 6.88              | 7.79               | 21    | 7.15              | 205.30             |
| 0.3   | 7.03              | 15.21              | 22    | 7.15              | 205.10             |
| 0.5   | 7.24              | 24.92              | 23    | 7.15              | 204.90             |
| 0.8   | 7.14              | 98.19              | 24    | 7.15              | 205.00             |
| 1     | 7.30              | 184.30             | 25    | 7.16              | 205.10             |
| 2     | 7.22              | 203.20             | 26    | 7.15              | 205.00             |
| 3     | 7.11              | 205.30             | 27    | 7.15              | 205.10             |
| 4     | 7.12              | 205.40             | 28    | 7.15              | 201.90             |
| 5     | 7.14              | 205.10             | 29    | 7.16              | 204.90             |
| 6     | 7.17              | 206.20             | 30    | 7.17              | 205.10             |
| 7     | 7.17              | 206.10             | 35    | 7.12              | 204.70             |

| f(Hz) | V <sub>in</sub> (V <sub>rms</sub> ) | V <sub>out</sub> (V <sub>rms</sub> ) | f(Hz) | V <sub>in</sub> (V <sub>rms</sub> ) | V <sub>out</sub> (V <sub>rms</sub> ) |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 8     | 7.17                                | 205.20                               | 40    | 7.14                                | 205.40                               |
| 9     | 7.16                                | 205.50                               | 80    | 7.15                                | 204.10                               |
| 10    | 7.16                                | 205.30                               | 120   | 7.14                                | 203.20                               |
| 11    | 7.16                                | 205.20                               | 200   | 7.11                                | 201.40                               |
| 12    | 7.16                                | 205.00                               | 500   | 7.21                                | 197.70                               |
| 13    | 7.15                                | 204.80                               | 1k    | 7.30                                | 194.90                               |
| 14    | 7.16                                | 204.90                               | 2k    | 7.47                                | 191.00                               |
| 15    | 7.16                                | 205.10                               | 4k    | 7.45                                | 181.40                               |
| 16    | 7.16                                | 205.00                               | 6k    | 7.47                                | 172.60                               |
| 17    | 7.16                                | 205.00                               | 15k   | 7.38                                | 143.10                               |
| 18    | 7.15                                | 204.90                               | 20k   | 7.43                                | 143.30                               |
| 19    | 7.15                                | 204.90                               | -     | -                                   | -                                    |

สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}/V_{in}$  กับความถี่แสดงในรูปของ dB โดยแสดงเป็นกราฟได้คือ

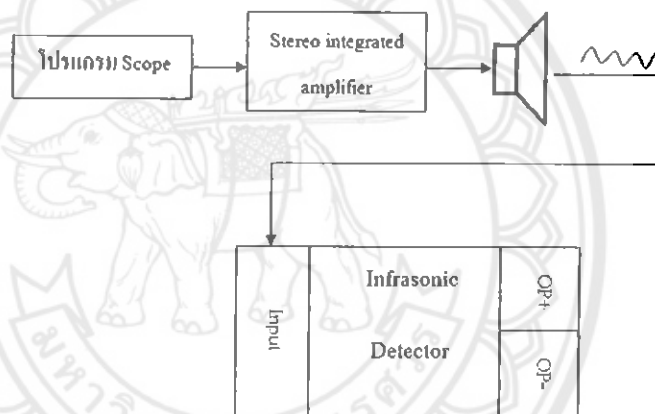


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของเครื่อง Stereo integrated amplifier

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าการตอบสนองเครื่อง Stereo integrated amplifier นั้นก็ต่อฟความถี่ที่ 1 Hz ซึ่งอาจเป็นผลต่ออุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ทำให้ไม่สามารถให้ความถี่ที่ต่ำกว่า 1Hz ได้

#### 4.2.2 การวัดอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ร่วมกับภาคประมวลผลของเครื่อง Stereo integrated amplifier

ตัวอย่างการทดสอบลำโพงยี่ห้อ Obom เราได้ใช้โปรแกรม Scope เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงผ่านเข้าเครื่องขยายสัญญาณ Stereo integrated amplifier จากนั้นต่อออกลำโพงเพื่อที่จะสังเกตการกระเพื่อมของลำโพงว่ามีการตอบสนองความถี่ต่ำร่วมกับเครื่อง Stereo integrated amplifier หรือไม่ และสัญญาณที่ออกจากลำโพงจะเข้าไปที่ตัวรับสัญญาณเสียงคือ ไมโครโฟน จากนั้นทำการวัดที่เอาท์พุทของวงจรรวมสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.5

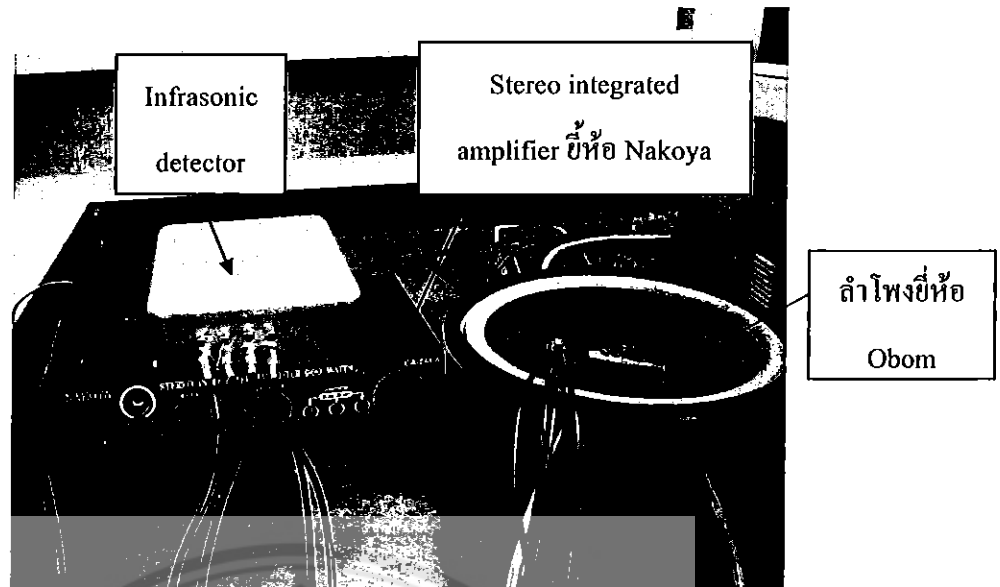


รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบลำโพง

การทดลองใช้อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงดังตารางต่อไปนี้

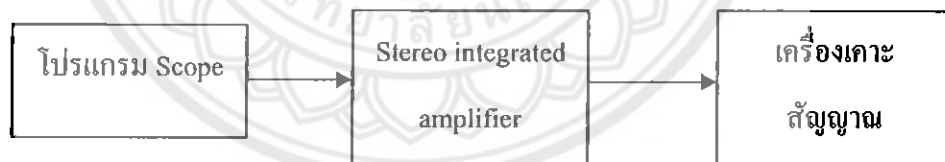
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดลำโพงที่ใช้ในการทดสอบ

| ลำโพง | ขนาด (นิ้ว) | ยี่ห้อ | Max. Power | Impedance | Usable frequency |
|-------|-------------|--------|------------|-----------|------------------|
|       | 6           | SAAG   | 1,000 W    | 8 Ω       | 20Hz-2kHz        |
|       | 8           | Nakoya | 50 W       | 8 Ω       | 50Hz-2kHz        |
|       | 8           | Anaba  | 200 W      | 4 Ω       | 20Hz-2kHz        |
|       | 10          | Obom   | 150 W      | 8 Ω       | 35Hz-3kHz        |
|       | 15          | V.I.P. | 100 W      | 4 Ω       | 35Hz-2kHz        |

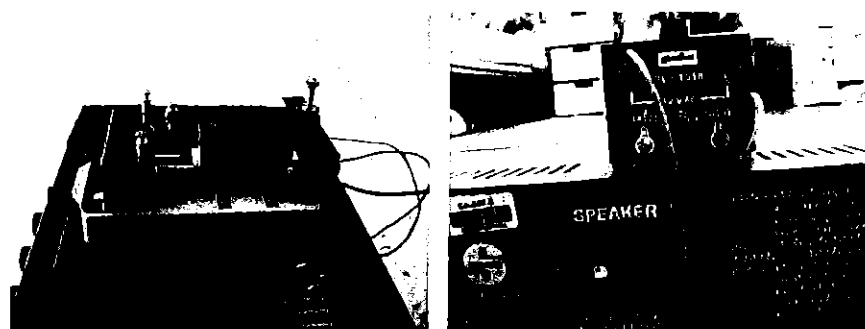


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทดสอบลำโพงขี้หื้อ Obom

อีกหนึ่งอุปกรณ์ที่เราได้นำมาทดสอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงคือ เครื่องเคาะสัญญาณเวลา ขนาด 12 V.A.C. รุ่น ITL-1018 ทำการทดลองเป็นดังนี้คือ ต่อ Stereo integrated amplifier ขนาด 900 W, 220 V, 50 Hz กับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา แล้วทำการป้อนสัญญาณจาก โปรแกรม Scope ผลที่ได้คือ เครื่องเคาะสัญญาณเวลาตอบสนองความถี่ต่ำสุดที่ 0.5 Hz แสดงเป็น แผนภาพได้ดังนี้รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการทำสอบเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



รูปที่ 4.8 การต่อเครื่องขยายสัญญาณ Stereo integrated amplifier กับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

การเปรียบเทียบต่างๆจากโปรแกรม Scope ได้ผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้  
 ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดสอบลำโพง

| ลำโพง       |        |            |           |                  |  |
|-------------|--------|------------|-----------|------------------|--|
| ขนาด (นิ้ว) | ยี่ห้อ | Max. Power | Impedance | Usable frequency | การตอบสนองความถี่ต่ำที่สุด ที่ได้จากการทดลอง |
| 6           | SAAG   | 1,000 W    | 8 Ω       | 20Hz-2kHz        | 8 Hz   |
| 8           | Nakoya | 50 W       | 8 Ω       | 50Hz-2kHz        | 10 Hz  |
| 8           | Anaba  | 200 W      | 4 Ω       | 20Hz-2kHz        | 1Hz  |
| 10          | Obom   | 150 W      | 8 Ω       | 35Hz-3kHz        | 2 Hz   |
| 15          | V.I.P. | 100 W      | 4 Ω       | 35Hz-2kHz        | 11 Hz  |

เนื่องจากว่าลำโพงไม่สามารถตอบสนองความถี่ต่ำกว่า 1Hz หรือไม่มีการกระเพื่อมที่ความถี่น้อยกว่า 1 Hz ซึ่งอาจเป็นเพราะเครื่อง Stereo integrated amplifier ไม่ได้ตอบสนองความถี่ต่ำกว่า 1Hz จึงจำเป็นต้องต่อวงจรขยายเพื่อให้ตอบสนองความถี่ต่ำกว่า 1Hz ซึ่งจะแสดงในส่วน of ผลการทดลองเครื่องขยายเสียงแบบแบบ Bridge ในครั้งต่อไป

#### 4.2.3 การวัดผลตอบสนองความถี่ของเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge

##### วิธีการทดลอง

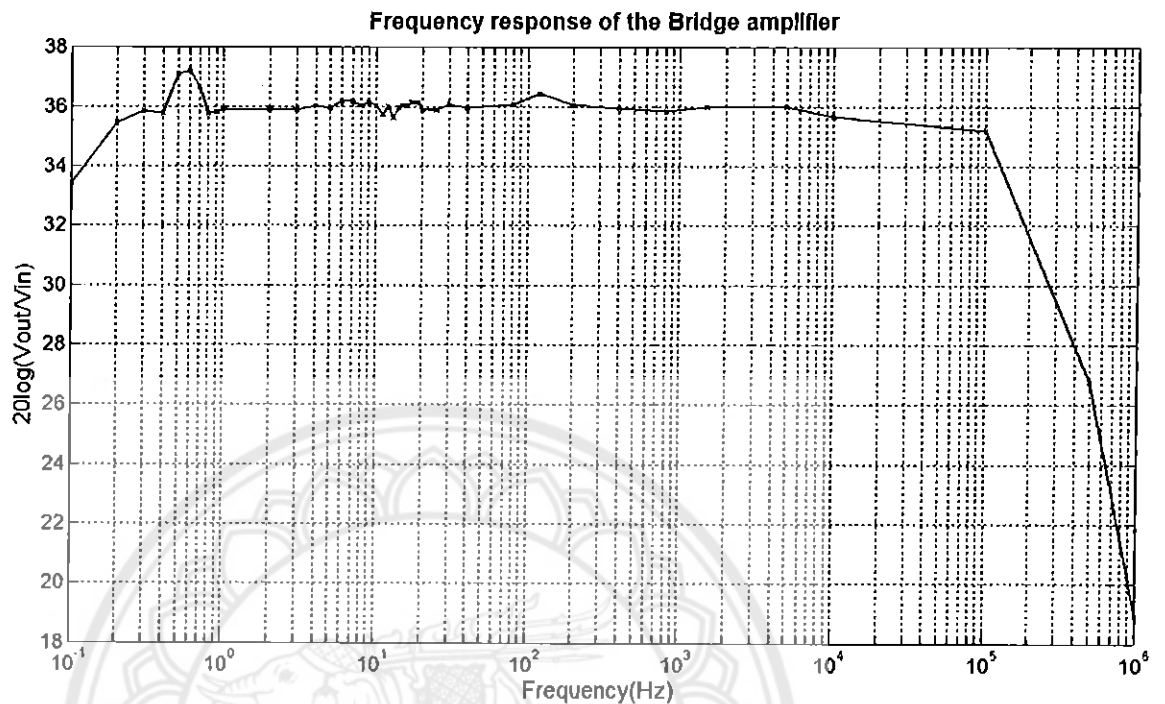
1. ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) เข้าเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge
2. นำสาย โพรบต่อ Channel 1 ของเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) เพื่อวัดอินพุตที่เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) และนำสาย โพรบต่อ Channel 2 เพื่อวัดเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge
3. ปลอ่ยสัญญาณ Sine wave ใช้ความถี่ตามตารางที่ 4.4 บันทึกผล

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลตอบสนองความถี่เครื่องขยายเสียงแบบ Bridge

| f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) |
|--------|------------------------|-------------------------|--------|------------------------|-------------------------|
| 0.1    | 528.00 m               | 24.80                   | 14     | 2.80                   | 176.00                  |
| 0.2    | 920.00 m               | 54.40                   | 15     | 2.84                   | 180.00                  |
| 0.3    | 696.00 m               | 43.20                   | 16     | 2.84                   | 180.00                  |
| 0.4    | 872.00 m               | 53.60                   | 17     | 2.84                   | 182.00                  |
| 0.5    | 808.00 m               | 57.60                   | 18     | 2.84                   | 182.00                  |
| 0.6    | 808.00 m               | 58.40                   | 19     | 2.84                   | 182.00                  |
| 0.7    | 920.00 m               | 62.40                   | 20     | 2.96                   | 184.00                  |
| 0.8    | 880.00 m               | 54.00                   | 25     | 2.92                   | 182.00                  |
| 0.9    | 1.152                  | 71.00                   | 30     | 2.92                   | 186.00                  |
| 1      | 1.00                   | 62.40                   | 40     | 2.96                   | 186.00                  |
| 2      | 1.26                   | 78.40                   | 80     | 2.92                   | 186.00                  |
| 3      | 1.68                   | 104.80                  | 120    | 2.84                   | 188.00                  |
| 4      | 1.96                   | 124.00                  | 200    | 2.92                   | 186.00                  |
| 5      | 2.20                   | 138.00                  | 400    | 3.00                   | 188.00                  |
| 6      | 2.30                   | 148.00                  | 800    | 3.00                   | 186.00                  |
| 7      | 2.42                   | 156.00                  | 1.5k   | 2.92                   | 184.00                  |
| 8      | 2.56                   | 162.00                  | 5k     | 2.92                   | 184.00                  |
| 9      | 2.64                   | 169.00                  | 10k    | 3.00                   | 182.00                  |
| 10     | 2.68                   | 170.00                  | 100k   | 2.88                   | 166.00                  |
| 11     | 2.84                   | 174.00                  | 500k   | 2.84                   | 62.00                   |
| 12     | 2.76                   | 174.00                  | 1M     | 2.72                   | 24.00                   |
| 13     | 2.88                   | 174.00                  | -      | -                      | -                       |

สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}/V_{in}$  กับความถี่แสดงในรูปของ dB โดยแสดงเป็นกราฟได้คือ

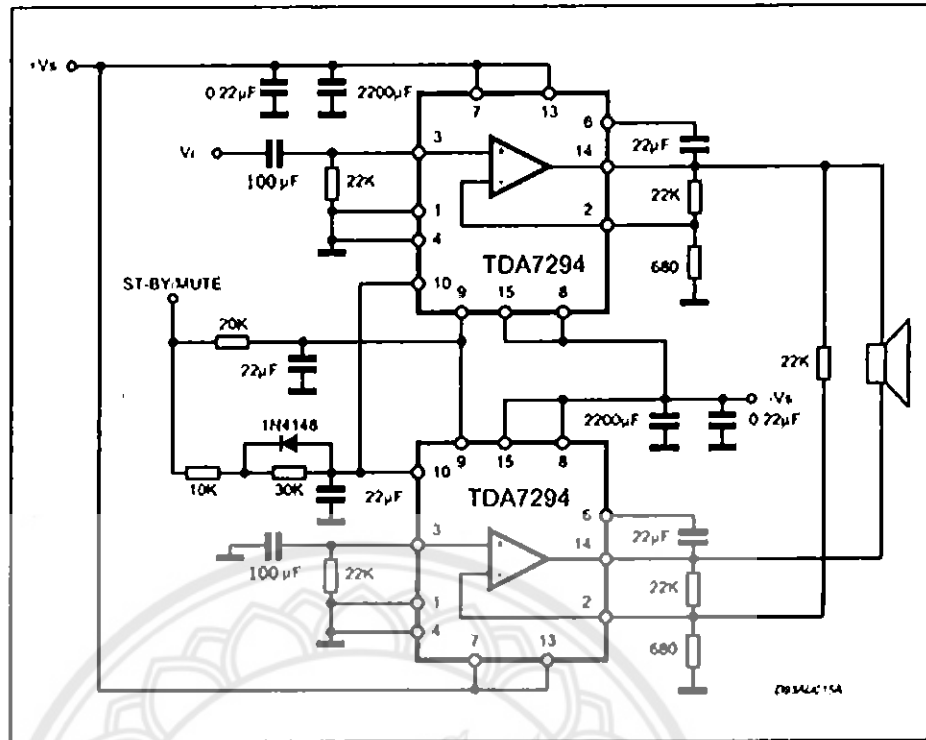


รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองความถี่เครื่องขยายเสียงแบบ Bridge

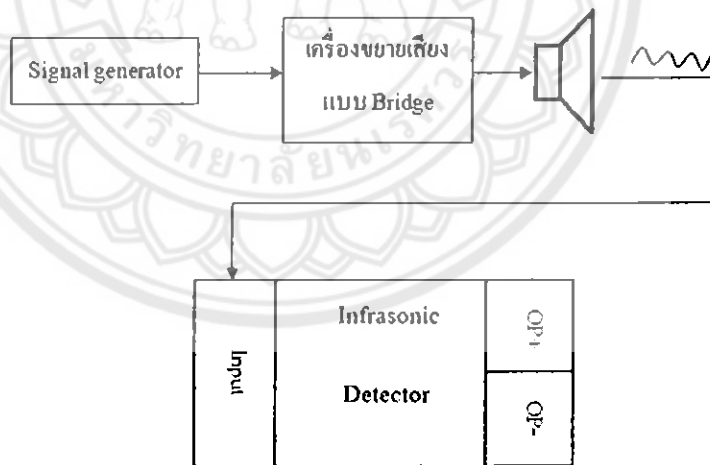
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าการตอบสนองเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge นั้นก็ต่อพความถี่ที่ 0.1 Hz ซึ่งอาจส่งผลให้อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ทำให้สามารถกำเนิดเสียงความถี่ต่ำกว่า 1 Hz ได้

#### 4.2.4 การวัดอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียง (ลำโพง) ร่วมกับภาคประมวลผลของเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge

ตัวอย่างการทดสอบลำโพงยี่ห้อ Anaba เราได้ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงผ่านเข้าเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge วงจรตามรูปที่ 4.10 จากนั้นต่อออกลำโพงเพื่อที่จะสังเกตการกระเพื่อมของลำโพงว่ามีการตอบสนองความถี่ต่ำร่วมกับเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge หรือไม่ สัญญาณที่ออกจากลำโพงจะเข้าไปที่ตัวรับสัญญาณเสียงคือ ไมโครโฟน จากนั้นทำการวัดที่เอาท์พุทของวงจรรวมสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.11

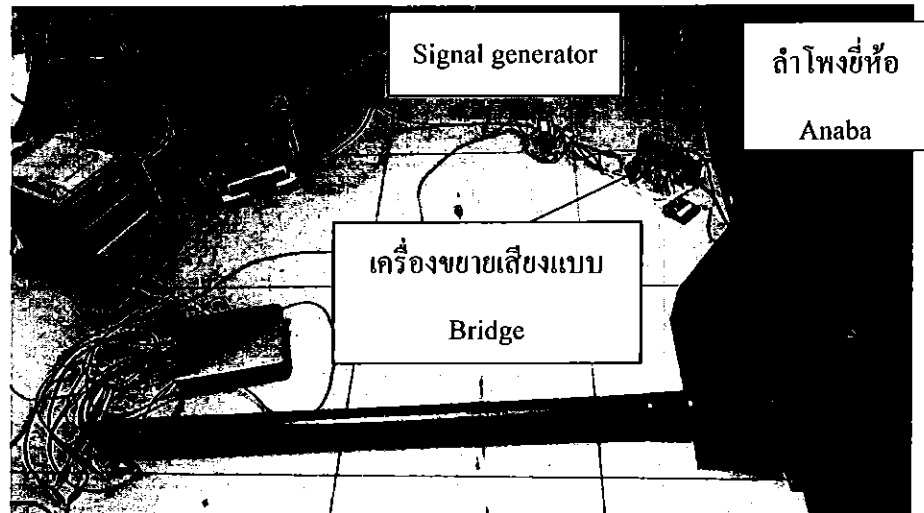


รูปที่ 4.10 วงจรเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge



รูปที่ 4.11 แสดงการทดสอบลำโพง





รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการทดสอบลำโพงยี่ห้อ Anaba

การทดสอบการตอบสนองของลำโพงยี่ห้อ Anaba ที่มีความถี่ต่ำกว่า 1 Hz กับเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) การทดสอบนี้ลำโพงมีการตอบสนองได้จนถึง 0.1 Hz หรือลำโพงกระเพื่อมได้ถึง 0.1 Hz ซึ่งจะสามารถใช้ทดสอบกับเครื่องตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก (infrasonic detector) ได้ต่อไป

#### 4.2.5 การทดสอบการกระเพื่อมของดอกลำโพง

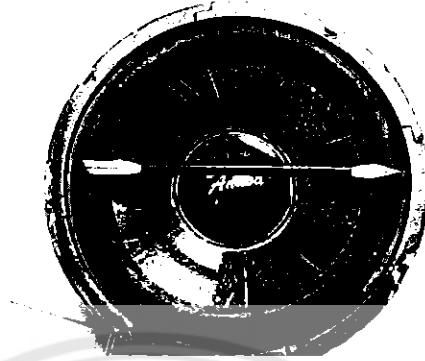
ในขั้นตอนแรกเราจะใช้ดินสอดัดบนดอกลำโพงจากนั้นก็ทำการป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) ผ่านตัวเครื่องขยายเสียงแบบ Bridge แล้วต่อออกทางด้านลำโพง แสดงการทำงานดังรูปที่ 4.13 ซึ่งลำโพงที่เรานำมาทดสอบการกระเพื่อมของดอกลำโพงเป็นลำโพงยี่ห้อ Anaba รับกำลัง ได้สูงสุด 200 W ขั้นตอนการทดสอบเป็นดังต่อไปนี้



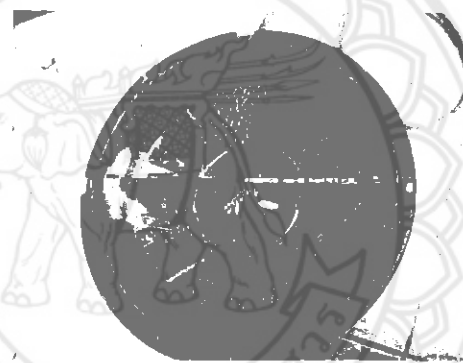
รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการทดสอบลำโพง

## วิธีการทดลอง

1. นำดินสอที่ผ่าครึ่งทางด้านหัวและท้ายของดินสอมาติดบนดอกกล้าโพงดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

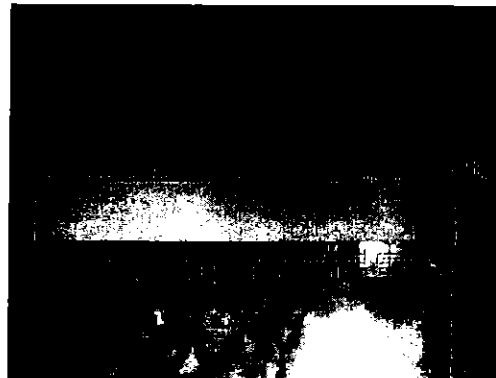


รูปที่ 4.14 ลักษณะการผ่าดินสอทางด้านหัวและท้ายของดินสอ



รูปที่ 4.15 การติดดินสอบนดอกกล้าโพง

2. นำกระดาษมาติดบนไม้บรรทัดเหล็ก ในการติดกระดาษควรที่จะติดให้เห็นขีดของหน่วยมิลลิเมตรด้วยเพื่อความสะดวกในการวัดและบันทึกผล ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การติดกระดาษกับไม้บรรทัดเหล็ก

3. ทำการขีดเส้นตอนที่ดอกกล้าโพงยังไม่กระเพื่อมก่อน เพื่อที่เราจะได้รู้ว่ากระเพื่อมขึ้นหรือลงจากเดิมเท่าไรดังรูปที่ 4.17

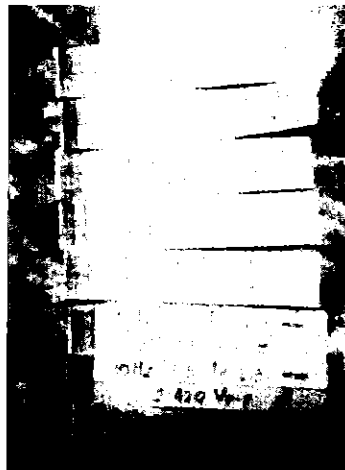


รูปที่ 4.17 ขีดเส้นตอนที่ดอกกล้าโพงยังไม่กระเพื่อม

4. ทำการป้อนสัญญาณความถี่ 0.1Hz-20Hz แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.18 ทำการวัดการกระเพื่อมของดอกกล้าโพง



รูปที่ 4.19 ผลการกระเพื่อมของดอกกล้าโพงที่ความถี่ 0.1Hz – 20Hz

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันอินพุตที่ทำให้ลำโพงกระเพื่อมขึ้นที่ 4 mm. โดยมีค่ากลางที่ 5.5 mm.

| f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) |
|--------|------------------------|--------|------------------------|
| 0.1    | 370.00m                | 7      | 240.00m                |
| 0.2    | 370.00m                | 8      | 240.00m                |
| 0.3    | 370.00m                | 9      | 220.00m                |
| 0.4    | 350.00m                | 10     | 220.00m                |
| 0.5    | 350.00m                | 11     | 220.00m                |
| 0.6    | 320.00m                | 12     | 220.00m                |
| 0.7    | 320.00m                | 13     | 220.00m                |
| 0.8    | 320.00m                | 14     | 220.00m                |
| 0.9    | 320.00m                | 15     | 220.00m                |
| 1      | 300.00m                | 16     | 220.00m                |
| 2      | 300.00m                | 17     | 220.00m                |
| 3      | 270.00m                | 18     | 220.00m                |
| 4      | 260.00m                | 19     | 220.00m                |
| 5      | 240.00m                | 20     | 220.00m                |
| 6      | 240.00m                | -      | -                      |

## 4.2.6 การทดสอบการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน WM-61A

## วิธีการทดลอง

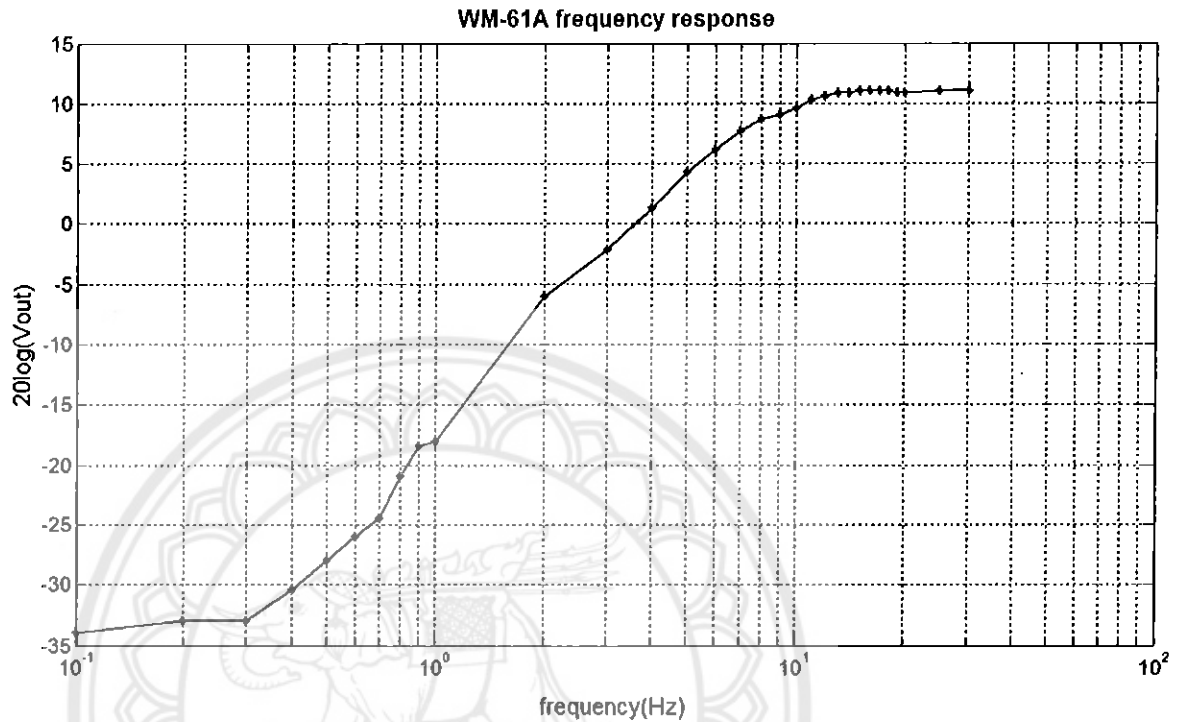
1. ทำการป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) เข้าด้วยขาสัญญาณแล้วต่อออกไปที่ลำโพง
2. ทำการวัดสัญญาณ โดยเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) โดยอินพุตได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) และเอาท์พุตได้จากวงจรรวมสัญญาณที่อยู่ในอุปกรณ์ ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก กำหนดให้ลำโพงกระเพื่อมเท่ากันหมดที่ 4 mm. ไมโครโฟนอยู่ห่างจากดอกลำโพง 20 cm.
3. บันทึกผลในตารางที่ 4.6

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6 แสดงการทดสอบการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน WM-61A

| f (Hz) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) | f (Hz) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) |
|--------|-------------------------|--------|-------------------------|
| 0.1    | 20.00m                  | 8      | 2.72                    |
| 0.2    | 22.50m                  | 9      | 2.84                    |
| 0.3    | 22.50m                  | 10     | 3.04                    |
| 0.4    | 30.0m                   | 11     | 3.28                    |
| 0.5    | 40.00m                  | 12     | 3.40                    |
| 0.6    | 50.00m                  | 13     | 3.52                    |
| 0.7    | 60.00m                  | 14     | 3.52                    |
| 0.8    | 90.00m                  | 15     | 3.56                    |
| 0.9    | 120.00m                 | 16     | 3.56                    |
| 1      | 1128.00m                | 17     | 3.56                    |
| 2      | 500.00m                 | 18     | 3.56                    |
| 3      | 780.00m                 | 19     | 3.52                    |
| 4      | 1.16                    | 20     | 3.52                    |
| 5      | 1.64                    | 25     | 3.56                    |
| 6      | 2.04                    | 30     | 3.56                    |
| 7      | 2.44                    | -      | -                       |

กราฟการทดสอบการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน WM-61A แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ  $V_{out}$  กำหนดให้ลำโพงกระเบื้องเท่ากันหมดที่ 4 mm. ไมโครโฟนอยู่ห่างจากดอกลำโพง 20 cm.



