ลำโพงระบบไอพีสำหรับใช้ในบ้าน
IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ลำโพงระบบไอพีสำหรับใช้ในบ้าน

IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE

วรเมธ นันธิษา

WORAMATE NANTISA

TB00072
b.00264925
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE

WORAMATE NANTISA

THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ลำโพงระบบไอพีสำหรับใช้ในบ้าน
Thesis Title	IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE
ชื่อนักศึกษา	นายวรเมธ นันธิษา
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา	2559

(.....)

ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ลำโพงระบบไอพีสำหรับใช้ในบ้าน
Thesis Title	IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE
ชื่อนักศึกษา	นายวรเมธ นันธิษา รหัสนักศึกษา 56011064
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการสร้างลำโพงระบบไอพีสำหรับใช้ในบ้าน และพัฒนาลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็ก เพื่อที่จะนำมาทำเป็นลำโพงสเตอริโอเพื่อใช้งานร่วมกับระบบไอพีที่นำมาใช้ควบคู่กับลำโพง การทำงานของลำโพงระบบไอพีนี้ เริ่มแรกก็จะทำการเชื่อมต่อโมเด็มเราท์เตอร์ (Modem router) เข้าตัวรับสัญญาณข้อมูลซึ่งก็คือ บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry pi) เพื่อที่จะได้ควบคุมบอร์ดราสเบอรี่พายจากคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนได้ เมื่อบอร์ดได้รับคำสั่งหรือข้อมูลจากคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน บอร์ดราสเบอร์รี่พายก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปที่เครื่องขยายเสียงและลำโพงต่อไปตามลำดับ ซึ่งโครงงานนี้ก็ยังได้ทำการทดลองลำโพงอีกด้วยเพื่อที่จะหาลำโพงที่เหมาะกับการใช้งานภายในบ้านและเป็นลำโพงที่ให้เสียงไพเราะเพื่อจะให้เกิดความบันเทิงกับผู้ฟังอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE		
Student	Mr.Woramate Nantisa	Student ID.	56011064
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Information Engineering		
Department	Computer Engineering		
Academic Year	2016		
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dolchai Sookcharoenphol		

ABSTRACT

This thesis presents an IP Loudspeaker System for home entertainment with useful in small room. The proposed system consists of two main parts. First part is WIFI and raspberry pi receiver, and the other part is a small subwoofer with 6 lites of air volume and mid-high frequency drivers for reproduced Hi-Fi stereo sound. In additional, the receiver will make a connection path between modem router and raspberry pi which controlled by a computer or smartphone. When raspberry pi received the packet data of sound stream from a computer or smartphone, then the data is converted by DAC inside the raspberry pi before transfer to a digital amplifier and loudspeaker, respectively. This project can also extending to useful for Multiple room application in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สามารถทำสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากได้รับการสนับสนุนจากทุกภาคส่วน โดยในส่วนแรกต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล ที่คอยให้คำปรึกษาในด้านการทำปริญญานิพนธ์และคอยแนะนำวิธีในการจัดการกับปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำงานซึ่งมีส่วนช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงผ่านไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยอบรมดูแลและให้การสนับสนุนในด้านการศึกษานอกจากนี้ยังคอยเป็นกำลังใจให้ไนยามเหนื่อยท้อแท้หมดกำลังทำให้งานทุกอย่างสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกคนที่คอยดูแลสถานที่และความปลอดภัยให้กับนักศึกษาทุกคน นอกจากนี้ยังคอย เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานในครั้งนี้

สุดท้ายก็ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนในภาควิศวกรรมสารสนเทศที่คอยให้คำปรึกษาต่างๆ คอยให้กำลังใจ ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งเช่นกันที่มาเติมเต็มให้การทำโครงงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วรเมธ นันธิษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและแนวคิดของโครงงาน 1
1.2 จุดประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 1
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ 1
1.5.1 ฮาร์ดแวร์ 2
1.5.2 ซอฟต์แวร์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน 4
2.1 ลำโพง 4
2.1.1 ส่วนประกอบลำโพง 4
2.1.2 ชนิดของลำโพง 5
2.1.3 หลักการทำงานของลำโพง 8
2.1.4 ตู้ลำโพง 9
2.2 องค์ประกอบรวม (lumped element) 11
2.2.1 องค์ประกอบรวมคืออะไร 11
2.2.2 องค์ประกอบรวมอะคูสติก (Acoustic lumped element) 12
2.2.3 การแยกเป็นตัวแปรที่ผ่านและตัวแปรที่ข้าม 13
2.2.4 สององค์ประกอบสุดท้าย 14
2.2.5 ค่าองค์ประกอบอะคูสติกและฟิสิกส์ 16
2.3 มาตรฐานของระบบเสียง 25
2.3.1 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ (Stereo) 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 ระบบเสียงแบบรอบทิศทาง (Surround) 29
2.4 วงจรเครื่องขยายเสียง (Amplifier) 29
2.4.1 คลาสของแอมป์ (Class Amplifier) 29
2.5 ประเภทของวงจรกรองความถี่ 34
2.5.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low – Pass Filters) 34
2.5.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High – Pass Filters) 35
2.5.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band – Pass Filters) 36
2.5.4 วงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน (Stop – Band Filters) 36
2.6 ระบบไอพีแอดเดรส (IP Address) 37
2.7 คอมพิวเตอร์จิ๋ว (Raspberry Pi 3) 38
2.7.1 ข้อมูลจำเพาะ (Specifications) 38
2.7.2 ส่วนประกอบ Raspberry Pi 3 39
2.8 ภาษาไพทอน (Python Programming Language) 40
2.8.1 จุดเด่นของภาษาไพทอน 40
2.8.2 ไพทอนในแพลตฟอร์มต่างๆ 40
2.8.3 ไลบรารีในไพทอน 41
2.8.4 การนำไปใช้งาน 42

บทที่ 3 การออกแบบ 43
3.1 ภาพรวมของโครงงาน 43
3.2 การออกแบบ 43
3.2.1 อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล 43
3.2.2 เครื่องขยายเสียง (Amplifier) 44
3.2.3 ลำโพง 46
3.2.3.1 โครงสร้างลำโพงซับวูฟเฟอร์ 47
3.2.4 ขั้นตอนการสร้างลำโพงซับวูฟเวอร์ 53
3.2.4.1 การเลือกใช้วัสดุทำลำโพง 53
3.2.4.2 การออกแบบลำโพง 53
3.2.4.2 การประกอบลำโพงซับวูฟเฟอร์ 54
3.3 การทดลอง 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การวิเคราะห์การแผ่กระจายเสียงของลำโพง....58

บทที่ 4 ผลการทดลอง....60

4.1 การเปรียบเทียบระดับการตอบสนองของลำโพง....60

4.2 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง....63

4.2.1 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A....63

4.2.2 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B....66

4.2.3 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C....66

บทที่ 5 สรุปผลโครงงาน อุปสรรค และข้อเสนอแนะ....72

5.1 สรุปผลโครงงาน....72

5.2 อุปสรรค....72

5.3 ข้อเสนอแนะ....72

เอกสารอ้างอิง....74

ภาคผนวก ก Poster และรูปผลงาน....76

ภาคผนวก ข คำสั่งบนหน้าต่าง Command ของโปรแกรม MATLAB....79

ภาคผนวก ค United States Patent Bose....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบของตัวแปรที่ผ่านและตัวแปรที่ข้าม 14
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ที่คล้ายกันของ v, i และ u 15
ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ในสัญญาณไซน์ที่มีสถานะคงที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของลำโพง 4
รูปที่ 2.2 ลำโพงฮอร์น 5
รูปที่ 2.3 ลำโพงไดนามิก 6
รูปที่ 2.4 ซับวูฟเฟอร์ 6
รูปที่ 2.5 วูฟเฟอร์ 7
รูปที่ 2.6 มิดเรนจ์ 7
รูปที่ 2.7 ทวีตเตอร์ 8
รูปที่ 2.8 ตู้ปิด 9
รูปที่ 2.9 ตู้เปิด 9
รูปที่ 2.10 ตู้แบนพาส 10
รูปที่ 2.11 ไอโซบาริค 11
รูปที่ 2.12 รูปของแรงที่กระทำบนบล็อก 11
รูปที่ 2.13 ความต้านทานไฟฟ้า 12
รูปที่ 2.14 คลื่นนิ่ง P และ V ในท่อยาวสิ้นสุดที่ x=0 12
รูปที่ 2.15 ท่อวงกลมสั้น รัศมี a 12
รูปที่ 2.16 ตัวแปรที่ผ่านและตัวแปรที่ข้ามบนองค์ประกอบ 13
รูปที่ 2.17 องค์ประกอบทางไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้นตอน 14
รูปที่ 2.18 ความคล้ายกันเชิงกล (Mechanical) ความคล้ายกันแบบอะคูสติก (Acoustical) ความคล้ายกันทางไฟฟ้า 15
รูปที่ 2.19 ท่อทรงกลมปลายเปิด ยาว l, $a < 0.1$ และ $S = a2$ 16
รูปที่ 2.20 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อทรงกลมปลายเปิดยาว l, $a < 0.1\lambda$ และ $S = \pi a^2$ 17
รูปที่ 2.21 ไดอะแฟรมรัศมี $< 0.1\lambda$ ของท่อ 17
รูปที่ 2.22 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของไดอะแฟรมรัศมี $< 0.1\lambda$ 17
รูปที่ 2.23 ท่อที่มีปริมาณอากาศล้อมรอบด้วยขนาดเชิงเส้น $< 0.1\lambda$ 18
รูปที่ 2.24 ท่อแคบรัศมี $<< 0.001\lambda$ 18
รูปที่ 2.25 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อแคบรัศมี $<< 0.001\lambda$ 19
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ขนาดอนุภาคความเร็วเป็นฟังก์ชั่นของตำแหน่งรัศมีในท่อเล็กๆ ของรัศมี a = 0.1 cm ที่ความถี่ f = 200 Hz 19
รูปที่ 2.27 บนแสดงภาพของท่อที่มีความยาวไม่สิ้นสุด และล่างแสดงภาพของวงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.28 ท่อที่มีรัศมีขนาดกลาง 21
รูปที่ 2.29 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อที่มีรัศมีขนาดกลาง 21
รูปที่ 2.30 การแผ่กระจายจากปลายของปากท่อของรัศมี 22
รูปที่ 2.31 เหยือกของ Helmholtz Resonator 22
รูปที่ 2.32 คอจะเปรียบได้กับ L และ E ผสมรวมกันมากกว่า U2 = U1 23
รูปที่ 2.33 ไฟฟ้าอนาล็อกของวงจรอะคูสติก 24
รูปที่ 2.34 แสดงภาพอนาล็อกเชิงกลของวงจรอะคูสติก 24
รูปที่ 2.35 Dolby Lab 25
รูปที่ 2.36 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ 26
รูปที่ 2.37 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ 2.1 26
รูปที่ 2.38 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 4.1 27
รูปที่ 2.39 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 5.1 27
รูปที่ 2.40 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 6.1 28
รูปที่ 2.41 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 7.1 28
รูปที่ 2.42 วงจรขยายคลาส A 29
รูปที่ 2.43 วงจรขยายคลาส B 30
รูปที่ 2.44 วงจรขยายคลาส AB 30
รูปที่ 2.45 วงจรขยายคลาส C 31
รูปที่ 2.46 วงจรขยายคลาส D 33
รูปที่ 2.47 กราฟแสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 35
รูปที่ 2.48 กราฟแสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 35
รูปที่ 2.49 กราฟแสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน 36
รูปที่ 2.50 กราฟแสดงวงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน 37
รูปที่ 2.51 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 3 Model B 39
รูปที่ 2.52 รายละเอียดจุดเชื่อมต่อ GPIO 39
รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบ 43
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล 43
รูปที่ 3.3 Raspberry Pi 3 Model B 44
รูปที่ 3.4 ภาพรวมการทำงานเครื่องขยายเสียงคลาส D 44
รูปที่ 3.5 การแปลงสัญญาณขาเข้าให้กลายเป็นคลื่นแบบ Pulse Width Modulation 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 300 Hz 64
รูปที่ 4.10 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 700 Hz 65
รูปที่ 4.11 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 1000 Hz 65
รูปที่ 4.12 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 50 Hz 66
รูปที่ 4.13 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 100 Hz 66
รูปที่ 4.14 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 300 Hz 67
รูปที่ 4.15 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 700 Hz 67
รูปที่ 4.16 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 1000 Hz 68
รูปที่ 4.17 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 50 Hz 68
รูปที่ 4.18 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 100 Hz 69
รูปที่ 4.19 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 300 Hz 69
รูปที่ 4.20 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 700 Hz 70
รูปที่ 4.21 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 1000 Hz 70
รูปที่ ก.1 Poster 77
รูปที่ ก.2 ลำโพงระบบไอพีแบบจำลอง 78
รูปที่ ก.3 ภาพรวมลำโพงระบบไอพี 78
รูปที่ ก.4 ลำโพงระบบไอพี 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและแนวคิดของโครงงาน

ดนตรีเป็นสิ่งที่ธรรมชาติให้มาพร้อมๆ กับชีวิตมนุษย์โดยที่มนุษย์เองไม่รู้ตัว ดนตรีเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์อย่างหนึ่งที่ช่วยให้มนุษย์มีความสุข สนุกสนานรื่นเริง ช่วยผ่อนคลายความเครียดทั้งทางตรงและทางอ้อม ดนตรีเป็นเครื่องกล่อมเกลาจิตใจของมนุษย์ให้มีความเบิกบานหรรษาให้เกิดความสงบและพักผ่อน กล่าวคือในการดำรงชีพของมนุษย์ตั้งแต่เกิดจนกระทั่งตาย ดนตรีมีความเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ลำโพงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายทอดพลังเสียงออกมาให้เราได้ยินกันได้ ซึ่งในปัจจุบันถือได้ว่า ลำโพงได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งในการทำงานและในชีวิตประจำวันของคนเราไปแล้ว และในปัจจุบันก็ได้มีบริษัทต่างๆที่ทำการผลิตลำโพง ได้ทำการวิจัยและผลิตลำโพงแบบใหม่ๆเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นมาเพื่อพัฒนาลำโพงสำหรับใช้ในบ้าน สิ่งที่ข้าพเจ้าจะพัฒนาคือ จะนำระบบไอพีแอดเดรส (IP Address) เข้ามาใช้ในลำโพงสำหรับใช้ในบ้าน

1.2 จุดประสงค์

- ศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบไอพีแอดเดรสมาใช้ในลำโพง
- ศึกษาเกี่ยวกับการนำวงจรขยายความถี่เข้ามาใช้งานกับลำโพง
- ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็กสำหรับใช้ในบ้าน
- ศึกษาเกี่ยวกับการแผ่กระจายของเสียงสำหรับลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็ก

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- ทำการสร้างลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็กเพื่อนำมาใช้กับลำโพงสเตอริโอ
- ออกแบบและนำระบบแลน (LAN) และ ไวไฟ (WiFi) เข้ามาใช้ร่วมกับลำโพงสเตอริโอ
- ทำการวัดลักษณะการแผ่กระจายของเสียงจากลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็ก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำมาใช้กับลำโพงได้จริง
- ทำให้ทราบลักษณะการแผ่กระจายเสียงจากลำโพง เพื่อที่จะพัฒนาลำโพงที่เหมาะสำหรับใช้ฟังที่บ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบที่ทำการศึกษา สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้และต่อยอดได้

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- ลำโพงสเตอริโอ	จำนวน 1 ชุด
- อุปกรณ์สำหรับรับและแปลงข้อมูล	จำนวน 1 ชุด
- เครื่องขยายสัญญาณเสียง (Power Amplifier)	จำนวน 2 เครื่อง
- ออสซิโลสโคปและอุปกรณ์ต่อพ่วง	จำนวน 1 ชุด
- เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator)	จำนวน 1 ชุด
- เครื่องความดังของเสียง (SPL Meter)	จำนวน 1 เครื่อง

1.5.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

- โปรแกรม MATLAB 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	2559					2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
วางแผนการดำเนินโครงการ	↔									
ศึกษาปัญหา เก็บรวบรวมและค้นคว้าข้อมูล		↔	↔							
วิเคราะห์และออกแบบระบบ			↔	↔						
ออกแบบแอมพลิฟลายเออร์			↔	↔						
ออกแบบระบบลำโพง				↔	↔					
จัดเตรียม จัดซื้อ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน					↔					
ดำเนินการทำโครงงาน					↔	↔	↔			
ทดลองโครงงาน และแก้ไขปัญหา								↔		
จัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์									↔	↔

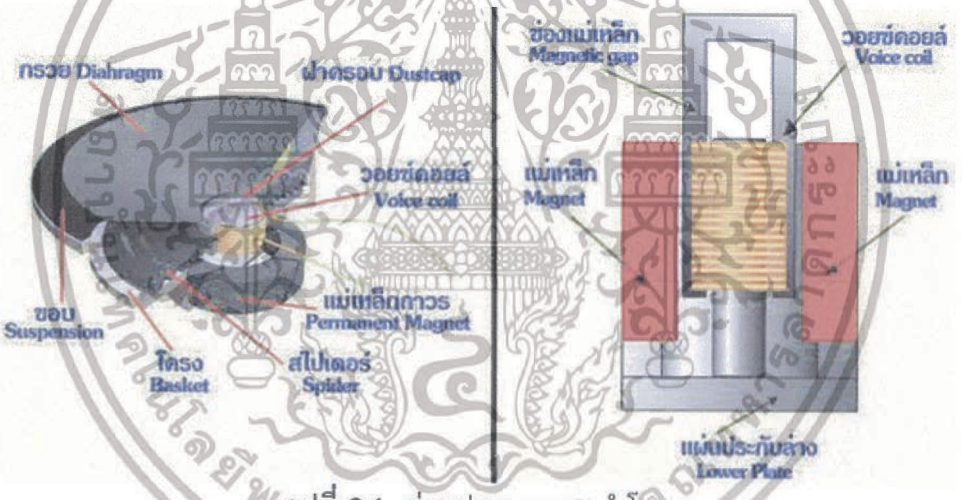
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำโพง

ลำโพงหรือ (Loudspeaker) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นเสียง มีด้วยกันหลายแบบ คำว่า ลำโพงมักจะเรียกรวมกัน ทั้งดอกลำโพง หรือตัวขับ (Driver) และลำโพงทั้งตู้ (Speaker system) ที่ประกอบด้วยลำโพงและวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแบ่งย่านความถี่ซึ่งก็คือวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค (Crossover network) และลำโพงที่ดีจะต้องสร้างเสียงให้เหมือนกับต้นฉบับเดิมมากที่สุด โดยมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด

2.1.1 ส่วนประกอบลำโพง



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของลำโพง
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/yWylVe)

1. วอยส์คอยล์ (Voice Coil)

คือ ส่วนที่เป็นขดลวด จะทำหน้าที่รับกระแสไฟจากแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) สู่สนามแม่เหล็ก

2. ฝาครอบ (Dustcap)

คือ ส่วนที่ป้องกันเศษวัสดุเข้าไปในวอยส์คอยล์

3. กรวย (Diaphragm)คือ ส่วนที่ทำหน้าที่รับพลังงานเสียงจากวอยส์คอยล์

4. ขอบกรวย (Suspension)

คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ยึดกรวยกับโครงลำโพงและทำให้กรวยเคลื่อนที่ขึ้นลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สไปเดอร์ (Spider)

คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ยึดกรวยและวอยส์คอยล์ให้อยู่ในศูนย์กลางของช่องแม่เหล็กและสามารถยืดหยุ่นแบบเป็นสปริงให้กรวยเคลื่อนที่ได้ตามกำลังขับของวอยส์คอยล์

6. โครง (Basket)

คือ ส่วนที่มีหน้าที่ยึดติดกับแผ่นหน้าของแม่เหล็ก โดยมีกรวยยึดติดด้านบน และ สไปเดอร์ยึดติดด้านล่าง

7. แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet)

คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็น รูปวงแหวน มีหน้าที่ให้พลังงานแม่เหล็กถาวรไปยังแผ่นหลังและแผ่นหน้า และแผ่นหลังนำพลังแม่เหล็กถาวรไปสู่แกนกลาง เพื่อสร้างพลังแม่เหล็กที่เข้มระหว่างแกนกลางและแผ่นหน้า

8. แผ่นหน้า (Top Plate)

คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็นวงแหวนตามขนาดที่กำหนด โดยด้านบนของแผ่นหน้ายึดติดกับโครง และด้านล่างติดกับแม่เหล็กถาวร

9. แผ่นประกบล่าง (Lower plate)

คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมและมีแกนอยู่ตรงกลาง ทำหน้าที่รับพลังแม่เหล็กจากอีกด้านหนึ่งของแม่เหล็กถาวร และแกนอยู่ตรงกลางของวงในแผ่นหน้า เพื่อเป็นช่องให้วอยส์คอยล์นำกระแสไฟจากแอมพลิฟายเออร์ผ่านสนาม แม่เหล็กที่กำหนดและเปลี่ยนเป็นพลังเสียง

2.1.2 ชนิดของลำโพง

ลำโพงนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ ระบบเสียง โดยทั่วไปลำโพงจะมี 2 ประเภท คือ ลำโพงฮอร์น (Horn Speaker) และลำโพงไดนามิก (Dynamic Speaker)

รูปที่ 2.2 ลำโพงฮอร์น
(อ้างอิงโดย goo.gl/4UPsUT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำโพงฮอร์นเป็นลำโพงขนาดใหญ่ใช้ในการขยายเสียงทั่วไป มีโครงสร้างเป็น 2 ส่วน คือส่วนหน้าเรียกว่า ฮอร์น (Horn) มีลักษณะเป็นกรวยโลหะปากกว้าง หรือดอกลำโพง ส่วนหลังเป็นส่วนที่ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและขดลวดเสียง

รูปที่ 2.3 ลำโพงไดนามิก
(อ้างอิงโดย goo.gl/e7OAx6)

ลำโพงไดนามิก ส่วนมากจะเป็นลำโพงชนิดกรวยกระดาษ ให้เสียงได้หลายระดับ เป็นลำโพงที่ใช้กับโทรทัศน์ วิทยุ เทป และเครื่องเสียงทั่วไป โดยมีขนาดตั้งแต่เล็ก จนถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหลายสิบนิ้ว มีโครงสร้างที่แตกต่างออกไป และในส่วนของลำโพงไดนามิกก็สามารถแบ่งประเภทออกไปได้อีกดังนี้

1. ซับวูฟเฟอร์ (Subwoofer)

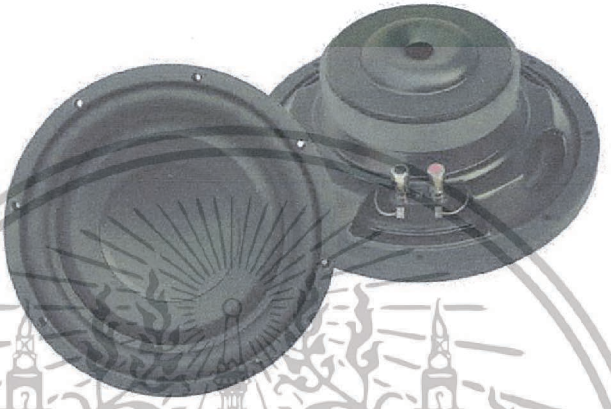
คือ ลำโพงสำหรับเสียงเบสโดยเฉพาะ มีขนาด 8"-15" สามารถลงได้ลึกที่ความถี่ต่ำๆ 20-2,000 Hz ทนวัตต์ได้สูง มีลักษณะเสียงที่ทรงพลัง หนักแน่น เป็นลำโพงที่สร้างขึ้นมาเพื่อย่านความถี่ต่ำและทุ้มได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 2.4 ซับวูฟเฟอร์
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/dKzieB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วูฟเฟอร์ (Woofer) / Mid Base (มิดเบส)

คือ ลำโพงเสียงกลาง/เบส มีขนาด 4-8 นิ้ว ตอบสนองความถี่ในย่านกลางต่ำจนถึงเสียงกลาง ประมาณ 50-8,000 Hz และมีการทำงานในช่วงความถี่ที่กว้าง เป็นลำโพงที่สร้างขึ้นมาเพื่อย่านความถี่ต่ำและทุ้มแต่ยังลงได้ต่ำกว่าซับวูฟเฟอร์



รูปที่ 2.5 วูฟเฟอร์

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HlHqwE)

3. มิดเรนจ์ (Mid-Range)

คือตัวขับสำหรับช่วงความถี่กลางหรือเรียกสั้นๆ ว่าลำโพงเสียงกลาง มีขนาด 3"-4" ออกแบบมาให้ตอบสนองความถี่กลาง อีกทั้งขึ้นได้ในความถี่เสียงแหลม แต่รายละเอียดของเสียงน้อยกว่าทวีต-เตอร์ โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 500-10,000 Hz เป็นลำโพงที่สร้างขึ้นมาเพื่อย่านความถี่ปานกลางหรือเสียงคนพูดได้ดี

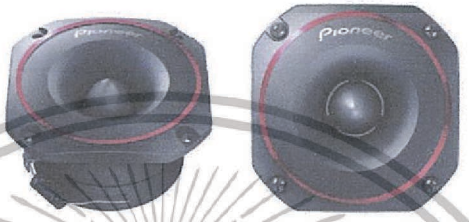
รูปที่ 2.6 มิดเรนจ์

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/i8lK2t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทวีตเตอร์ (Tweeter)

คือตัวขับสำหรับช่วงความถี่สูงหรือเรียกสั้นๆว่าลำโพงเสียงแหลม มีขนาด 3/4"- 2" ออกแบบมาให้ตอบสนองความถี่สูงได้ถึง 20,000 Hz ซึ่งถือเป็นความถี่สูงสุดที่จะได้ยินสำหรับมนุษย์ เป็นลำโพงที่สร้างขึ้นมาเพื่อย่านความถี่สูงหรือเสียงแหลมได้ดี



รูปที่ 2.7 ทวีตเตอร์

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/jQqBQV)

2.1.3 หลักการทำงานของลำโพง

เมื่อมีการป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้กับขดลวดเสียงของลำโพงหรือมีการนำลำโพงไปต่อกับเครื่องขยายสัญญาณเสียงจะมีสัญญาณเสียงออกมาที่ลำโพงหลักการคือ เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้ามาจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยรอบอำนาจของเส้นแรงแม่เหล็กจะดูดและผลักกับเส้นของแม่เหล็กถาวรตามสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากความถี่เสียง ซึ่งมีความถี่เสียงตั้งแต่ 20 Hz - 20 KHz ที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสตลอดเวลาทำให้กรวยกระดาษที่ยึดติดกับขดลวดเสียงเกิดการเคลื่อนที่ดูด และผลักอากาศ จึงเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น ส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องเล่นเหล่านี้ก็คือลำโพง โดยหน้าที่สำคัญสุดของลำโพงคือ เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องขยายเป็นสัญญาณเสียง และการทำงานของคอยส์เสียงใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้จากกฎของแอมแปร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดหรือคอยส์ ภายในคอยส์จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่งจะเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กที่สอดอยู่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าปกติแม่เหล็กจะมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ถ้านำแม่เหล็กสองแท่งมาอยู่ใกล้ๆกัน โดยนำขั้วเดียวกันมาชิดกันมันจะผลักกัน แต่ถ้าต่างขั้วกันมันจะดูดกันด้วยหลักการพื้นฐานนี้ จึงติดแม่เหล็กถาวรล้อมคอยส์เสียงและแท่งเหล็กไว้ เมื่อมีสัญญาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณเสียงที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับป้อนสัญญาณให้กับคอยส์เสียงขั้วแม่เหล็กภายในคอยส์เสียงจะเปลี่ยนทิศทางตามสัญญาณสลับที่เข้ามา ทำให้คอยส์เสียงขยับขึ้นและลงซึ่งจะทำให้ใบลำโพงขยับเคลื่อนที่ขึ้นและลงด้วยไปกระแทกกับอากาศเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น

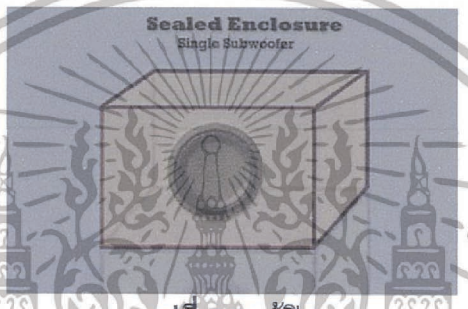
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ตู้ลำโพง

