

ลำโพงไร้สายโดยใช้พาราเมตริกอะคูสติกอาร์เรย์  
WIRELESS LOUDSPEAKERS  
WITH PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY



ทศพล เรืองศรี  
TOTSAPON RUANGSRI  
ธนวัฒน์ กิตติชัยการ  
THANAWAT KITTICHAIKARN  
วรางคณา นุ่มฤทธิ  
WARANGKANA NOOMRIT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

ลำโพงไร้สายโดยใช้พาราเมตริกอะคูสติกอาร์เรย์  
WIRELESS LOUDSPEAKERS  
WITH PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIRELESS LOUDSPEAKERS  
WITH PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY



TOTSAPON RUANGSRI  
THANAWAT KITTICHAIKARN  
WARANGKANA NOOMRIT

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อปริญญาานิพนธ์	ลำโพงไร้สายโดยใช้ Parametric acoustic array		
Thesis Title	Wireless loudspeaker with parametric acoustic array		
ชื่อนักศึกษา	นายทศพล เรืองศรี	รหัสนักศึกษา	56010474
	นายธนวัฒน์ กิตติชัยการ	รหัสนักศึกษา	56010550
	นางสาววรางคณา นุ่มฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	56011078
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล		

## บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์เสนอระบบลำโพงไร้สายโดยใช้โครงสร้างแบบพาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์และการออกแบบรวมทั้งตัวอย่างการนำไปใช้งาน เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของการแพร่กระจายเสียงของลำโพงไร้สายแบบนี้มีลักษณะบีมหลักของเสียงแคบมาก ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตการได้ยินในพื้นที่เฉพาะได้ และทำให้เสียงไม่ไปรบกวนพื้นที่ข้างเคียง จากคุณลักษณะเด่นดังกล่าวทำให้สามารถนำไปใช้งานได้สองลักษณะคือสามารถส่งสัญญาณเสียงไปยังพื้นที่เฉพาะโดยตรง หรืออีกลักษณะคืออาศัยการใช้ฉากผิวเรียบเป็นตัวสะท้อนเสียงรวมสู่จุดผู้รับฟัง โดยในส่วนของตัวประมวลสัญญาณเข้าสู่พาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์ประกอบด้วยส่วนของการมอดูเลชันสัญญาณเสียงเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์ 40 KHz และขยายสัญญาณอัลตราโซนิกตัววงจรถายจากนั้นป้อนเข้าสู่พาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นโดยการทดสอบหาวิธีมอดูเลชันที่เหมาะสมที่ลดการเกิดผลรวมการลดทอนของฮาร์โมนิกให้ต่ำที่สุด

<b>Thesis Title</b>	WIRELESS LOUNDSPEAKER WITH PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY	
<b>Student</b>	Mr.Totsapon Ruangsri	Student ID. 56010474
	Mr.Thanawat Kittichaikarn	Student ID. 56010550
	Miss.Warangkana Noomrit	Student ID. 56011078
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Information Engineering	
<b>Department</b>	Computer Engineering	
<b>Academic Year</b>	2016	
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dolcha Sookcharoenphol	

## ABSTRACT

This thesis proposes a wireless loudspeaker system implemented by using parametric acoustic array technique, designing step; and also example of application included. Due to the outstanding attribute of Ultrasonic propagation in air provides narrow beam feature at far field range. Thus, allows limit of hearing in specific areas and do not interfere to neighbor areas. As feature above, it provides two methods for transmits a sound to audiences. One method, it can transmit an audio signal directly to a specific area and other method, is use a smooth scene as sound reflector for sound reflected from scene to the listener. For signal processing of the parametric acoustic array, it consist of the modulation audio signal input with carrier signal 40 KHz, ultrasonic signal amplified by high frequency amplifier and then feed to the parametric acoustic array in rectangular shape. The quality of sound can be improved by an appropriate modulating which reduced the THD (total harmonic distortion) to lowest.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ตลชัย สุขเจริญผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่คอยแนะนำแนวทางการดำเนินงานให้เหมาะสม และวิธีการแก้ปัญหาอย่างถูกต้อง รวมทั้งคอยให้ความรู้ความเข้าใจที่ชัดเจนและยังมีความเป็นกันเองกับนักศึกษาทำให้สามารถปรึกษาปัญหาที่สงสัยได้อย่างง่ายดาย อีกทั้งอาจารย์ยังเป็นผู้ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอน เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ออกมาอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่คอยรับฟังปัญหาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ในส่วนของตัววงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในระหว่างการทำโครงการ อีกทั้งร่วมแก้ไขปัญหามาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีในส่วนของตอนที่ 2 นี้