รูปที่ 4.20 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของไมโครโฟน WM-61A แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ  $V_{out}$

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าไมโครโฟนมีการลดทอนที่ตั้งแต่ 12 Hz ลงไปจนถึง 0.1 Hz ประมาณ 45dB ซึ่งเราจำเป็นต้องต่อวงจรชดเชยความถี่ให้กับไมโครโฟนด้วย

#### 4.2.7 ผลการตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก

ในการหาผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกนั้น เราจะป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้าที่ตำแหน่งอินพุทของแต่ละวงจรตามรูปที่ 3.3 (ถอดสายแรงดัน 2V ออกก่อน) และวัดอินพุท-เอาต์พุทของแต่ละวงจรได้ดังนี้

#### วงจรรวมสัญญาณ

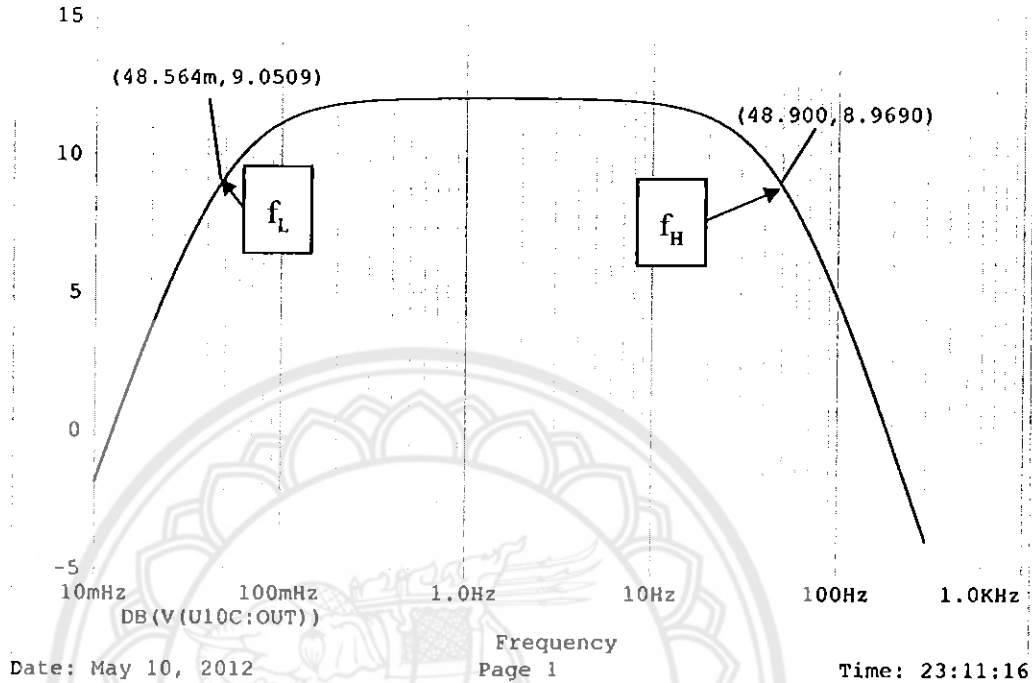
ตามรูปที่ 3.4 อินพุทคือตำแหน่ง C1, C2, C3 หรือ C4 ก็ได้ สัญญาณจะเข้าที่ขา 2 ของออปแอมป์ U1A และเอาต์พุทคือขา 1 ของออปแอมป์ U1A ได้ผลตอบสนองความถี่ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ

| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 0.01   | 1.02                  | 1.04                   | 11     | 1.02                  | 4.04                   |
| 0.02   | 1.02                  | 1.76                   | 13     | 1.02                  | 4.04                   |
| 0.03   | 1.02                  | 2.32                   | 15     | 1.02                  | 4.04                   |
| 0.04   | 1.02                  | 2.76                   | 17     | 1.02                  | 4.04                   |
| 0.05   | 1.02                  | 3.08                   | 19     | 1.02                  | 4.00                   |
| 0.1    | 1.02                  | 3.68                   | 20     | 1.02                  | 4.00                   |
| 0.3    | 1.02                  | 4.00                   | 25     | 1.02                  | 3.96                   |
| 0.5    | 1.02                  | 4.04                   | 30     | 1.02                  | 3.88                   |
| 0.7    | 1.02                  | 4.04                   | 40     | 1.02                  | 3.80                   |
| 0.9    | 1.02                  | 4.04                   | 50     | 1.02                  | 3.72                   |
| 1      | 1.02                  | 4.04                   | 70     | 1.02                  | 3.44                   |
| 3      | 1.02                  | 4.04                   | 100    | 1.02                  | 3.12                   |
| 5      | 1.02                  | 4.04                   | 200    | 1.02                  | 2.16                   |
| 7      | 1.02                  | 4.04                   | 400    | 1.02                  | 1.28                   |
| 9      | 1.02                  | 4.04                   | -      | -                     | -                      |

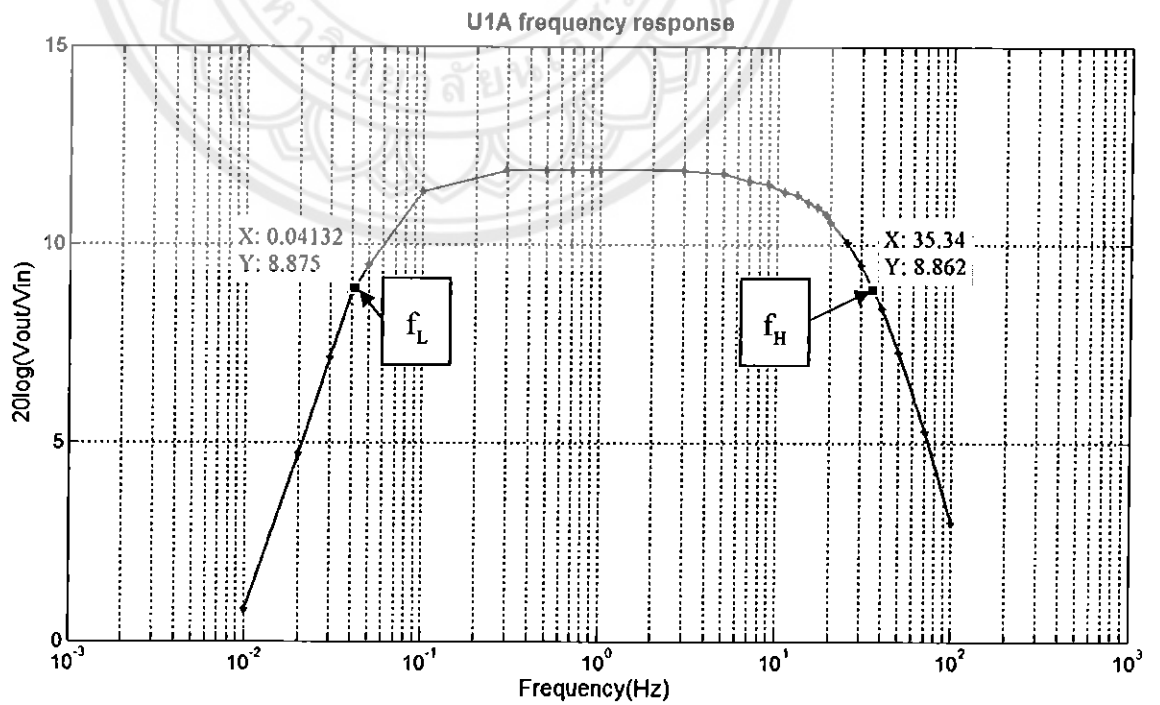
กราฟผลตอบสนองความถี่วงจรรวมสัญญาณที่ได้จาก โปรแกรม Pspice

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-test3" [ C:\Users\acer\Desktop\Infrasonic\pro...  
 Date/Time run: 05/10/12 22:46:07 Temperature: 27.0  
 (A) test3.dat (active)



รูปที่ 4.21 ผลตอบสนองความถี่วงจรรวมสัญญาณที่ได้จาก โปรแกรม Pspice

กราฟผลตอบสนองความถี่วงจรรวมสัญญาณ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V_{pp})$  กับ  $V_{in}(V_{pp})$



รูปที่ 4.22 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง



จากรูปที่ 4.22 ในด้านความถี่ต่ำหรือ  $f_L$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.04822 Hz แต่ในผลการทดลอง เราได้ cut-off ที่ 0.04346 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 10nF อนุกรมกับตัวต้านทาน 330k อยู่ในตำแหน่ง U1A ตามรูปที่ 3.4 และในรูปที่ 4.22 และในด้านความถี่สูงหรือ  $f_H$  เรา cut-off ไว้ที่ 48.22877 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ที่ 35.34 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 10uF ขนานกับตัวต้านทาน 330k อยู่ในตำแหน่ง U1A ตามรูปที่ 3.4 และจากรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นกราฟผลตอบสนองวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

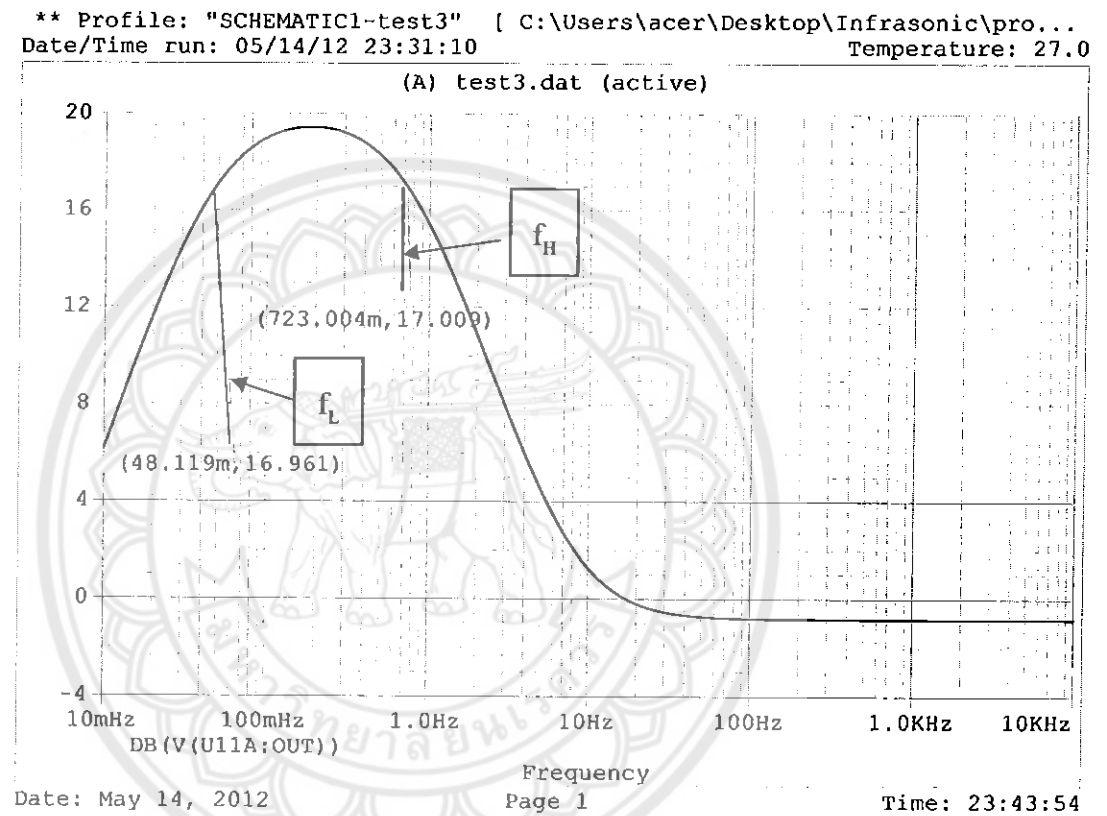
#### วงจรรีโวลติเซอร์ ในตำแหน่ง UID

ตามรูปที่ 3.5 อินพุตคือตำแหน่ง C6 3.3uF สัญญาณจะเข้าที่ขา 13 ของออปแอมป์ UID และเอาต์พุตของออปแอมป์ UID คือที่ตำแหน่งขา 14 ได้ผลตอบสนองดังตารางต่อไปนี้ ตารางที่ 4.8 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรีโวลติเซอร์ Band Pass Filter

| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 0.01   | 1.02                  | 2.24                   | 13     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.02   | 1.02                  | 4.00                   | 15     | 1.02                  | 1.12                   |
| 0.03   | 1.02                  | 5.60                   | 17     | 1.02                  | 1.08                   |
| 0.04   | 1.02                  | 6.40                   | 19     | 1.02                  | 1.06                   |
| 0.05   | 1.02                  | 7.20                   | 20     | 1.02                  | 1.04                   |
| 0.1    | 1.02                  | 9.00                   | 25     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.3    | 1.02                  | 9.00                   | 30     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.5    | 1.02                  | 8.08                   | 40     | 1.02                  | 960m                   |
| 0.7    | 1.02                  | 7.04                   | 50     | 1.02                  | 960m                   |
| 0.9    | 1.02                  | 6.16                   | 70     | 1.02                  | 960m                   |
| 1      | 1.02                  | 5.84                   | 100    | 1.02                  | 960m                   |
| 3      | 1.02                  | 2.52                   | 200    | 1.02                  | 960m                   |
| 5      | 1.02                  | 1.76                   | 500    | 1.02                  | 960m                   |
| 7      | 1.02                  | 1.46                   | 1k     | 1.02                  | 960m                   |

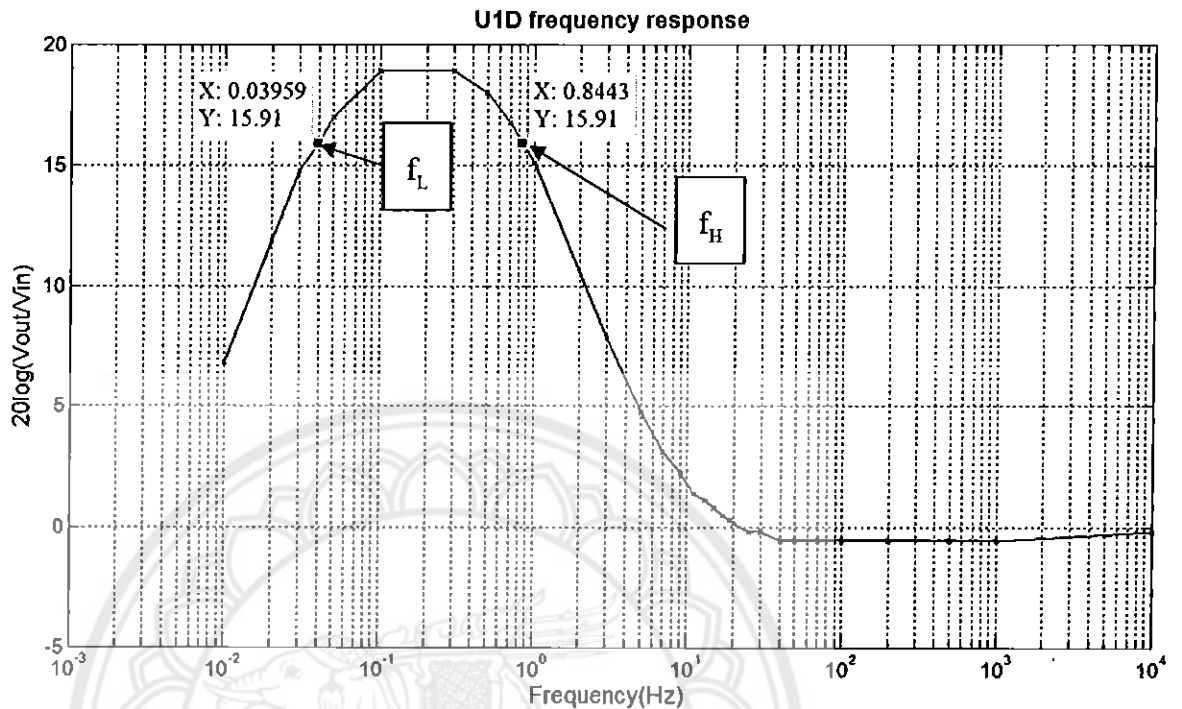
| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 9      | 1.02                  | 1.32                   | 10k    | 1.02                  | 1.00                   |
| 11     | 1.02                  | 1.20                   | -      | -                     | -                      |