ตู้ลำโพงไม่ได้มีไว้เพียงบรรจุลำโพงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่ทำให้ลำโพงอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อจะให้เสียงที่ได้ออกมาดีที่สุด โดยทั่วไปตู้ลำโพงจะทำด้วยไม้ เพราะสามารถดูดกลืนการสั่นสะเทือนของเสียงได้เป็นอย่างดี

1. ตู้ปิด (Sealed Enclosure)

เป็นลำโพงที่นิยมที่สุด โดยสามารถควบคุมการขับกำลังวัตต์ของลำโพงได้สูงกว่าตู้ลำโพงแบบอื่น โดยต้องเลือกขนาดของตู้ลำโพงให้เหมาะสมกับการใช้งาน อย่างไรก็ตามเรื่องของกำลังวัตต์ก็เป็นเรื่องสำคัญที่จะทำให้ลำโพงมีสมรรถนะที่ดีขึ้น ลักษณะสำคัญของลำโพงแบบตู้ปิดคือจะให้เสียงเบสน้อยแต่ให้รายละเอียดสูง

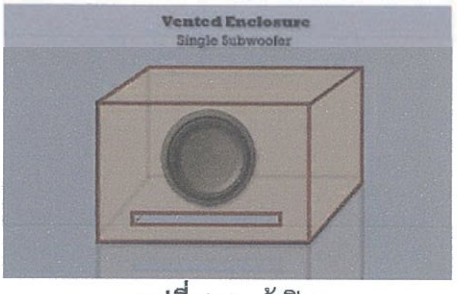


รูปที่ 2.8 ตู้ปิด

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/tUc3hY)

2. ตู้เปิด (Vented Enclosure)

คือตู้ลำโพงที่ให้ความสมดุลที่ดีระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ โดยท่อของตู้ลำโพงเป็นตัวกรอง (Filter) ทางเสียงให้กับลำโพง อย่างไรก็ตามตู้ลำโพงแบบท่อนี้ จะใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่มากกว่าแบบตู้ปิด เนื่องจากส่วนของท่อนั้นถือได้ว่าเป็นทางให้สัญญาณเสียงออกอีกทางหนึ่ง ข้อดีของตู้ลำโพงแบบนี้คือสามารถให้ความถี่เสียงเบสที่ต่ำกว่าตู้ลำโพงแบบอื่น พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพในการตอบสนองความถี่ที่ดี แต่ก็ต้องอาศัยการออกแบบที่ดีเพื่อให้ตัวแปรที่มีผลต่อเสียง



รูปที่ 2.9 ตู้เปิด

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/tUc3hY)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตู้แบนพาส (Bandpass Enclosure)

ตู้แบนพาส หรือ ตู้ซับเบสแบบกำหนดช่วงความถี่นั้น ถือได้ว่าเป็นตู้ซับเบสแบบเปิดระดับมืออาชีพ มันเป็นตู้ซับเบสที่มีความยุ่งยากซับซ้อนทางโครงสร้างมากที่สุด ด้วยว่ามันติดตั้งซับวูฟเฟอร์เอาไว้ในห้องอากาศมากกว่าหนึ่งห้อง ดังนั้นคลื่นเสียงจะต้องสามารถส่งผ่านจากห้องอากาศหนึ่งไปยังห้องอื่นๆ ตู้ซับเบสแบบกำหนดช่วงความถี่นั้นมักจะมีปัญหาความคลาดเคลื่อนทางเสียงที่ ช่องระบายเบส การรับภาระเกินของซับวูฟเฟอร์ และอุณหภูมิของวอยส์คอยล์ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับตู้ซับเบสแบบปิด ความคลาดเคลื่อนของช่องระบายเบสที่ว่านี้จะถูกเน้นย้ำให้เป็นจริงได้จาก คลื่นเสียงที่สร้างขึ้นในตู้ที่ส่งผ่านมาทางช่องระบาย ตู้ซับเบสแบบกำหนดช่วงความถี่ส่วนมากจะมีห้องอากาศสองห้อง แต่ในตู้บางแบบอาจใช้มากกว่าสองห้องโดยใช้ห้องอากาศได้ถึงสามห้อง ห้องอากาศสองห้องด้านนอกของตู้ซับเบสแบบสามห้องจะเป็นเสมือนตู้ด้านความถี่ ต่ำของตู้ซับเบสแบบสองห้อง ในการออกแบบช่วงความถี่ ที่เป็นการกำหนดช่วงความถี่นั้น จะเป็นการเอาช่วงความถี่สูงผ่านกับช่วงความถี่ต่ำผ่านมาทำงานร่วมกัน ซึ่งนี่คือนิยามของตู้ซับเบสแบบผ่านเฉพาะช่วงความถี่หรือแบบกำหนดช่วง ความถี่ ห้องอากาศห้องหนึ่งจะทำหน้าที่ผ่านสภาพเสียงย่านสูงของคลื่นเบสเพื่อกำหนด ความถี่ตอบสนองช่วงล่าง ซึ่งก็มักจะเป็นห้องอากาศที่เป็นห้องปิด(ตู้ปิด) ห้องอากาศห้องที่สองจะทำหน้าที่ผ่านสภาพเสียงย่านต่ำของคลื่นเบสเพื่อกำหนด ความถี่ตอบสนองช่วงบน ซึ่งก็คือห้องอากาศที่เป็นห้องเปิด(ตู้เปิด)

รูปที่ 2.10 ตู้แบนพาส
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/tUc3hY)

4. ตู้ไอโซบาริค (Isobaric)

ตู้ไอโซบาริค เป็นตู้ที่ต้องใช้ลำโพงซับวูฟเฟอร์ 2 ดอก โดยต่อหันหน้าเข้าหากัน ส่วนปริมาตรตู้ จะใช้เพียงครึ่งหนึ่งของตู้ปิดและตู้เปิด โครงสร้างของตู้ประเภทนี้ จะทำงานเหมือนกับตู้ปิดและตู้เปิด โดยหลักการทำงานของลำโพงซับวูฟเฟอร์จะใช้วิธีต่อเข้ากับซับวูฟเฟอร์ดอกที่ 1 ในลักษณะถูกเฟสและดอกที่ 2 ต่อต่างเฟสกัน การทำงานจึงเป็นในลักษณะ PUSH-PULL หรือผลักและดัน แต่ก็มีทั้งข้อดี และเสีย คือตู้มีขนาดเล็กเพียงครึ่งหนึ่ง เมื่อเทียบกับตู้ปิดและเปิด สามารถติดตั้งในรถที่มีเนื้อที่จำกัดได้เป็นอย่างดี ส่วนข้อเสีย คือการทำงานเหมือนใช้ซับวูฟเฟอร์เพียงดอกเดียว จึงทำให้ตู้ประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยม

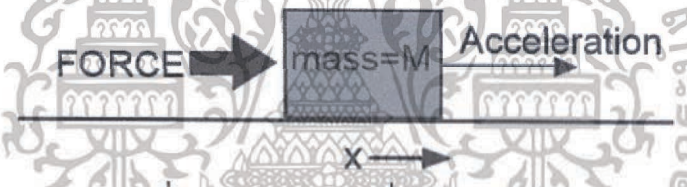
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ไอโซบาริค
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/tUc3hY)

2.2 องค์ประกอบรวม (lumped element)

2.2.1 องค์ประกอบรวมคืออะไร

องค์ประกอบรวม (Lumped Element) คือ โครงสร้างทางกายภาพที่ทำหน้าที่และเคลื่อนย้ายเป็นหน่วยเมื่อวัตถุถูกควบคุมด้วยแรง ซึ่งจะเป็นเหมือนกับบล็อกสองมิติที่นำไปสู่พื้นผิวที่ไม่มีแรงเสียดทานแบบหนึ่งมิติ



รูปที่ 2.12 รูปของแรงที่กระทำบนบล็อก

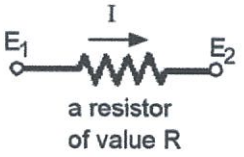
เมื่อแรงกระทำบนบล็อก บล็อกจะย้ายหน่วยในทิศทางที่อธิบายถึงความแตกต่างในแรงที่กระทำต่อพื้นผิวทั้งสอง หรือ วิเคราะห์โดย

$$\frac{dV}{dt} = \frac{NetForce}{Mass} \tag{2.1}$$

คุณสมบัติที่สำคัญก็คือการไล่ระดับของพารามิเตอร์ทางกายภาพ ที่มีการผลิตการตอบสนองทางกายภาพเหมือนกันทั่วทั้งก้อน

ตัวอย่างอื่นของ องค์ประกอบรวม คือ ความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแรงดันไฟฟ้า (E) ตรงข้ามกับองค์ประกอบความต้านทานที่จะสร้างกระแสไฟฟ้า (I) ซึ่งเป็นเหมือนกันทั่วทั้งตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

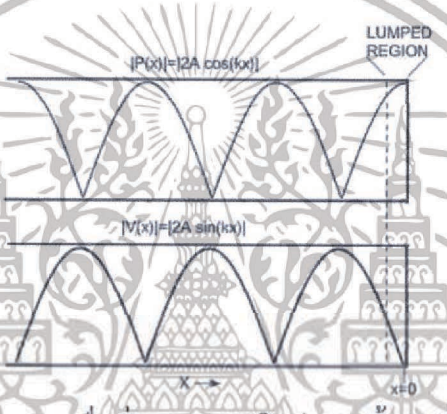


รูปที่ 2.13 ความต้านทานไฟฟ้า

โดย $$I = (E_1 - E_2)/R \qquad (2.2)$$

2.2.2 องค์ประกอบรวมอะคูสติก (Acoustic lumped element)

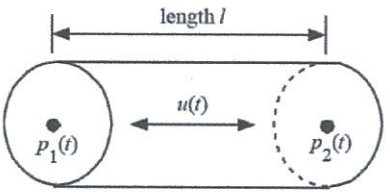
องค์ประกอบรวมอะคูสติกเป็นตัวแทนของโครงสร้างโดยหนึ่งหรือสองปริมาณทางคุณภาพที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน หรือแตกต่างกันเป็นเส้นตรงตลอดทั้งโครงสร้าง



รูปที่ 2.14 คลื่นนิ่ง P และ V ในท่อยาวสิ้นสุดที่ x=0

จากรูปที่ 2.14 คลื่นนิ่งใน P และ V ในท่อยาวกับการสิ้นสุดที่ x=0 การเปลี่ยนแปลงอากาศในขนาดความดันเสียง และเฟส P(x) ซึ่งถูกกำหนดโดยฟังก์ชั่นโคไซน์ การเปลี่ยนแปลงอากาศในขนาดความเร็ว และเฟส V(x) ถูกกำหนดโดยฟังก์ชั่นไซน์ พื้นที่ที่หลอดจะสามารถทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของก้อน เป็นพื้นที่ที่ระดับความดันเกือบจะคงที่ และปริมาณความเร็วจะแตกต่างกันด้วยเส้นตรง x

ตัวอย่างขององค์ประกอบรวมอะคูสติกเป็นท่อเปิดขนาดสั้นเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดปานกลาง ขณะที่ความยาว l และ รัศมี a ที่ < 0.1 λ



รูปที่ 2.15 ท่อวงกลมสั้น รัศมี a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สถานการณ์นี้ อนุภาคความเร็ว V และความดันเสียง P ที่มีความสัมพันธ์โดย

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho 0^l} \tag{2.3}$$

จากสมการ 2.3 เป็นการระบุอะคูสติกสมมูลของสมการ 2.1 ซึ่งจะสามารถอธิบายแรงที่กระทำต่อก้อนโดยการคูณความดันด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อ (πa^2)

ปริมาณความเร็ว และความต้านทานอะคูสติกในการอภิปรายเรื่ององค์ประกอบก้อนอะคูสติก มันจะสะดวกที่จะคิดเกี่ยวกับความเร็วในรูปแบบของปริมาณความเร็วตัวแปรใหม่ ซึ่งก็คือ ปริมาณความเร็ว U ในกรณีของท่อดังกล่าวข้างต้น ปริมาณความเร็วจะถูกกำหนดโดยการสร้างความเร็วอนุภาค และพื้นที่หน้าตัดของท่อ กล่าวคือ $U = \pi a^2 V = SV$

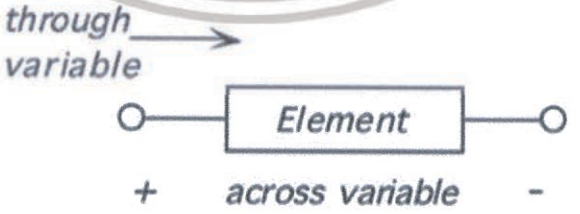
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเร็ว และความดันที่แตกต่างกันในท่อเปิดดังกล่าวนี้จะสามารถได้มาจากการคูณกันทั้งสองข้างของสมการ 2.3 ด้วย $S = \pi a^2$ กล่าวคือ

$$s\frac{dV}{dt} = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho 0^l} s$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho 0^l} s = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho 0^{sl}} s^2 \tag{2.4}$$

Sl = ปริมาตรท่อ

2.2.3 การแยกเป็นตัวแปรที่ผ่านและตัวแปรที่ข้าม



รูปที่ 2.16 ตัวแปรที่ผ่านและตัวแปรที่ข้ามบนองค์ประกอบ

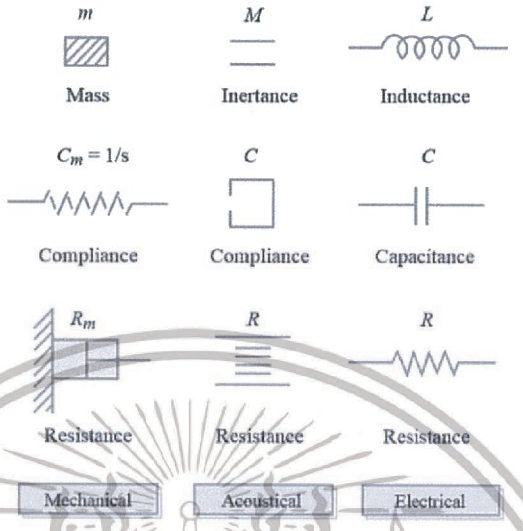
ที่

$$power(t) = through(t)cross(t) \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่า R, C และ L คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการอนุพันธ์อันดับ 0 และ 1 ที่มีความสัมพันธ์กับ v(t) หรือ e(t)) ถึง i(t)

2. องค์ประกอบที่คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 2.18 ความคล้ายกันเชิงกล (Mechanical) ความคล้ายกันแบบอะคูสติก (Acoustical) ความคล้ายกันทางไฟฟ้า

3. ส่วนประกอบของความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ที่คล้ายกันของ v, i และ u

	Mechanical V vs F	Electrical I vs E	Acoustical U vs P
Spring Capacitor Compliance	Spring $v(t)=C_M \frac{df(t)}{dt}$	Capacitor $i(t)=C_E \frac{de(t)}{dt}$	Compliance $u(t)=C_A \frac{dp(t)}{dt}$
Damper Resistor Resistor	Damper $v(t)=\frac{1}{R_M} f(t)$	Resistor $i(t)=\frac{1}{R_E} e(t)$	Resistor $u(t)=\frac{1}{R_A} p(t)$
Mass Inductor Inertance	Mass $v(t)=\frac{1}{L_M}\int f(t)dt$	Inductor $i(t)=\frac{1}{L_E}\int e(t)dt$	Inertance $u(t)=\frac{1}{L_A}\int p(t)dt$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ในสัญญาณไซน์ที่มีสถานะคงที่

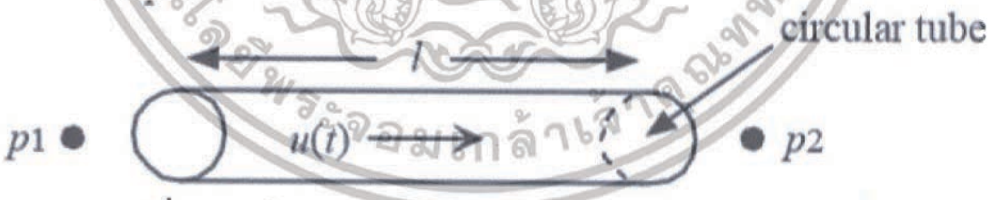
	Mechanical V vs F	Electrical I vs E	Acoustical U vs P
Spring Capacitor Compliance	Spring $V(\omega)=j\omega C_M F(\omega)$	Capacitor $I(\omega)=j\omega C_E E(\omega)$	Compliance $U(\omega)=j\omega C_A P(\omega)$
Damper Resistor Resistor	Damper $V(\omega)=\frac{1}{R_M}F(\omega)$	Resistor $I(\omega)=\frac{1}{R_E}E(\omega)$	Resistor $U(\omega)=\frac{1}{R_A}P(\omega)$
Mass Inductor Inertance	Mass $V(\omega)=\frac{1}{j\omega L_M}F(\omega)$	Inductor $I(\omega)=\frac{1}{j\omega L_E}E(\omega)$	Inertance $U(\omega)=\frac{1}{j\omega L_A}P(\omega)$

2.2.5 ค่าองค์ประกอบอะคูสติกและฟิสิกส์

ข้อจำกัดองค์ประกอบ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางกายภาพ และค่าองค์ประกอบจะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางกายภาพรวมทั้งขนาดของโครงสร้าง เช่น ความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานที่ขึ้นอยู่กับขนาดและความต้านทานของวัสดุที่เรานำมาสร้าง

1. มวลอะคูสติก : หน่วยของ kg/m^4

ท่อปลายเปิดที่มีขนาดเป็นเส้นตรง l และ a $<0.1\lambda$ และ $S = \pi a^2$



รูปที่ 2.19 ท่อทรงกลมปลายเปิด ยาว l, a < 0.1 λ และ $S = \pi a^2$

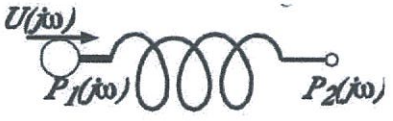
$$L_A = \frac{\rho_0^{\,1}}{S} = \frac{\rho_0 Volume}{S^2} \qquad (2.6)$$

ρ_0 = ความหนาแน่นมวลที่สมดุลของท่อ

p(t) = p1(t) – p2(t) โดย p(t) จะถือว่าเป็นแรงเฉื่อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าอนาล็อก



รูปที่ 2.20 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อทรงกลมปลายเปิดยาว l, a < 0.1 λ และ S = πa^2

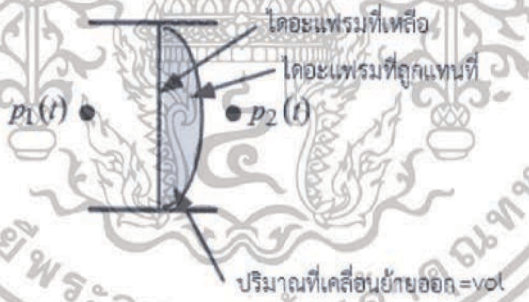
$$P_1 - P_2 = Uj\omega L_A \tag{2.7}$$

จะสังเกตได้ว่า มวลอะคูสติกจะเทียบเท่ากับมวลของอากาศที่ล้อมรอบอยู่ในท่อหารด้วยพื้นที่หน้าตัดยกกำลังสอง นอกจากนี้ ที่ปลายทั้งสองข้างของท่อจะทำให้เกิดเสียงเล็กๆ ขึ้นด้วย สื่อกลางภายในท่อ ปกติแล้วอะคูสติก ความยาวจะยาวกว่าความยาวทางกายภาพของท่อ สำหรับท่อปลายเปิดเดี่ยว ความแตกต่างระหว่างความยาวทางกายภาพ กับความยาวอะคูสติก คือ $\Delta l \approx 0.8a$ เรียกความแตกต่างนี้ว่า the end correction

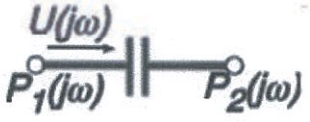
2. การทำตามแบบอะคูสติก : หน่วยของ m^3/Pa

ปริมาตรจะย้ายต่อหน่วยความดันที่แตกต่างกัน (2 ตัวอย่าง ซึ่งทั้งคู่ถือว่ามีความต้านทาน และแรงเฉื่อยเล็กน้อย)

2.1 ไดอะแฟรมรัศมี < 0.1 λ



รูปที่ 2.21 ไดอะแฟรมรัศมี < 0.1 λ ของท่อ



รูปที่ 2.22 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของไดอะแฟรมรัศมี < 0.1 λ

สำหรับแบบแผ่นโค้งแบน (plate) ทำได้โดย

$$C_A = \frac{\pi a^6 (7+v)(1-v)}{16Et^t} \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

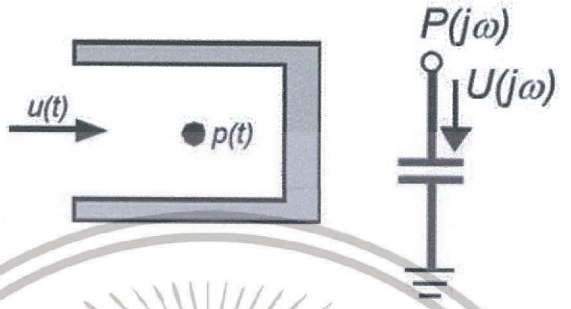
โดย a คือรัศมีของแผ่น

v = 0.3 คือ อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio)

E คือ ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Young's modulus)

t คือ ความหนา (Roark and Young, 1975, p. 362-3, Case 10a)

2.2 ปริมาณอากาศที่ล้อมรอบด้วยขนาดเชิงเส้น < 0.1 λ



รูปที่ 2.23 ท่อที่มีปริมาณอากาศล้อมรอบด้วยขนาดเชิงเส้น < 0.1 λ

โครงสร้างอื่นๆ ที่อาจจะมีการประมาณอย่างดี โดยการทำตามแบบอะคูสติก

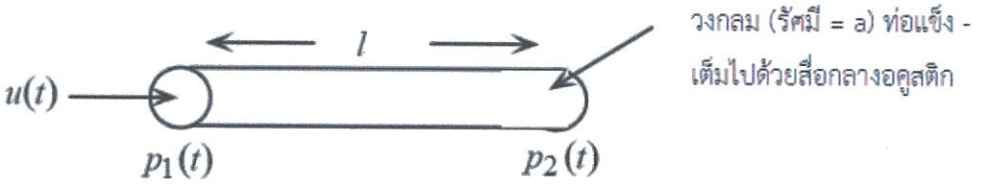
$$C = \frac{\text{Volume}}{\text{Adiabatic Bulk modulus}} \tag{2.9}$$

$$U = j\omega C_A P \tag{2.10}$$

การเปลี่ยนแปลงความดันเสียงภายในปริมาณอากาศที่ล้อมรอบโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเกี่ยวกับสถานะคงที่ของความดันบรรยากาศ หรือเกี่ยวกับแรงดันบนผิวในอะคูสติก ดังนั้นหนึ่งขั้วไฟฟ้าแบบอะนาล็อกของปริมาณอะคูสติก จะต้องมีสายดินเสมอ

3. ความต้านทานอะคูสติก : หน่วยของอะคูสติกโอห์ม Pa-s/m^3

3.1 ท่อแคบ หรือ รัศมี << 0.001 λ



รูปที่ 2.24 ท่อแคบรัศมี << 0.001 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(t) = p_1(t) - p_2(t) = R_A u(t)$$
$$R_A = \frac{8\eta l}{\pi a^4} \Rightarrow \frac{p_i(t) - p_2(t)}{u(t)} \quad (2.11)$$

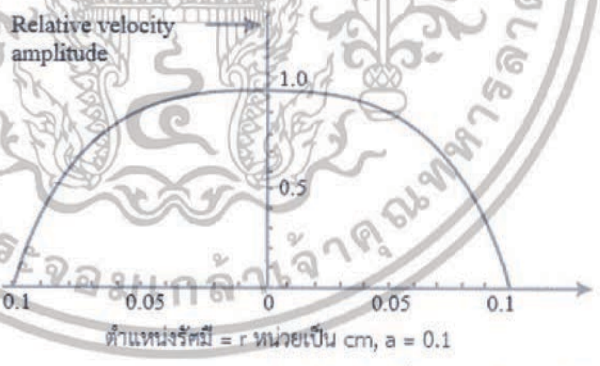
η = ความหนืดของตัวกลาง

เนื่องจากว่าแรงหนืดมีการเคลื่อนที่ในความสัมพันธ์กับของเหลวในตำแหน่งรัศมีหนึ่ง เมื่อเทียบกับตำแหน่งที่อยู่ติดกันที่ออกแรงต่อต้านการเคลื่อนที่นั้น ที่เป็นสัดส่วนกับอนุพันธ์เชิงพื้นที่ของความเร็ว และสัมประสิทธิ์ของเหลวของแรงหนืดเฉือน (η)

การกระทำของแรงเหล่านี้ส่งผลให้สัดส่วนความแตกต่างของความดัน และปริมาณความเร็วนั้นคล้ายกับความต้านทานไฟฟ้า ในกรณีไซน์มีสถานะคงที่ ดังนั้น

รูปที่ 2.25 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อแคบรัศมี << 0.001 λ

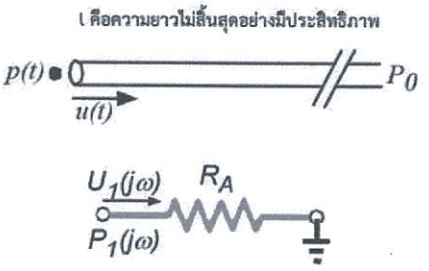
โดย $$P_1 - P_2 = U_1 R_A \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ขนาดอนุภาคความเร็วเป็นฟังก์ชั่นของตำแหน่งรัศมีในท่อเล็กๆ ของรัศมี a = 0.1 cm ที่ความถี่ f = 200 Hz

ผลที่มาจากความหนืดนั้นก็คือ ความเร็วที่ผนังจะเป็นศูนย์ และมีค่ามากที่สุดในศูนย์กลางของท่อ ดูรูปที่ 2.26 แรงหนืดจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานใกล้กับผนังที่ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่ง

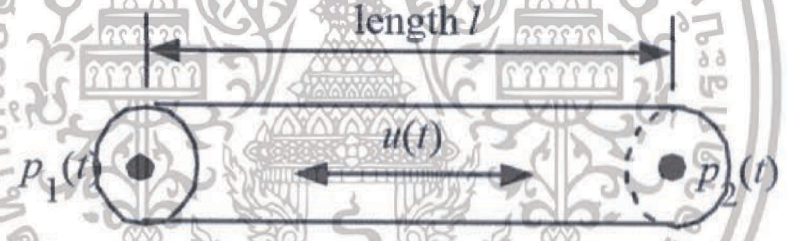
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 บนแสดงภาพของท่อที่มีความยาวไม่สิ้นสุด และล่างแสดงภาพของวงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อ

4. การผสมกันของมวลและความต้านทานอะคูสติกที่โหลดได้

ท่อที่มีรัศมีขนาดกลาง (ไม่กว้างหรือแคบ) มีความต้านทานที่กำหนดโดยการผสมกันของมวลอะคูสติก หรือ inertance (เกี่ยวข้องกับการเร่งมวลของเหลวภายในท่อ) และความต้านทาน (เกี่ยวข้องกับการเอาชนะความลากหนืดที่ผนังของท่อ) เนื่องจากความดันลดลงเหนือตัวต้านทาน และองค์ประกอบของมวลที่เพิ่มขึ้น พวกเราคิดว่าของเหล่านี้เหมือน R และ L ในอนุกรม



รูปที่ 2.28 ท่อที่มีรัศมีขนาดกลาง

$$\Delta P = P_2 - P_1 = U(j\omega\rho_0 l / S + R) \qquad (2.16)$$

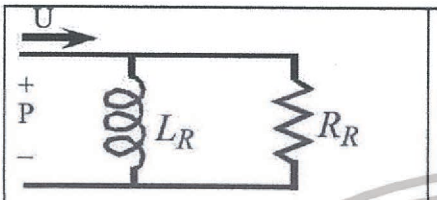
S คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

R คือ ความต้านทาน

รูปที่ 2.29 วงจรไฟฟ้าอนาล็อกของท่อที่มีรัศมีขนาดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานการแผ่จะทำเมื่อใดก็ตามที่เสียงมีการแผ่กระจายจากจุดหนึ่ง และถูกสร้างขึ้นด้วยมวลอะคูสติกที่เกี่ยวข้องกับการเร่งอนุภาคในอากาศใกล้กับพื้นผิวขององค์ประกอบ และตัวต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสียงของพลังงานในเขตห่างไกล เนื่องจากปริมาณความเร็วที่เกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการที่เพิ่มขึ้นนี้ (บางส่วนของ U จะไปอยู่ในชั้นการเร่งมวล ขณะที่ส่วนที่เหลือก็จะแผ่กระจายออกไป) พวกเราสามารถคิดได้ว่านี้เป็นเหมือนสององค์ประกอบขนานกัน



where:

$$\frac{U}{P} = Y_{Rad} = \frac{1}{Z_{Rad}} = \frac{1}{j\omega L_R} + \frac{1}{R_R}$$

$$= \frac{1}{\frac{j\omega 0.8a}{2\pi a^2}} + \frac{1}{\frac{\rho_0 c}{2\pi a^2}}$$