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ที่ชุมชนโรบอท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ใช้สถานที่ในการทำอุปกรณ์ ในส่วนฮาร์ดแวร์ ให้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ อีกทั้งยังสนับสนุนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ให้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแห่งนี้ที่ได้ให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ศึกษา ทางผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย นอกจากนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบุคลากรภาควิชาทุกท่าน เพื่อนๆ และผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือไม่มากก็น้อย ทั้งผู้ที่มีได้กล่าวนามทุกท่านด้วย ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือจนกระทั่งปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ทศพล เรืองศรี  
ธนวัฒน์ กิตติชัยการ  
วรางคณา นุ่มฤทธิ์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ภาพรวมหรือโครงสร้างรวมของโครงการ.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ.....	2
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้.....	2
1.5.1 ฮาร์ดแวร์.....	2
1.5.2 ซอฟต์แวร์.....	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี.....	4
2.1.1 คลื่นเสียง.....	4
2.1.2 ความดันเสียง (sound pressure).....	4
2.1.3 ความดัง (Loudness).....	4
2.1.4 คุณภาพของเสียง (Quality).....	5
2.1.4.1 อิมพีแดนซ์.....	5
2.1.5 ระดับเสียง (Pitch).....	5
2.2 ฮาร์โมนิก (Harmonic).....	6
2.2.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม.....	7
2.3 การสะท้อนของเสียง.....	7
2.3.1 ผลของการสะท้อนของคลื่นที่ควรทราบ.....	7
2.3.2 สมบัติการสะท้อนของเสียง.....	8

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 อัลตราโซนิก (Ultrasonic).....	10
2.5 การขยายสัญญาณ .....	10
2.5.1 ตัวขยายสัญญาณ.....	10
2.5.2 พาวเวอร์แอมป์ (Power Amplifier) .....	11
2.5.3 วงจรขยายสัญญาณ (Operational amplifiers; op-amps).....	12
2.6 การกล้ำสัญญาณ (Modulation).....	12
2.6.1 การผสมสัญญาณเชิงขนาด .....	13
2.7 แมตแล็บ (MATLAB: Matrix Laboratory).....	16
2.8 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit).....	17
2.8.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่ง .....	18
2.8.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง .....	19
2.8.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่หนึ่ง.....	20
2.8.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สอง .....	20
2.8.5 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น .....	21
2.9 หลักการทำงานของลำโพงพาราเมตริก .....	21
2.10 เทคนิคการมอดูเลชัน (Modulation technique).....	22
2.10.1 แอมพลิจูดมอดูเลชัน .....	22
2.11 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) (Kieth, 1984).....	23
2.11.1 คุณสมบัติของกระแสและแรงดัน .....	23
2.11.2 ข้อกำหนดการทำงานและพื้นที่การทำงาน .....	25
2.11.2.1 แรงดันพังทลาย (Voltage Breakdown).....	25
2.11.2.2 ค่าสูญเสียขณะนำกระแส .....	25
2.12 วงจรขับเคลื่อน (Kieth, 1984).....	26
บทที่ 3 การวิเคราะห์และการออกแบบ.....	28
3.1 หลักการทำงานของระบบ .....	28
3.2 การออกแบบเครื่องขยายเสียงอัลตราโซนิกแบบ AM .....	29
3.2.1 วงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาร์ .....	29
3.2.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude - Shift Keying: ASK) ....	30
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณ (Op-amps; อปแอมป์) .....	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier).....	31
3.3 การออกแบบเครื่องขยายเสียงอัลตราโซนิก (Ultrasonic Amplifier)	
แบบ PWM.....	33
3.3.1 ปรีแอมป์ (Pre-Amp).....	34
3.3.2 วงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์.....	34
3.3.3 วงจรขับเกต (Gate drive).....	36
3.3.4 วงจร 2 CHOPPER MOSFET.....	37
3.3.5 วงจรแปลงไฟ.....	38
3.4 การออกแบบ Ultrasonic Speaker Array.....	39
บทที่ 4 ลักษณะการแพร่กระจายของเสียง.....	41
4.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายของเสียง.....	41
4.2 การวัดรูปแบบการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนแต่ละชนิด.....	47
4.2.1 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากโปรเจคเตอร์ (Projector screen).....	47
4.2.2 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากกระดานไวท์บอร์ด (Whiteboard).....	48
4.2.3 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนพาราโบลา (Parabolic reflector).....	49
4.2.4 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ผนังเก็บเสียง (Soundproof).....	50
4.2.5 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากแบ็คดรอป (Backdrop).....	51
4.3 การทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ.....	52
4.3.1 การทดสอบวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์.....	52
4.3.2 การทดสอบวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด (AM).....	53
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	56
5.1 บทสรุปโครงการ.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป.....	56
5.3 การนำโครงการออกแสดงในที่ต่างๆ.....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก ก Poster และรูปผลงาน.....	61
ภาคผนวก ข Pulse Width Modulation Control Circuit และ Specification of ultrasonic.....	65



# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3



# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	โครงสร้างภาพรวมของระบบลำโพงแบบไร้สายโดยใช้ PAA.....	1
รูปที่ 2.1	ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.2	แสดงถึงฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์ มีรูปร่างผิดเพี้ยน .....	6
รูปที่ 2.3	กฎการสะท้อนของเสียง.....	7
รูปที่ 2.4	การดูดซับเสียงของวัสดุ.....	8
รูปที่ 2.5	Noise Reduction Coefficient .....	9
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างวงจรถ่ายสัญญาณ .....	10
รูปที่ 2.7	LM741 ออปแอมป์วัตถุประสงค์ทั่วไป.....	12
รูปที่ 2.8	สัญญาณ DSB-SC เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณข่าวสาร.....	14
รูปที่ 2.9	สเปกตรัมของสัญญาณ DSB-SC เมื่อสัญญาณข่าวสารเป็นไซน์ความถี่เดียว.....	14
รูปที่ 2.10	สัญญาณ SSB เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณข่าวสาร.....	15
รูปที่ 2.11	สเปกตรัมของสัญญาณ SSB เมื่อสัญญาณข่าวสารเป็นไซน์ความถี่เดียว.....	16
รูปที่ 2.12	โปรแกรม MATLAB .....	17
รูปที่ 2.13	กราฟแสดงความสามารถของแต่ละประเภทวงจรกรองความถี่.....	17
รูปที่ 2.14	วงจรรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่ง.....	18
รูปที่ 2.15	วงจรรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง.....	19
รูปที่ 2.16	วงจรรองความถี่สูงผ่านลำดับที่หนึ่ง.....	20
รูปที่ 2.17	วงจรรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สอง.....	20
รูปที่ 2.18	การสร้างวงจรรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้มีลำดับที่สูงขึ้น.....	21
รูปที่ 2.19	การสร้างปฐมภูมิ, ผลรวม, ความแตกต่างและความถี่ ฮาร์มอนิกต่างๆผ่านอาร์เรย์พาราเมตริกในอากาศ.....	21
รูปที่ 2.20	บล็อกไดอะแกรมของ double sideband.....	22
รูปที่ 2.21	กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน.....	24
รูปที่ 2.22	กราฟความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอส.....	26
รูปที่ 2.23	กราฟสัมประสิทธิ์อิมพีแดนซ์ของมอสเฟต.....	26
รูปที่ 2.24	วงจรถัดเกิดอย่างง่าย.....	27
รูปที่ 2.25	วงจรถัดเกิดแบบใช้ไอซีบีฟเฟอร์.....	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบ .....	28
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมหลักทำงานของเครื่องขยายเสียงอัลตราโซนิกแบบ AM .....	29
รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 40 KHz .....	30
รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude - Shift Keying; ASK).....	30
รูปที่ 3.5 ไอซีขยายสัญญาณเบอร์ UA741CN (Op-Amp).....	31
รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์ Lepai LP-838.....	32
รูปที่ 3.7 วงจรภายใน Lepai LP-838 .....	32
รูปที่ 3.8 วงจรแอมป์ขยายเสียงลำโพงอัลตราโซนิก .....	33
รูปที่ 3.9 วงจรภาคขยายส่วนหน้า (ปริแอมป์) .....	34
รูปที่ 3.10 ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TL494 ใช้ในการมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ .....	35
รูปที่ 3.11 วงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์.....	36
รูปที่ 3.12 วงจรภายในของไอซีเบอร์ IR2111.....	37
รูปที่ 3.13 วงจรชอปเปอร์โดยใช้มอสเฟตชนิดเอ็น.....	37
รูปที่ 3.14 วงจรภายในตัวแปลงไฟไอซีเบอร์ L7812CV .....	38
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงไฟของไอซีเบอร์ L7812CV.....	38
รูปที่ 3.16 รูปแผงวงจรลำโพงอัลตราโซนิกที่ต่อแบบขนาน.....	39
รูปที่ 3.17 รูปลายวงจรของลำโพงอัลตราโซนิกที่ต่อแบบขนาน .....	39
รูปที่ 4.1 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร .....	41
รูปที่ 4.2 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร .....	42
รูปที่ 4.3 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร .....	42
รูปที่ 4.4 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร .....	43
รูปที่ 4.5 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร .....	43
รูปที่ 4.6 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร .....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร .....	44
รูปที่ 4.8	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร .....	45
รูปที่ 4.9	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร .....	45
รูปที่ 4.10	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร .....	46
รูปที่ 4.11	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร .....	46
รูปที่ 4.12	การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร .....	47
รูปที่ 4.13	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากโปรเจคเตอร์ เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร .....	47
รูปที่ 4.14	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากโปรเจคเตอร์ เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร .....	48
รูปที่ 4.15	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก กระดานไวท์บอร์ดเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อน ระยะ 1 เมตร .....	48
รูปที่ 4.16	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก กระดานไวท์บอร์ดเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อน ระยะ 4 เมตร .....	49
รูปที่ 4.17	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก สะท้อนพาราโบลาเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อน ระยะ 1 เมตร .....	49
รูปที่ 4.18	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก สะท้อนพาราโบลาเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อน ระยะ 4 เมตร .....	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.19	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ผนัง เก็บเสียงเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร .....	50
รูปที่ 4.20	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ผนัง เก็บเสียงเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร .....	51
รูปที่ 4.21	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก บังคอร์ดอปเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร.....	51
รูปที่ 4.22	การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉาก บังคอร์ดอปเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร.....	52
รูปที่ 4.23	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์.....	52
รูปที่ 4.24	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์เมื่อ รวมสัญญาณข่าวสาร .....	53
รูปที่ 4.25	สัญญาณเอาต์พุตเมื่อผ่านวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด.....	53
รูปที่ 4.26	สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรมอดูเลชันสัญญาณ .....	54
รูปที่ 4.27	สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านแอมพลิฟายเออร์.....	54
รูปที่ 5.1	ภาพบรรยากาศภายในงาน “ Thailand-Japan Student ICT Fair 2016 ” .....	57