กราฟผลตอบสนองความถี่วงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID ที่ได้จากโปรแกรม Pspice



รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองความถี่วงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

กราฟผลตอบสนองความถี่ของวงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V_{p-p})$  กับ  $V_{in}(V_{p-p})$



รูปที่ 4.24 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง UID ที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 4.24 ในด้านความถี่ต่ำหรือ  $f_L$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.04822 Hz แต่ในผลการทดลอง เราได้ cut-off ที่ 0.03959 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 3.3uF อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M อยู่ในตำแหน่ง UID ตามรูปที่ 3.5 และในรูปที่ 4.24 และในด้านความถี่สูงหรือ  $f_H$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.79577 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ cut-off ที่ 0.8443 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF ขนานกับตัวต้านทาน 10M อยู่ในตำแหน่ง UID ตามรูปที่ 3.5 และการชดเชยเราชดเชยที่ความถี่ 7.9577 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M มีอัตราขยายของการชดเชย 0 dB และจากรูปที่ 4.23 ซึ่งเป็นกราฟผลตอบสนองวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

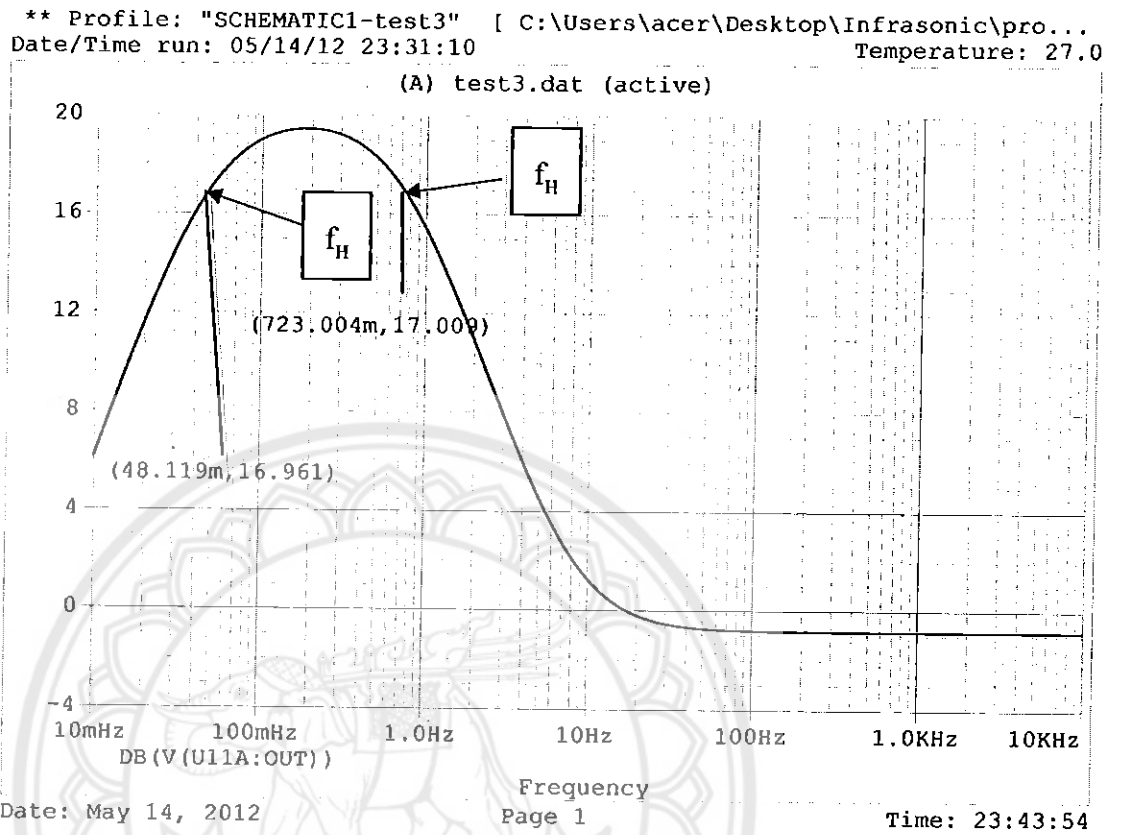
วงจรมิติเกรเตอร์ ในตำแหน่ง U2A

ในตำแหน่ง U2A ตามรูปที่ 3.6 อินพุตคือตำแหน่ง C8 3.3uF สัญญาณจะเข้าที่ขา 2 ของ ออปแอมป์ U2A และเอาต์พุตของออปแอมป์ U2A คือที่ตำแหน่งขา 1 ได้ผลตอบสนองความถี่ดัง ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2A

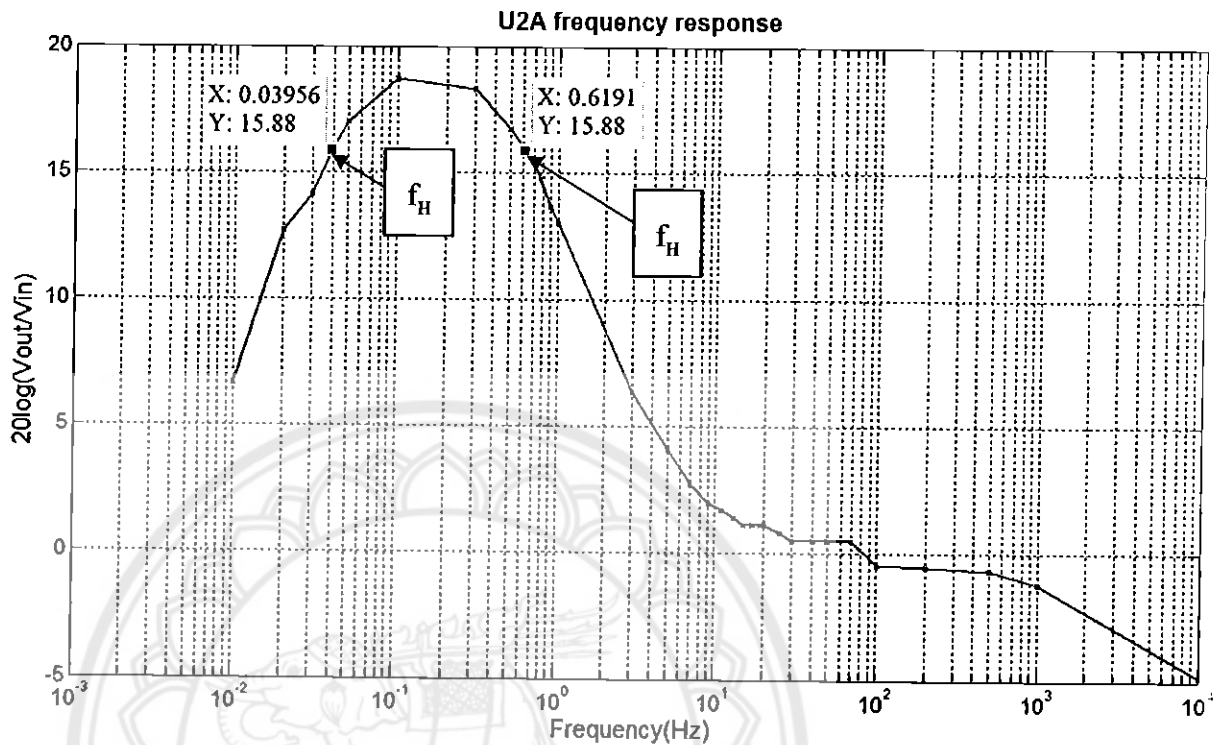
| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 0.01   | 1.02                  | 2.20                   | 13     | 1.02                  | 1.20                   |
| 0.02   | 1.02                  | 4.40                   | 15     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.03   | 1.02                  | 5.20                   | 17     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.04   | 1.02                  | 6.40                   | 19     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.05   | 1.02                  | 7.20                   | 20     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.1    | 1.02                  | 8.80                   | 25     | 1.02                  | 1.12                   |
| 0.3    | 1.02                  | 8.40                   | 30     | 1.02                  | 1.08                   |
| 0.5    | 1.02                  | 7.00                   | 40     | 1.02                  | 1.08                   |
| 0.7    | 1.02                  | 6.00                   | 50     | 1.02                  | 1.08                   |
| 0.9    | 1.02                  | 4.92                   | 70     | 1.02                  | 1.08                   |
| 1      | 1.02                  | 4.56                   | 100    | 1.02                  | 968m                   |
| 3      | 1.02                  | 2.12                   | 200    | 1.02                  | 960m                   |
| 5      | 1.02                  | 1.64                   | 500    | 1.02                  | 944m                   |
| 7      | 1.02                  | 1.40                   | 1k     | 1.02                  | 888m                   |
| 9      | 1.02                  | 1.28                   | 10k    | 1.02                  | 584m                   |
| 11     | 1.02                  | 1.24                   | -      | -                     | -                      |

กราฟผลตอบสนองความถี่วงจรมัลติเพล็กซ์ในตำแหน่ง U2A ที่ได้จากโปรแกรม Pspice



รูปที่ 4.25 ผลตอบสนองความถี่วงจรมัลติเพล็กซ์ในตำแหน่ง U2A ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

กราฟผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวม U2A แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V_{pp})$  กับ  $V_{in}(V_{pp})$



รูปที่ 4.26 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวมในตำแหน่ง U2A ที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 4.26 ในด้านความถี่ต่ำหรือ  $f_L$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.04822 Hz แต่ในผลการทดลอง เราได้ cut-off ที่ 0.03956 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 3.3uF อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M อยู่ในตำแหน่ง U2A ตามรูปที่ 3.6 และในรูปที่ 4.26 และในด้านความถี่สูงหรือ  $f_H$  เราเรา cut-off ไว้ที่ 0.76191 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ cut-off ที่ 0.8443 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF ขนานกับตัวต้านทาน 10M อยู่ในตำแหน่ง UID ตามรูปที่ 3.6 และการชดเชยเรชเชยที่ความถี่ 7.9577 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M มีอัตราขยายของการชดเชย 0 dB และจากรูปที่ 4.25 ซึ่งเป็นกราฟผลตอบสนองวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

### วงจรรีจิสเตอร์ ในตำแหน่ง U1B

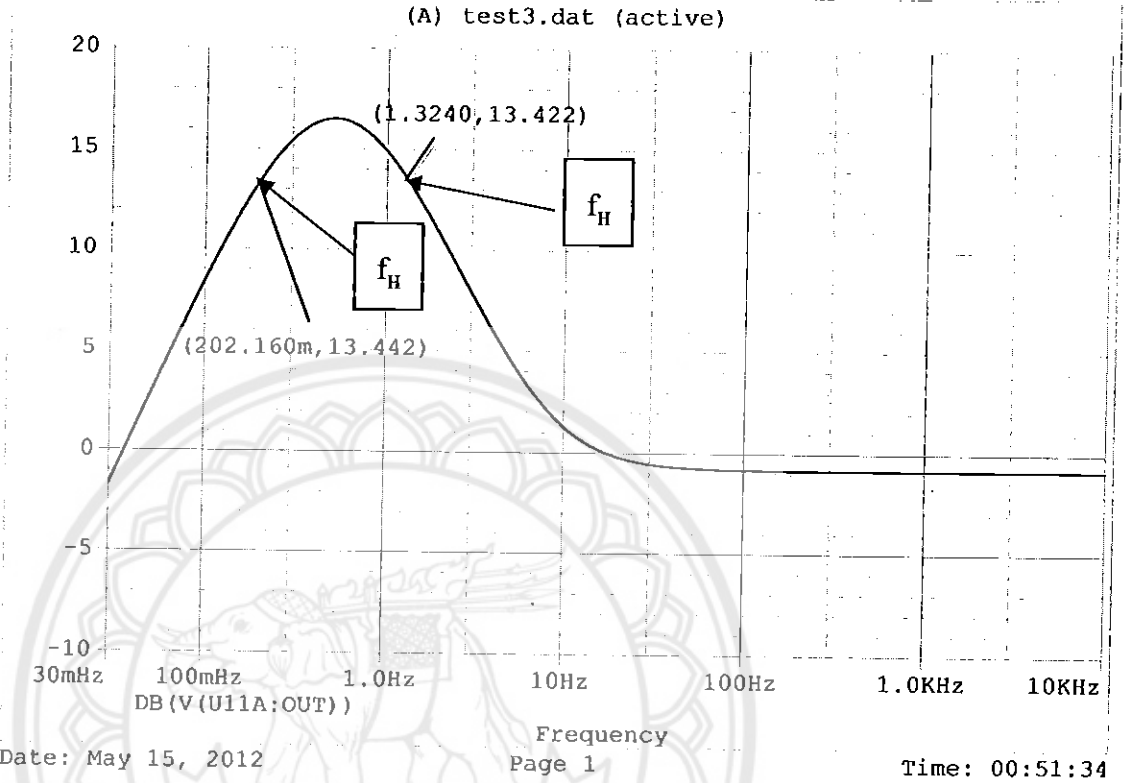
ในตำแหน่ง U1B ตามรูปที่ 3.7 อินพุตคือตำแหน่ง C10 0.44 $\mu$ F สัญญาณจะเข้าที่ขา 6 ของ ออปแอมป์ U1B และเอาต์พุตของออปแอมป์ U1B คือที่ตำแหน่งขา 7 ได้ผลตอบสนองความถี่ดัง ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรีจิสเตอร์ในตำแหน่ง U1B

| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 0.01   | 1.02                  | 340m                   | 13     | 1.02                  | 1.16                   |
| 0.02   | 1.02                  | 800m                   | 15     | 1.02                  | 1.10                   |
| 0.03   | 1.02                  | 1.04                   | 17     | 1.02                  | 1.06                   |
| 0.04   | 1.02                  | 1.36                   | 19     | 1.02                  | 1.04                   |
| 0.05   | 1.02                  | 1.60                   | 20     | 1.02                  | 1.04                   |
| 0.1    | 1.02                  | 2.92                   | 25     | 1.02                  | 1.02                   |
| 0.3    | 1.02                  | 6.20                   | 30     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.5    | 1.02                  | 6.60                   | 40     | 1.02                  | 980m                   |
| 0.7    | 1.02                  | 6.40                   | 50     | 1.02                  | 960m                   |
| 0.9    | 1.02                  | 5.80                   | 70     | 1.02                  | 960m                   |
| 1      | 1.02                  | 5.40                   | 100    | 1.02                  | 940m                   |
| 3      | 1.02                  | 2.60                   | 200    | 1.02                  | 940m                   |
| 5      | 1.02                  | 1.74                   | 500    | 1.02                  | 940m                   |
| 7      | 1.02                  | 1.44                   | 1k     | 1.02                  | 940m                   |
| 9      | 1.02                  | 1.28                   | 10k    | 1.02                  | 940m                   |
| 11     | 1.02                  | 1.20                   | -      | -                     | -                      |

กราฟผลตอบสนองความถี่วงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง U1B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

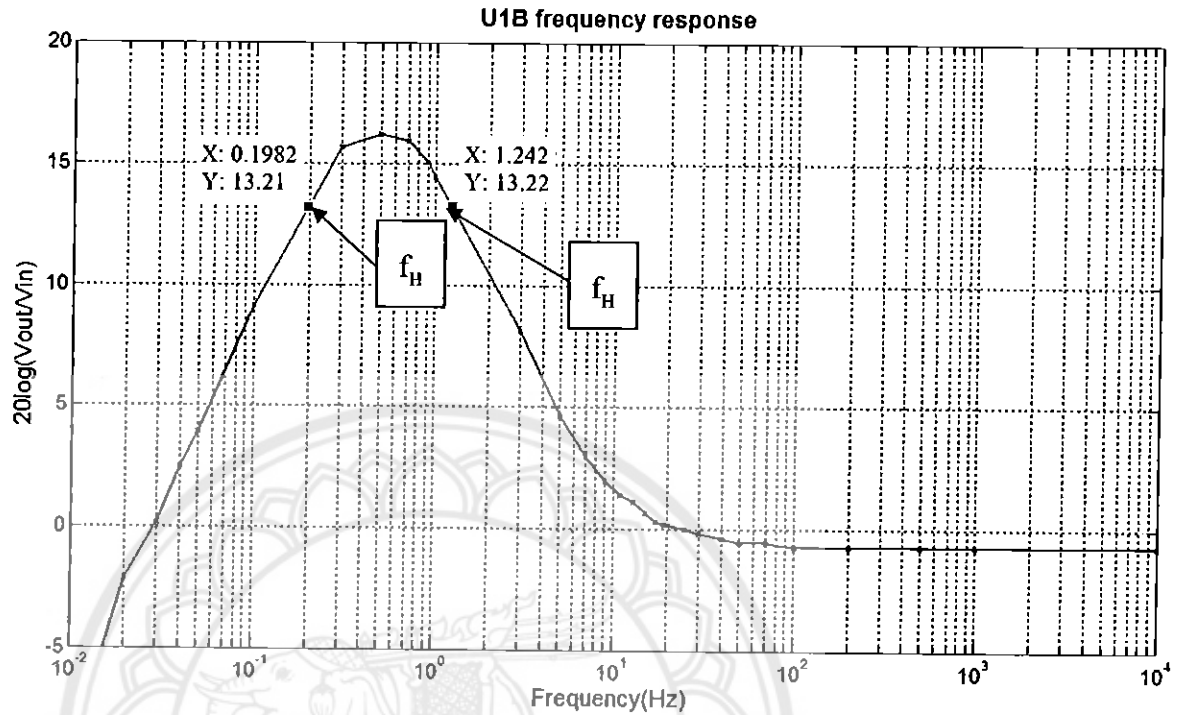
\*\* Profile: "SCHEMATIC1-test3" [ C:\Users\acer\Desktop\Infrasonic\pro...  
Date/Time run: 05/15/12 00:43:33 Temperature: 27.0