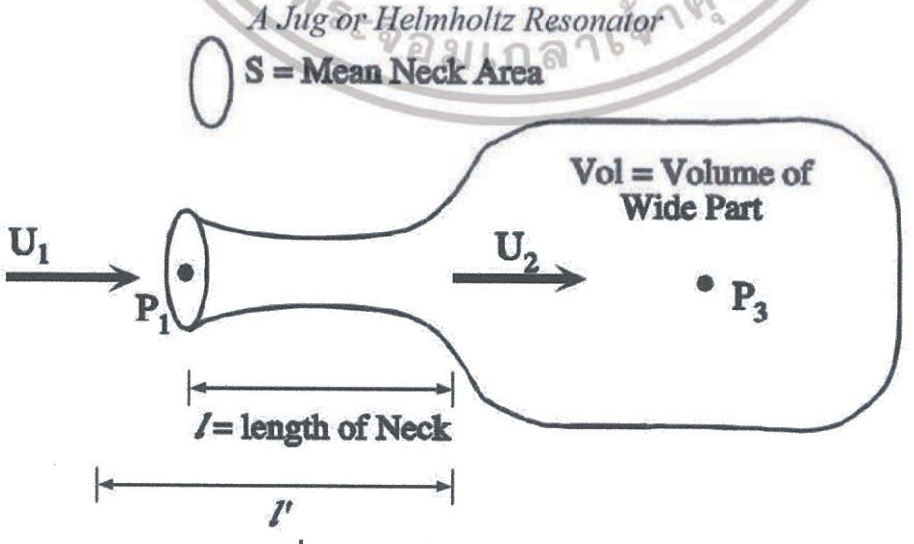
รูปที่ 2.30 การแผ่กระจายจากปลายของปากท่อของรัศมี

หมายเหตุ : การแผ่กระจายมวลที่เทียบเท่ากับการเพิ่มของรัศมีของท่อ a และ ความยาว 0.8a จนถึงปลายท่อ นี่คือการทำที่ถูกต้อง

5. ช่วงของการประยุกต์ใช้ทฤษฎีวงจรอะคูสติก

ความดัน และปริมาณความเร็วช่วงที่สอดคล้องกับ "อะคูสติกเชิงเส้น" และช่วงความถี่ที่จำกัดโดยสมมติฐานขององค์ประกอบ lumped เช่น ขนาดของโครงสร้างที่จำเป็นมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น : a และ $l < 0.1\lambda$

6. คำอธิบายวงจรของระบบอะคูสติกที่แท้จริง



รูปที่ 2.31 เหยือกของ Helmholtz Resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายวงจรอะคูสติก

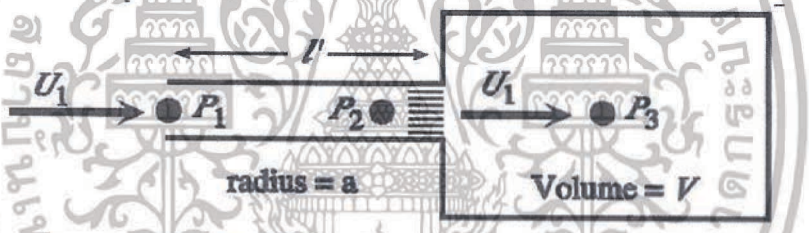
ถ้าเราใช้ปริมาณความเร็วอะคูสติกเป็นตัวแปรผ่านการไหลของความเร็วเสียงผ่านลำคอให้เห็นการรวมกันชุดขององค์ประกอบอะคูสติก ความเร็วปริมาณแรกไหลผ่านการรวมกันเป็นชุดของอะคูสติก inertance LA และ ความต้านทานอะคูสติก RA และจากนั้นในการทำตามกฎอะคูสติก CA ของช่องปิด

ที่

$$L_A = \frac{\rho_0 l}{\pi a^2} \tag{2.17}$$

$$C_A = \frac{Volume}{\gamma P_0} \tag{2.18}$$

นอกจากนี้ ถ้าเราจะทำจริง คอจะเปรียบได้กับ L และ E ผสมรวมกันมากกว่า U2 = U1



รูปที่ 2.32 คอจะเปรียบได้กับ L และ E ผสมรวมกันมากกว่า U2 = U1

ในไซน์ที่มีสถานะคงที่ :

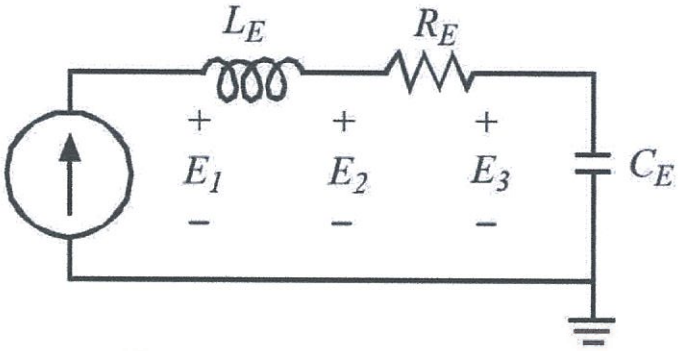
$$P_1(\omega) = U_1(\omega)(j\omega L_A + R_A + \frac{1}{j\omega C_A}) \tag{2.19}$$

อัตราส่วนของ P1/P2 กำหนดความต้านทานอะคูสติกขาเข้าของขวด และในกรณีนี้มันจะมีค่าเท่ากับผลบวกอนุกรมของความต้านทานขององค์ประกอบสามอนุกรม

$$Z_{IN}(\omega) = j\omega L_A + R_A + \frac{1}{j\omega C_A} \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าแบบอนาล็อกของการอธิบายวงจรอะคูสติกในวงจรไฟฟ้าสายไฟที่เชื่อมต่อองค์ประกอบสมมติจะเป็นตัวนำที่สมบูรณ์



รูปที่ 2.33 ไฟฟ้าอนาล็อกของวงจรอะคูสติก

ถ้าค่าตัวเลขของ $L_E = L_A$

$R_E = R_A$

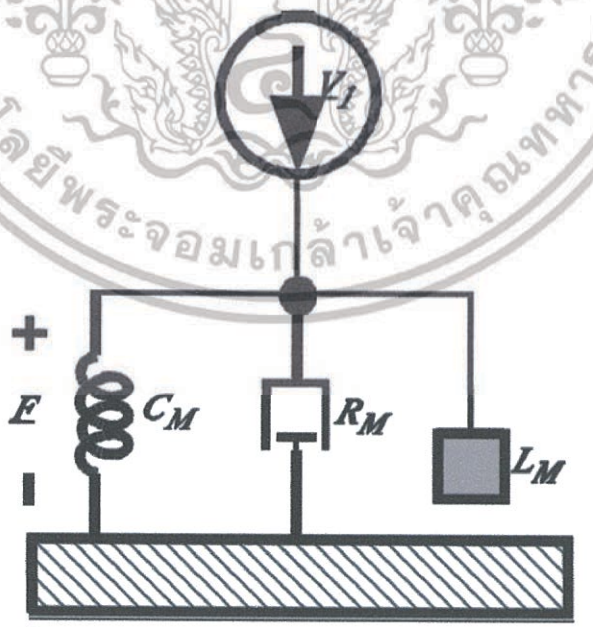
$C_E = C_A$

แล้ว $I_1 = U_1$

$E_1 = P_1$

$E_2 = P_2$

อนาล็อกเชิงกลของการอธิบายวงจรอะคูสติกในวงจรเครื่องกลไม้ที่มีความสัมพันธ์เชิงอุดมคติถึงองค์ประกอบเครื่องกลจะต้องแข็ง และมีมวลน้อย



รูปที่ 2.34 แสดงภาพอนาล็อกเชิงกลของวงจรอะคูสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่าตัวเลขของ $L_M = L_A$

$R_M = R_A$

$C_M = C_A$

ดังนั้น $V_1 = U_1 = U_2$

และ $F = P_1$

ดังนั้น

$$\frac{F}{V_1} = j\omega L_M + R_M + \frac{1}{j\omega C_M} \tag{2.21}$$

ที่แรงทั้งหมดกระทำบนองค์ประกอบเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำบนแต่ละอัน

$$F = V_1(j\omega L_M + R_M + \frac{1}{j\omega C_M}) \tag{2.22}$$

2.3 มาตรฐานของระบบเสียง

ระบบเสียงของลำโพงเป็นการกำหนดจำนวนและขนาดของลำโพงพร้อมด้วยตำแหน่งที่ควรจัดวางจะทำให้ระบบเสียงที่กระจายได้ในตำแหน่งเดียวกับเสียงภาพยนตร์และภาพจะทำงานอย่างสอดคล้องกัน อย่างเช่นเสียงเดินมาจากทางด้านซ้ายเสียงลำโพงด้านซ้ายทั้งหมดจะทำงานให้สอดคล้องกันเมื่อเข้าใกล้ก็จะมีความเข้มข้นของเสียงที่มากขึ้นด้วย ระบบลำโพงนอกจากกรอบทิศทางแล้วยังพัฒนาให้มีเสียงทุ้มทำให้เสียงที่ได้ยินแยกอิสระต่อกันเสียงจะทุ้มนุ่มมากขึ้น โดยทาง Dolby Lab เป็นผู้คิดค้นและพัฒนาระบบเสียงที่เราใช้กันทั่วโลกระบบเสียงที่ว่านี้จะถูกตราสัญลักษณ์ไว้ข้างกล่องสินค้าที่ใช้ระบบเสียงนี้ทุกชนิด ซึ่งจะมีการรองรับที่ต่างกัน

รูปที่ 2.35 Dolby Lab

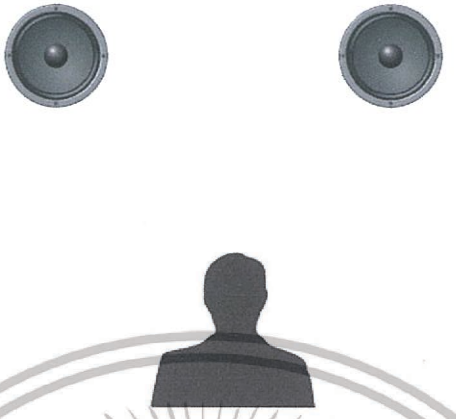
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/gBS5d2)

2.3.1 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ (Stereo)

ระบบเสียงแบบสเตอริโอ นี้จะมีรูปแบบการวางลำโพงสองด้าน คือ ด้านซ้ายและด้านขวา ทำให้เสียงที่ออกมานั้นมีมิติ เช่นเมื่อฟังเพลง อาจจะได้ยินเสียงนักร้อง เสียงกลอง อยู่ตรงกลาง และเสียงกีตาร์ เสียงเบส หรือเสียงเปียโน จะอยู่ทางด้านซ้ายหรือด้านขวา ตามที่ผู้บันทึกเสียงกำหนดจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

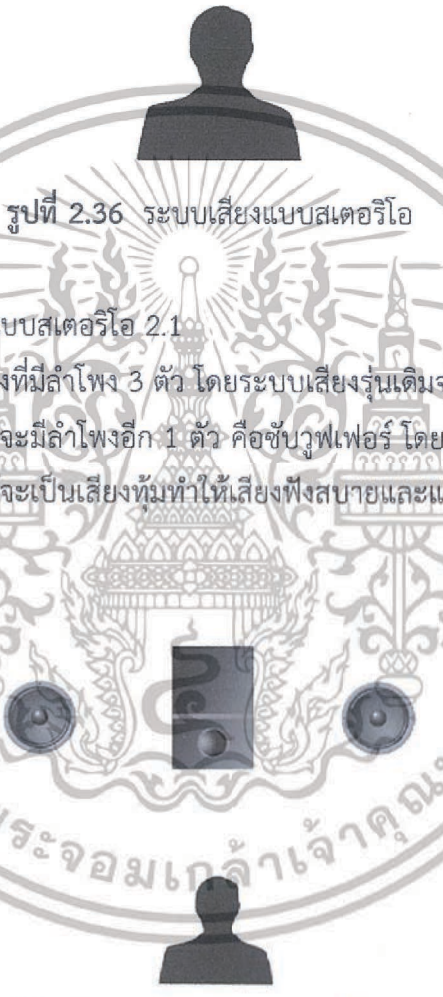
ทำให้เสียงดนตรี มีมิติ และไพเราะมากขึ้น จึงถือว่าเป็นระบบเสียงที่ดีในระดับหนึ่งและใช้กันแพร่หลาย ในหมู่นักฟังเพลง แต่ไม่ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเสียงในปัจจุบัน



รูปที่ 2.36 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ

- ระบบเสียงแบบสเตอริโอ 2.1

เป็นระบบเสียงที่มีลำโพง 3 ตัว โดยระบบเสียงรุ่นเดิมจะมีลำโพงแค่สองตัวในระบบสเตอริโอธรรมดาหากเป็น 2.1 จะมีลำโพงอีก 1 ตัว คือซับวูฟเฟอร์ โดยระบบ 2.1จะดีกว่าระบบเดิมเพียงเล็กน้อย ตรงที่ลำโพงที่ให้จะเป็นเสียงทุ้มทำให้เสียงฟังสบายและแยกความแตกต่างของเสียงได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.37 ระบบเสียงแบบสเตอริโอ 2.1

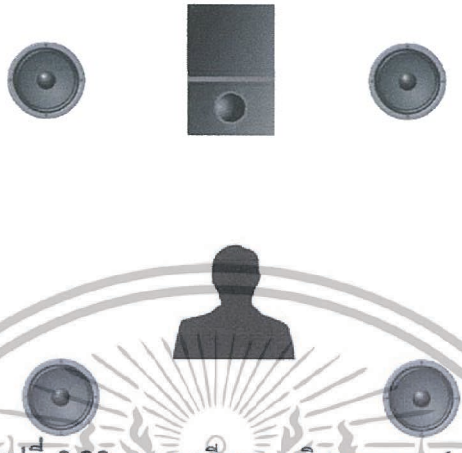
2.3.2 ระบบเสียงแบบรอบทิศทาง (Surround)

ระบบเสียงแบบรอบทิศทาง เป็นระบบการใช้ช่องสัญญาณเสียงประกอบกันเป็นสัญญาณแผ่กระจาย รอบตัวผู้ฟังทำให้สามารถรับถึงมิติของเสียงได้ทุกทิศทางรอบตัวทำให้มีความสมจริงมากขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมมากในหมู่ผู้ชอบชมภาพยนตร์ ระบบเสียงแบบรอบทิศทาง นั้นมีหลายรูปแบบต่างๆกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 4.1

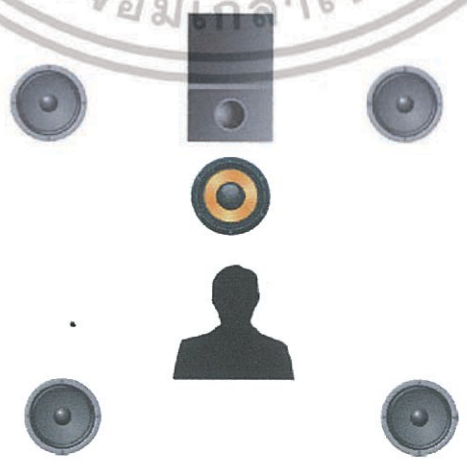
พัฒนามาจากระบบ 2.1 โดยจะมีการเพิ่มลำโพงด้านหลังอีก 2 ตัว เป็นลำโพงคู่หลัง วางไว้ที่ข้างซ้ายและขวา ทำให้ได้รับเสียงระบบรอบทิศทางที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.38 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 4.1

2. ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 5.1

ลำโพงในรูปแบบ 5.1 นี้ แตกต่างจากระบบเสียงรอบทิศทาง 4.1 ช่องคือ จะเพิ่มช่องสัญญาณขึ้นมาอีก 2 ช่อง ให้กับลำโพงตัวกลางและซับวูฟเฟอร์ซึ่งในรูปแบบนี้ ซับวูฟเฟอร์จะมีช่องสัญญาณเป็นของตัวเองแล้ว แต่ก็ยังนับเป็น 4.1 อยู่เนื่องจากซับวูฟเฟอร์ยังขับเสียงในช่วงความถี่ต่ำเช่นเดิมเสียงที่ออกมาจะเป็นในรูปแบบคลื่นสั่นสะเทือน จึงไม่สามารถให้มิติของเสียงได้ โดยในรูปแบบ 5.1 ช่อง สามารถรองรับระบบดอลบี้ดิจิตอล (Dolby Digital) พบได้ในโรงภาพยนตร์ทั่วไป

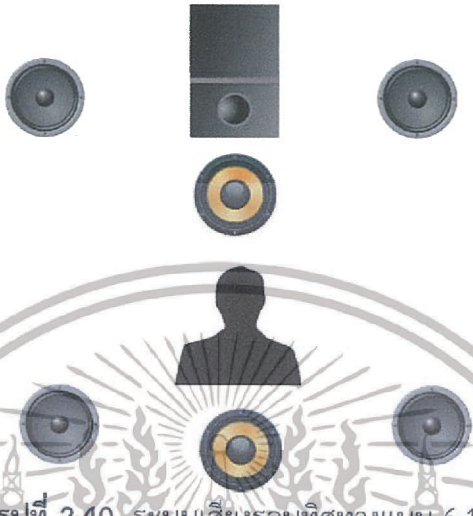


รูปที่ 2.39 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 6.1

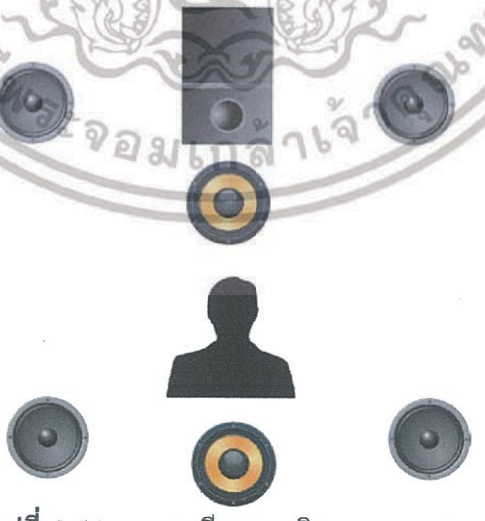
เป็นการเพิ่มลำโพงด้านหลังตรงกลางอีกหนึ่งตัว รองรับระบบ Dolby Digital EX หรือ DTS ES แต่เป็นระบบที่ไม่ค่อยได้รับความนิยมส่วนมากจึงเลือกที่จะใช้ระบบ 7.1



รูปที่ 2.40 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 6.1

4. ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 7.1

เป็นระบบที่ได้พัฒนามาสูงที่สุดในปัจจุบัน จะมีการเพิ่มลำโพงสองตัว ตรงกลางซ้าย ขวา โดยไม่มีลำโพงด้านหลังกลางเหมือนกัน 6.1 แต่ก็ต้องใช้งานร่วมกับการ์ดเสียงที่รองรับระบบนี้ด้วย ทำให้ได้รับเสียงจากภาพยนตร์ที่สมจริงมากที่สุด



รูปที่ 2.41 ระบบเสียงรอบทิศทางแบบ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

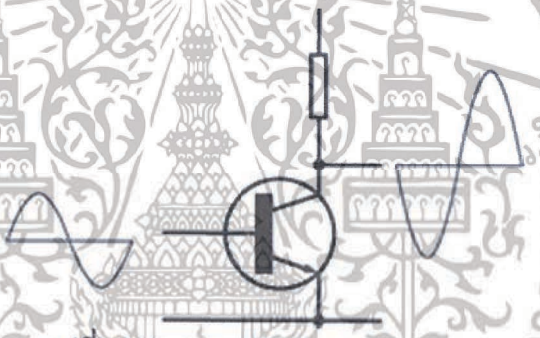
2.4 วงจรเครื่องขยายเสียง (Amplifier)

หน้าที่ของเครื่องขยายเสียง ถ้าเปรียบเทียบก็เหมือนกับปั๊มน้ำ คือมีหน้าที่ปั๊มให้น้ำทางด้านอินพุทที่ไหลเข้ามา ออกไปทางด้านเอาท์พุทด้วยความแรงและเร็วเช่นเดียวกัน สำหรับเครื่องขยายเสียงนั้นมีหน้าที่ปั๊มให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามา ออกไปทางด้านเอาท์พุทด้วยความแรงและเร็ว

เครื่องขยายเสียงจะขับดันสัญญาณด้านเอาท์พุท ตามสัญญาณด้านอินพุทเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นเราจะแบ่งวงจรเครื่องขยายเสียงออกเป็น 2 ส่วน วงจรส่วนที่หนึ่งคือ วงจรทางเอาท์พุท ได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่หรือจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าเราใช้วิธีเสียบปลั๊กไฟที่บ้าน ไฟที่ได้เป็นไฟกระแสสลับ จะต้องแปลงไฟเป็นไฟตรงก่อนจึงจะป้อนให้กับวงจรเครื่องขยายเสียงได้ และเครื่องขยายเสียงก็มีคลาสดังต่อไปนี้

2.4.1 คลาสของแอมป์ (Class Amplifier)

1. คลาส A



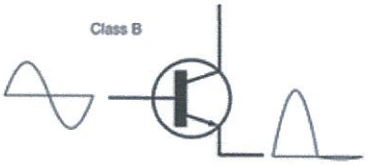
รูปที่ 2.42 วงจรขยายคลาส A
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HsksNb)

อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ทำงานในคลาส A นำกระแส ตลอดวงรอบของสัญญาอินพุต วงจรขยายสัญญาณคลาส A มีความโดดเด่นด้วยขั้นตอนเอาท์พุทที่มีการ bias ให้เป็นคลาส A ซับคลาส A2 บางครั้งใช้เพื่ออ้างถึงหลอดสุญญากาศ ที่ grid ถูกขับให้เป็นบวกเล็กน้อยบนยอดคลื่นส่งผลให้มีกำลังมากกว่าคลาส A1 ปกติเล็กน้อยA1 grid เป็นลบเสมอแต่ก่อให้เกิดการบิดเบือนมากขึ้น

แอมป์ Class A มักจะถูกใช้ในขั้นตอนเอาท์พุทของแอมป์คุณภาพสูง (แม้ว่าความแม่นยำของ bias ในออพแอมป์ต้นทุนต่ำ เช่น 741 อาจส่งผลในคลาส A หรือ AB หรือ B ที่แตกต่างกันไปจากอุปกรณ์ตัวหนึ่ง ไปยังอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง หรือเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ) บางครั้งมันยังถูกใช้เป็นแอมป์ออดิโอพลังงานขนาดกลางที่มีประสิทธิภาพต่ำและค่าใช้จ่ายสูง การบริโภคพลังงานไม่มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่เอาท์พุท ในขณะว่างงาน (ไม่มีอินพุท) การบริโภคพลังงานจะเท่ากับปริมาณพลังงานที่มีเอาท์พุทสูง ผลที่ได้คือประสิทธิภาพต่ำและการกระจายความร้อนที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลาส B

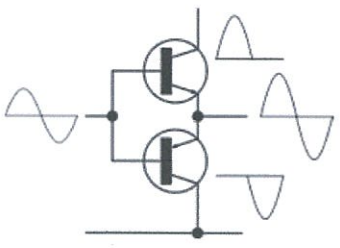


รูปที่ 2.43 วงจรขยายคลาส B
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HsksNb)

วงจรขยายสัญญาณ Class B จะขยายครึ่งหนึ่งของวงรอบคลื่นอินพุทเท่านั้น ดังนั้นจึงสร้างการบิดเบือนเป็นจำนวนมาก แต่ ประสิทธิภาพจะดีขึ้นอย่างมากและจะดีกว่าแอมป์คลาส A. นอกจากนี้แอมป์ Class B ยัง เป็นที่ชื่นชอบในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยแบตเตอรี่ เช่น วิทยุทรานซิสเตอร์ Class B มีประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎีของ $\pi/4$ (กล่าวคือ 78.5%) เป็นเพราะตัวขยายสัญญาณจะปิดโดยสิ้นเชิงครึ่งหนึ่งของเวลาจึงไม่สามารถกระจายความร้อนในช่วงนั้น ตัวขยายคลาส B ดังกล่าวที่เป็นตัวเดี่ยว ไม่ค่อยพบในทางปฏิบัติ แม้ว่ามันจะถูกนำมาใช้เพื่อขับลำโพงในช่วงต้นของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไอบีเอ็มด้วยเสียงบี๊บ และมันสามารถถูกนำมาใช้ในพาวเวอร์แอมป์ RF ที่ระดับความเพี้ยนมีความสำคัญน้อย อย่างไรก็ตามคลาส C ถูกนำมาใช้สำหรับงานนี้กันอย่างแพร่หลายมากกว่า

ในทางปฏิบัติ วงจรใช้ตัวขยายคลาส B คือขั้นตอน push–pull เช่นการจัดเป็นคู่เสริมอย่างง่าย มากที่แสดงด้านล่าง ที่นี่อุปกรณ์เสริมหรือคู่เสริมที่ใช้ในการขยายในแต่ละครึ่งของสัญญาณ อินพุท แล้วจะถูกรวมกันใหม่ที่เอาต์พุต การจัดเป็นคู่แบบนี้จะให้ประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยม แต่สามารถประสบอุปสรรคที่มีการไม่เข้ากันเล็กน้อยในบริเวณรอยต่อระหว่างสองส่วนของสัญญาณ ในขณะที่อุปกรณ์เอาต์พุตตัวหนึ่งจะต้องเข้าทำงานจ่ายพลังงานแทนในขณะที่อีกอุปกรณ์หนึ่งทำงานเสร็จ สิ่งนี้เรียกว่าการบิดเบือนครอสโอเวอร์ การปรับปรุงวิธีหนึ่งคือการไบอัสอุปกรณ์เพื่อให้มันไม่หยุดทำงานอย่างสมบูรณ์ เมื่อมันไม่ได้ทำงาน วิธีการนี้เรียกว่า การทำงานคลาส AB

3. คลาส AB



รูปที่ 2.44 วงจรขยายคลาส AB
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HsksNb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

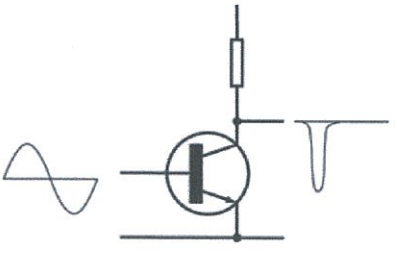
คลาส AB ถือว่าเป็นประนีประนอมที่ดีสำหรับพาวเวอร์แอมป์ออดิโอ เนื่องจากเวลาที่นานมากของช่วงที่เพลงเงียบ ที่นานพอที่จะทำให้สัญญาณคงอยู่ในบริเวณ"คลาส A" ในที่ซึ่งมันจะถูก ขยายด้วยความชัดเจนที่ดี และโดยนิยาม ถ้าผ่านออกไปจาก บริเวณนี้ เวลาจะนานมากพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ของการบิดเบือนโดยทั่วไปของคลาส B มีขนาดค่อนข้างเล็ก การบิดเบือนครอสโอเวอร์สามารถทำให้ลดลงได้อีกโดยการใช้การป้อนกลับเชิงลบ

ในการดำเนินงานคลาส AB, แต่ละอุปกรณ์จะดำเนินงานเช่นเดียวกับในคลาส B มากกว่าครึ่งหนึ่งของรูปคลื่น แต่ยังนำกระแสขนาดเล็กๆในรูปคลื่นอีกครึ่งหนึ่ง ผลก็คือพื้นที่ที่อุปกรณ์ทั้งสองเกือบจะปิดพร้อมกัน (dead zone) จะลดลง ผลที่ได้คือ เมื่อคลื่นจากทั้งสองอุปกรณ์นี้จะถูกนำมารวมกัน, ครอสโอเวอร์จะลดลงอย่างมาก หรือหักล้างกันไปโดยสิ้นเชิง ทางเลือกที่ถูกต้องของกระแสนิ่ง หรือกระแสที่ไหลขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุท จะทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมากในขนาดของการบิดเบือน และความเสี่ยงของไหลเชี่ยวอันเนื่องจากอุณหภูมิที่อาจสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์