# บทที่ 1

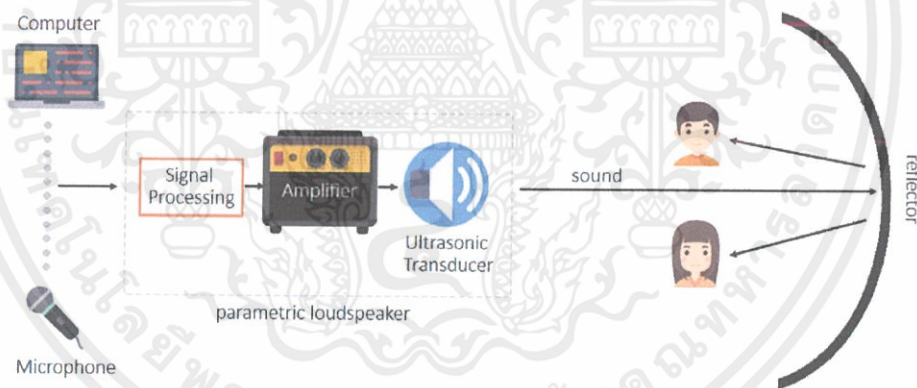
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันหากเราพูดถึงอุปกรณ์ที่สามารถกระจายและขยายเสียงให้ดังขึ้นได้ เราจะนึกถึงลำโพงอุปกรณ์ที่เราสามารถกระจายและขยายเสียงให้ดังขึ้นให้กับผู้รับฟังได้เป็นจำนวนมากและชัดเจนมากขึ้น แต่ในบางครั้ง บางพื้นที่อาจจะไม่เหมาะหรือไม่สะดวกกับการจัดตั้งลำโพง รวมทั้งถ้าหากเราต้องการเจาะกลุ่มผู้ฟังเฉพาะในบริเวณที่เราต้องการเท่านั้นโดยที่เสียงไม่ไปรบกวนบริเวณอื่น