รูปที่ 4.27 ผลตอบสนองความถี่วงจรมิติเกรเตอร์ในตำแหน่ง U1B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice



กราฟผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวมสัญญาณในตัวเก็บประจุ U1B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V_{pp})$  กับ  $V_{in}(V_{pp})$



รูปที่ 4.28 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรวมสัญญาณในตัวเก็บประจุในตำแหน่ง U1B ที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 4.28 ในด้านความถี่ต่ำหรือ  $f_L$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.3617 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ cut-off ที่ 0.1982 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 0.44 $\mu$ F อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M อยู่ในตำแหน่ง U1B ตามรูปที่ 3.7 และในรูปที่ 4.28 และในด้านความถี่สูงหรือ  $f_H$  เราเรา cut-off ไว้ที่ 0.79577 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ cut-off ที่ 1.242 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF ขนานกับตัวต้านทาน 10M อยู่ในตำแหน่ง U1B ตามรูปที่ 3.7 และการชดเชยเราชดเชยที่ความถี่ 7.9577 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 20nF อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M มีอัตราขยายของการชดเชย 0 dB และจากรูปที่ 4.27 ซึ่งเป็นกราฟผลตอบสนองวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

วงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B

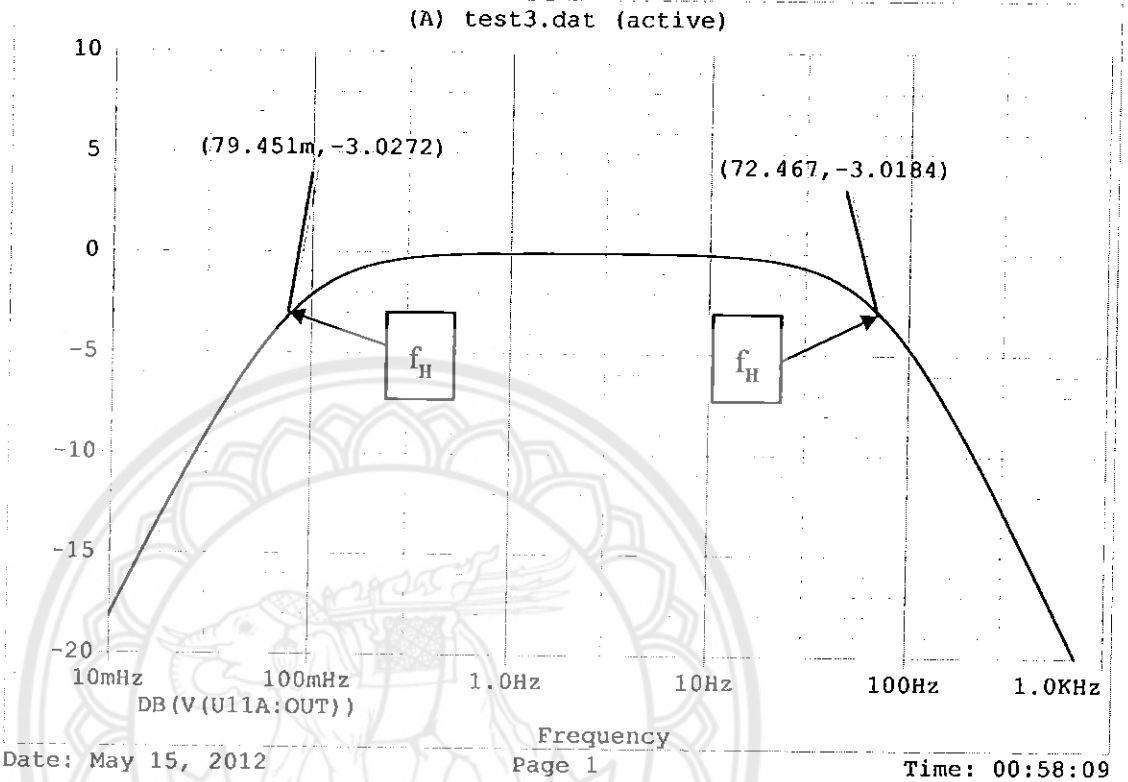
ในตำแหน่ง U2B ตามรูปที่ 3.8 อินพุตคือตำแหน่ง C12 2 $\mu$ F สัญญาณจะเข้าที่ขา 13 ของ ออปแอมป์ U2B และเอาต์พุตของออปแอมป์ U2B คือที่ตำแหน่งขา 14 ได้ผลตอบสนองความถี่ดัง ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในตำแหน่ง U2B

| f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>pp</sub> ) | Vout(V <sub>pp</sub> ) |
|--------|-----------------------|------------------------|--------|-----------------------|------------------------|
| 0.01   | 1.02                  | 160.00m                | 11     | 1.02                  | 1.02                   |
| 0.02   | 1.02                  | 280.00m                | 13     | 1.02                  | 1.02                   |
| 0.03   | 1.02                  | 400.00m                | 15     | 1.02                  | 1.02                   |
| 0.04   | 1.02                  | 480.00m                | 17     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.05   | 1.02                  | 560.00m                | 19     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.1    | 1.02                  | 800.00m                | 20     | 1.02                  | 1.00                   |
| 0.3    | 1.02                  | 1.00                   | 25     | 1.02                  | 980.00m                |
| 0.5    | 1.02                  | 1.00                   | 30     | 1.02                  | 940.00m                |
| 0.7    | 1.02                  | 1.02                   | 40     | 1.02                  | 900.00m                |
| 0.9    | 1.02                  | 1.02                   | 50     | 1.02                  | 860.00m                |
| 1      | 1.02                  | 1.02                   | 70     | 1.02                  | 740.00m                |
| 3      | 1.02                  | 1.02                   | 100    | 1.02                  | 620.00m                |
| 5      | 1.02                  | 1.02                   | 200    | 1.02                  | 372.00m                |
| 7      | 1.02                  | 1.02                   | 500    | 1.02                  | 180.00m                |
| 9      | 1.02                  | 1.02                   | -      | -                     | -                      |

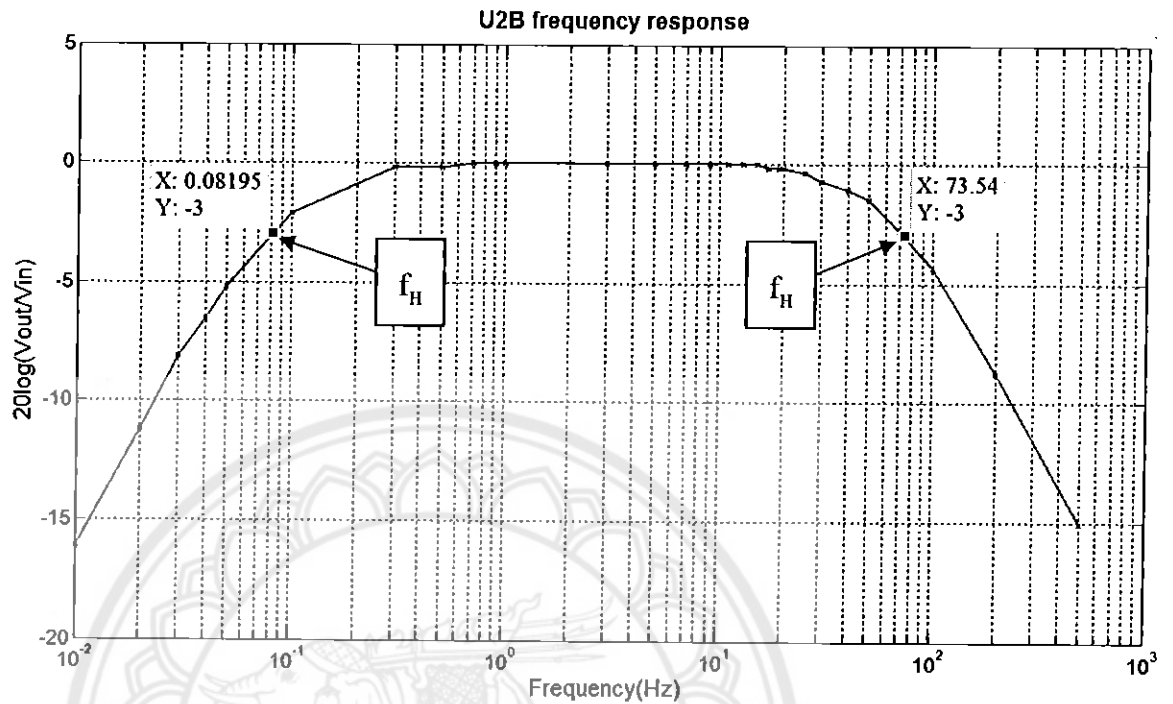
กราฟผลตอบสนองความถี่วงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-test3" [ C:\Users\acer\Desktop\Infrasonic\pro...  
Date/Time run: 05/15/12 00:53:35 Temperature: 27.0



รูปที่ 4.29 ผลตอบสนองความถี่วงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

กราฟผลตอบสนองความถี่ของวงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}(V_{pp})$  กับ  $V_{in}(V_{pp})$



รูปที่ 4.30 แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจร Band pass filter ในตำแหน่ง U2B ที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.30 ในด้านความถี่ต่ำหรือ  $f_L$  เรา cut-off ไว้ที่ 0.07957 Hz แต่ในผลการทดลอง เราได้ cut-off ที่ 0.08195 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 0.44 $\mu$ F อนุกรมกับตัวต้านทาน 1M อยู่ในตำแหน่ง U2B ตามรูปที่ 3.8 และในรูปที่ 4.30 และในด้านความถี่สูงหรือ  $f_H$  เรา cut-off ไว้ที่ 72.3431 Hz แต่ในผลการทดลองเราได้ cut-off ที่ 73.54 Hz เป็นผลมาจากตัวเก็บประจุ 2.2nF ขนานกับตัวต้านทาน 1M อยู่ในตำแหน่ง U1B ตามรูปที่ 3.8 และจากรูปที่ 4.29 ซึ่งเป็นกราฟผลตอบสนองวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม Pspice มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองของวงจรรวมสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

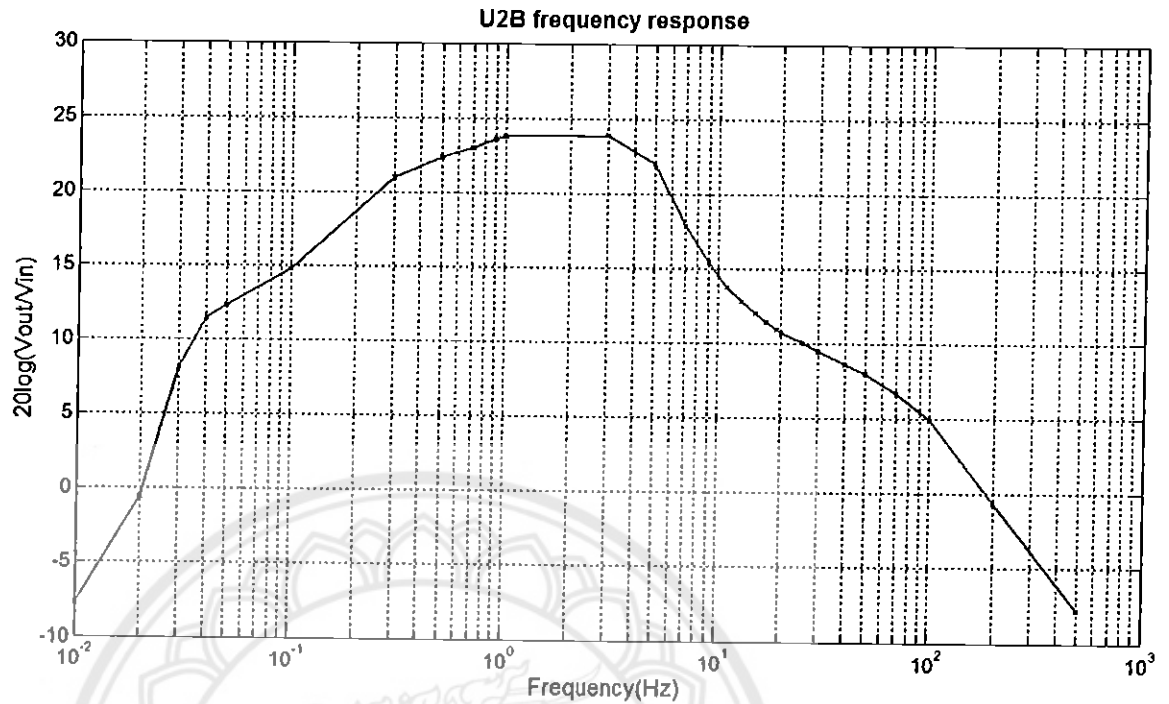
### ผลตอบสนองของอุปกรณ์ Infrasonic detector

ตามรูปที่ 3.3 อินพุตคือตำแหน่ง C1, C2, C3 หรือ C4 ก็ได้ สัญญาณจะเข้าที่ขา 2 ของออปแอมป์ U1A และเอาต์พุตคือตำแหน่ง U2B สัญญาณจะออกที่ขา 14 ได้ผลตอบสนองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของอุปกรณ์ Infrasonic detector

| f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) | f (Hz) | Vin(V <sub>p-p</sub> ) | Vout(V <sub>p-p</sub> ) |
|--------|------------------------|-------------------------|--------|------------------------|-------------------------|
| 0.01   | 1.02                   | 420m                    | 11     | 1.02                   | 4.96                    |
| 0.02   | 1.02                   | 960m                    | 13     | 1.02                   | 4.48                    |
| 0.03   | 1.02                   | 2.60                    | 15     | 1.02                   | 4.08                    |
| 0.04   | 1.02                   | 3.80                    | 17     | 1.02                   | 3.80                    |
| 0.05   | 1.02                   | 4.20                    | 19     | 1.02                   | 3.60                    |
| 0.1    | 1.02                   | 5.60                    | 20     | 1.02                   | 3.52                    |
| 0.3    | 1.02                   | 11.40                   | 25     | 1.02                   | 3.24                    |
| 0.5    | 1.02                   | 13.40                   | 30     | 1.02                   | 3.04                    |
| 0.7    | 1.02                   | 14.40                   | 40     | 1.02                   | 2.76                    |
| 0.9    | 1.02                   | 15.40                   | 50     | 1.02                   | 2.56                    |
| 1      | 1.02                   | 15.80                   | 70     | 1.02                   | 2.20                    |
| 3      | 1.02                   | 16.00                   | 100    | 1.02                   | 1.80                    |
| 5      | 1.02                   | 12.80                   | 200    | 1.02                   | 952m                    |
| 7      | 1.02                   | 8.00                    | 500    | 1.02                   | 416m                    |
| 9      | 1.02                   | 6.00                    | -      | -                      | -                       |