ดังนั้น แรงดันไบอัสที่ใช้เพื่อตั้งค่ากระแสนิ่งนี้มักจะต้องถูกปรับด้วยอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์เอาต์พุต เช่น ในวงจรที่เริ่มต้นของบทความนี้ ไดโอดจะถูกติดตั้งอยู่ใกล้กับทรานซิสเตอร์เอาต์พุต และถูกเลือกให้มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิตรงกัน วิธีการอีกอย่างหนึ่ง มักจะใช้แบบเดียวกับแรงดันไบอัสเพื่อติดตามอุณหภูมิ ก็คือการเพิ่มตัวต้านทาน ค่าน้อยๆ อนุกรมกับ emitters คลาส AB เสียสละประสิทธิภาพบางส่วนเหนือกว่าคลาส B เพื่อให้ได้ความเป็นเชิงเส้น ประสิทธิภาพจึงน้อยกว่า (ต่ำกว่า 78.5 % สำหรับ sinewaves เต็มคลื่นในแอมป์ทรานซิสเตอร์ น้อยกว่าคลาส AB แอมป์หลอดสุญญากาศ)มาก โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพมากกว่าคลาส A

บางครั้ง ตัวเลขจะถูกเพิ่มข้างท้ายสำหรับหลอดสุญญากาศ ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ grid เป็นลบอยู่ตลอดเวลาเมื่อเทียบกับแคโทด จะเป็นคลาส AB1 ถ้ากริดได้รับอนุญาตให้เป็นบวกได้เล็กน้อย (ทำให้มีกระแสที่ grid เป็นการเพิ่มการบิดเบือนมากขึ้น แต่ให้กำลังของเอาต์พุตสูงกว่าเล็กน้อย) ที่ยอดของสัญญาณจะเป็นคลาส AB2

4. คลาส C



รูปที่ 2.45 วงจรขยายคลาส C

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HsksNb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมป์คลาส C นำกระแสน้อยกว่า 50% ของสัญญาณเข้า และการบิดเบือนที่เอาท์พุทอยู่ในระดับสูง แต่มีประสิทธิภาพสูง 90% ขึ้นไป การประยุกต์ใช้ทั่วไปสำหรับแอมป์ชนิดนี้จะเป็นเครื่องส่งสัญญาณ RF ที่ทำงานที่ความถี่เดียวคงที่ ในที่ซึ่งการบิดเบือนจะถูกควบคุมโดยการปรับโหลดบนตัวขยายสัญญาณ สัญญาณอินพุทจะถูกใช้ในการสลับอุปกรณ์ที่ใช้งาน ก่อให้เกิดคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านวงจรปรับแต่งที่ประกอบขึ้นมาเป็นส่วนหนึ่งของโหลด

แอมป์คลาส C มีสองโหมดของการดำเนินงาน คือปรับและไม่ปรับ แผนภาพแสดงให้เห็นถึง สัญญาณจากวงจรคลาส C ง่ายๆโดยปราศจากโหลดปรับ การทำงานแบบนี้เรียกว่าแบบ untuned และการวิเคราะห์รูปคลื่นได้แสดงให้เห็นถึงการบิดเบือนขนาดใหญ่ที่ปรากฏในสัญญาณ เมื่อใช้โหลดที่เหมาะสม เช่นตัวกรอง inductive-capacitive บวกกับโหลดตัวต้านทาน มีสองสิ่งเกิดขึ้น สิ่งแรกคือ ระดับไบอัสของเอาท์พุท จะถูกบีบด้วยแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย นี่คือเหตุผลที่การทำงานแบบปรับ บางครั้งเรียกว่า clamper วิธีการนี้จะช่วยให้ รูปแบบของคลื่นคืนกลับไปยังรูปร่างที่เหมาะสมของมัน แม้จะมีตัวขยายสัญญาณจะมีแหล่งจ่ายเพียงขั้วเดียว สิ่งนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับปรากฏการณ์ที่สอง รูปคลื่นความถี่ที่ศูนย์กลางถูกบิดเบี้ยวน้อย การบิดเบือนที่ค้าง จะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์ของโหลดปรับด้วยความถี่ที่ศูนย์กลางที่มีการบิดเบือนน้อยมาก แต่การลดทอนจะยิ่งมากขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณที่ได้รับยิ่งไกลจากความถี่ปรับ

วงจรปรับจะสะท้อน (resonate) ที่ความถี่หนึ่งหรือเรียกว่าความถี่พาหะที่คงที่ และดังนั้น ความถี่ที่ไม่พึงประสงค์จะถูกระงับ และสัญญาณเต็มรูปแบบที่ต้องการ คลื่นไซน์ จะถูกแยกออกด้วยโหลดปรับ แบนด์วิดธ์ของแอมป์จะถูกจำกัดโดย Q -factor ของวงจรปรับแต่นี้ไม่ได้เป็นข้อจำกัดที่ร้ายแรง ฮาโมนิคส์ใดๆที่ค้างอยู่จะถูกลบออกโดยใช้ตัวกรองขั้นต่อไป

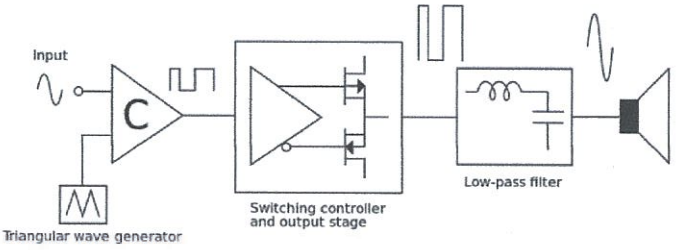
แอมป์คลาส C ในทางปฏิบัติ โหลดปรับจะถูกใช้อย่างสม่ำเสมอ ในการจัดการทั่วไป ตัวต้านทานที่แสดงในวงจรข้างต้นจะถูกแทนที่ด้วยวงจรปรับแบบขนาน ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุต่อขนานกัน องค์ประกอบของชิ้นส่วนสองตัวนี้ถูกเลือกให้รีโซแนทที่ความถี่ของสัญญาณอินพุท พลังงานสามารถจ่ายให้กับโหลดโดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดเหนี่ยวนำทุติยภูมิพันรอบตัวเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขา drain จะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟและ แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่ปรากฏคร่อมวงจรปรับความถี่จะแปรจากใกล้ศูนย์ถึงใกล้สองเท่าของแหล่งจ่ายไฟระหว่างวงรอบของ RF วงจรอินพุทจะถูก bias เพื่อว่าองค์ประกอบที่แอคทีฟ เช่น ทรานซิสเตอร์ จะนำกระแสเพียงเศษเสี้ยวของวงรอบ RF มักจะเป็นหนึ่งในสาม คือ 120 องศาหรือน้อยกว่า

องค์ประกอบที่แอคทีฟจะนำกระแสในขณะที่แรงดันของ drain จะผ่านจุดต่ำสุดเท่านั้น โดยวิธีการนี้ พลังงานความร้อนในอุปกรณ์แอคทีฟจะถูกทำให้ต่ำสุด และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในทางอุดมคติ ชิ้นส่วนแอคทีฟจะปล่อยผ่านกระแสที่เป็นพัลส์เพียงชั่วขณะเท่านั้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวมันเป็นศูนย์มันก็ไม่กระจายความร้อนและมีประสิทธิภาพ 100% อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ในทางปฏิบัติจะมีขีดจำกัดของกระแสสูงสุดที่มันสามารถปล่อยผ่านได้ เพราะฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์จึงต้องถูกทำให้กว้างขึ้น ถึงประมาณ 120 องศา เพื่อให้ได้จำนวนพลังงานที่เหมาะสม และประสิทธิภาพที่ 60-70%

5.คลาส D



รูปที่ 2.46 วงจรขยายคลาส D
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/HsksNb)

ในแอมป์คลาส D สัญญาณอินพุทจะถูกแปลงเป็นพัลส์เรียงลำดับที่มีแรงดันเอาต์พุตสูงกว่า ค่ากำลังงานโดยเฉลี่ยตามเวลาของพัลส์เหล่านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสัญญาณอินพุท ความถี่ของพัลส์เอาท์พุทปกติจะเป็นสิบเท่าหรือมากกว่าความถี่ที่สูงที่สุดของสัญญาณอินพุท พัลส์ที่เอาต์พุตประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีสเปกตรัมไม่ถูกต้อง นั่นคือ ความถี่พัลส์และ ฮาร์โมนิคส์ของมัน ซึ่งจะต้องถูกถอดออกโดยตัวกรองพาสซีฟแบบ low-pass สัญญาณที่ถูกกรองแล้วนี้จะเป็นแบบจำลองของอินพุทที่ถูกขยาย

วงจรขยายสัญญาณเหล่านี้ใช้ pulse width modulation, pulse density modulation บางครั้งเรียกว่า pulse frequency modulation หรือรูปแบบที่ก้าวหน้ากว่าของการมอดูเลชัน เช่น Delta-sigma modulation เช่น ใน Analog Devices AD1990 พาวเวอร์แอมป์ออดิโอคลาส Dขั้นตอนเอาต์พุต เช่นที่ใช้ในเครื่องสร้างสัญญาณพัลส์ เป็นตัวอย่างของแอมป์คลาส D คำว่าคลาส D เป็นคำที่มักจะใช้กับอุปกรณ์ที่มีจุดมุ่งหมายในการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ ที่มี แบนด์วิดธ์ที่ต่ำกว่าความถี่ในการสวิตช์

แอมป์คลาส D สามารถควบคุมได้โดยวงจรอนาล็อกหรือดิจิตอล การควบคุมแบบดิจิตอล จะสร้างการบิดเบือนเพิ่มเติมที่เรียกว่า quantization error ที่เกิดจากการแปลงสัญญาณอินพุตให้เป็นค่าดิจิตอล

ข้อได้เปรียบหลักของแอมป์คลาส D ก็คือประสิทธิภาพพลังงาน เพราะพัลส์เอาต์พุตมีขนาดแอมพลิจูดคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสลับ ปกติคือ MOSFET แต่วาล์วหลอดสุญญากาศ และทรานซิสเตอร์สองขั้วก็เคยถูกนำมาใช้ จะถูกสลับให้ ON หรือ OFF อย่างสมบูรณ์ แทนที่จะทำงานอยู่ในโหมดเชิงเส้น MOSFET จะทำตัวเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานต่ำสุดในขณะ ON อย่างสมบูรณ์ และมีความต้านทานสูงสุดเมื่อ OFF อย่างสมบูรณ์ และทำให้มีการกระจายความร้อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแอมป์คลาส AB การสูญเสียที่ต่ำกว่าของแอมป์คลาส D จะใช้ heat sink ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ MOSFET ในขณะที่ยังสามารถลดปริมาณของพลังงานที่ อินพุทที่จำเป็น แหล่งจ่ายไฟก็สามารถออกแบบให้ลดขนาดลงด้วย เพราะฉะนั้น แอมป์ คลาส D โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่าแอมป์คลาส AB

พาวเวอร์แอมป์ออดิโอคลาส D ที่มีคุณภาพสูงหาซื้อได้ในตลาดปัจจุบัน การออกแบบได้รับ การกล่าวถึงว่าเป็นคู่แข่งของแอมป์ AB แบบดั้งเดิม ในแง่ของคุณภาพ การใช้งานในตอนเริ่มต้นของแอมป์คลาส D เป็นเครื่องขยายเสียงซับวูฟเฟอร์กำลังสูงในรถยนต์ เพราะว่าซับวูฟเฟอร์ทั่วไปอาจถูกจำกัดแบนด์วิดธ์ที่ไม่สูงกว่า 150 Hz ความเร็วในการสลับ สำหรับตัวขยายสัญญาณไม่จำเป็นต้องสูงที่สุดเท่ากำลังการขยายทั้งชุด ทำให้การออกแบบง่ายขึ้น แอมป์ คลาส D เพื่อขับซับวูฟเฟอร์มีราคาค่อนข้างไม่แพง เมื่อเทียบกับแอมป์คลาส AB

ตัวอักษร D ที่ใช้ในการกำหนดคลาสของแอมป์นี้ เป็นเพียงตัวอักษรตัวถัดไปอักษร C และไม่ เป็นตัวย่อของคำว่าดิจิตอลแอมป์ Class D และแอมป์ คลาส E บางครั้งก็ถูกอธิบายผิดเป็น "ดิจิตอล" เพราะสัญญาณ output ดูเผินๆ คล้ายกับขบวนของพัลส์ที่มีสัญญลักษณ์ของดิจิตอล แต่แอมป์คลาส D เพียงแปลงสัญญาณอินพุตที่เข้ามาอย่างต่อเนื่องให้เป็น สัญญาณอนาล็อกที่ถูกมอดูเลทแบบกว้าง คลื่นรูปสี่เหลี่ยม รูปคลื่นดิจิตอลเป็นรหัสของพัลส์ที่ถูกมอดูเลท

6. คลาสเพิ่มเติม

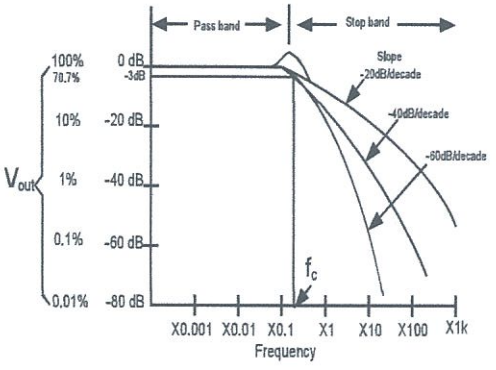
แอมป์ยังมีคลาสอื่นๆอีกหลายคลาส แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบดัดแปลงของคลาสที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น แอมป์คลาส G และ คลาส H เป็นการเปลี่ยนแปลงของรางจ่ายไฟที่ตามหลังสัญญาณอินพุท แบบทีละขั้นและแบบต่อเนื่องตามลำดับ ความร้อนที่สูญเปล่าของอุปกรณ์เอาต์พุตสามารถลดลงได้ถ้าแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกจัดการให้มีน้อยที่สุด แอมป์ที่ถูกเลี้ยงด้วยรางแบบนี้ จะเป็นคลาสอะไรก็ได้ แอมป์พวกนี้มีความซับซ้อนมากกว่าและใช้เป็นหลักสำหรับการใช้งานเฉพาะ เช่น แอมป์กำลังสูงมาก แอมป์คลาส E และคลาส F ก็เช่นกัน สำหรับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในที่ซึ่งประสิทธิภาพของคลาสแบบดั้งเดิมมีความสำคัญ แต่ยังมีหลายแง่มุมที่เปี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญจากค่าในอุดมคติของพวกมัน คลาสเหล่านี้ใช้การจูนนิ่งเครือข่ายเอาต์พุตแบบฮาร์โมนิค เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและได้รับการพิจารณาว่าเป็น ส่วนย่อยของคลาส C เนื่องจากคุณลักษณะมุมการนำของพวกมัน

2.5 ประเภทของวงจรกรองความถี่

2.5.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low – Pass Filters)

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรกรองความถี่ที่ยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่สูงกว่ากำหนดจะถูกลดทอนลงหรือถูกตัดออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

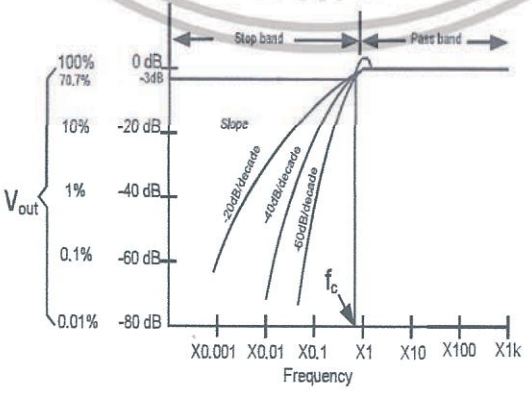


รูปที่ 2.47 กราฟแสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/puCyQ6)

จากรูปที่ 2.47 ในทางอุดมคติสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ต่ำจะผ่านเข้าสู่วงจรได้ เมื่อสัญญาณความถี่เพิ่มสูงขึ้น จนถึงค่าๆ หนึ่ง จะถูกตัดทอนลงไม่สามารถผ่านไปได้ โดยจุดที่ตัดทอนไม่ให้สัญญาณความถี่ดังกล่าวผ่านได้จะเรียกว่า ความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency) แต่ในทางปฏิบัติพบว่าลักษณะของสัญญาณความถี่ที่ตัดออกไปจะไม่เป็นไปตามลักษณะเช่นนั้น แต่สัญญาณจะค่อยๆ ลดทอนลง อัตราขยายลดลงเรื่อยๆ จุดความถี่คัทออฟที่ได้จากกราฟจะมีค่าเท่ากับ 0.707 ของขนาดแรงดันสูงสุด หรือจุดที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับ -3 dB โดยช่วงความถี่ของสัญญาณที่มีค่าความถี่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟจะเรียกว่า แถบความถี่ผ่าน (Pass band) และช่วงความถี่ของสัญญาณที่มีค่าความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟจะเรียกว่า แถบความถี่หยุด (Stop band)

2.5.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High – Pass Filters)

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน เป็นวงจรกรองความถี่ที่ยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่ากำหนดจะถูกตัดออกไป



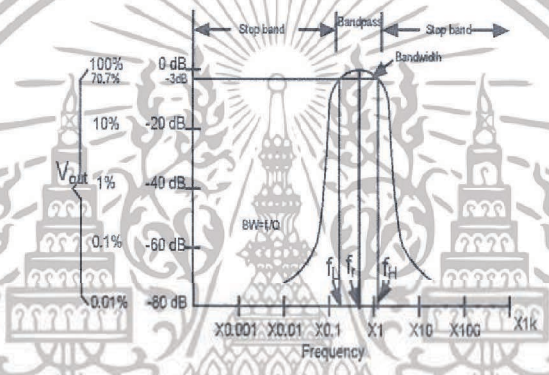
รูปที่ 2.48 กราฟแสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่าน
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/puCyQ6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.48 ในทางอุดมคติสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าจะไม่สามารถปรากฏออกมาจากวงจรได้ แต่จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าหรือเท่ากับค่าความถี่คัทออฟเท่านั้นผ่านได้ แต่ในทางปฏิบัติพบว่าไม่เป็นเช่นนั้น กล่าวคือ สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟจะปรากฏออกมาจากวงจรด้วย แต่จะมีอัตราขยายที่น้อยกว่า โดยอัตราขยายจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีสัญญาณความถี่เข้าใกล้ความถี่คัทออฟที่มีขนาดเท่ากับ 0.707 ของแรงดันสูงสุด หรือจุดที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับ -3 dB

2.5.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band – Pass Filters)

วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน เป็นวงจรกรองความถี่ที่ยอมให้สัญญาณความถี่ในช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งผ่านไปได้ แต่จะกั้นไม่ให้สัญญาณความถี่ต่ำกว่าและความถี่สูงกว่าความถี่นั้นๆ ผ่านไปได้



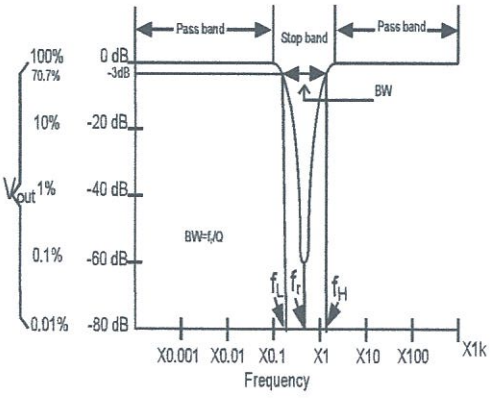
รูปที่ 2.49 กราฟแสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/puCyQ6)

จากรูปที่ 2.49 จะพบว่า ณ สัญญาณความถี่ที่เอาท์พุทมีขนาดสูงสุดเรียกว่า ความถี่ รีโซแนนท์ (Resonance frequency = f_r) โดยความถี่ซึ่งแรงดันเอาท์พุทลดลงเหลือ 70.7% ทั้งด้านที่ความถี่สูงขึ้นและที่ความถี่ลดลงเรียกว่า f_H และ f_L ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของสัญญาณความถี่ทั้งสองนี้ $(f_H - f_L)$ จะแสดงแบนด์วิดธ์ (Bandwidth = BW) ของวงจรกรองความถี่ ซึ่งแบนด์วิธด์ ณ ที่นี้ คือช่วงความถี่ของสัญญาณที่ยอมให้ผ่านไปได้ ส่วนที่นอกเหนือจากช่วง f_H ถึง f_L คือช่วง Stop band หรือ ช่วงที่สัญญาณความถี่ผ่านไปไม่ได้

2.5.4 วงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน (Stop – Band Filters)

วงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน เป็นวงจรกรองความถี่ที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน คือ วงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่านจะกั้นไม่ให้ช่วงสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่ง ผ่านไปได้ แต่จะยอมให้สัญญาณความถี่ที่มีความถี่สูงกว่าหรือสัญญาณความถี่ต่ำกว่าความถี่นั้นๆ ผ่านไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.50 กราฟแสดงวงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/puCyQ6)

จากรูปที่ 2.50 ช่วงสัญญาณความถี่ $f_H - f_L$ จะเป็นช่วง Stop band คือ สัญญาณที่ช่วงความถี่ผ่านไปไม่ได้ นอกเหนือช่วงสัญญาณความถี่ดังกล่าวแล้วจะเป็นช่วง Pass band หรือช่วงที่ความถี่ผ่านไปได้นั่นเอง

2.6 ระบบไอพีแอดเดรส (IP Address)

IP Address ย่อมาจากคำเต็มว่า Internet Protocal Address คือหมายเลขประจำเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องในระบบเครือข่ายที่ใช้โปรโตคอลแบบ TCP/IP ถ้าเปรียบเทียบก็คือบ้านเลขที่ของเรานั่นเอง ในระบบเครือข่าย จำเป็นจะต้องมีหมายเลข IP กำหนดไว้ให้กับคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องการ IP ทั้งนี้เวลามีการโอนย้ายข้อมูล หรือสั่งงานใดๆ จะสามารถทราบตำแหน่งของเครื่องที่เราต้องการส่งข้อมูลไป จะได้ไม่ผิดพลาดเวลาส่งข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 4 ชุด มีเครื่องหมายจุดขั้นระหว่างชุด เช่น 192.168.100.1 หรือ 172.16.10.1 เป็นต้น โดยหมายเลข IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีค่าไม่ซ้ำกัน สิ่งตัวเลข 4 ชุดนี้บอก คือ Network ID กับ Host ID ซึ่งจะบอกให้รู้ว่า เครื่อง computer ของเราอยู่ใน Network ไหน และเป็นเครื่องไหนใน Network นั้น เราจะรู้ได้อย่างไรว่า Network ID และ Host ID มีค่าเท่าไหร่ ก็ขึ้นอยู่กับว่า IP Address นั้น อยู่ใน class อะไร

เหตุที่ต้องมีการแบ่ง class ก็เพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบ เป็นการแบ่ง IP Address ออกเป็นหมวดหมู่นั้นเอง สิ่งที่จะเป็นตัวจำแนก class ของ Network ก็คือ bit ทางซ้ายมือสุดของตัวเลขตัวแรกของ IP Address (ที่แปลงเป็นเลขฐาน 2 แล้ว) นั่นเอง โดยที่ถ้า bit ทางซ้ายมือสุดเป็น 0 ก็จะเป็น class A ถ้าเป็น 10 ก็จะเป็น class B ถ้าเป็น 110 ก็จะเป็น class C ดังนั้น IP Address จะอยู่ใน class A ถ้าตัวเลขตัวแรกมีค่าได้ตั้งแต่ 0 - 127 (000000002 011111112) จะอยู่ใน class B ถ้าเลขตัวแรกมีค่าตั้งแต่ 128 - 191 (100000002 101111112) และ จะอยู่ใน class C ถ้าเลขตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกมีค่าตั้งแต่ 192 - 223 (110000002 110111112) มีข้อยกเว้นอยู่นิดหน่อยก็คือตัวเลข 0, 127 จะใช้ในความหมายพิเศษ จะไม่ใช้เป็น address ของ Network ดังนั้น Network ใน class A จะมีค่าตัวเลขตัวแรก ในช่วง 1 - 126

สำหรับตัวเลขตั้งแต่ 224 ขึ้นไป จะเป็น class พิเศษ อย่างเช่น Class D ซึ่งถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Multicast ของบาง Application และ Class E ซึ่ง Class นี้เป็น Address ที่ถูกสงวนไว้ก่อน ยังไม่ถูกใช้งานจริงๆ โดย Class D และ Class E นี้เป็น Class พิเศษ ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้งานในภาวะปกติ

ตัวอย่าง IP Address

Class A ตั้งแต่ 10.xxx.xxx.xxx

Class B ตั้งแต่ 172.16.xxx.xxx ถึง 172.31.xxx.xxx

Class C ตั้งแต่ 192.168.0.xxx ถึง 192.168.255.xxx

จาก IP Address เราสามารถที่จะบอก ได้คร่าวๆ ว่า computer 2 เครื่องอยู่ใน Network วงเดียวกันหรือเปล่าโดยการเปรียบเทียบ Network ID ของ IP Address ถ้ามี Network ID ตรงกันก็แสดงว่าอยู่ใน Network วงเดียวกัน เช่น computer เครื่องหนึ่งมี IP Address 1.2.3.4 จะอยู่ใน Network วงเดียวกับอีกเครื่องหนึ่งซึ่งมี IP Address 1.100.150.200 เนื่องจากมี Network ID ตรงกันคือ 1 (class A ใช้ Network ID 1 byte)

2.7 คอมพิวเตอร์จิ๋ว (Raspberry Pi 3)

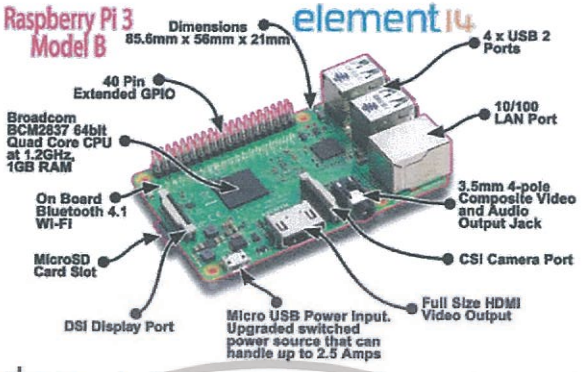
Raspberry Pi คอมพิวเตอร์ขนาดเท่าบัตรเครดิต และมีราคาถูก ใช้ชิปของ Broadcom ออกแบบมาเพื่อใช้ในการศึกษา โดยมีระบบปฏิบัติการเป็นลินุกซ์ (Linux) เช่น Raspbian (Debian), Pidora (Fedora) และล่าสุด Windows 10

2.7.1 ข้อมูลจำเพาะ (Specifications)

- Soc: Broadcom BCM2837
- CPU: 4× ARM Cortex-A53, 1.2 GHz
- GPU: Broadcom VideoCore iV
- RAM: 1GB LPDDR2 (900 MHz)
- Networking: 10/100 Ethernet, 2.4 GHz 802.11n wireless
- Bluetooth: Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
- Storage: microSD
- GPIO: 40-pin header, populated
- Ports: HDMI, 3.5 mm analogue audio-video jack, 4x USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ส่วนประกอบ Raspberry Pi 3



รูปที่ 2.51 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 3 Model B

(อ้างอิงโดย https://goo.gl/3mvadi)

- จุดเชื่อต่อ GPIO (40 Pin Extended GPIO) รายละเอียดดังรูป

3.3V	1	2	5V
I2C1 SDA	3	4	5V
I2C1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	GROUND
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
GROUND	25	26	SP10 CE1 N

รูปที่ 2.52 รายละเอียดจุดเชื่อมต่อ GPIO

(อ้างอิงโดย http://www.hobbytronics.co.uk/raspberry-pi-gpio-pinout)

- แผงวงจรขนาด 85.6 มม. x 56 มม. x 21 มม.
- จุดเชื่อมต่อ USB 2.0 จำนวน 4 จุด
- จุดเชื่อมต่อ RJ-45 Ethernet LAN 10/100 Mbps
- จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร
- จุดเชื่อมต่อ CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้อง ดังภาพแสดงตัวอย่างโมดูลกล้อง
- จุดเชื่อมต่อ HDMI สำหรับสัญญาณภาพและเสียง ตัวอย่างสาย HDMIและตัวแปลง HDMI to VGA แสดงดังรูป
- จุดเชื่อมต่อ Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจรบอร์ด Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดเชื่อมต่อ DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น

- ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

- On Board Bluetooth 4.1 Wi-Fi

- หน่วยประมวลผล Broadcom BCM2837 64bit Quad Core CPU at 1.2GHz, 1GB RAM

2.8 ภาษาไพทอน (Python Programming Language)