### 1.2 ภาพรวมหรือโครงสร้างรวมของโครงการ

ในระบบจะประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์หรือไมโครโฟนเป็นตัวป้อนเสียงเข้าสู่ระบบลำโพงแบบพาราเมตริกอะคูสติกอเรียเพื่อยิงคลื่นเสียงขนาดแคบๆ ไปยังฉากสะท้อนเพื่อทำการสะท้อนคลื่นเสียงกลับมายังผู้รับฟัง



รูปที่ 1.1 โครงสร้างภาพรวมของระบบลำโพงแบบไร้สายโดยใช้ PAA

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาพาราเมตริกอะคูสติกอเรีย
- เพื่อศึกษาการกระจายคลื่นเสียงจากลำโพงพาราเมตริกกับการสะท้อนกับฉาก
- เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานเครื่องกระจายเสียง
- เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานการกระจายเสียงจากระยะไกล โดยใช้ PAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

- ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพารามетริกอะคูสติกอาเรย์
- ทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายเสียงของพารามетริกอะคูสติกอาเรย์
- ทดสอบรูปการณ์แพร่กระจายเสียงจากฉากสะท้อน
- ออกแบบลำโพงพารามетริก
- จัดทำต้นฉบับปริญญาานิพนธ์

## 1.5 อุปกรณ์ที่ใช้

### 1.5.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- เครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
- ลำโพงพารามетริก จำนวน 1 ชุด
- ออสซิลอสโคปและอุปกรณ์ต่อพ่วง จำนวน 1 ชุด
- เครื่องขยายสัญญาณเสียง (Power Amplifier) จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) และอุปกรณ์ตัวพ่วง จำนวน 1 ชุด

### 1.5.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

- โปรแกรมแมตแล็บ (MATLAB)

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	2559							2560			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
วางแผนการทำ โครงการ											
ศึกษาการแผ่กระจาย ของเสียงและโครงสร้าง ระบบลำโพงพารา เมตริกอะคูสติกอาเรย์											
ศึกษาเกี่ยวกับการ ประมวลผลสัญญาณ											
ทำการวิเคราะห์การแผ่ กระจายของเสียง โปรแกรม MATLAB											
ศึกษาการแผ่กระจาย ของเสียงกับฉาก สะท้อน											
ออกแบบระบบและ สร้างลำโพง											
ทดลองจากการ ออกแบบ											
จัดทำเอกสาร											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี

#### 2.1.1 คลื่นเสียง

เสียง เป็นคลื่นเชิงกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือน ก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ไปยังหู เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ คลื่นเสียงเกิดจาก การสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคของตัวกลาง ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่น แล้วถ่ายโอนไปยังอนุภาคอื่นๆที่อยู่ข้างเคียงให้สั่นตาม เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงอนุภาคตัวกลางที่อยู่ติดกับเยื่อแก้วหู อนุภาคเหล่านี้สั่นไปกระทบเยื่อแก้วหู ทำให้เยื่อแก้วหูสั่นตาม จึงทำให้เราได้ยินเสียง

คลื่นเสียง คือ คลื่นตามยาวซึ่งหูของเราสามารถได้ยินเสียงได้ โดยคลื่นนี้มีความถี่ตั้งแต่ประมาณ 20 Hz ถึง 20,000 Hz ความถี่เสียงในช่วงนี้เรียกว่า audio frequency สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงความถี่คือ ช่วงความถี่ต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 20-500 Hz ความถี่ปานกลางอยู่ในช่วงประมาณ 500-5,000 Hz และช่วงความถี่สูง อยู่ในช่วงประมาณ 5,000-20,000 Hz

#### 2.1.2 ความดันเสียง (sound pressure)

ความดันเสียง หมายถึง ค่าความดันของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปจากความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ค่าความสูงคลื่นหรือแอมพลิจูด การตอบสนองของหูต่อความดันเสียงไม่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่มีความสัมพันธ์ในลักษณะของลอการิทึม ดังนั้นค่าระดับความดันเสียง ที่อ่านได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องวัดเสียงนั้น เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกับความดันเสียงอ้างอิงแล้ว มีหน่วยวัดเป็น เดซิเบล (Decibel: dB)