กราฟผลตอบสนองของอุปกรณ์ Infrasonic detector ในภาคเอาต์พุตที่ตำแหน่ง U2B

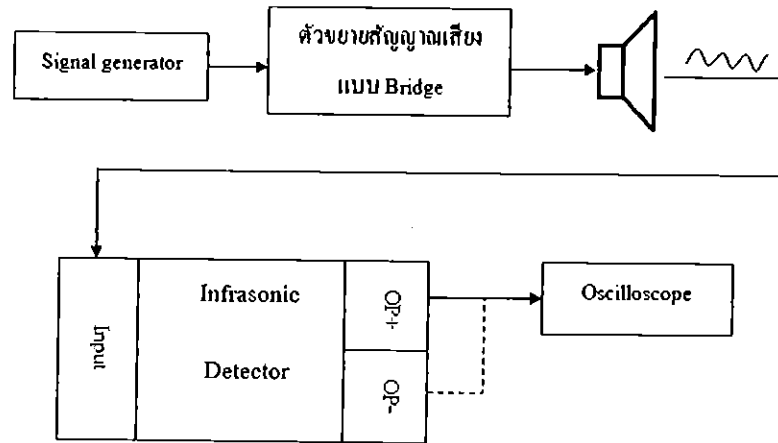


รูปที่ 4.31 ผลตอบสนองของอุปกรณ์ Infrasonic detector

จากรูปที่ 4.31 อินพุตคือตำแหน่ง C1, C2, C3 หรือ C4 ก็ได้ สัญญาณจะเข้าที่ขา 2 ของออปแอมป์ UA และเอาต์พุตคือตำแหน่ง U2B สัญญาณจะออกที่ขา 14 เป็นการวัดผลตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก

4.2.8 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกที่ผ่านการชดเชยผลของไมโครโฟนแล้ว (ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบ Bridge)

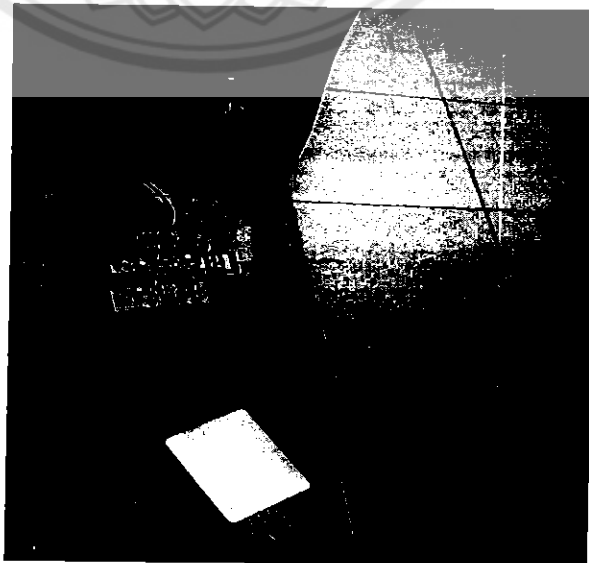
ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกนี้ ได้ทำการเปลี่ยนมาใช้ตัวขยายสัญญาณเสียงแบบ Bridge แทนเพราะว่าสามารถตอบสนองความถี่ต่ำได้ถึง 0.1 Hz ซึ่งจากเดิมใช้เครื่อง Stereo integrated amplifier ตอบสนองความถี่ต่ำได้เพียง 1 Hz เท่านั้นแสดงดังรูปที่ 4.4 และเปลี่ยนแหล่งกำเนิดสัญญาณจากเคินใช้โปรแกรม Scope เปลี่ยนมาใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) แทน แสดงการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 แสดงการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก

#### วิธีการทดลอง

1. ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับตัวขยายสัญญาณแบบ Bridge
2. จากนั้นต่อตัวขยายสัญญาณแบบ Bridge เข้าลำโพงที่เราจะนำมาทดสอบ
3. ให้ไมโครโฟนห่างจากลำโพง 20 cm. แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4.33
4. ป้อนความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 4.13 วัดค่า  $V_{out}$  โดยเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ทำการบันทึกผลที่ได้ กำหนดให้ลำโพงกระเพื่อมเท่ากันคือ 4 mm.
5. กลับไปทำข้อ 4 ใหม่แต่เปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟนกับลำโพงเป็น 50 และ 80 cm. ตามลำดับ



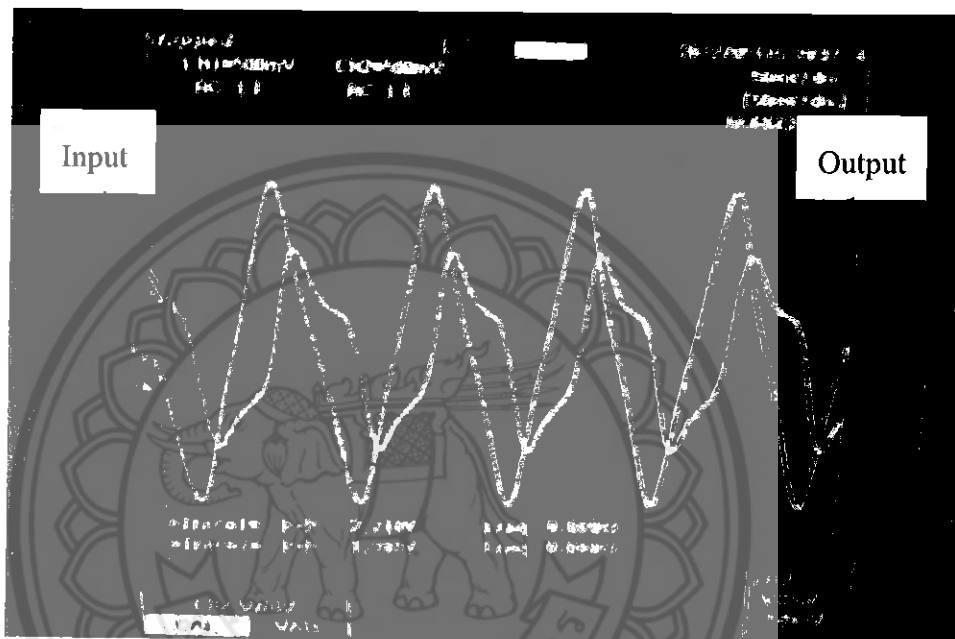
รูปที่ 4.33 ตัวอย่างแสดงลักษณะการวางไมโครโฟนห่างจากตัวลำโพง

การใช้ท่อ PVC เพื่อที่จะให้ลำโพงจ่ายคลื่นความถี่ต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะใช้เลื่อนขึ้นลงเพื่อกำหนดระยะห่างของไมโครโฟนกับดอกลำโพงในการรับคลื่นอินฟราโซนิก

#### ผลการทดลอง

รูปสัญญาณที่ได้จากการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกเป็นดังนี้

- ตัวอย่างสัญญาณทางเวลาที่ความถี่ 9 Hz



รูปที่ 4.34 สัญญาณทางเวลาที่ความถี่ 9 Hz โดยไมโครโฟนห่างจากลำโพงระยะ 50 cm.

โดยที่ Trace1 เป็นเอาต์พุต มี V/Div = 500 mV และ Time/Div = 50 ms

Trace2 เป็นอินพุต มี V/Div = 500 mV และ Time/Div = 50 ms

ตามที่แสดงการทำงานไว้ดังรูปที่ 4.34 สัญญาณที่อินพุต (Input) ทำการวัดจากเอาต์พุตของวงจร Summing ตามรูปที่ 3.3 เป็นสัญญาณที่ได้จากตัวไมโครโฟนรับสัญญาณเข้าผ่านวงจรรวมสัญญาณที่อยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก ส่วนสัญญาณเอาต์พุต (Output) ได้มาจากอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกในภาคเอาต์พุต (Op-amp U2B ขา 14)

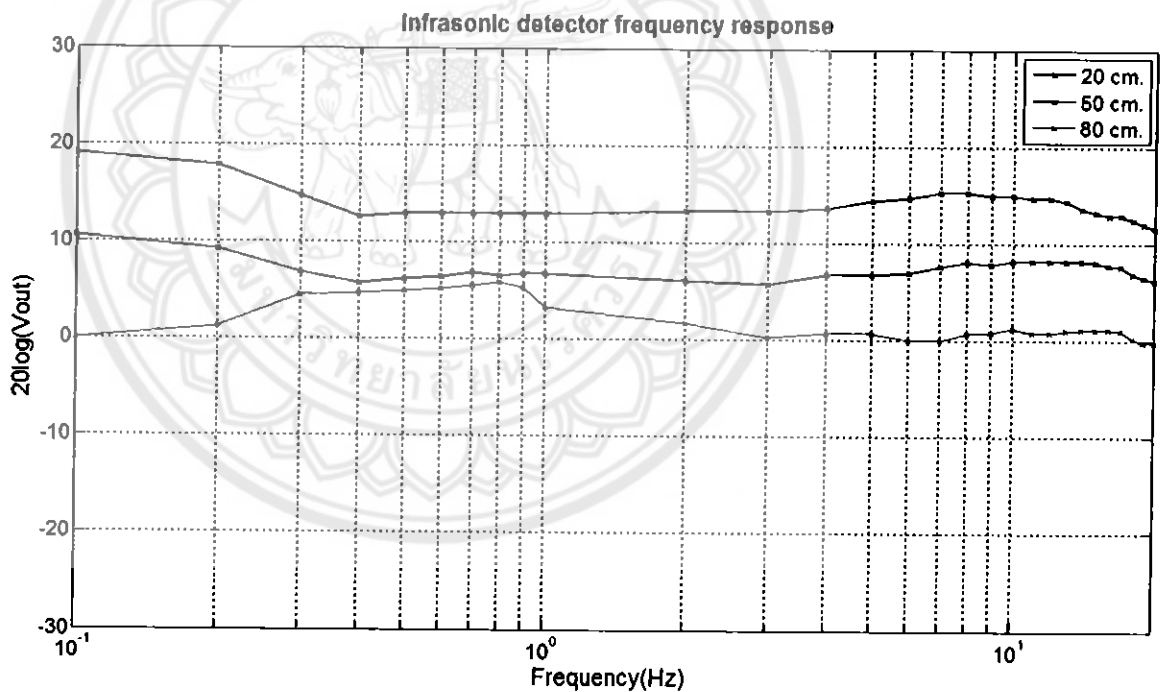


ตารางที่ 4.13 แสดง  $V_{out}$  ( $V_{p-p}$ ) ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิกโดยการชดเชยการตกของไมล์โครโฟน กำหนดให้ลำโพงกระเพื่อมเท่ากันคือ 4 mm. โดยที่ไมโครโฟนห่างจากลำโพงระยะ 20, 50 และ 80 cm.

| f (Hz) | Vout at 20 cm. | Vout at 50 cm | Vout at 80 cm |
|--------|----------------|---------------|---------------|
| 0.1    | 9.00           | 3.36          | 1.00          |
| 0.2    | 7.80           | 2.88          | 1.16          |
| 0.3    | 5.44           | 2.20          | 1.68          |
| 0.4    | 4.24           | 1.92          | 1.72          |
| 0.5    | 4.40           | 2.04          | 1.76          |
| 0.6    | 4.40           | 2.08          | 1.80          |
| 0.7    | 4.40           | 2.20          | 1.88          |
| 0.8    | 4.40           | 2.12          | 1.96          |
| 0.9    | 4.40           | 2.16          | 1.84          |
| 1      | 4.40           | 2.16          | 1.46          |
| 2      | 4.60           | 2.00          | 1.22          |
| 3      | 4.60           | 1.92          | 1.02          |
| 4      | 4.80           | 2.16          | 1.08          |
| 5      | 5.20           | 2.16          | 1.08          |
| 6      | 5.40           | 2.24          | 1.00          |
| 7      | 5.80           | 2.40          | 1.00          |
| 8      | 5.80           | 2.52          | 1.08          |
| 9      | 5.60           | 2.48          | 1.10          |
| 10     | 5.60           | 2.56          | 1.16          |
| 11     | 5.40           | 2.56          | 1.10          |
| 12     | 5.40           | 2.56          | 1.10          |
| 13     | 5.20           | 2.56          | 1.12          |
| 14     | 4.80           | 2.56          | 1.14          |

| f (Hz) | Vout at 20 cm. | Vout at 50 cm | Vout at 80 cm |
|--------|----------------|---------------|---------------|
| 15     | 4.60           | 2.52          | 1.14          |
| 16     | 4.40           | 2.44          | 1.14          |
| 17     | 4.40           | 2.40          | 1.12          |
| 18     | 4.20           | 2.20          | 1.02          |
| 19     | 4.00           | 2.12          | 980m          |
| 20     | 3.80           | 2.04          | 980m          |

กราฟผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ  $V_{out}$  ( $V_{pp}$ ) กำหนดให้ลำโพงกระเพื่อมเท่ากันคือ 4 mm. โดยไมโครโฟนกับลำโพงห่างกัน 20, 50 และ 80 cm



รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ  $V_{out}$  ( $V_{pp}$ ) โดยไมโครโฟนกับลำโพงห่างกัน 20, 50 และ 80 cm.

จากรูปที่ 4.35 เครื่องตรวจจับคลื่นอินฟราโซนิก (Infrasonic detector) สามารถวัดสัญญาณความถี่ต่ำสุดได้ถึง 0.1 Hz จนถึง 20 Hz จากที่ได้ทำการชดเชยไมโครโฟน และส่งผลให้สัญญาณรบกวนที่เข้านั้นน้อยลงไปด้วยทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูป Sine wave ในส่วนของสัญญาณความถี่ต่ำกว่า 1 Hz ไม่ค่อยเป็น Sine wave อาจเกิดจากสัญญาณรบกวนภายในตัวอุปกรณ์เอง

เมื่อมีการเพิ่มระยะไมโครโฟนมากขึ้นจะเกิดการลดทอนของสัญญาณขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถปรับ DIP Switch เพื่อที่จะเพิ่มอัตรายายให้กับสัญญาณที่เข้ามาได้



## บทที่ 5

### สรุปผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปการดำเนินการที่ได้ทำไป ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ แนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการดำเนินงานที่ดีขึ้น

#### 5.1 สรุปผลของโครงการ

จากการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิก โดยใช้หลักการและทฤษฎีทางวิศวกรรม ทำให้โครงการประสบความสำเร็จได้ตามเป้าหมาย จากการทดลองใช้ไมโครโฟน WM-61A ทำการรับสัญญาณเสียงเข้ามา ผ่านวงจรกรองความถี่รวมถึงวงจรอินทิเกรเตอร์ ซึ่งสามารถวัดคลื่นอินฟราโซนิกได้ตามผลการทดลอง ถึงแม้ว่าความสามารถในการรับช่วงความถี่อินฟราโซนิกจะอยู่ช่วงสั้นๆ ประมาณ 1 m. จากลำโพงก็ตาม แต่ประสิทธิภาพที่สามารถรับช่วงความถี่ธรรมชาติทำได้ไกลกว่านั้น จากผลการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงเป็นลำโพงซบวฟเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงของไมโครโฟนที่ห่างจากตัวลำโพงนั้น ยิ่งไกลจากลำโพงมากเท่าใด ความสามารถของอุปกรณ์จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากความสามารถของตัวไมโครโฟน WM-61A ด้วย จากการที่ตัวไมโครโฟนตอบสนองในช่วง 20-10,000 Hz ได้ดีกว่าในช่วง 0.1-20 Hz นั้นเอง

การทดสอบประสิทธิภาพของ Power Amplifier ในตัวที่เราใช้เป็นตัวขยายสัญญาณตามท้องตลาดต่างๆ ไป ซึ่งผลที่ได้คือตัวขยายสัญญาณไม่ตอบสนองที่ความถี่ต่ำกว่า 1 Hz จึงได้สร้างตัวขยายสัญญาณขึ้นเอง โดยใช้ไอซี Power Amplifier เบอร์ TDA7294 ทำการต่อวงจรแบบ BRIDGE ผลที่ได้คือตัวขยายสัญญาณตอบสนองได้ถึง 0.1 Hz เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวขยายสัญญาณ ทำให้ทราบถึงความสามารถของไมโครโฟนได้

การทดสอบการตอบสนองของไมโครโฟน เราทำการป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณผ่านเข้าตัว Power Amplifier แล้วออกลำโพง จากนั้นนำไมโครโฟนไปวัดที่ลำโพง ผลการตอบสนองของตัวไมโครโฟน WM-61A ที่ความถี่ 12-0.1 Hz ตกลงประมาณ 45 dB ซึ่งในตัวอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิกได้ทำการชดเชยในส่วนของไมโครโฟนแล้ว