เป็นภาษาโปรแกรมระดับสูง เพื่อใช้งานทั่วไปแบบอินเทอร์พรีเตอร์ ที่สร้างโดย กีโด ฟาน รอสซัม (Guido van Rossum) ใน พ.ศ. 2533 ปัจจุบันดูแลโดยมูลนิธิซอฟต์แวร์ไพทอน

2.8.1 จุดเด่นของภาษาไพทอน

1. ความเป็นภาษาสคริปต์ เนื่องจากไพทอนเป็นภาษาสคริปต์ ทำให้ใช้เวลาในการเขียนและคอมไพล์ไม่มาก ทำให้เหมาะกับงานด้านการดูแลระบบ(System administration) เป็นอย่างยิ่ง ได้มีการสนับสนุนภาษาไพทอนโดยเป็นส่วนหนึ่งของระบบปฏิบัติการยูนิกซ์, ลินุกซ์ และสามารถติดตั้งให้ทำงานเป็นภาษาสคริปต์ของวินโดวส์ ผ่านระบบ en:Windows Script Host ได้อีกด้วย

2. ไวยากรณ์ที่อ่านง่าย ไวยากรณ์ของไพทอนได้กำจัดการใช้สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งบล็อกของโปรแกรมและใช้การย่อหน้าแทน ทำให้สามารถอ่านโปรแกรมที่เขียนได้ง่าย นอกจากนั้นยังมีการสนับสนุนการเขียน docstring ซึ่งเป็นข้อความสั้นๆ ที่ใช้อธิบายการทำงานของฟังก์ชัน คลาส และโมดูลอีกด้วย

3. ความเป็นภาษากาว ไพทอนเป็นภาษากาว (Glue Language) ได้อย่างดี เนื่องจากสามารถเรียกใช้ภาษาโปรแกรมอื่นๆ ได้หลายภาษา ทำให้เหมาะที่จะใช้เขียนเพื่อประสานงานโปรแกรมที่เขียนในภาษาต่างกันได้

2.8.2 ไพทอนในแพลตฟอร์มต่างๆ

ผู้เขียนโปรแกรมภาษาไพทอนสามารถเลือกใช้แพลตฟอร์มได้ดังนี้

1. ซีไพทอน (CPython) คือแพลตฟอร์มภาษาไพทอนดั้งเดิม โปรแกรมอิน-เทอร์พรีเตอร์ถูกเขียนโดยภาษาซี ซึ่งคอมไพล์ใช้ได้บนหลายระบบปฏิบัติการณ์ เช่น วินโดวส์, ยูนิกซ์, ลินุกซ์ การใช้งานสามารถทำได้โดยการติดตั้งโปรแกรมอินเทอร์พรีเตอร์และแพ็คเกจที่จำเป็นต่าง ๆ

2. ไจทอน (Jython) เป็นแพลตฟอร์มภาษาไพทอนที่ถูกพัฒนาบนแพลตฟอร์มจาวา เพื่อเพิ่มอำนวยความสะดวกในการใช้ความสามารถภาษาสคริปต์ของไพทอนลงในซอฟต์แวร์จาวาอื่น ๆ การใช้งานสามารถทำได้โดยการติดตั้งจาวาและเรียกไลบรารีของไจทอนซึ่งมาในรูปไบนารีเพื่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไพทอนดอตเน็ต Python.NET เป็นการพัฒนาภาษาไพทอนให้สามารถทำงานบนดอตเน็ตเฟรมเวิร์กของไมโครซอฟท์ได้ โดยโปรแกรมที่ถูกเขียนจะถูกแปลงเป็น CLR ปัจจุบัน มีโครงการที่นำภาษาไพทอนมาใช้บน .NET Framework ของไมโครซอฟท์แล้วคือ โครงการ IronPython

2.8.3 ไลบรารีในไพทอน

การเขียนโปรแกรมในภาษาไพทอนโดยใช้ไลบรารีต่าง ๆ เป็นการลดภาระของโปรแกรมเมอร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องเสีย*เวลากับการเขียนคำสั่งที่ซ้ำๆ เช่นการแสดงผลข้อมูลสู่หน้าจอ หรือการรับค่าต่าง ๆ

ไพทอนมีชุดไลบรารีมาตรฐานมาให้ตั้งแต่ติดตั้งอินเตอร์พรีเตอร์ นอกจากนั้นยังมีผู้พัฒนาจากทั่วโลกดำเนินการพัฒนาไลบรารีซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ โดยจะเผยแพร่ในรูปแบบของแพ็คเกจต่าง ๆ ซึ่งสามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้อีกด้วย

2.8.4 การนำไปใช้งาน

ด้วยความยืดหยุ่นของภาษาไพทอน และความเป็นภาษาสคริปต์ทำให้มีการใช้งานไพทอนอย่างกว้างขวาง

ผู้ใช้สามารถใช้ตัวแก้ไขข้อความทั่วไปในการแก้ไขโปรแกรมภาษาไพทอน นอกจากนั้นยังมี Integrated Development Environmentอื่นๆ ให้เลือกใช้อีก อาทิ

1. PyScripter: เป็นชุดเครื่องมือสำหรับพัฒนาภาษาไพธอน บระบบปฏิบัติการวินโดวน์ ที่ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ฟรี (open source)
2. Python IDLE: มีอยู่ในชุดอินเตอร์พรีเตอร์อยู่แล้ว สามารถเลือกติดตั้งได้
3. PythonWin: เป็นตัวแก้ไขในชุดของ PyWin32
4. ActivePython: จาก ActiveState (ล่าสุด รุ่น 2.5.1.)
5. SPE (Stani's Python Editor) : เป็นตัวแก้ไขที่มาพร้อมกับตัวออกแบบยูสเซอร์อินเทอร์เฟส wxGlade และเครื่องมือสำหรับ Regular Expression มีระบบ Syntax Highlight และการจัดย่อหน้าตามวากยสัมพันธ์ของไพทอนให้อัตโนมัติพัฒนาขึ้นจากภาษาไพทอนดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรีที่ http://spe.pycs.net
6. WingIDE: ตัวแก้ไขที่มีระบบ Syntax Highlight และการจัดย่อหน้าตามไวยกรณ์ของไพทอนให้อัตโนมัติ แต่ไม่ใช่ฟรีแวร์
7. Komodo: ตัวแก้ไขที่มีระบบ Syntax Highlight, การจัดย่อหน้าตามไวยกรณ์ของไพ-ทอนให้อัตโนมัติและเติมคำอัตโนมัติ เป็นตัวแก้ไขจาก ActiveState อีกตัวหนึ่ง ไม่ใช่ฟรีแวร์
8. Pydev: เป็น Python IDE สำหรับ Eclipse สามารถใช้พัฒนา Python, Jython และ Ironpython

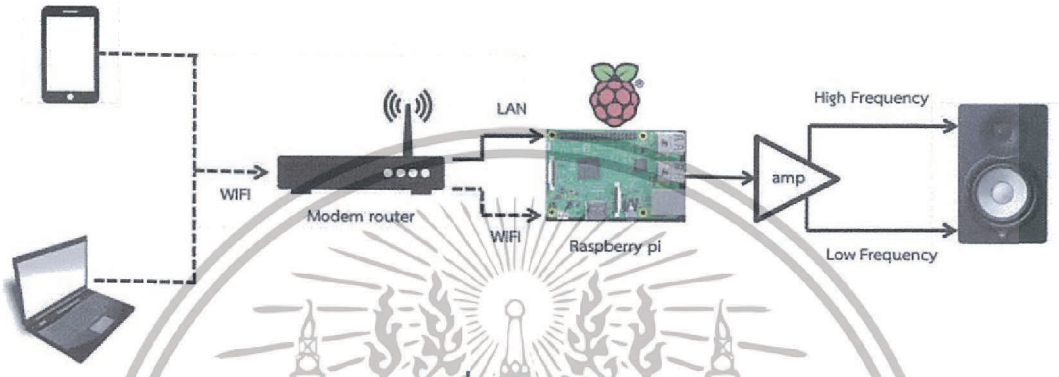
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. PyCharm: เป็น Python IDE ที่สร้างขึ้นโดยบริษัท JetBrains แบ่งออกเป็น 2 เวอร์ชัน ได้แก่ Community Edition (ใช้งานฟรี) และ Professional Edition (เสียเงินสามารถทดลองใช้ได้ 30 วัน) โดย Professional Edition จะเพิ่มความสามารถในการตรวจ syntax ของเฟรมเวิร์กที่ได้รับความนิยมที่ใช้งานร่วมกับภาษาไพทอน เช่น Django, Flask, Google App Engine เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 ภาพรวมของโครงงาน

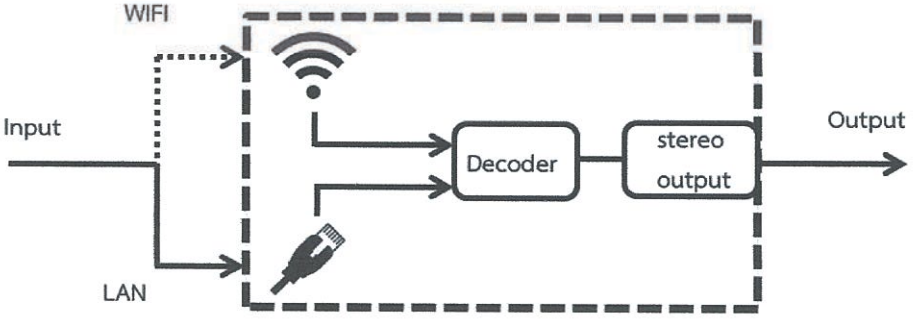


รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบ

จากรูปที่ 3.1 ขั้นแรกก็จะทำการเชื่อมต่อโมเด็มเราท์เตอร์เข้าตัวรับสัญญาณข้อมูลซึ่งก็คือบอร์ดราสเบอร์รี่พาย เพื่อที่จะได้ควบคุมบอร์ดราสเบอรี่พายจากคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนได้ พอบอร์ดได้รับคำสั่งหรือข้อมูลจากคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน บอร์ดราสเบอร์รี่พายก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปที่เครื่องขยายเสียงและลำโพงที่ได้ทำการออกแบบให้เหมาะสมสำหรับใช้ในบ้านต่อไปตามลำดับ

3.2 การออกแบบ

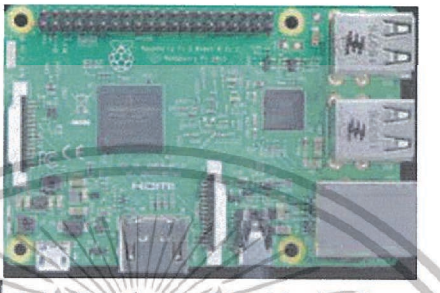
3.2.1 อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

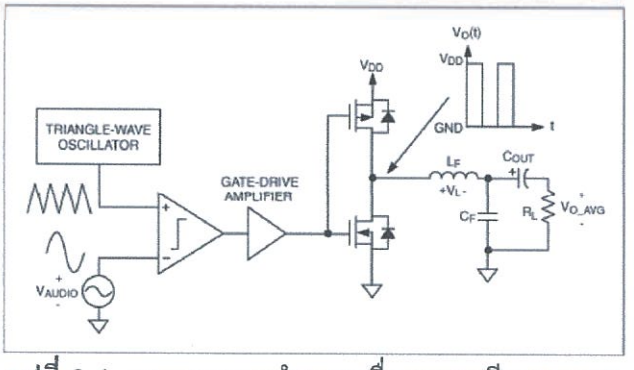
จากรูปที่ 3.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูลคือ เราจะกำหนด IP Address ให้กับอุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูลก่อน แล้วหลังจากนั้นทางภาคส่ง ก็จะส่งสัญญาณข้อมูลเข้ามาทาง Wifi หรือ Lan ที่ภาครับ พอได้ข้อมูลมาแล้วก็จะทำการส่งต่อไปที่ Audio Output เพื่อนำสัญญาณเสียงเข้าเครื่องขยายเสียงต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ภาครับที่ได้เลือกใช้ก็คือ บอร์ดราสเบอร์รี่พาย เนื่องจากตัวบอร์ดราสเบอร์รี่พายมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 Raspberry Pi 3 Model B
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/tWzMp7)

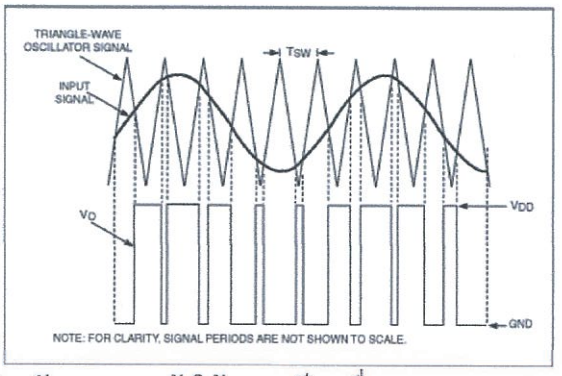
3.2.2 เครื่องขยายเสียง (Amplifier)

จากการศึกษาข้อมูลของเครื่องขยายเสียงคลาสต่างๆ ทำให้เกิดการตัดสินใจที่จะเลือกใช้เครื่องขยายเสียงที่เป็นคลาส D ซึ่งคลาส D นั้น การจัดวงจรขยายเสียง จะแตกต่างกับ คลาส A , คลาส B หรือ AB โดยสิ้นเชิง ซึ่ง คลาสข้างต้นภาคขยายสัญญาณขาออก จะทำหน้าที่ขยายแรงหรือหรือให้กำลังตามความแรงของสัญญาณขาเข้า ขณะที่ คลาส D จะแปลงสัญญาณขาเข้าให้กลายเป็นคลื่นแบบความกว้างของแถบคลื่นที่เรียกกันว่า Pulse Width Modulation (PWM) ในลักษณะรูปคลื่นที่เป็นแบบ square wave ขณะที่สัญญาณเสียงทั่วไปจะเป็นแบบ sine wave สัญญาณคลื่นที่ถูกแปลงนี้จะถูกส่งไปสร้างลักษณะการทำงานของภาคขยายเสียงขาออก ให้ทำงานและหยุดทำงานตามความกว้างของคลื่นที่ส่งเข้าไปกระตุ้นภาคขาออก คล้ายการทำงานของสัญญาณในแบบดิจิตอล คือ กำหนดให้เป็นการเปิดหรือปิดวงจร



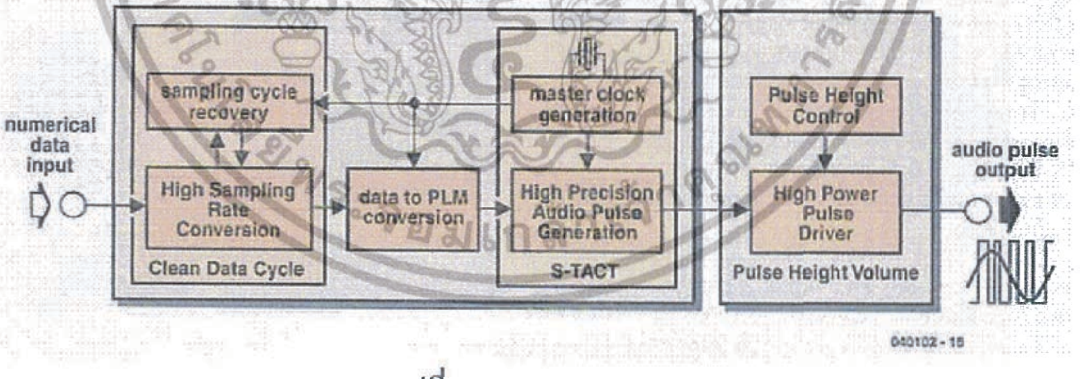
รูปที่ 3.4 ภาพรวมการทำงานเครื่องขยายเสียงคลาส D
(อ้างอิงโดย https://goo.gl/PNPW9B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การแปลงสัญญาณขาเข้าให้กลายเป็นคลื่นแบบ Pulse Width Modulation (อ้างอิงโดย https://goo.gl/PNPW9B)

แอมป์อีกคลาสที่ได้สนใจเป็นพิเศษอีกตัวคือคลาส T เพราะมีราคาที่ไม่แพง คลาส T เป็นการเรียกขานตามวงจรควบคุมการทำงานที่ผลิตโดย บริษัท ไทรพาธ (Tripath) ซึ่งพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาเพื่อลดจุดด้อยของ คลาส D ที่ไม่มีเสถียรภาพในความถี่สูงโดยใช้ความสามารถในเชิงดิจิตอลเข้ามาช่วย เพิ่มความถี่ของการทำงานแบบ switching ทำให้ switching ที่ความถี่สูงขึ้นถึงในระดับความถี่ประมาณ 85 KHz จากนั้นจึงใช้วงจรกรองความถี่ แบบ Low passที่ประมาณ 40 KHz ทำให้ได้เครื่องขยายเสียงแบบ คลาส D ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงความถี่ ที่สูงกว่า 20 KHz



รูปที่ 3.6 Diagram ของคลาส T (อ้างอิงโดย https://goo.gl/PNPW9B)

กล่าวคือคลาส T เหมือนกับ คลาส D แต่ไม่ใช้ฟีดแบคอนาล็อกเหมือนกับ คลาส D ฟีดแบคจะเป็นสัญญาณดิจิตอล และเกิดกับส่วนบนของฟิลเตอร์เอาท์พุท เพื่อหลีกเลี่ยงการยกเฟสของฟิลเตอร์นี้เพราะการเสียของสัญญาณในแอมป์คลาส D และ คลาส T เกิดขึ้นจากไทม์มิ่งทำงานผิดจังหวะ แอมป์คลาสT จะป้อนข้อมูลในเรื่องจังหวะกลับไป ส่วนการเสียของสัญญาณ ยังเกิดจากที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

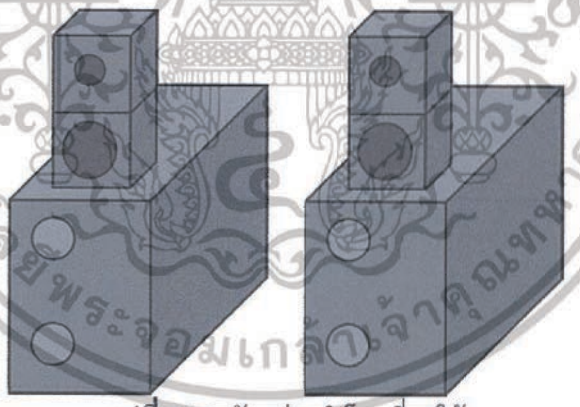
แอมป์ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล เพื่อแปลงอินพุท แอนาลอกไปเป็นสัญญาณ PWM และประมวลผลข้อมูลก่อนจะส่งกลับ

การประมวลผล จะดูที่ข้อมูลฟีดแบค และทำการปรับแต่งจังหวะ เพราะลูปฟีดแบคไม่ได้รวมฟิลเตอร์เอาท์พุทเอาไว้ด้วย ในแอมป์คลาส T มั่นคงมาก และสามารถทำงานได้เต็มช่องสัญญาณเสียง ซึ่งผู้ฟังส่วนใหญ่ไม่สามารถได้ยินความแตกต่างระหว่างคลาส T และ คลาส AB ที่ออกแบบดีๆได้

การออกแบบทั้ง คลาส D และ คลาส T ต่างก็มีปัญหากันคนละอย่าง มันเกินกำลังมาก ที่รอบต่ำเพราะรูปแบบคลื่นความถี่สูงๆ จะเกิดขึ้นตลอดเวลาแม้ในช่วงที่ไม่มีสัญญาณเสียงแอมป์ก็ยิ่งมีความร้อนตกค้างหลงเหลืออยู่ แอมป์บางรุ่นจะมีการตัดการทำงานของเครื่องเมื่อหยุดพักใช้งาน และจะกลับมาทำงานใหม่ เมื่อใช้งานโดยอัตโนมัติ

3.2.3 ลำโพง

ลำโพงที่ได้เลือกใช้เพื่อมาทำโครงงานนี้ก็จะมีอยู่ 3 ชนิด คือลำโพงซับวูฟเฟอร์, ลำโพงมิดเรนจ์ และลำโพงทวีตเตอร์ ซึ่งลำโพงแบบซับวูฟเฟอร์จะขับเสียงที่ต่ำและนุ่มออกมาทำให้ผู้ที่ฟังรู้สึกได้ถึงมวลเนื้อเบส ส่วนลำโพงมิดเรนจ์ก็จะเป็นลำโพงที่ให้เสียงรายละเอียดต่างๆ เช่นเสียงพูด หรือในศัพท์ทางดนตรีจะเรียกว่า เสียงกลาง สุดท้ายก็จะเป็นลำโพงทวีตเตอร์ ลำโพงชนิดนี้จะขับเสียงสูงหรือเสียงแหลมออกมา ทำให้เสียงดนตรีมีมิติเพิ่มมากขึ้น



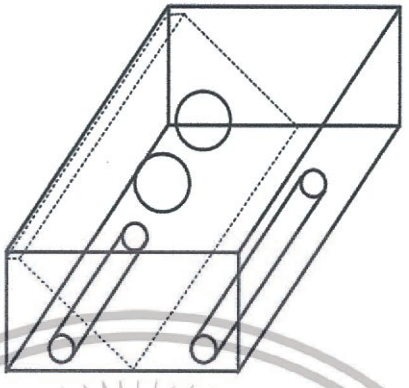
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างลำโพงที่จะใช้

จากรูปที่ 3.7 อธิบายได้ว่าลำโพง 1 ตู้จะประกอบไปด้วยลำโพงมิดเรนจ์ ,ซับวูฟเฟอร์ และทวีตเตอร์ โดยจะนำลำโพงมิดเรนจ์และลำโพงทวีตเตอร์มาติดตั้งไว้ข้างบนลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็ก

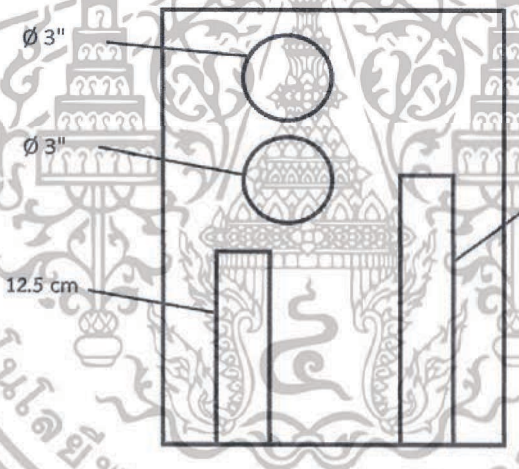
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.1 โครงสร้างลำโพงซับวูฟเฟอร์

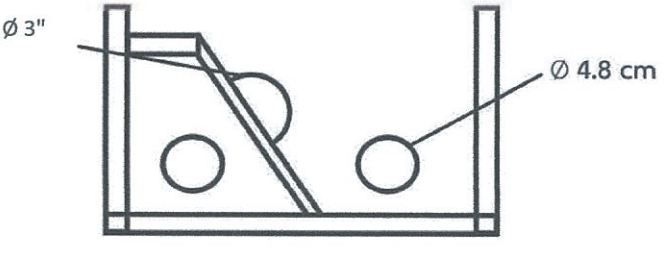
- Model A



รูปที่ 3.8 ภาพ overview ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ A



รูปที่ 3.9 ภาพ Top view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ A



รูปที่ 3.10 ภาพ Front view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาตรลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ A

ปริมาตรด้านใน (Lower)

พื้นที่หน้าตัด = ½ x 9.4 x 13.5

= 63.45 ลบ.ซม.

ปริมาตรด้านใน = 63.45 x 30

= 1903.5 ลบ.ซม.

ปริมาตด้านนอก (Upper)

ปริมาตร 1 = 0.6 x 20 x 30

= 360 ลบ.ซม.

พื้นที่หน้าตัด 2 = 1/2 x 9.4 x 26.5

= 124.55 ลบ.ซม.

ปริมาตร 2 = 124.55 x 30

= 3736.5 ลบ.ซม.

ปริมาตรด้านนอกรวม = 3736.5 + 360

= 4096.5 ลบ.ซม.

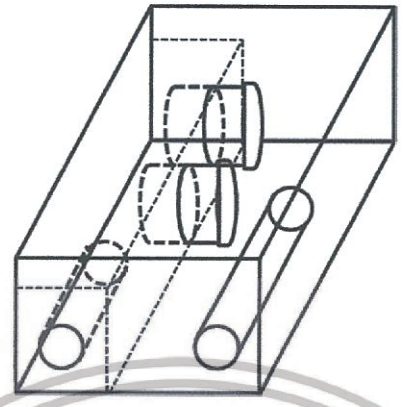
ปริมาตรรวมของลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาด 6 ลิตร = 1903.5 + 4096.5

= 6000 ลบ.ซม.

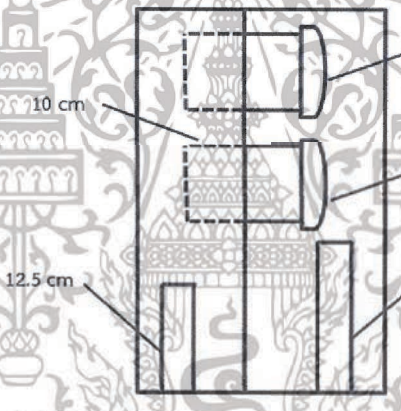
จากรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.10 จะเป็นภาพโดยรวมแบบสามมิติของลำโพงซับวูฟเฟอร์ ซึ่งจะบอกรายละเอียดขนาดของลำโพง ทั้งด้านความกว้างความยาวและความหนาของตัวตู้ และตำแหน่งของท่อพอร์ตตำแหน่งของดอกลำโพงซึ่งท่อพอร์ตภายในลำโพงซับวูฟเฟอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ มีขนาดความยาว 17 เซนติเมตร และ 12.5 เซนติเมตร และดอกลำโพงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 2 ดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

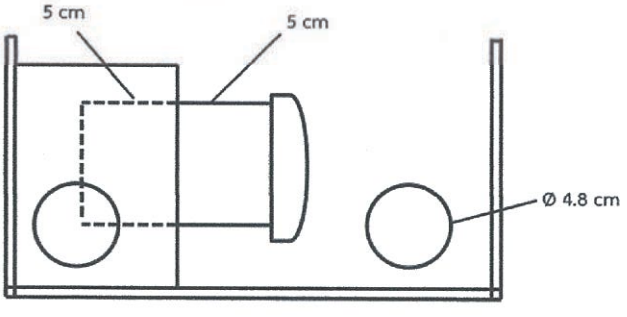
- Model B



รูปที่ 3.11 ภาพ overview ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ B



รูปที่ 3.12 ภาพ Top view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ B



รูปที่ 3.13 ภาพ Front view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาตรลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ B

ปริมาตรด้านใน (Lower)

ปริมาตรด้านใน = 9 x 7 x 30

= 1890 ลบ.ซม.

ปริมาตด้านนอก (Upper)

ปริมาตร 1 = 1.5 x 20 x 30

= 900 ลบ.ซม.

ปริมาตร 2 = 11 x 11x 30

= 3630 ลบ.ซม.

ปริมาตรด้านนอกรวม = 3630 + 900

= 4530 ลบ.ซม.

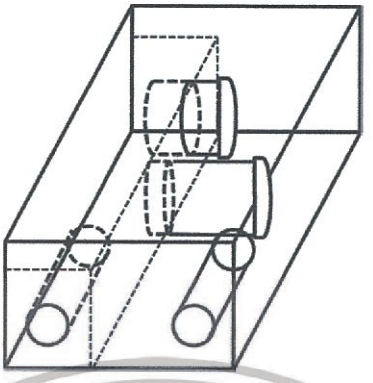
ปริมาตรรวมของลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาด 6 ลิตร = 1903.5 + 4096.5

= 6420 ลบ.ซม.

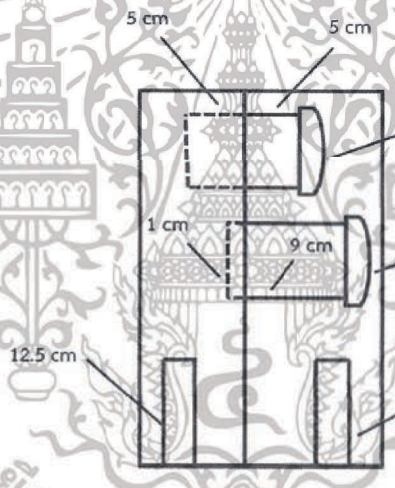
จากรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 จะเป็นภาพโดยรวมแบบสามมิติของลำโพงซับวูฟเฟอร์ ซึ่งจะบอกรายละเอียดขนาดของลำโพง ทั้งด้านความกว้างความยาวและความหนาของตัวตู้ และตำแหน่งของท่อพอร์ตตำแหน่งของดอกลำโพงซึ่งท่อพอร์ตภายในลำโพงซับวูฟเฟอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ มีขนาดความยาว 17 เซนติเมตร และ 12.5 เซนติเมตร และได้ทำการเพิ่มท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 10 เซนติเมตรไว้ในตู้ลำโพงเพื่อที่จะได้ต่อกับตัวดอกลำโพง โดยท่อนี้จะได้ทำการวางไว้ข้างหน้า 5 เซนติเมตร ข้างหลัง 5 เซนติเมตร และดอกลำโพงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 2 ดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

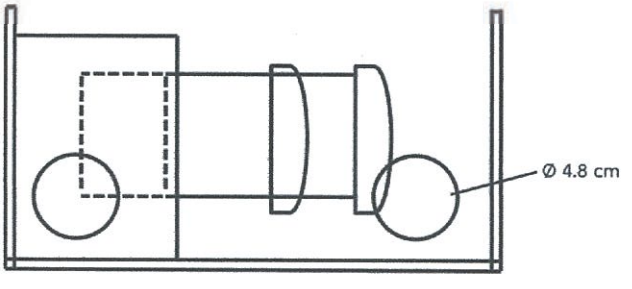
- Model C



รูปที่ 3.14 ภาพ overview ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ C



รูปที่ 3.15 ภาพ Top view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ C



รูปที่ 3.16 ภาพ Front view ของลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาตรลำโพงซับวูฟเฟอร์ แบบ C

ปริมาตรด้านใน (Lower)

ปริมาตรด้านใน = 9 x 7 x 30

= 1890 ลบ.ซม.

ปริมาตด้านนอก (Upper)

ปริมาตร 1 = 1.5 x 20 x 30

= 900 ลบ.ซม.

ปริมาตร 2 = 11 x 11x 30

= 3630 ลบ.ซม.

ปริมาตรด้านนอกรวม = 3630 + 900

= 4530 ลบ.ซม.

ปริมาตรรวมของลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาด 6 ลิตร = 1903.5 + 4096.5

= 6420 ลบ.ซม.

จากรูปที่ 3.14 ถึงรูปที่ 3.16 จะเป็นภาพโดยรวมแบบสามมิติของลำโพงซับวูฟเฟอร์ ซึ่งจะบอกรายละเอียดขนาดของลำโพง ทั้งด้านความกว้างความยาวและความหนาของตัวตู้ และตำแหน่งของท่อพอร์ตตำแหน่งของดอกลำโพงซึ่งท่อพอร์ตภายในลำโพงซับวูฟเฟอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ มีขนาดความยาว 12.5 เซนติเมตร และ 12.5 เซนติเมตรเหมือนกัน และได้ทำการเพิ่มท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 10 เซนติเมตรไว้ในตู้ลำโพงเพื่อที่จะได้ต่อกับตัวดอกลำโพง โดยส่วนแรกท่อนี้จะได้ทำการวางไว้ข้างหน้า 5 เซนติเมตร ข้างหลัง 5 เซนติเมตร และส่วนที่สองท่อนี้จะได้ทำการวางไว้ข้างหน้า 9 เซนติเมตร ข้างหลัง 1 เซนติเมตร และดอกลำโพงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 2 ดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

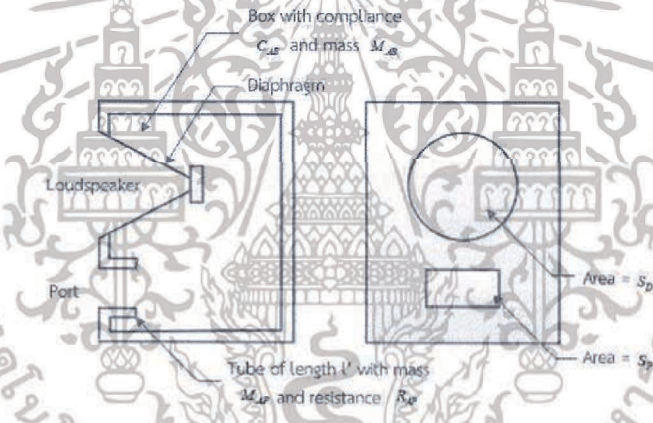
3.2.4 ขั้นตอนการสร้างลำโพงซับวูฟเวอร์

3.2.4.1 การเลือกใช้วัสดุทำลำโพง

การเลือกใช้วัสดุทำตู้ลำโพงเป็นอีกหนึ่งอย่าง ที่จะสามารถเพิ่มคุณภาพ หรือความคงทนแข็งแรงให้กับลำโพงได้ โดยเราได้เลือกใช้ไม้ในการทำตู้ลำโพง เพราะว่าสามารถหาซื้อได้ง่าย และราคาถูก และเราก็ได้เลือกไม้ MDF ขนาด 9 mm. มาใช้ทำตู้ลำโพง เพราะเป็นไม้ที่มีน้ำหนักเบา เนื้อละเอียด และมีราคาถูก

3.2.4.2 การออกแบบลำโพง

Bass reflex enclosures คือ ตู้ลำโพงที่มีลักษณะเป็นกล่องปิดที่มีส่วนเปิดหรือเรียกส่วนที่เปิดว่าพอร์ต (port) ซึ่งพื้นที่ของพอร์ทนี้โดยทั่วไปจะเทียบเท่าหรือเล็กกว่าพื้นที่ของกรวย (diaphragm area) ของตัว driver โครงสร้างปกติของ loud speaker box จะเป็นดังนี้

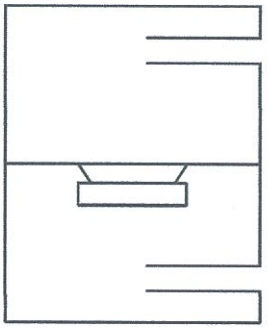


รูปที่ 3.17 โครงสร้างโดยทั่วไปของ Bass reflex enclosures
(อ้างอิงhttps://goo.gl/9uR0rW)

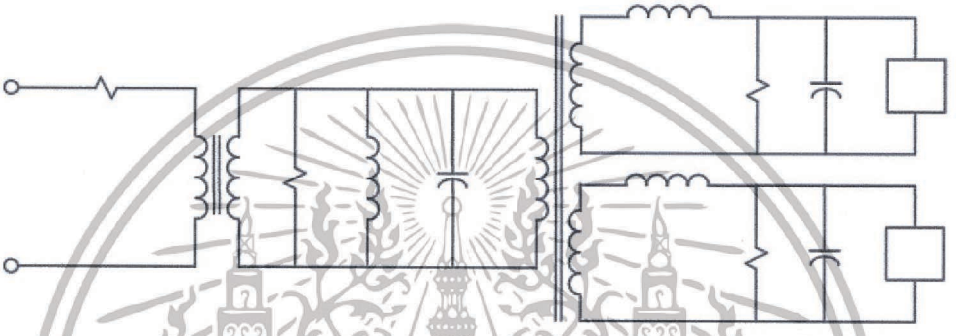
จากรูปที่ 3.5 เป็นลักษณะทั่วๆ ไปของตู้ Bass reflex มีพื้นที่ของพอร์ตคือ S_P พื้นที่ของ diaphragm คือ S_D เมื่อ diaphragm สั่นจะเกิดการบีบอัดอากาศภายในกล่องและส่วนหนึ่งของอากาศที่ถูกบีบอัดจะเคลื่อนตัวออกด้านนอกผ่านทางพอร์ต ดังนั้นพอร์ต จึงเป็นตัวนำอากาศภายในตู้ลำโพงออกสู่ภายนอกกล่อง ที่ความถี่ต่ำวงจรสมมูลเทียบเท่าของท่อที่มีความยาวของท่อสั้นจะปรากฏค่าความต้านทานในเทอมคอมเพล็กซ์และค่าความต้านทานของอะคูสติกในรูปแบบอนุกรม

ทำการศึกษาข้อดีของลำโพงต่างๆ ชนิดของลำโพง ประเภทของลำโพงในการตอบสนองต่อสัญญาณเสียงย่านความถี่ต่างๆ ซึ่งในโครงงานนี้เป็นการเพิ่มคุณภาพเสียงช่วงความถี่ต่ำ เราจึงได้สร้างลำโพงประเภทซับวูฟเฟอร์ ชนิดตู้เปิด ซึ่งเป็นลำโพงที่สามารถตอบสนองต่อเสียงย่านความถี่ต่ำได้ และทำการสร้าง ลำโพงซับวูฟเฟอร์ ตามแบบร่างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

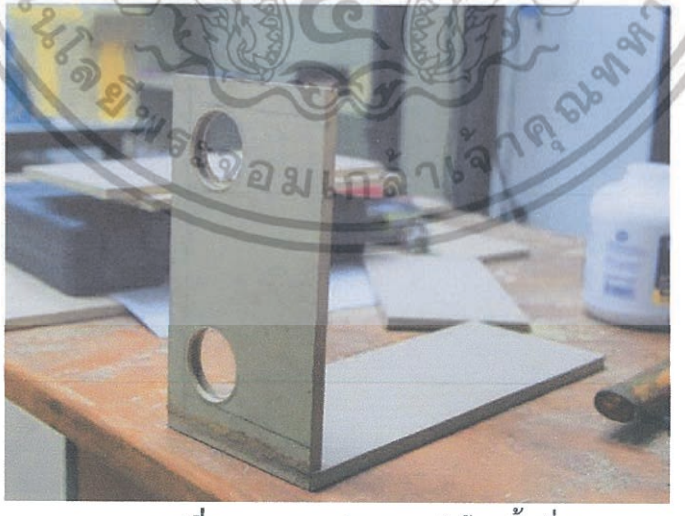


รูปที่ 3.18 รูปลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็กที่ใช้อะคูสติกแบบหลายท่อด้านข้าง



รูปที่ 3.19 วงจรสมมูลเทียบเท่าของระบบลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็กที่ใช้ท่ออะคูสติกแบบหลายท่อ

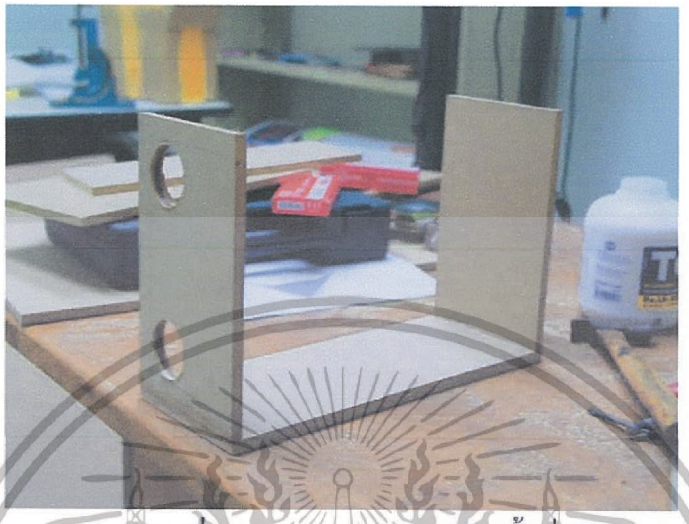
3.2.4.2 การประกอบลำโพงซับวูฟเฟอร์



รูปที่ 3.20 การประกอบลำโพงขั้นที่ 1

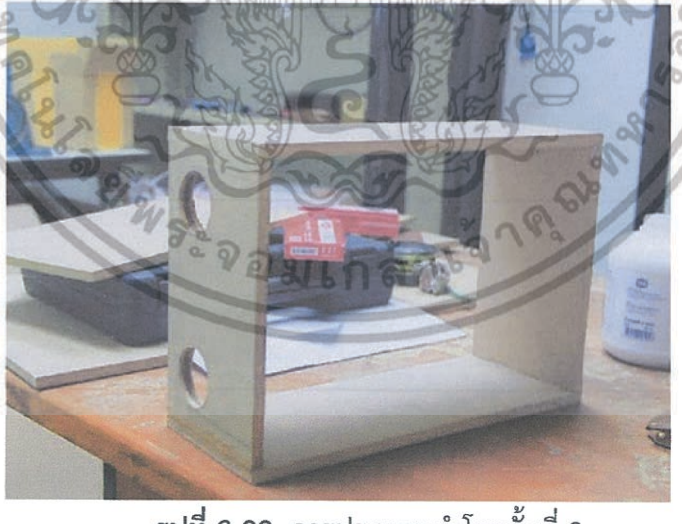
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประกอบลำโพงในขั้นตอนแรก จะตัดแผ่นไม้ด้านล่างเพื่อเป็นฐานและแผ่นไม้ด้านหน้า โดยแผ่นไม้ด้านหน้าจะทำการเจาะรูขนาด 4.8 เซนติเมตร จำนวน 2 รู และก็นำแผ่นไม้ทั้ง2 มาประกอบกันดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.21 การประกอบลำโพงขั้นที่ 2

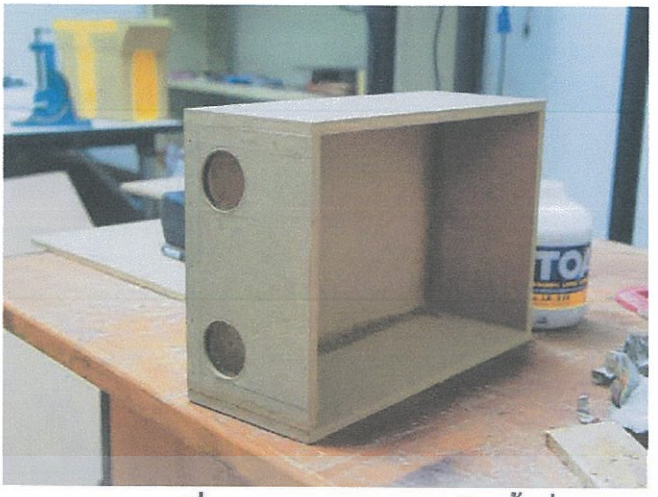
ในขั้นตอนที่สอง จะทำการนำแผ่นไม้ด้านหลังที่มีขนาดเท่ากับแผ่นไม้ด้านหน้ามาประกอบกันดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.22 การประกอบลำโพงขั้นที่ 3

ในขั้นตอนที่สาม จะทำการนำแผ่นไม้ด้านบนที่มีขนาดเท่ากับแผ่นไม้ด้านล่างมาประกอบกันดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การประกอบลำโพงขั้นที่ 4

ในขั้นตอนที่สี่ จะนำแผ่นไม้ด้านข้างที่มีขนาดใหญ่มาประกอบกันดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.24 การประกอบลำโพงขั้นที่ 5

ในขั้นตอนที่ห้า จะมีแผ่นไม้อยู่ 2 แผ่น แผ่นแรกจะทำการเจาะรูขนาด 3 นิ้ว เป็นจำนวน 2 รู และแผ่นที่สองไม่ต้องทำการเจาะรูแต่อย่างใด สุดท้ายก็นำแผ่นไม้ทั้งสองมาประกอบกัน เพื่อเป็นฐานที่จะนำท่อขนาด 3 นิ้ว มาทำการบรรจุพร้อมกับดอกลำโพงขนาด 3 นิ้ว ในภายหลัง ดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 การประกอบลำโพงขั้นที่ 6

ในขั้นตอนที่หก หลังจากเสร็จขั้นตอนที่ห้าแล้ว ก็นำฐานสำหรับใส่ท่อและดอกลำโพงขนาด 3 นิ้ว มาทำการบรรจุ ดังรูปที่ 3.25

รูปที่ 3.26 การประกอบลำโพงขั้นที่ 7

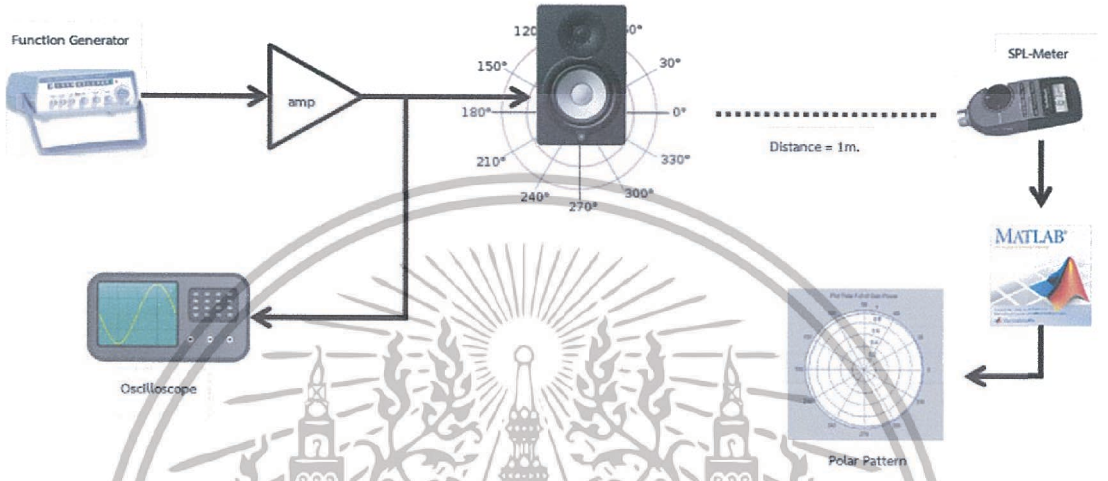
ในขั้นตอนที่เจ็ด จะทำการบรรจุท่อและดอกลำโพงลงไปในตู้ลำโพง ดังรูปที่ 3.26 หลังจากที่เราบรรจุท่อและดอกลำโพงเสร็จแล้วก็ทำการนำฝาข้างมาปิดก็ถือว่าเสร็จสมบูรณ์ และสามารถนำไปทดลองแล้วใช้ในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การวิเคราะห์การแผ่กระจายเสียงของลำโพง

ในการวิเคราะห์การแผ่กระจายของเสียง จะศึกษาเพื่อดูว่าในคลื่นความถี่ต่างๆ ลำโพงมีลักษณะการแผ่กระจายของเสียงเป็นอย่างไรเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นลำโพงในการทำโครงงานหรือไม่ โดยจะใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณเพื่อจะดูการแผ่กระจายเสียงของลำโพง



รูปที่ 3.27 ภาพรวมการวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง

จากรูปที่ 3.31 อธิบายได้ว่า

- ทำการเชื่อมต่อระบบวัดความดังของตัวขับเสียงดังรูป 3.31 โดยนำ function generator เป็นตัวกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิงแบบ pure tone (single frequency) ที่ใช้การทดสอบ โดยป้อนสัญญาณให้กับตัวขับเสียง (frequency driver) หรือเรียกสั้นๆว่าดอกลำโพง โดยมีเครื่องขยายสัญญาณ (audio amplifier) เป็นตัวขยายสัญญาณเสียงจากฟังก์ชั่นเจนโดยความดังของตัวขับเสียงแต่ละแบบจะถูกควบคุมความดังได้โดยการปรับเพิ่มลดที่ปุ่มวอลลุ่ม (volume)

- นำสัญญาณจากเอาท์พุทของฟังก์ชั่นเจนเชื่อต่อเข้าด้านอินพุทของ amplifier โดยผ่านขั้วต่อแบบ Unbalance หรือเรียกว่า RCA connecter ทั้งที่ด้านต้นทางและปลายทางด้วยสายนำสัญญาณออดิโอ

- เชื่อมต่อสัญญาณจากด้านเอาท์พุทของ amplifier ไปยังตัวขับเสียงโดยใช้สายลำโพง (loudspeaker cable) โดยผ่านขั้วต่อแบบ Biding post ทั้งต้นทางและปลายทาง

- วางตำแหน่งระบบลำโพง (loudspeaker system) ลงบนแท่นวางลำโพงโดยหันด้านหน้าของตู้ลำโพงไปยังตำแหน่ง 0 องศาซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการวัดความดังด้วยเครื่องวัดความดัง (SPL meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำตัววัดความดังติดตั้งบนขาตั้งไมค์และหันด้านไมโครโฟนไปยังด้านหน้าของตัวขับเสียงหรือตู้ลำโพง และทำการเซ็ทระยะห่างระหว่างตัวขับเสียงและไมโครโฟนให้ห่างกันเป็นระยะทาง D = 1 m.

- ทำการป้อนสัญญาณ pure tone จาก function generator ไปยังลำโพงโดยมีความถี่ดังนี้ สำหรับลำโพง f = 50, 100, 300, 700 และ 1,000 Hz
โดยแต่ละค่าความถี่ที่ป้อนให้ ทำการเซ็ทความดังของตัวขับเสียงที่ตำแหน่ง 0 องศาให้อยู่ที่ 80 dB และทำการหมุนลำโพงไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา สเตปละ 15 องศา และอ่านค่าความดังที่ SPL meter และการจดบันทึกไว้เป็นตารางตามรูป ทำจนหมุนครบ 360 องศา

- ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าความถี่ของ function generator เพิ่มขึ้นตามค่าที่กำหนด และหมุนลำโพงและอ่านค่าความดังซ้ำ

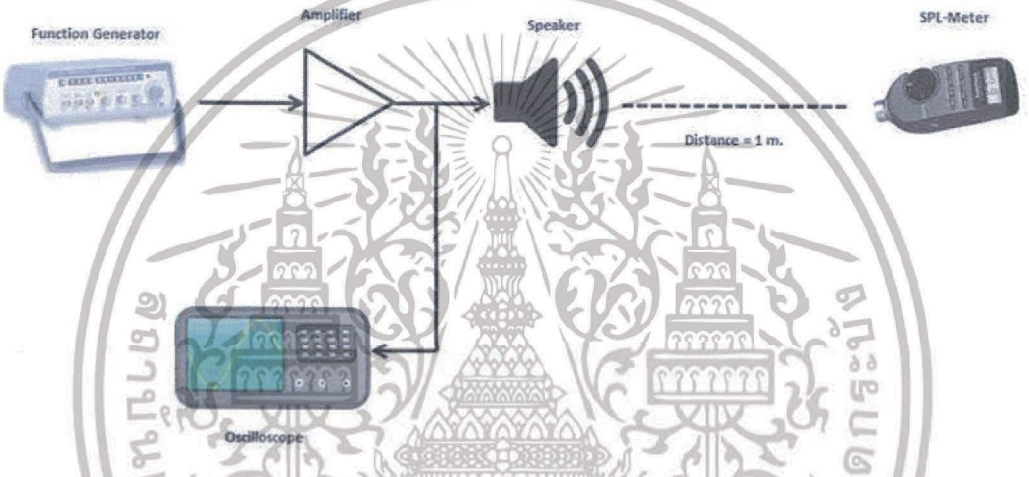
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบระดับการตอบสนองของลำโพง

การเปรียบเทียบระดับการตอบสองของลำโพง หรือเรียกว่า แมกนิจูดเรสปอนส์ (Magnitude Response) ทำไปเพื่อตรวจสอบว่า ลำโพงที่ทำการวัดนี้ มีความดังเปลี่ยนไปเท่าไรบ้าง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความถี่



รูปที่ 4.1 ภาพรวมการวัด Magnitude Response

จากรูปที่ 4.1 อธิบายการวัด Magnitude Response ซึ่งการวัด Magnitude Response ก็จะมีวิธีการคล้ายๆกับการวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง แต่ก็แตกต่างบางจุดดังนี้

- ทำการเชื่อมต่อระบบวัดความดังของตัวขับเสียงดังรูป 4.1 โดยนำ function generator เป็นตัวกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิงแบบ pure tone (single frequency) ที่ใช้การทดสอบ โดยป้อนสัญญาณให้กับตัวขับเสียง (frequency driver) หรือเรียกสั้นๆว่าดอกลำโพง โดยมีเครื่องขยายสัญญาณ (audio amplifier) เป็นตัวขยายสัญญาณเสียงจากฟังก์ชั่นเจนโดยความดังของตัวขับเสียงแต่ละแบบจะถูกควบคุมความดังได้โดยการปรับเพิ่มลดที่ปุ่มวอลลุ่ม (volume)

- นำสัญญาณจากเอาท์พุทของฟังก์ชั่นเจนเชื่อต่อเข้าด้านอินพุทของ amplifier โดยผ่านขั้วต่อแบบ Unbalance หรือเรียกว่า RCA connecter ทั้งที่ด้านต้นทางและปลายทางด้วยสายนำสัญญาณออดิโอ

- เชื่อมต่อสัญญาณจากด้านเอาท์พุทของ amplifier ไปยังตัวขับเสียงโดยใช้สายลำโพง (loudspeaker cable) โดยผ่านขั้วต่อแบบ Biding post ทั้งต้นทางและปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วางตำแหน่งระบบลำโพง (loudspeaker system) ลงบนแท่นวางลำโพงโดยหันด้านหน้าของตู้ลำโพงไปยังตำแหน่ง 0 องศา และทำการวัดความดังด้วยเครื่องวัดความดัง (SPL meter)

- นำตัววัดความดังติดตั้งบนขาตั้งไมค์และหันด้านไมโครโฟนไปยังด้านหน้าของตัวขับเสียงหรือตู้ลำโพง และทำการเซ็ทระยะห่างระหว่างตัวขับเสียงและไมโครโฟนให้ห่างกันเป็นระยะทาง D = 1 m.