## 5.2 ปัญหาที่พบ

### 5.2.1 ปัญหาทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง

1. ลำโพงที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์มีขนาดเล็ก จึงได้ซึ่งลำโพงขนาดใหญ่ที่มีราคาสูง
2. ความสามารถของลำโพงถูกจำกัด
3. ประสิทธิภาพการทำงานของลำโพงไม่สูงมากนัก เนื่องจากลำโพงที่มีขนาดเล็ก

### 5.2.2 ปัญหาทางด้านตัวขยายสัญญาณ

1. ประสิทธิภาพของตัวขยายสัญญาณมีจำกัด
2. ในการใช้งานตัวขยายสัญญาณเกิดความร้อนที่สูงมาก ทำให้การใช้งานในแต่ละครั้งมีเวลาที่จำกัด

### 5.2.3 ปัญหาทางด้านไมโครโฟน

1. ความสามารถของไมโครโฟนมีจำกัด
2. ไมโครโฟนที่ตอบสนองสัญญาณเสียงในช่วงคลื่นเสียงอินฟราโซนิกมีราคาที่สูงมาก
3. ไมโครโฟนที่ดีๆ ส่วนใหญ่ในประเทศไม่มีขาย ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศซึ่งก็ต้องใช้เวลาในการสั่งซื้อในแต่ละครั้ง

## 5.3 แนวทางแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะ

### 5.3.1 แก้ไขปัญหาทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง

1. ควรใช้ลำโพงขนาดใหญ่ๆ จะได้ผลการทดลองที่ดีขึ้นตามนั้นหมายถึงการเพิ่มงบประมาณในการจัดซื้อขึ้นอีกซึ่งก็มีราคาที่สูงพอสมควร
2. ในการเพิ่มขีดความสามารถของลำโพงให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของเรานั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาทางด้านกรออกแบบลำโพงที่ดีและให้มีประสิทธิภาพ
3. เปลี่ยนไปใช้ลำโพงที่มีขนาดใหญ่กว่า เพื่อจะได้ประสิทธิภาพในการวัดสัญญาณเสียงที่ดีขึ้น

### 5.3.2 แก้ไขปัญหาทางด้านตัวขยายสัญญาณ

1. เนื่องจากประสิทธิภาพของตัวขยายสัญญาณมีจำกัด จึงจำเป็นต้องสร้างตัวขยายขึ้นมาใหม่โดยให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่เพิ่มขึ้นและตอบสนองกับช่วงสัญญาณเสียงที่เราใช้งาน หรือนำเอาตัวขยายสัญญาณเดิมที่เรามี ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด มาแก้ไข

- ความถี่คัตออฟ (cut-off frequency) ให้ตอบสนองในช่วงความถี่ที่เราใช้งาน
2. ความร้อนที่สูงมาจากตัวขยายสัญญาณนั้น อาจแก้ไข โดยการเปลี่ยนขนาดของฮีทซิงค์ระบายความร้อน (Heat sink) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

### 5.3.3 แก้ไขปัญหาทางด้านไมโครโฟน

1. ควรลองเปลี่ยนไปใช้ตัวไมโครโฟนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 2 นิ้ว เพื่อให้การรับสัญญาณเสียงได้ดีขึ้น
2. ถ้าต้องการใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับสัญญาณเสียงจริงๆ ควรใช้ไมโครโฟนที่ตอบสนองสัญญาณเสียงในช่วงคลื่นเสียงอินฟราโซนิกดีกว่า นั่นก็ต่อเพิ่มงบประมาณในการจัดซื้อขึ้นด้วย
3. ลองเปลี่ยนตัวรับสัญญาณเสียงใหม่จากเดิมที่ใช้ไมโครโฟน เปลี่ยนไปใช้อย่างอื่นแทน

### 5.4 แนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติม

1. พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นอินฟราโซนิกให้แสดงผลและเก็บบันทึกผลต่างๆ ไว้ในคอมพิวเตอร์โดยตรง
2. ลองเพิ่มจำนวนไมโครโฟนจากเดิมใช้ 4 ตัว ลองใช้เป็น 8, 12, 16 ตัวตามลำดับ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสัญญาณเสียง
3. อาจใช้วงจรพารามตริก อีครอไลเซอร์ (Parametric EQ) ที่จะใช้ในการกรองความถี่ที่ไม่จำเป็นออก

## เอกสารอ้างอิง

- Donald P. Leach. (1992). *Discrete and Integrated Circuit Electronics*. Santa Clara University.
- P. J. McChesney . (2002). *Description of Four Microphone Infrasonic Summing Amplifier*.  
Volcanology research., The University of New Hampshire. Retrieved June 29, 2011,  
<http://volcanomodels.sr.unh.edu/jbj/MICROPHONES/PMC4.pdf>
- ผู้จัดการออนไลน์. (2005). เครื่องตรวจจับแผ่นดินไหวได้สมุทร. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
[http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?ID=31312](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=31312)
- น.สพ. กานต์ เลขะกุล. (พฤษภาคม 2551). ชมรมสัตวแพทย์สัตว์ป่าและสวนสัตว์แห่งประเทศไทย.  
หมึแพนด้ารู้ล่วงหน้าว่าจะเกิดแผ่นดินไหวหรือไม่?. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
<http://zoowildlifevet.com/?p=223>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (มีนาคม 2555). ตัวตื้นทาน. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (มีนาคม 2555). ตัวเก็บประจุ. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B9%87%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%B8>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (มีนาคม 2555). แผ่นดินไหว. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A7>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (มีนาคม 2555). ไดโอด. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2554, จาก  
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B8%94>

ภาคผนวก

Microphone WM-61A

**Panasonic**

Microphone Cartridges

**Omnidirectional Back Electret  
Condenser Microphone Cartridge**

Series **WM-61A**  
**WM-61B** (pin type)



■ Features

- Small microphones for general use
- Back electret type designed for high resistance to vibrations, high signal-to-noise ratio
- High sensitivity type
- Microphone with pins for flexible PCB (WM-61B type)

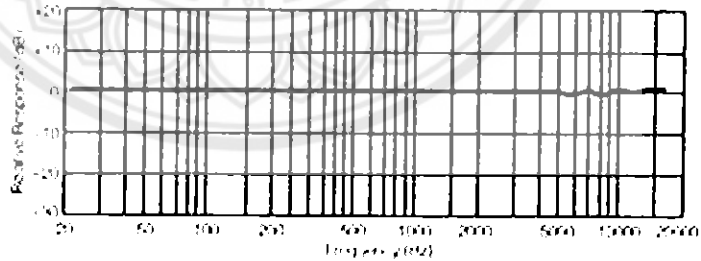
■ Sensitivity

$V_s = 2.0V$   
 $R_L = 2.2k\Omega$        $-35 \pm 4dB$

■ Specifications

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Sensitivity                | -35±4dB (0dB = 1V/pa, 1kHz) |
| Impedance                  | Less than 2.2kΩ             |
| Directivity                | Omnidirectional             |
| Frequency                  | 20-20,000 Hz                |
| Max. operation voltage     | 10V                         |
| Standard operation voltage | 2V                          |
| Current consumption        | Max. 0.5 mA                 |
| Sensitivity reduction      | Within -3 dB at 1.5V        |
| S/N ratio                  | More than 62 dB             |

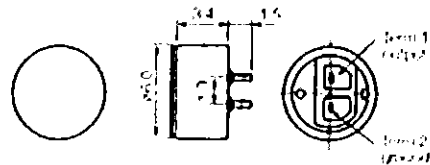
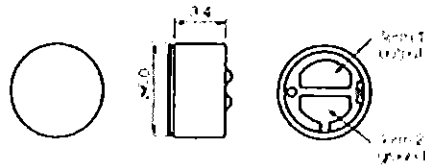
■ Typical Frequency Response Curve



■ Dimensions in mm (not to scale)

WM-61A

WM-61B



Design and specifications are subject to change without notice. Ask factory for technical specifications before purchase and/or use. Whenever a doubt about safety arises from this product, please contact us immediately for technical consultation.



LT1014

LT1014, LT1014A, LT1014D  
QUAD PRECISION OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEE 50392 - JULY 1989 - REVISED SEPTEMBER 1992

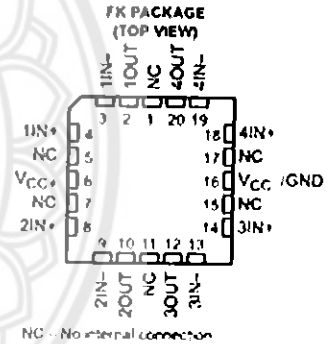
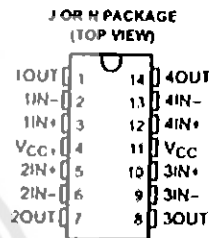
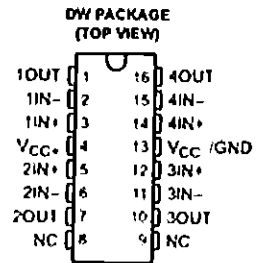
- **Single-Supply Operation:** Input Voltage Range Extends to Ground, and Output Swings to Ground While Sinking Current
- **Input Offset Voltage 300  $\mu$ V Max at 25°C for LT1014**
- **Offset Voltage Temperature Coefficient 2.5  $\mu$ V/°C Max for LT1014**
- **Input Offset Current 1.5 nA Max at 25°C for LT1014**
- **High Gain 1.2 V/ $\mu$ V Min ( $R_L = 2$  k $\Omega$ ), 0.5 V/ $\mu$ V Min ( $R_L = 600 \Omega$ ) for LT1014**
- **Low Supply Current 2.2 mA Max at 25°C for LT1014**
- **Low Peak-to-Peak Noise Voltage 0.55  $\mu$ V Typ**
- **Low Current Noise 0.07 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  Typ**

description

The LT1014, LT1014A, and LT1014D are quad precision operational amplifiers with 14-pin industry-standard configuration. They feature low offset-voltage temperature coefficient, high gain, low supply current, and low noise.

The LT1014, LT1014A, and LT1014D can be operated with both dual  $\pm 15$ -V and single 5-V power supplies. The common-mode input voltage range includes ground, and the output voltage can also swing to within a few millivolts of ground. Crossover distortion is eliminated.

The LT1014C and LT1014 AC are characterized for operation from 0°C to 70°C. The LT1014I and LT1014DI are characterized for operation from -40°C to 105°C. The LT1014M, LT1014AM and LT1014DM are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.



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

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



POST OFFICE BOX 655063 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1992, Texas Instruments Incorporated

ICL7660

**intersil****ICL7660, ICL7660A**

Data Sheet

April 1999

File Number 3072.4

**CMOS Voltage Converters**

The Intersil ICL7660 and ICL7660A are monolithic CMOS power supply circuits which offer unique performance advantages over previously available devices. The ICL7660 performs supply voltage conversions from positive to negative for an input range of +1.5V to +10.0V resulting in complementary output voltages of -1.5V to -10.0V and the ICL7660A does the same conversions with an input range of +1.5V to +12.0V resulting in complementary output voltages of -1.5V to -12.0V. Only 2 noncritical external capacitors are needed for the charge pump and charge reservoir functions. The ICL7660 and ICL7660A can also be connected to function as voltage doublers and will generate output voltages up to +18.6V with a +10V input.

Contained on the chip are a series DC supply regulator, RC oscillator, voltage level translator, and four output power MOS switches. A unique logic element senses the most negative voltage in the device and ensures that the output N-Channel switch source-substrate junctions are not forward biased. This assures latchup free operation.

The oscillator, when unloaded, oscillates at a nominal frequency of 10kHz for an input supply voltage of 5.0V. This frequency can be lowered by the addition of an external capacitor to the 'OSC' terminal, or the oscillator may be overdriven by an external clock.

The 'LV' terminal may be tied to GROUND to bypass the internal series regulator and improve low voltage (LV) operation. At medium to high voltages (+3.5V to +10.0V for the ICL7660 and +3.5V to +12.0V for the ICL7660A), the LV pin is left floating to prevent device latchup.

**Ordering Information**

| PART NO.      | TEMP. RANGE (°C) | PACKAGE                        | PKQ. NO. |
|---------------|------------------|--------------------------------|----------|
| ICL7660CBA    | 0 to 70          | 8 Ld SOIC (N)                  | M8 15    |
| ICL7660CBA-T  | 0 to 70          | 8 Ld SOIC (N)<br>Tape and Reel | M8 15    |
| ICL7660CPA    | 0 to 70          | 8 Ld PDIP                      | E8 3     |
| ICL7660M1V1   | 0 to 70          | 8 Pin Metal Can                | T8 C     |
| ICL7660ACBA   | 0 to 70          | 8 Ld SOIC (N)                  | M8 15    |
| ICL7660ACBA-T | 0 to 70          | 8 Ld SOIC (N)<br>Tape and Reel | M8 15    |
| ICL7660ACPA   | 0 to 70          | 8 Ld PDIP                      | E8 3     |
| ICL7660A1BA   | -40 to 85        | 8 Ld SOIC (N)                  | M8 15    |
| ICL7660A1BA-T | -40 to 85        | 8 Ld SOIC (N)<br>Tape and Reel | M8 15    |
| ICL7660A1PA   | -40 to 85        | 8 Ld PDIP                      | E8 3     |

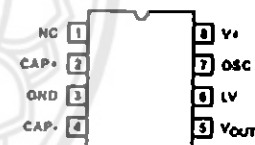
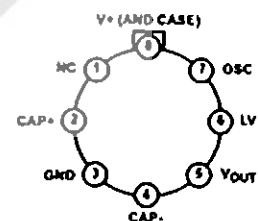
† Add .883B to part number if 883B processing is required

**Features**

- Simple Conversion of +5V Logic Supply to ±5V Supplies
- Simple Voltage Multiplication ( $V_{OUT} = (-) nV_{IN}$ )
- Typical Open Circuit Voltage Conversion Efficiency 99.9%
- Typical Power Efficiency 98%
- Wide Operating Voltage Range
  - ICL7660 ..... 1.5V to 10.0V
  - ICL7660A ..... 1.5V to 12.0V
- ICL7660A 100% Tested at 3V
- Easy to Use - Requires Only 2 External Non-Critical Passive Components
- No External Diode Over Full Temp. and Voltage Range

**Applications**

- On Board Negative Supply for Dynamic RAMs
- Localized  $\mu$ Processor (8080 Type) Negative Supplies
- Inexpensive Negative Supplies
- Data Acquisition Systems

**Pinouts**ICL7660, ICL7660A (PDIP, SOIC)  
TOP VIEWICL7660 (METAL CAN)  
TOP VIEW

LT1355

LT1355/LT1356

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (Note 1)

|   |            |  |                |
|---|------------|--|----------------|
| Total Supply Voltage ( $V^+$ to $V^-$ ) .....                 | 36V        | Operating Temperature Range (Note 7) ..    | -40°C to 85°C  |
| Differential Input Voltage<br>(Transient Only) (Note 2) ..... | $\pm 10V$  | Specified Temperature Range (Note 8) ...   | -40°C to 85°C  |
| Input Voltage .....   | $\pm V_S$  | Maximum Junction Temperature (See Below)   |                |
| Output Short-Circuit Duration (Note 3) .....                  | Indefinite | Plastic Package .....                      | 150°C          |
|   |            | Storage Temperature Range .....            | -65°C to 150°C |
|   |            | Lead Temperature (Soldering, 10 sec) ..... | 300°C          |

**PACKAGE/ORDER INFORMATION**

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <p>TOP VIEW</p> <p>OUT A 1, -IN A 2, +IN A 3, V 4, 8 V+, 7 OUT B, 6 -IN B, 5 +IN B</p> <p>N8 PACKAGE<br/>8 LEAD PDIP</p> <p><math>T_{J(MAX)} = 150^\circ C, \theta_{JA} = 130^\circ C/W</math></p>   | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1355CN8</p> | <p>TOP VIEW</p> <p>OUT A 1, -IN A 2, +IN A 3, V 4, 8 V+, 7 OUT B, 6 -IN B, 5 +IN B</p> <p>S8 PACKAGE<br/>8 LEAD PLASTIC SO</p> <p><math>T_{J(MAX)} = 150^\circ C, \theta_{JA} = 190^\circ C/W</math></p>   | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1355CS8</p> |
|  |   | <p>S8 PART MARKING</p> <p>1355</p>   |   |
| <p>TOP VIEW</p> <p>OUT A 1, -IN A 2, +IN A 3, V+ 4, +IN B 5, -IN B 6, OUT B 7, 14 OUT D, 13 -IN D, 12 +IN D, 11 V-, 10 +IN C, 9 -IN C, 8 OUT C</p> <p>N PACKAGE<br/>14-LEAD PDIP</p> <p><math>T_{J(MAX)} = 150^\circ C, \theta_{JA} = 110^\circ C/W</math></p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1356CN</p>  | <p>TOP VIEW</p> <p>OUT A 1, -IN A 2, +IN A 3, V+ 4, +IN B 5, -IN B 6, OUT B 7, 16 OUT D, 15 -IN D, 14 +IN D, 13 V-, 12 +IN C, 11 -IN C, 10 OUT C, 9 NC, 8 NC</p> <p>S PACKAGE<br/>16-LEAD PLASTIC SO</p> <p><math>T_{J(MAX)} = 150^\circ C, \theta_{JA} = 150^\circ C/W</math></p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1356CS</p>  |