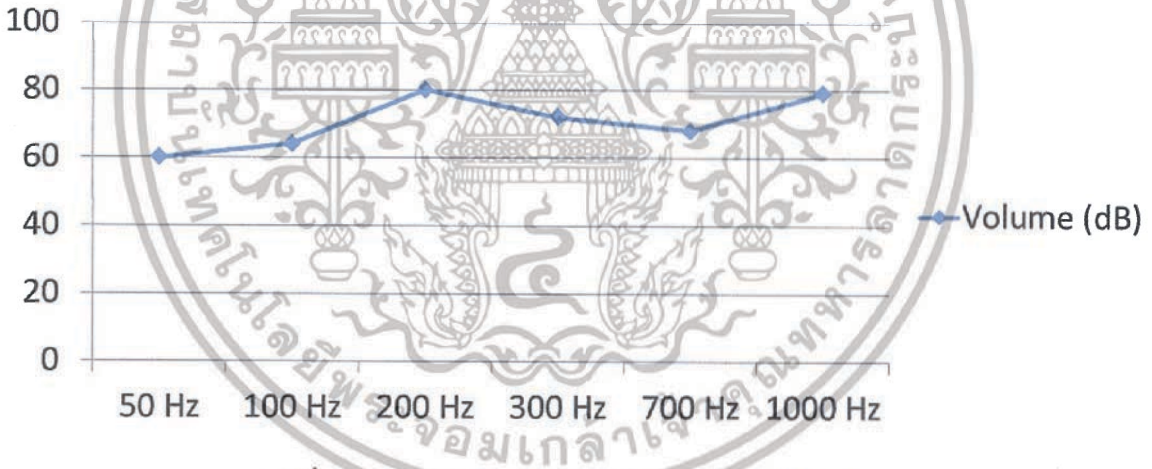
- ทำการป้อนสัญญาณ pure tone จาก function generatorไปยังลำโพงโดยมีความถี่ดังนี้สำหรับลำโพง f = 50, 100, 200, 300, 700 และ 1,000 Hz โดยจะทำการวัดดังนี้

1. วัดที่ความถี่ 200 Hz เป็นหลัก โดยให้มีความดังที่ 80 dB

2. วัดความถี่ที่ 100 Hz และ 50 Hz ตามลำดับ

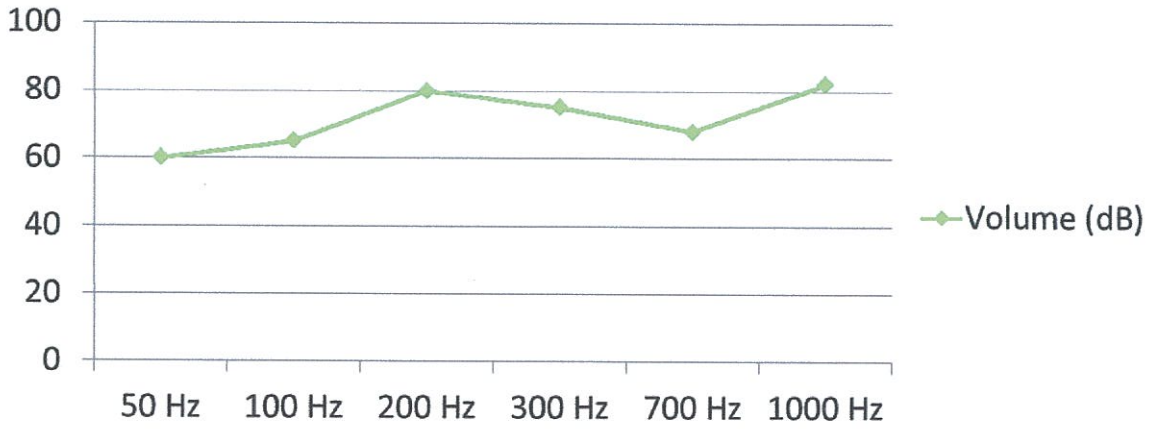
3. วัดความถี่ที่ 300 Hz,700 Hz และ 1000 Hz ตามลำดับ แล้วใส่ค่าที่วัดได้ในตารางข้างล่าง

โดยการวัด Magnitude Response นี้ จะไม่ทำการหมุนลำโพงแต่อย่างใด แต่จะทำการวัดที่ 0 องศาเพียงอย่างเดียว

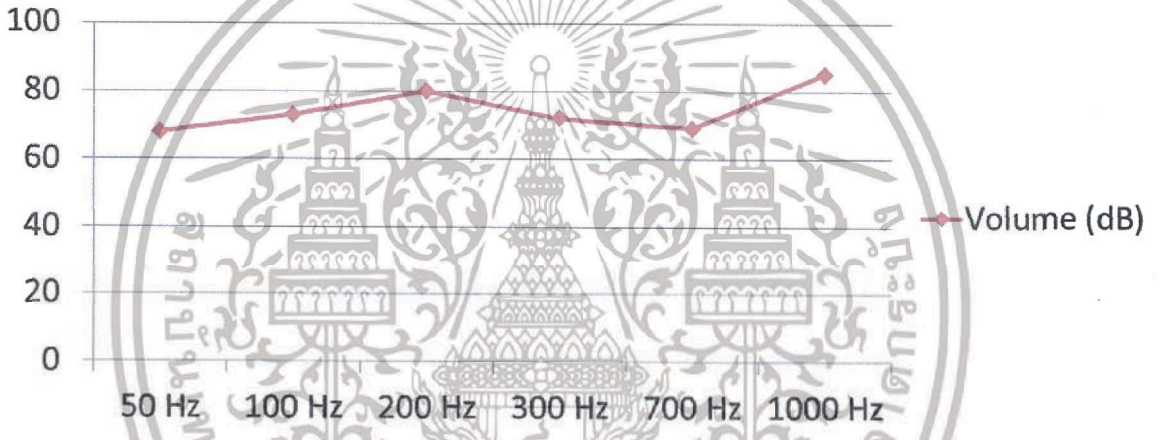


รูปที่ 4.3 Magnitude Response ของลำโพงแบบ A

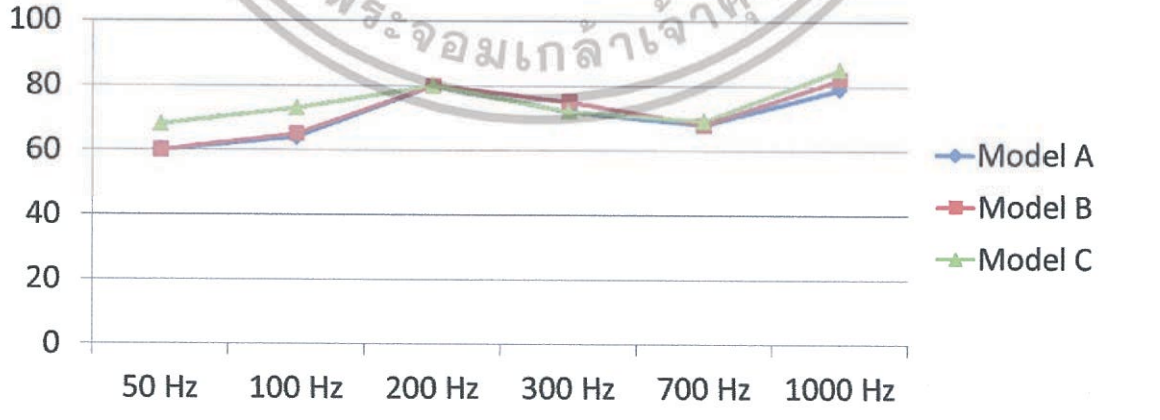
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Magnitude Response ของลำโพงแบบ B



รูปที่ 4.5 Magnitude Response ของลำโพงแบบ C



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบ Magnitude Response ของ A,B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 ดูแล้ว Magnitude Response ไม่ค่อยมีความแตกต่างมากนัก แต่ถ้าสังเกตจะเป็นว่า ในช่วงความถี่ 50 Hz - 200 Hz จะมีความแตกต่างกันพอสมควร โดยแบบ C จะมีความดังมากที่สุดในช่วงความถี่ 50 Hz - 200 Hz ส่วนแบบ A และ B จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าดูเป็นภาพรวม แบบ A จะมี Magnitude Response ที่แย่ที่สุด ส่วนแบบ B และ C จะใกล้เคียงกันมากกว่า

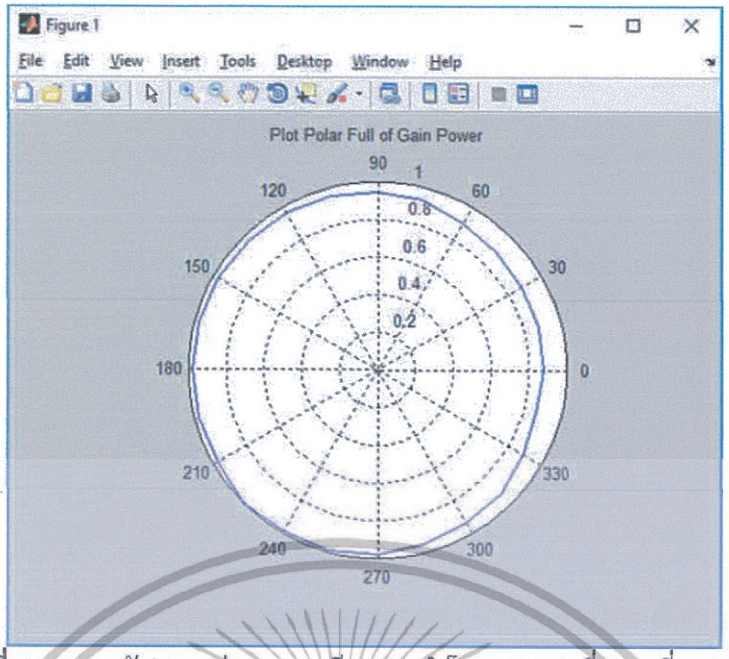
4.2 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง

การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง ทำไปเพื่อศึกษาเพื่อดูว่าในคลื่นความถี่ต่างๆ ลำโพงมีลักษณะการแผ่กระจายของเสียงเป็นอย่างไรเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นลำโพงในการทำโครงงานหรือไม่ โดยจะใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณเพื่อจะดูการแผ่กระจายเสียงของลำโพง โดยการวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงจะทำการวัดตั้งแต่ 0 องศา จนถึง 360 องศา โดยจะทำการหมุนครั้งละ 15 องศา ไปเรื่อยๆจนครบ 360 องศา

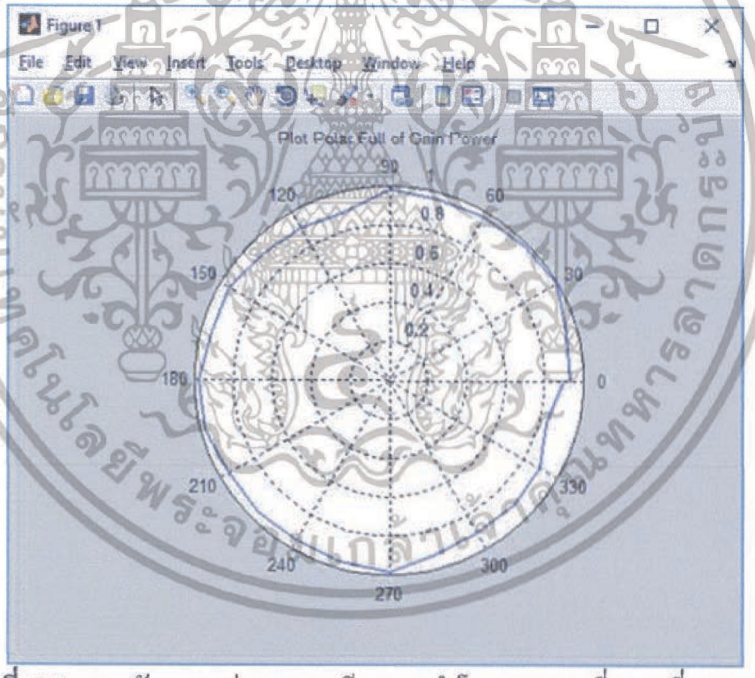
4.2.1 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A

รูปที่ 4.7 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

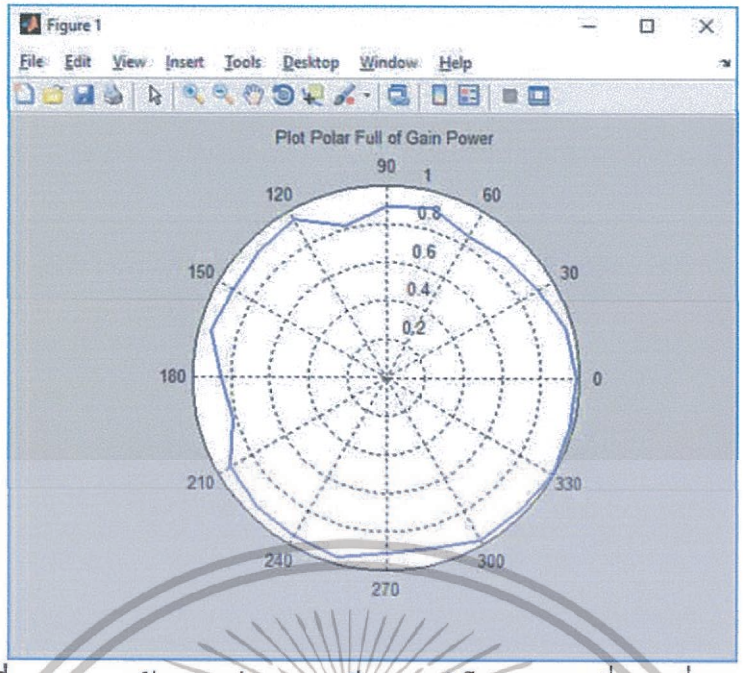


รูปที่ 4.8 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.9 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 300 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

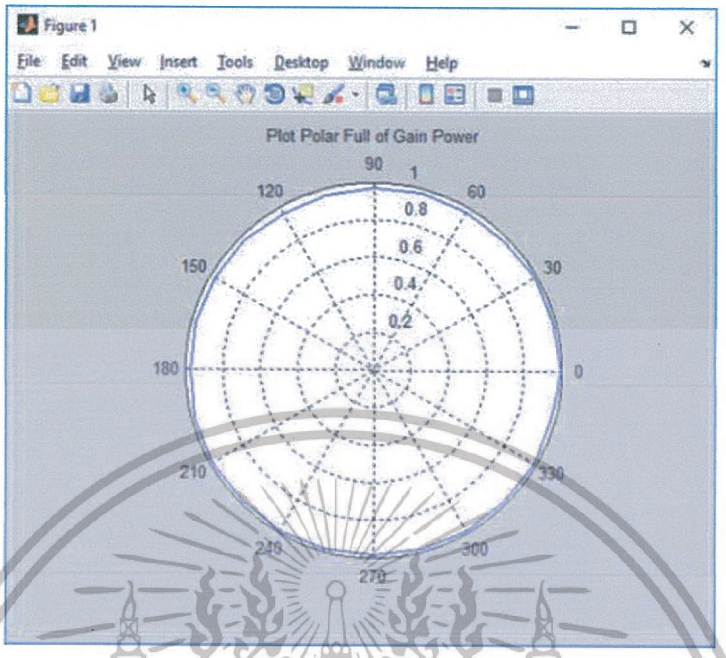


รูปที่ 4.10 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 700 Hz

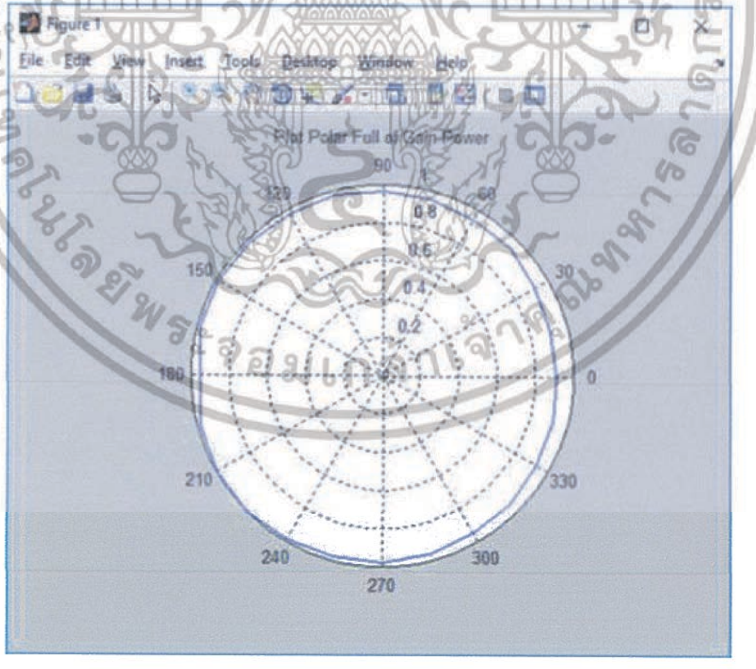
รูปที่ 4.11 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ A ที่ความถี่ 1000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B

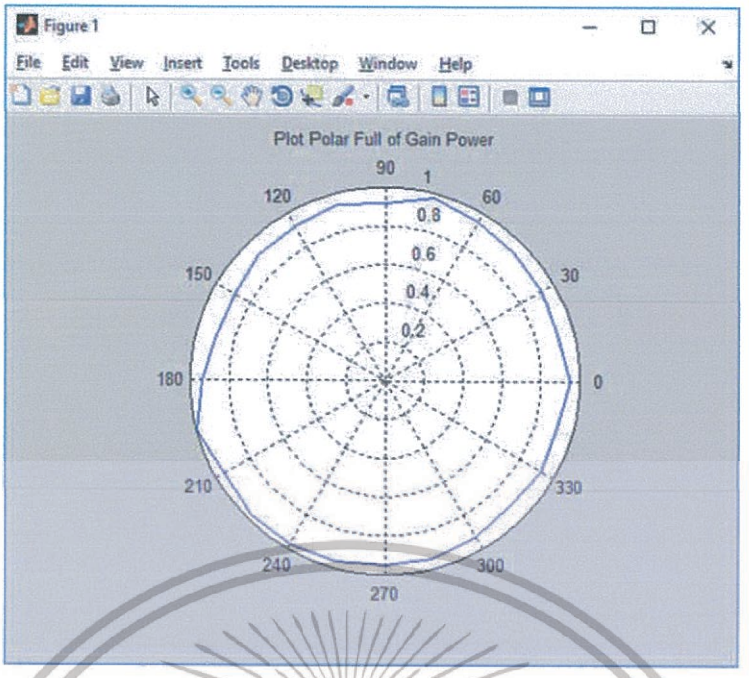


รูปที่ 4.12 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 50 Hz

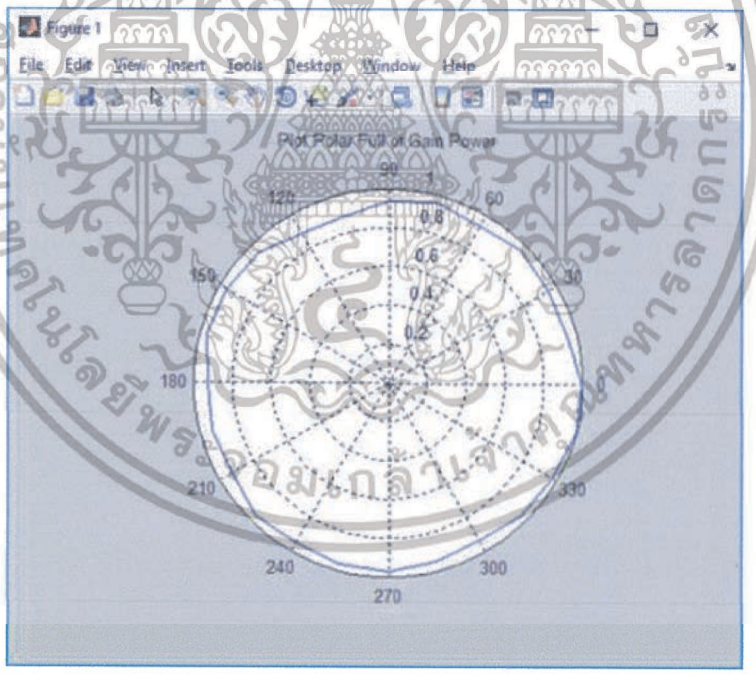


รูปที่ 4.13 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 100 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

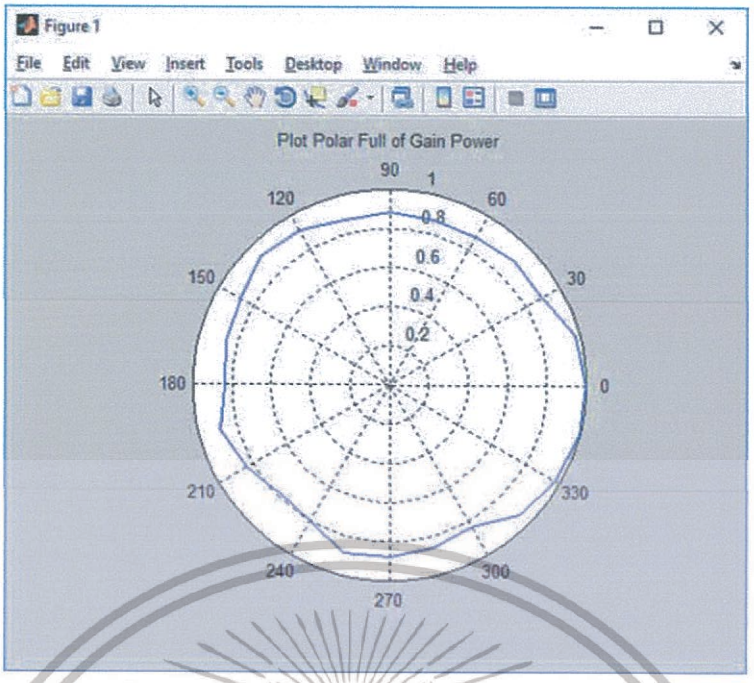


รูปที่ 4.13 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 300 Hz



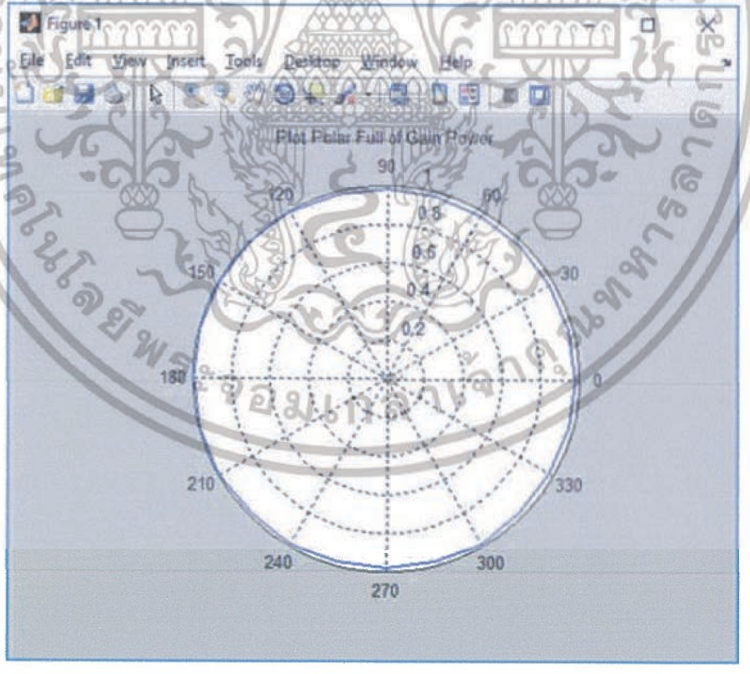
รูปที่ 4.15 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 700 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



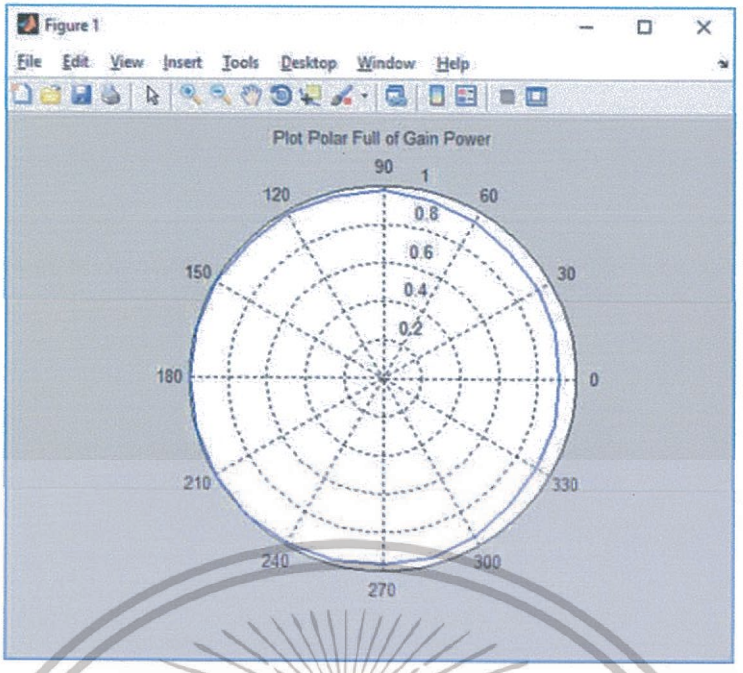
รูปที่ 4.16 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ B ที่ความถี่ 1000 Hz

4.2.3 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C



รูปที่ 4.17 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 50 Hz

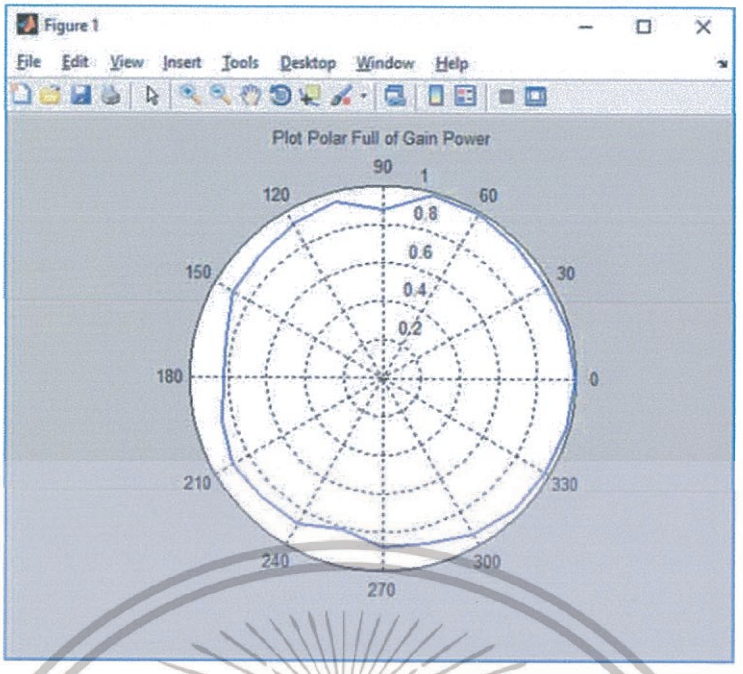
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 100 Hz

รูปที่ 4.19 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 300 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 700 Hz

รูปที่ 4.21 การวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพงแบบ C ที่ความถี่ 1000 Hz

จากรูปที่ 4.7 – 4.21 สรุปได้ว่า ถ้าการแผ่กระจายของเสียงเป็นวงกลม แสดงว่าลำโพงตัวนั้นเป็นลำโพงที่ดี เหมาะที่จะนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ความถี่ 50 Hz ความดังที่ 0 องศา ของลำโพงแบบ A จะลดไป 3 dB ส่วนลำโพงแบบ B และ C กราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แต่ลำโพงแบบ C มีการแผ่กระจายของเสียงดีกว่าลำโพงแบบ B
- ที่ความถี่ 100 Hz ความดังที่ 0 องศา ของลำโพงแบบ A จะลดไป 7 dB ส่วนลำโพงแบบ B และ C กราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แต่ลำโพงแบบ B ด้อยกว่าลำโพงแบบ C ที่ 180 องศา เพราะความดังที่ 180 องศาของลำโพงแบบ B ลดไปประมาณ 2 dB ส่วนลำโพงแบบ C ไม่ลด
- ที่ความถี่ 300 Hz ผลการแผ่กระจายเสียงของลำโพงค่อนข้างดูยาก ลำโพงแบบ A มีการแผ่กระจายของเสียงไม่ค่อยดี ส่วนลำโพงแบบ B และ C มีการแผ่กระจายของเสียงค่อนข้างดีใกล้เคียงกัน แต่แบบ B ทำได้ดีกว่า แบบ C เล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วที่ความถี่นี้ ลำโพงทั้งสามตัวทำได้ไม่ค่อยดี
- ที่ความถี่ 700 Hz ลำโพงแบบ A มีการแผ่กระจายของเสียงที่ไม่ค่อยดี ส่วนลำโพงแบบ B และ C ทำได้ค่อนข้างดีใกล้เคียงกัน แต่แบบ B ทำได้ดีกว่า แบบ C
- ที่ความถี่ 1000 Hz ลำโพงแบบ A มีการแผ่กระจายของเสียงที่ไม่ค่อยดี ส่วนลำโพงแบบ B และ C มีการแผ่กระจายของเสียงค่อนข้างดีใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันเป็นบางจุด

สรุป ลำโพงแบบ A เมื่อเทียบกับลำโพงแบบ B และ C แล้วนั้น ไม่ควรนำมาใช้งานเพราะด้อยกว่าลำโพงทั้งสองเป็นอย่างมาก ส่วนลำโพงแบบ B และ C มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมาก จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในแต่ละความถี่ที่ได้ทำการวัดการแผ่กระจายเสียงของลำโพง ดังนั้น ข้าพเจ้าจึงเลือกลำโพงแบบ C มาใช้งานร่วมกับลำโพงสเตอริโอสำหรับใช้ในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลโครงงาน อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

สามารถสร้างลำโพงระบบสเตอริโอที่เหมาะสมสำหรับใช้ในบ้านหรือในคอนโดได้เป็นอย่างดี โดยในโครงงานนี้จะมุ่งสร้างและพัฒนาลำโพงซับวูฟเฟอร์ขนาดเล็กเป็นหลัก และส่วนสำคัญของโครงงานชิ้นนี้ก็คือสามารถทำการควบคุมระบบเสียงผ่านอุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูลได้ ซึ่งก็คือราสเบอร์รี่พายที่เราสามารถควบคุมผ่านทั้งเครือข่าย WAN และ LAN ได้ โดยโครงงานชิ้นนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดใช้งานด้านระบบประชาสัมพันธ์กับองค์กรได้ หรือจะนำไปพัฒนาร่วมกับระบบสมาร์ทโฮมสำหรับคนที่ชอบฟังเพลงหรือชอบดนตรีได้อีกด้วย

5.2 อุปสรรค

1. ในการศึกษาด้านลำโพงมีผู้ให้ความสนใจไม่มากนักทำให้แหล่งอ้างอิงในการศึกษาหาความรู้ทำได้ยากและการออกแบบของอุปกรณ์ต่างๆของลำโพงมีความซับซ้อน และมีรายละเอียดย่อยๆมาก อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ยากต่อการบันทึกผลและค่าต่างๆของตัวลำโพง และสถานที่ใช้ทำการทดลองก็มีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังไม่เหมาะสมต่อการวัดผลของลำโพง ทำให้ค่าที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก

2. ในการทำโครงงานนี้ ผู้วิจัยขาดความรู้ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับอุปกรณ์บอร์ดราสเบอร์รี่พายอีกทั้งการศึกษาวิธีใช้อุปกรณ์บอร์ดราสเบอร์รี่พายในประเทศไทยนั้นหาได้ค่อนข้างยาก จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ต เช่น การศึกษาจากเว็บบอร์ดจากต่างประเทศ หรือการสอบถามจากกลุ่มคนที่เคยได้ใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ เพื่อให้ทำการออกแบบและดำเนินการดำเนินโครงงานเป็นไปอย่างถูกต้อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การที่ลำโพงจะมีเสียงดีได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพหลายๆอย่าง เช่น สายสัญญาณ, สายลำโพง และเครื่องขยายเสียง ซึ่งที่กล่าวมานี้ถ้ามีคุณภาพดีเสียงที่ออกมาจากลำโพงก็จะมีคุณภาพดีไปด้วย และสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้เช่นกันก็คือ คุณภาพไฟล์เสียงที่ดี ซึ่งจะทำให้เพลงที่เราฟังมีความไพเราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องมีการพัฒนาโปรแกรมแอพพลิเคชั่นเพิ่มเติม เพื่อการใช้งานได้ง่ายและหลากหลาย และที่สำคัญคือ ต้องมีระบบความปลอดภัยของแอพพลิเคชั่นที่มากขึ้นหากจะนำไปใช้ในระบบประชาสัมพันธ์ในองค์กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ลำโพง. https://th.wikipedia.org/wiki/ลำโพง.

[2] ดอกลำโพงประเภทต่างๆ. 27 กรกฎาคม 2558. http://car.kapook.com/view125221.html.

[3] Subwoofer Enclosures Orders. http://carwirefire.com/subwoofer_enclosures.html.

[4] มาตราฐานและระบบเสียง. http://www.thaiwebsocial.com/2015/08/มาตราฐานและระบบเสียง/.

[5] ตัวขยายสัญญาณ. https://th.wikipedia.org/wiki/ตัวขยายสัญญาณ/.

[6] ไอพีแอดเดรสคืออะไร. http://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2071-ip-address-คืออะไร.html.

[7] Raspberry Pi3. https://www.techtalkthai.com/raspberry-pi-3-with-bluetooth-and-wi-fi/.

[8] ภาษาไพทอน. https://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาไพทอน.

[9] POWER AMPLIIFIER. http://www.winnerintegrator.com/สาระน่ารู้/Class-ของ-Power-Amplifier.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Poster และรูปผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Poster และรูปผลงาน

Department of Computer Engineering
(Information Engineering)

KMITL ENGINEERING PROJECT DAY 2017

IP LOUDSPEAKER SYSTEM FOR HOME USE

Woramate Nantisa
Advisor: Asst.Prof. Dolchai Sookcharoenphol

Abstract

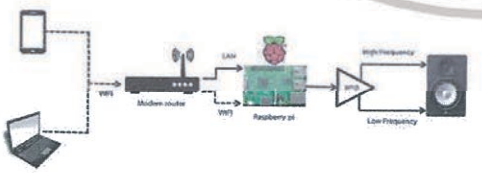
This thesis is about IP Loudspeaker System for home use and develop small subwoofer in order to make stereo loudspeakers to use with IP loudspeaker system. First of all, will make a connection between modem router and raspberry pi for control by computer or smartphone. When raspberry pi get the packet from computer or smartphone then it sent to the amplifier and loudspeaker respectively. So this project will demonstrate many loudspeakers for finding an appropriate in home use and good performance to listener.

Introduction

Loudspeaker is a equipment that can make a sound of music to listening. Nowadays speaker is a part of work and daily life. A lot of company can make Loudspeaker and they are research a new system for difference customer. So, this thesis is made loudspeaker for home use. The thing that I will develop is use IP Address with loudspeaker system.

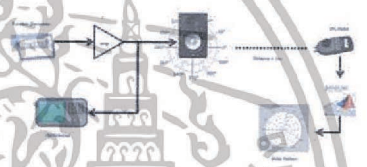
Methodology

First of all, will design and make small subwoofer, and measure radiation patterns of loudspeaker to be considered for the next step in stereo speakers. After getting the stereo speakers, It will develop an IP data receiver and use the raspberry pi is a data receiver from computer or smartphone, and can controls the raspberry pi with wifi in the same vlan as the modem router.



Results

Let to know radiation patterns from the loudspeaker for developed as a stereo speaker for home listening, and use raspberry pi as an IP voice transmitter.



Conclusion

Control music playback from smartphones and computers through raspberry pi and listen to good quality sound from the stereo speakers we have developed. In the future can be developed in the public relations system, such as public relations company, public relations in the train and smart home

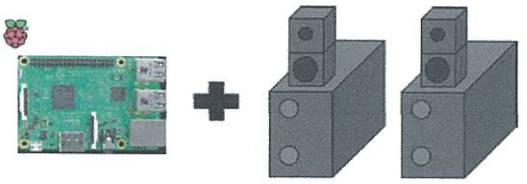
References

[1] ลำโพง. https://th.wikipedia.org/wiki/ลำโพง.
[2] ตลกลำโพงประเภทต่างๆ. 27 กรกฎาคม 2558. http://car.kapook.com/view125221.html.
[3] Subwoofer Enclosures Orders. http://carwirefire.com/subwoofer_enclosures.html.
[4] มาตรฐานและระบบเสียง. http://www.thaiwebsocial.com/2015/08/มาตรฐานและระบบเสียง/.
[5] ตัวขยายสัญญาณ. https://th.wikipedia.org/wiki/ตัวขยายสัญญาณ/.
[6] Raspberry Pi3. https://www.techtalkthai.com/raspberry-pi-3-with-bluetooth-and-wi-fi/.
[7] ภาษาไพทอน. https://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาไพทอน.
[8] POWERAMPLIIFIER. http://www.winnerintegrator.com/สาระน่ารู้/Class-ของ-Power- Amplifier.html.

E-mail: ksdolchai@gmail.com
56011064@kmitl.ac.th

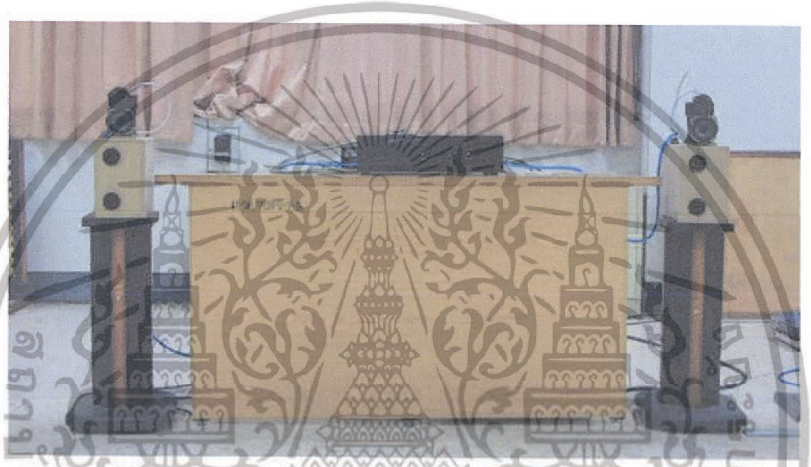
รูปที่ ก.1 Poster

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Stereo loudspeakers
- IP loudspeaker system

รูปที่ ก.2 ลำโพงระบบไอพีแบบจำลอง



รูปที่ ก.3 ภาพรวมลำโพงระบบไอพี

รูปที่ ก.4 ลำโพงระบบไอพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คำสั่งบนหน้าต่าง Command ของโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คำสั่งบนหน้าต่าง Command ของโปรแกรม MATLAB

คำสั่งบนหน้าต่าง Command ของโปรแกรม MATLAB

การทดลองโดยใช้คำสั่งบนหน้าต่าง Command ของโปรแกรม MATLAB ออกแบบกำหนดเพื่อนำค่าความดังเสียงที่วัดมาได้จาก SPL Meter มาพล็อตกราฟเพื่อศึกษาการแผ่กระจายของเสียงจากการหมุนลำโพงครบทั้ง 360 องศา

```
clear all;
close all;
Angle = 'Enter Phase Array to plot:\n';
angle = input(Angle); %% ป้อนค่ามุมต่างๆเป็นอาร์เรย์
DIn = 'Enter Data Input Array to plot(Data Array must have same
length as Angle Array):\n';
DB = input(DIn); %% ป้อนค่า Amplitude ต่างๆเป็นอาร์เรย์(**ขนาดอาร์เรย์ต้องเท่ากัน**)
S=length(DB); %% หาความยาวอาร์เรย์ DB
dB=max(DB); %% หาค่า Amp. ที่มากที่สุด
for i=1:S
    theta(i,:) =angle(i)*(pi/180);    %% แปลงเป็นหน่วยเรเดียน
    g(i,:)=DB(i)/DB(1);%%gain(g)คือการเปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดที่มุมต่างๆกับแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด
end

figure(1)
polar(theta',DB/dB,'b'); %% พล็อตกราฟเชิงขั้ว
title('Plot Polar Full of Gain Power');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

United States Patent Bose

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

United States Patent Bose

United States Patent [19]
Bose

[11] **Patent Number: 4,549,631**
[45] **Date of Patent: Oct. 29, 1985**

[54] **MULTIPLE PORTING LOUDSPEAKER SYSTEMS**

[75] Inventor: **Amar G. Bose**, Wayland, Mass.

[73] Assignee: **Bose Corporation**, Framingham, Mass.

[21] Appl. No.: **544,466**

[22] Filed: **Oct. 24, 1983**

[51] **Int. Cl.**[4] **H05K 5/00**
[52] **U.S. Cl.** **181/155**; 181/156; 181/160; 181/199
[58] **Field of Search** 181/145, 156, 155, 163, 181/160, 144, 150, 199

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,969,704 8/1934 d'Alton 181/160
3,688,864 9/1972 Guss ..... 181/145 X

OTHER PUBLICATIONS

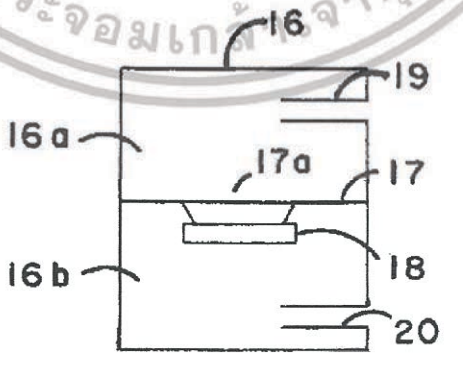
Audio Cyclopedia, pp. 1102–1104.

Primary Examiner—L. T. Hix
Assistant Examiner—Brian W. Brown
Attorney, Agent, or Firm—Charles Hieken

[57] **ABSTRACT**

A loudspeaker system has an enclosure of rectangular cross section with a baffle dividing the interior into first and second subchambers. Each subchamber has a port tube coupling the subchamber to the region outside the enclosure. The dividing baffle carries a woofer.

7 Claims, 7 Drawing Figures



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

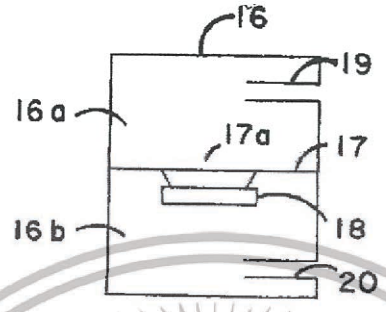
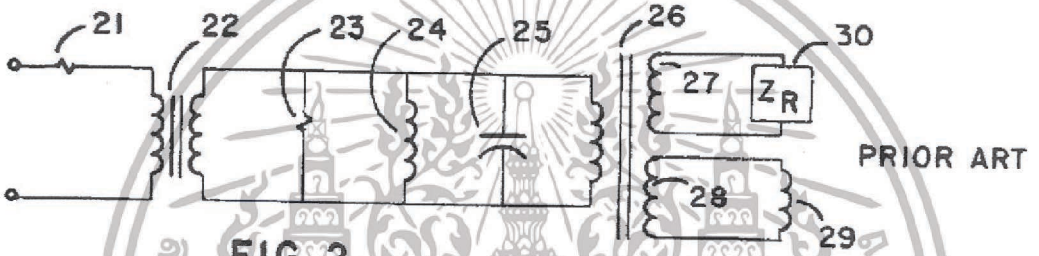
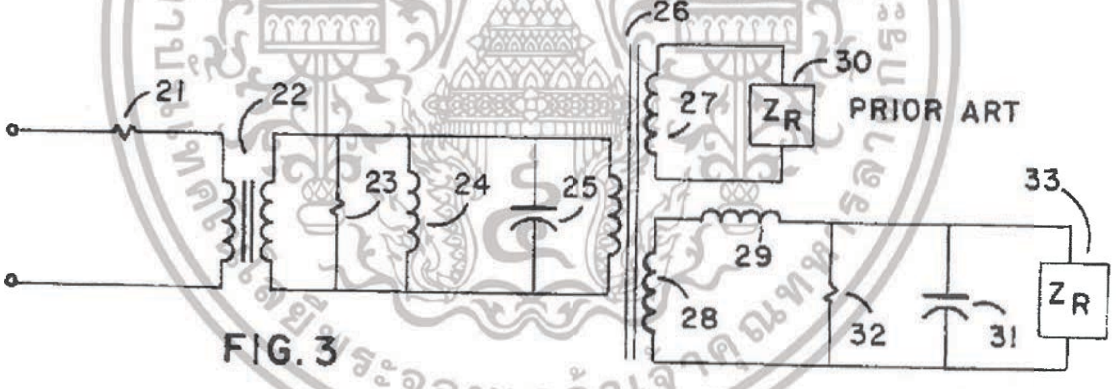


FIG. 1



PRIOR ART

FIG. 2



PRIOR ART

FIG. 3

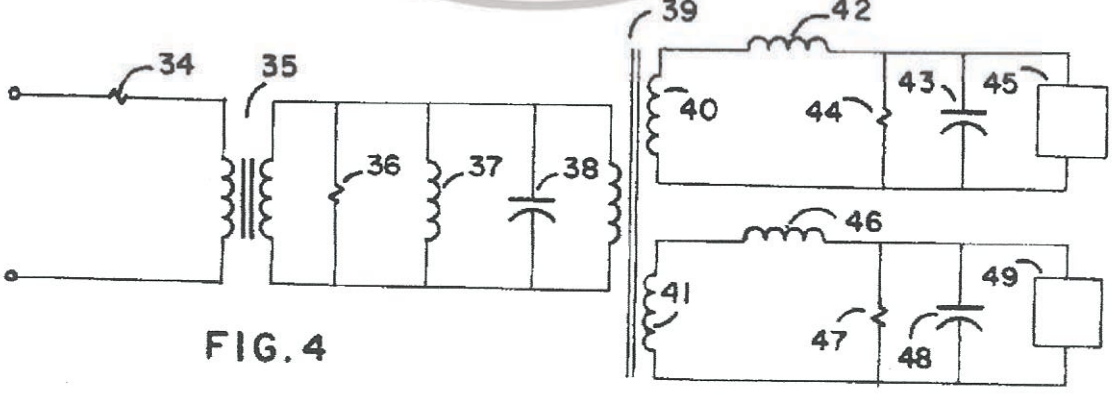


FIG. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C
B
A
-20.0
-25.0
-30.0
-35.0
-40.0
-45.0
-50.0
-55.0
-60.0
1E1
1E2
HERTZ
AMPL DB RE 1 WATT

FIG. 5

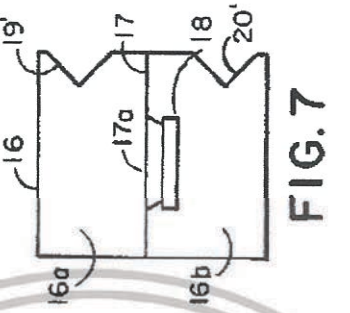

19'
17
18
20'
16
17a
16a
16b

FIG. 7

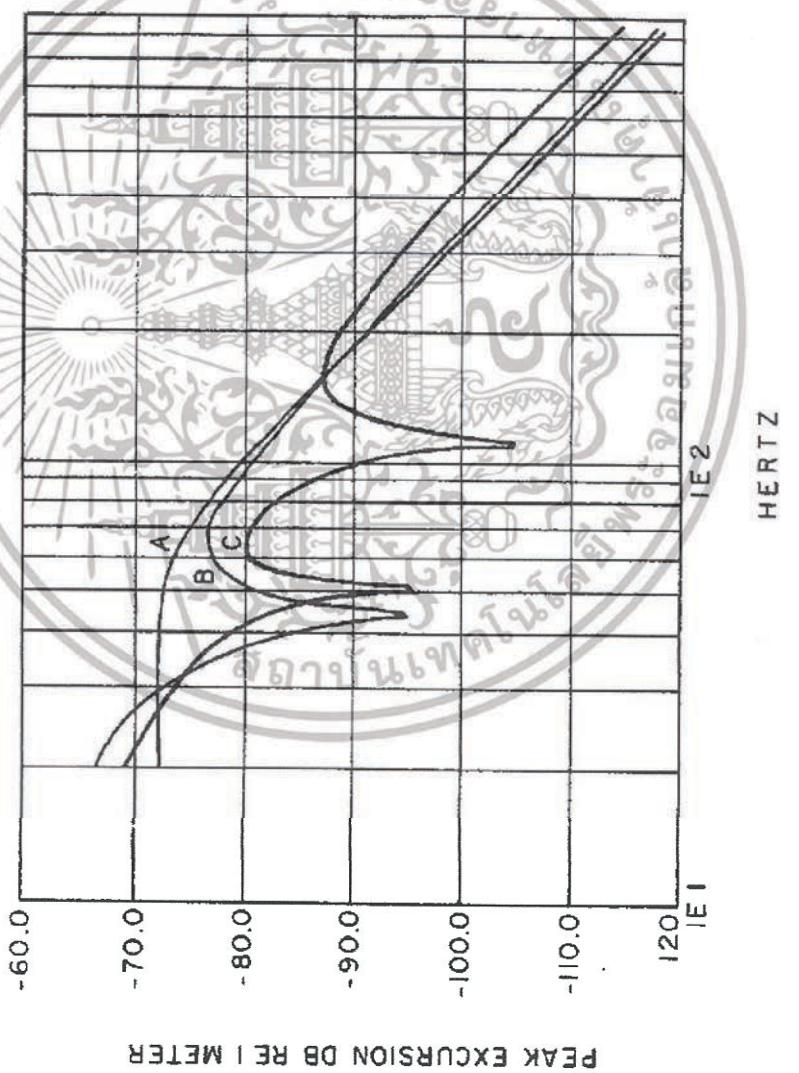

A
B
C
-60.0
-70.0
-80.0
-90.0
-100.0
-110.0
120
1E1
1E2
HERTZ
PEAK EXCURSION DB RE 1 METER

FIG. 6

MULTIPLE PORTING LOUDSPEAKER SYSTEMS

The present invention relates in general to improving the performance of a loudspeaker system at lower frequencies, and more particularly concerns an improved loudspeaker system characterized by improved performance at the low range of frequencies with structure that is relatively easy and inexpensive to fabricate.

A major problem in making a loudspeaker system for low frequency reproduction is to obtain a high output at the low frequencies while limiting loudspeaker cone excursion to reasonable limits within a displacement region relatively free from audible distortion sufficiently limited so that the cost of making this region is not excessive.

Many prior art low frequency speaker systems comprise a simple woofer with no enclosure, as in television and radio sets and some public address systems. A difficulty with these systems is that there is no means for preventing the radiation from the back of the speaker from canceling the radiation from the front. Such a system has very large cone excursions at low frequencies.

One prior art approach for reducing back radiation is to place the loudspeaker driver in a closed box to form what is often called an acoustic suspension system. An acoustic suspension system provides a reactance against which the loudspeaker driver works, limiting the excursion and also preventing the radiation from the back of the loudspeaker from canceling that from the front.

A ported system is one prior art approach to improving upon the acoustic suspension system. A ported system typically includes a woofer in the enclosure and a port tube serving as a passive radiating means. The air in the port tube provides an acoustic mass that allows system design with an extra reactance which can be used to tailor the frequency response at the low end. A ported system is characterized by a resonance (port resonance) at which the mass of air in the port reacts with the volume of air in the cabinet to create a resonance at which the cone excursion of the loudspeaker is minimized. A ported system exhibits improved sensitivity at port resonance and decreased cone excursion, thereby minimizing distortion. The result of the improved sensitivity at port resonance is frequently an extension of the lower cutoff frequency of the loudspeaker to a lower value.

It is an important object of this invention to provide an improved ported loudspeaker.

According to the invention, there is enclosure means for supporting at least one loudspeaker driver means for converting electrical energy into acoustical energy. There is dividing means for dividing the enclosure means into at least first and second subchambers. There are at least first and second port means in said first and second subchambers respectively for providing first and second acoustical masses respectively. The dividing means preferably comprises means for supporting the loudspeaker driving means and coacting therewith to separate the first and second subchambers.

Numerous other features, objects and advantages of the invention will become apparent from the following specification when read in connection with the accompanying drawing in which:

FIG. 1 is a diagrammatic representation of an embodiment of the invention;

FIGS. 2, 3 and 4 are equivalent electronic circuit models of loudspeaker systems corresponding to a prior art acoustic suspension system, a prior art ported system and a system according to the invention, respectively;

FIGS. 5 and 6 are graphical representations of power output and cone deflection, respectively, of the systems of FIGS. 2–4; and

FIG. 7 is a diagrammatic representation of an alternate embodiment of the invention with drone cones.

With reference now to the drawing and more particularly FIG. 1 thereof, there is shown a diagrammatic representation of an embodiment of the invention comprising an enclosure **16** of conventional rectangular cross section divided into two subchambers **16***a* and **16***b* by a dividing member **17** formed with an opening **17***a* to expose chamber **16***a* to the top surface of the cone of loudspeaker driver **18**. The bottom surface of driver **18** is exposed to lower subchamber **16***b*. Port tubes **19** and **20** couple the interiors of enclosures **16***a* and **16***b*, respectively, to the outside. The result of this arrangement having two subchambers and two port tubes is to lower the cone excursion in the low frequency region from that which could be obtained with a standard ported system and also to provide an additional parameter value that may be adjusted for maximizing response in the low frequency region.

The principles and advantages of the invention can better be appreciated by reviewing equivalent electronic circuit models of the prior art loudspeaker systems in comparison with that of a loudspeaker system according to the invention. Where appropriate the same reference symbols identify corresponding elements throughout the drawing. Referring to FIG. 2, there is shown the equivalent electronic circuit model of an acoustic suspension loudspeaker system. This schematic includes a resistor **21** representing the resistance of the voice coil. A transformer **22** represents the transformation between voice coil current and force on the moving parts of the loudspeaker system. Thus, the variable across the secondary of transformer **22** represents cone velocity and the variable through it represents force. Shunt resistor **23** represents the losses in the speaker suspension. The compliance of the suspension is represented by inductor **24**. The mass of the speaker cone is represented as capacitor **25**. The motion of the cone excites the air through its cone area modeled as transformer **26**. Since the loudspeaker has front and rear surfaces, the air volume velocity moved by each is represented by two separate secondary windings **27** and **28**, respectively. The front surface of the cone represented by secondary **27** excites the air and produces acoustic power represented as dissipated in radiation impedance **30**. Meanwhile, the back surface of the cone simply excites the air inside the enclosure represented as compliance **29**.

Referring to FIG. 3, there is shown the equivalent electronic circuit model of a ported prior art loudspeaker. The air enclosed in the box is represented as inductor **29** in series with the parallel combination of the mass of the air in the port tube represented as capacitor **31**, the lossiness of the port tube caused by air friction of air motion in the port tube represented as resistor **32**, and the radiation impedance seen at the output of the port tube represented by radiation impedance **33**.

Referring to FIG. 4, there is shown an equivalent electronic circuit model of a loudspeaker system according to the invention. In this case the front or top surface of the cone no longer drives a radiation impe-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dance directly, but is now coupled to an air volume in upper chamber **16***a* represented by inductor **42**. The mass of air in port tube **19** is represented by capacitor **43** with the lossiness therein represented by resistor **44**. The radiation impedance presented at the exposed end of port tube **19** is represented as radiation impedance **45**.

The back or bottom side coupling is represented by secondary winding **41** driving inductor **46** representing the air volume in lower chamber **16***b*. The acoustic mass of port tube **20** is represented by capacitor **48** and the lossiness therein caused by air motion represented by resistor **47**. Finally impedance **49** represents the acoustic impedance at the exposed opening of port tube **20**. Elements **34–39** in FIG. **4** correspond to elements **21–26**, respectively, in FIGS. **2** and **3**.

A preferred embodiment of the invention employs the parameter values listed below for the different elements:

34=3.2 ohms
35=20 N/A
36=0.4 m/N-sec
$37=3\times10^{-3}$ m/N
38=0.087 kg
39=0.1 m^3-sec/m-sec
$42=6.14\times10^{-7}$ m^5/N
43=13.1 Kg/M^4
$44=3.92\times10^{-3}$ m^5/N-sec
$45=3.27\times10^{-5}$ −j 1/W-2.89
$46=2.05\times10^{-7}$ m^5/N
48=7.1 Kg/M^4
$47=2.83\times10^{-3}$ m^5/N-sec
$49=3.27\times10^{-5}$ −j 1/W-2.89

It has been discovered that best results are obtained when the ratio of volumes of the two subchambers **16***a* and **16***b* is within the range 2:1 and 4:1, with the ratio of the corresponding port resonances in a ratio within the range between 1.5:1 and 3.0:1.

Referring to FIG. **5**, there is shown the acoustic power radiated by an acoustic suspension system as a function of frequency by curve A; a prior art ported system, by curve B; and the invention, by curve C with each system having the same total enclosure volume and minimum realizable moving mass with the loudspeaker and port parameters having been appropriately optimized for each system by adjusting elements **35, 37, 39, 42, 43, 46** and **48** for maximum output above cutoff, typically 60 Hz. The invention provides improved output in the bass region, and a sharper cutoff at higher frequencies.

Referring to FIG. **6**, there is shown a graphical representation of cone deflection as a function of frequency for a prior art acoustic suspension system, in curve A; a prior art ported system, in curve B; and according to the invention, in curve C. Curve A shows that the cone excursion of the acoustic suspension speaker rises with decreasing frequency. Curve B shows that the prior art ported system has a port resonance where the cone excursion is minimized. Curve C shows that the two-port system according to the invention has two such resonances where the cone excursion can be minimized. Thus the overall cone excursion on complex signals is lower than with comparable prior art systems. An actual working model of the invention with the parameters set forth above has been built and tested and found to provide the improved performance described above.

A number of variations may be practiced within the principles of the invention. For example, the driver could be coupled to more than one port tube on each side through additional subchambers. The passive radiators may be embodied by port tubes as shown, by "drone cones" **19'**, **20'** as shown in FIG. **7**, or other passive radiating means. The single woofer may be replaced by multiple transducers to achieve the desired total area, motor force and power handling capability.

There has been described apparatus and techniques for providing increased sensitivity in the bass region, and/or a lower cutoff frequency and/or an acoustic high frequency cutoff which will limit the response of the speaker at the high end. This acoustic high frequency cutoff is advantageous in employing a woofer in combination with a midfrequency or high frequency driver to function as an acoustic part of the crossover network employed to couple the low frequency system to the remainder of a broadband speaker system.

It is evident that those skilled in the art may now make numerous other modifications of and departures from the specific apparatus and techniques herein disclosed without departing from the inventive concepts. Consequently, the invention is to be construed as embracing each and every novel feature and novel combination of features present in or possessed by the apparatus and techniques herein disclosed and limited soley by the spirit and scope of the appended claims.

What is claimed is:

1. An improved ported loudspeaker system comprising,

electroacoustical transducing means having a vibratible cone,

enclosure means for supporting said electroacoustical transducing means for converting an input electrical signal into a corresponding acoustic output signal, dividing means coacting with said electroacoustical transducing means for dividing the interior of said enclosure means into first and second subchambers with a first surface of said electroacoustical transducing means contacting said first subchamber and a second surface of said electroacoustical transducing means contacting said second subchamber,

first and second passive radiating means each characterized by acoustic mass for coupling said first and second subchambers respectively to the region outside said enclosure means,

said first subchamber and said first passive radiating means configured for establishing a first resonance at a first bass frequency for minimizing excursion of said cone at said first bass frequency,

and said second subchamber and said second passive radiating means configured for establishing a second resonance at a second bass frequency for minimizing excursion of said cone at said second bass frequency.

2. A loudspeaker system in accordance with claim **1** wherein the ratio of said subchamber resonant frequencies is within the range of 1.5:1 to 3:1.

3. A loudspeaker system in accordance with claim **1** wherein the ratio of the volume of said first subchamber to that of said second subchamber is within the range of 2:1 to 4:1.

4. A loudspeaker system in accordance with claim **1** wherein at least one of said passive radiating means comprises a port tube.

5. A loudspeaker system in accordance with claim **1** wherein at least one of said passive radiating means comprises a drone cone.

6. A loudspeaker system in accordance with claim **2** wherein said ratio is of the order of 2:1.

7. A loudspeaker system in accordance with claim **3** wherein said ratio is of the order of 3:1.

* * * * *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้