Consult factory for Industrial and Military grade parts.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**  $T_A = 25^\circ C, V_{CM} = 0V$  unless otherwise noted.

| SYMBOL   | PARAMETER            | CONDITIONS         | $V_{SUPPLY}$            | MIN | TYP | MAX | UNITS           |
|----------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----------------|
| $V_{OS}$ | Input Offset Voltage |                    | $\pm 15V$               | 0.3 | 0.8 |     | mV              |
|          |                      |                    | $\pm 5V$                | 0.3 | 0.8 |     | mV              |
|          |                      |                    | $\pm 2.5V$              | 0.4 | 1.0 |     | mV              |
| $I_{OS}$ | Input Offset Current |                    | $\pm 2.5V$ to $\pm 15V$ | 20  | 70  |     | nA              |
| $I_B$    | Input Bias Current   |                    | $\pm 2.5V$ to $\pm 15V$ | 80  | 300 |     | nA              |
| $e_n$    | Input Noise Voltage  | $f = 10kHz$        | $\pm 2.5V$ to $\pm 15V$ |     | 10  |     | nV/ $\sqrt{Hz}$ |
| $i_n$    | Input Noise Current  | $f = 10kHz$        | $\pm 2.5V$ to $\pm 15V$ |     | 0.6 |     | pA/ $\sqrt{Hz}$ |
| $R_{IN}$ | Input Resistance     | $V_{CM} = \pm 12V$ | $\pm 15V$               | 70  | 160 |     | M $\Omega$      |
|          | Input Resistance     | Differential       | $\pm 15V$               |     | 11  |     | M $\Omega$      |
| $C_{IN}$ | Input Capacitance    |                    | $\pm 15V$               |     | 3   |     | pF              |



LP2951

Connection Diagrams

TO-92 Plastic Package (Z)

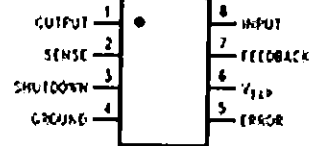


Bottom View

TL/M 8544-2

Order Number LP2950ACZ-3.0, LP2950CZ-3.0,  
LP2950ACZ-3.3, LP2950CZ-3.3 LP2950ACZ-5.0  
or LP2950CZ-5.0  
See NS Package Number Z03A

Dual-In-Line Packages (N, J)  
Surface-Mount Package (M)



Top View

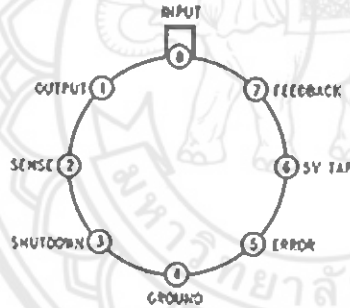
TL/M 8544-24

Order Number LP2951CJ, LP2951ACJ, LP2951J,  
LP2951J/883 or 5962-3870501MPA  
See NS Package Number J08A

Order Number LP2951ACN, LP2951CN, LP2951ACN-3.0,  
LP2951CN-3.0, LP2951ACN-3.3 or LP2951CN-3.3  
See NS Package Number N08E

Order Number LP2951ACM, LP2951CM,  
LP2951ACM-3.0, LP2951CM-3.0,  
LP2951ACM-3.3 or LP2951CM-3.3  
See NS Package Number M08A

Metal Can Package (H)

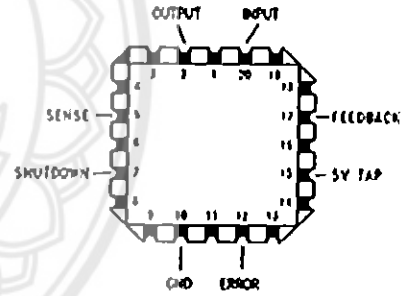


Top View

TL/M 8544-13

Order Number LP2951H/883 or  
5962-3870501MGA  
See NS Package Number H08C

Leadless Chip Carrier (E)



Top View

TL/M 8544-24

Order Number LP2951E/883 or 5962-3870501M2A  
See NS Package Number E20A

P6KE6V8(C)A

P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A



## Transient Voltage Suppressors P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A

### Features

- Glass passivated junction.
- 600W Peak Pulse Power capability at 1.0 ms.
- Excellent clamping capability.
- Low incremental surge resistance.
- Fast response time; typically less than 1.0 ps from 0 volts to BV for unidirectional and 5.0 ns for bidirectional.
- Typical  $I_{r}$  less than 1.0  $\mu$ A above 10V.



**DO-15**  
COLOR BAND DENOTES CATHODE  
ON UNIDIRECTIONAL DEVICES ONLY. NO  
COLOR BAND ON BIDIRECTIONAL DEVICES

### DEVICES FOR BIPOLAR APPLICATIONS

- Bidirectional types use CA suffix.
- Electrical Characteristics apply in both directions.

## 600 Watt Transient Voltage Suppressors

### Absolute Maximum Ratings<sup>\*</sup> $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

| Symbol    | Parameter   | Value       | Units            |
|-----------|---|-------------|------------------|
| $P_{PPM}$ | Peak Pulse Power Dissipation at $T_p=1\text{ms}$  | 600         | W                |
| $I_{PPM}$ | Peak Pulse Current  | see table   | A                |
| $P_D$     | Power Dissipation<br>375 $\mu$ lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$                           | 5.0         | W                |
| $I_{FSM}$ | Non-repetitive Peak Forward Surge Current<br>superimposed on rated load (JEDEC method) (Note 1) | 100         | A                |
| $T_{stg}$ | Storage Temperature Range   | -65 to +175 | $^\circ\text{C}$ |
| $T_J$     | Operating Junction Temperature  | + 175       | $^\circ\text{C}$ |

<sup>\*</sup> These ratings are limiting values above which the service ability of any semiconductor device may be impaired.  
Note 1: Measured on 8.3 ms single half-sine wave. Duty cycle = 4 pulses per minute maximum.

TDA7294

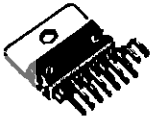


TDA7294

100V - 100W DMOS AUDIO AMPLIFIER WITH MUTE/ST-BY

- VERY HIGH OPERATING VOLTAGE RANGE ( $\pm 40V$ )
- DMOS POWER STAGE
- HIGH OUTPUT POWER (UP TO 100W MUSIC POWER)
- MUTING/STAND-BY FUNCTIONS
- NO SWITCH ON/OFF NOISE
- NO BOUCHEROT CELLS
- VERY LOW DISTORTION
- VERY LOW NOISE
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- THERMAL SHUTDOWN

**MULTIPOWER BCD TECHNOLOGY**



**Multiwatt15**  
ORDERING NUMBER: TDA7294V

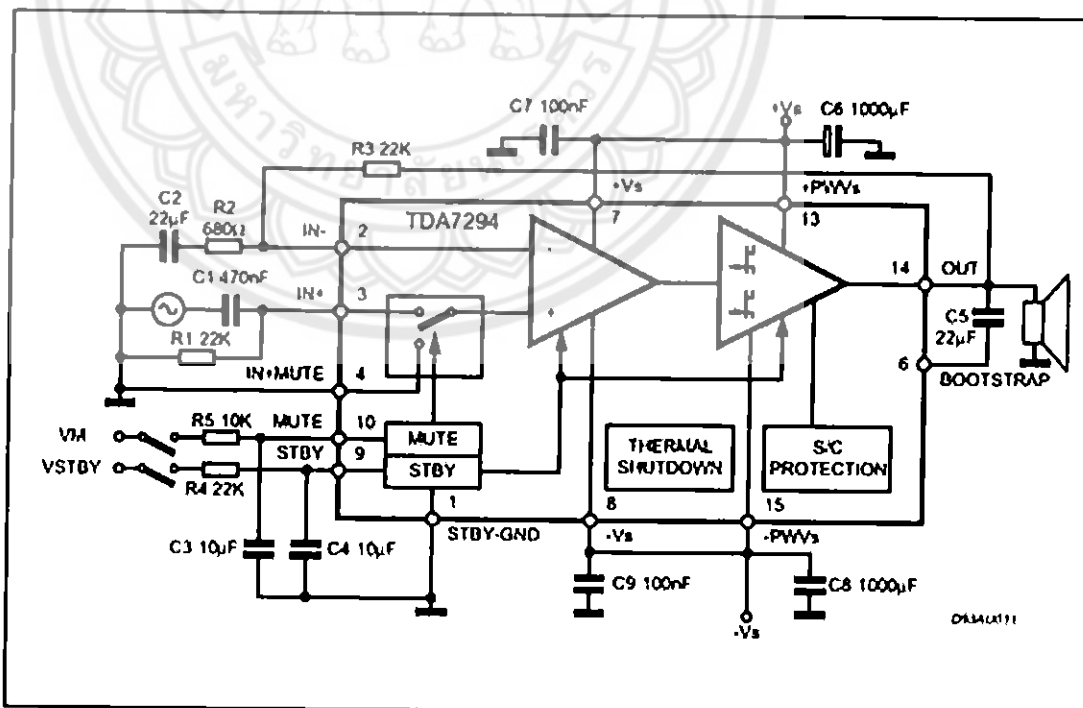
**DESCRIPTION**

The TDA7294 is a monolithic integrated circuit in Multiwatt15 package, intended for use as audio class AB amplifier in Hi-Fi field applications (Home Stereo, self powered loudspeakers, Top-class TV). Thanks to the wide voltage range and

to the high out current capability it is able to supply the highest power into both 4 $\Omega$  and 8 $\Omega$  loads even in presence of poor supply regulation, with high Supply Voltage Rejection.

The built in muting function with turn on delay simplifies the remote operation avoiding switching on-off noises.

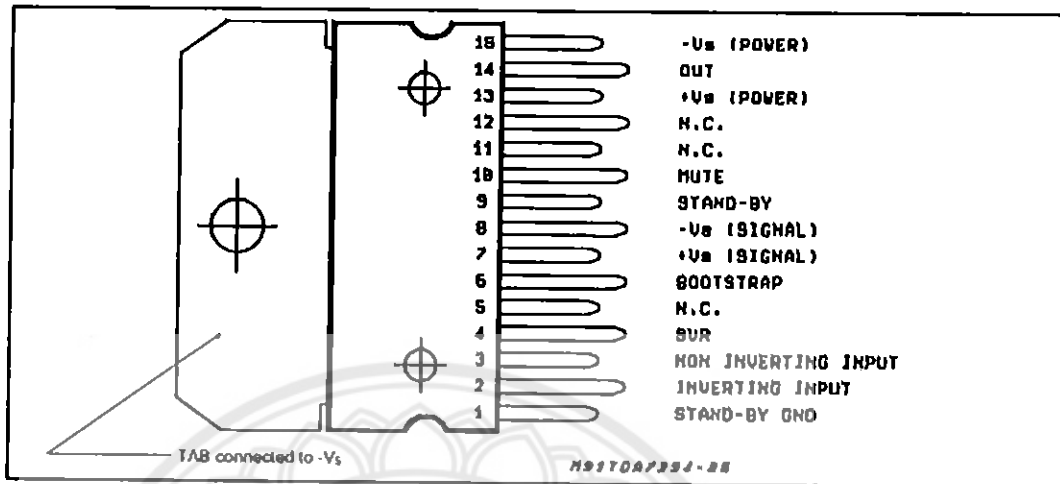
Figure 1: Typical Application and Test Circuit



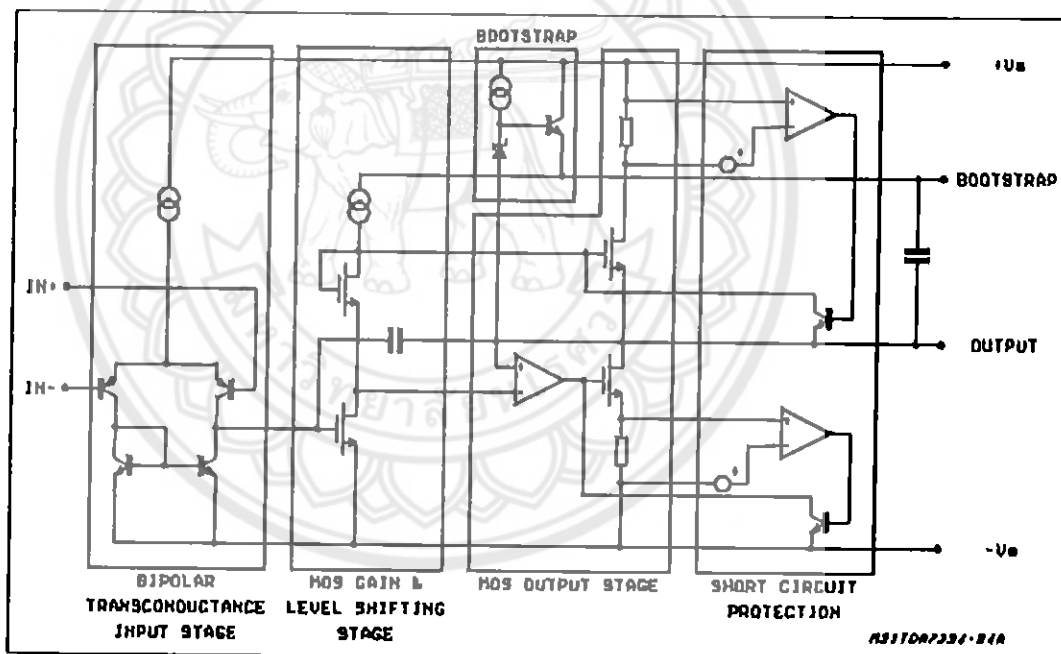
TDA7294 (T0)

TDA7294

PIN CONNECTION (Top view)



BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol         | Parameter                                 | Value     | Unit       |
|----------------|---|-----------|------------|
| $V_s$          | Supply Voltage (No Signal)                | $\pm 150$ | V          |
| $I_o$          | Output Peak Current                       | 10        | A          |
| $P_{tot}$      | Power Dissipation $T_{case} = 70^\circ C$ | 50        | W          |
| $T_{op}$       | Operating Ambient Temperature Range       | 0 to 70   | $^\circ C$ |
| $T_{stg}, T_j$ | Storage and Junction Temperature          | 150       | $^\circ C$ |





TDA7294 (ต่อ)

TDA7294

Figure 26: Frequency Response of the Bridge Application

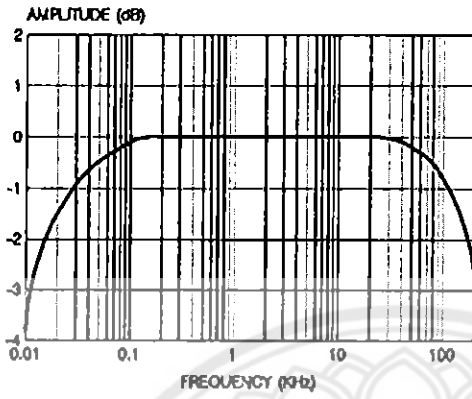


Figure 27: Distortion vs. Output Power

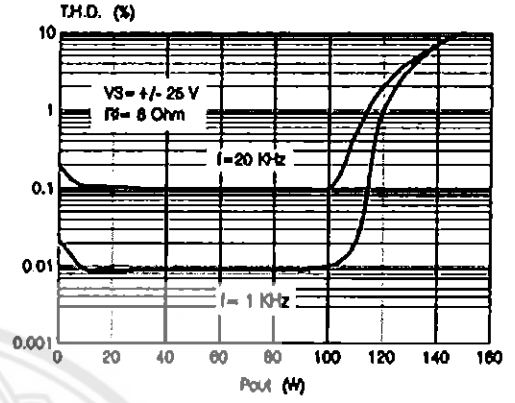


Figure 28: Distortion vs. Output Power