#### 2.1.3 ความดัง (Loudness)

ความดัง หมายถึง ความรู้สึกได้ยินของมวลมนุษย์ว่าดังมากดังน้อย ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่อาจวัดด้วยเครื่องมือใดๆ ได้โดยตรง ความดังเพิ่มขึ้นตามความเข้มเสียง ความรู้สึกเกี่ยวกับความดังจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความเข้มเสียง โดยถ้า  $I$  แทนความเข้มเสียง ความดังของเสียงจะแปรผันโดยตรงกับ  $\log(I)$  หรืออาจกล่าวได้ว่า ความดังก็คือระดับความเข้มเสียงนั่นเอง หูของคนสามารถรับเสียงที่มีความดังน้อยที่สุดคือ 0 dB และมากที่สุดคือ 120 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 คุณภาพของเสียง (Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึง คุณลักษณะของเสียงที่เราได้ยิน เมื่อเราฟังเพลงจากวงดนตรีวงหนึ่งนั้น เครื่องดนตรี ทุกชนิดจะเล่นเพลงเดียวกัน แต่เราสามารถแยกได้ว่า เสียงที่ได้ยินนั้นมาจากดนตรีประเภทใด เช่น มาจากไวโอลิน หรือเปียโน เป็นต้น การที่เราสามารถแยกลักษณะของเสียงได้นั้น เพราะว่าคลื่นเสียงทั้งสองมีคุณภาพของเสียงต่างกัน คุณภาพของเสียงนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนโอเวอร์โทนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นๆ และแสดงออกมาเด่น จึงไพเราะต่างกัน นอกจากนี้คุณภาพของเสียงยังขึ้นกับ ความเข้มของเสียงอีกด้วย

**2.1.4.1 อิมพีแดนซ์ (สัญลักษณ์ Z)** คือ ค่ารวมทั้งหมดที่ต้านกระแสในวงจร หรืออาจเรียกว่าเป็นทั้งหมดในวงจรที่ขวาง (impedes) การไหลของกระแส มันคล้ายกับความต้านทานแต่ก็ไม่เหมือนเลยทีเดียวเพราะต้องคำนึงถึงผลกระทบของความจุและการเหนี่ยวนำด้วย อิมพีแดนซ์มีหน่วยวัดเป็นโอห์ม สัญลักษณ์คือ ohm

อิมพีแดนซ์มีความซับซ้อนมากกว่าความต้านทาน เพราะหากความถี่ของกระแสที่ไหลผ่านวงจรเปลี่ยนแปลง จะมีผลต่ออิมพีแดนซ์ของตัวความจุและตัวเหนี่ยวนำ หรืออาจกล่าวได้ว่า

ค่า อิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงตามความถี่ แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่มีผลกระทบต่อตัวต้านทานแต่อย่างใด

มีปริมาณทางไฟฟ้าสี่ตัวที่เป็นสิ่งกำหนดอิมพีแดนซ์ (Z) ของวงจรคือ: ความต้านทาน (R), ความจุ (C), ความเหนี่ยวนำ (L) และ ความถี่ (f).

อิมพีแดนซ์สามารถแยกเป็นสองส่วนคือ:

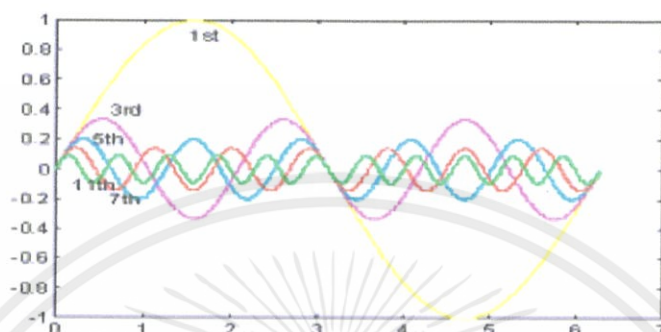
- ความต้านทาน R (เป็นส่วนที่คงที่โดยไม่คำนึงถึงความถี่)
- รีแอกแตนซ์ X (เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ เนื่องจากความจุและความเหนี่ยวนำ)

### 2.1.5 ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง หมายถึง เสียงที่มีความยาวคลื่นและความถี่ต่างกัน โดยเสียงที่มีความถี่สูงจะมีระดับเสียงสูง ส่วนเสียงที่มีความถี่ต่ำจะมีระดับเสียงต่ำ ถ้าระดับเสียงต่างกันมากก็จะฟังง่าย ถ้าต่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะฟังยาก การกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความสั้นสะเทือนของวัตถุ โดยจะมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที

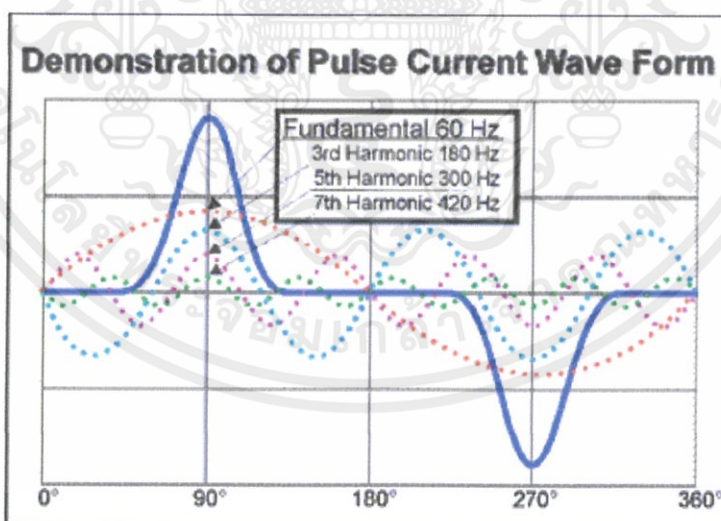
## 2.2 ฮาร์โมนิก (Harmonic)

ฮาร์โมนิก คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล เช่นฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 มีความถี่เป็น 150 Hz และฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 มีความถี่เป็น 250 Hz แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ฮาร์โมนิกที่ลำดับต่างๆ

และผลของฮาร์โมนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเพี้ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงถึงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มีมุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์: %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิก โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิก กับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลจะเทียบเป็นร้อยละ

## 2.3 การสะท้อนของเสียง

เสียงมีการสะท้อนเหมือนกับคลื่น เป็นไปตามกฎการสะท้อน คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากจะมีการสะท้อนของคลื่นเสียงเกิดขึ้นซึ่งเฟสจะเปลี่ยนไป 180 องศา แต่ถ้าเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีการสะท้อนเพียงบางส่วน และเสียงยังมีการสะท้อนเช่นเดียวกับแสง

ถ้าพื้นที่ตกกระทบเป็นพื้นเว้า (concave surface) เสียงออกจากการสะท้อนของเสียงบนพื้นราบจะไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่งด้านนอกของพื้นที่เว้า แต่ถ้าพื้นหน้านูน (convex) เสียงที่ตกกระทบแล้วจะสะท้อนกระจายออกไป ไม่ไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่ง หากแต่จะกระจายออกไปทั่ว คุณสมบัตินี้สถาปนิกนำไปใช้กันมากเมื่อต้องการให้เสียงกระจายแผ่ออกไป



รูปที่ 2.3 กฎการสะท้อนของเสียง

### 2.3.1 ผลของการสะท้อนของคลื่นที่ควรทราบ

- ความถี่ของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นตกกระทบ
- อัตราเร็วและความยาวคลื่นของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับคลื่นตกกระทบ
- ถ้าการสะท้อนไม่สูญเสียพลังงาน จะได้แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

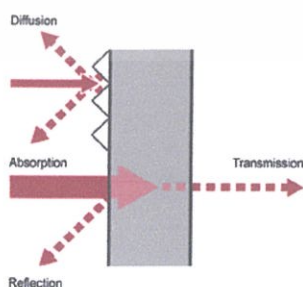
### 2.3.2 สมบัติการสะท้อนของเสียง

การสะท้อนของเสียง จะเกิดขึ้นได้เมื่อ “ตัวสะท้อนมีขนาดใหญ่กว่า หรือ เท่ากับ ความยาวคลื่นเสียง” สำหรับมนุษย์สามารถแยกเสียงสะท้อนได้ ก็ต่อเมื่อ เวลาที่เสียงออกจากแหล่งกำเนิด กับ เวลาที่เสียงสะท้อนกลับมาถึงแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้ฟังต่างกันอย่างน้อย  $1/10$  วินาที หรือคิดเป็น ระยะทางประมาณ 17 เมตร และการสะท้อนของเสียงกับฉากที่มีรูปทรงพื้นผิวที่แตกต่างกันจะทำให้ คลื่นเสียงในอากาศที่สะท้อนกลับมานั้นมีการแทรกสอดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ความดังของเสียงที่ สะท้อนกลับมาในแต่ละระยะนั้นมีความดังไม่เท่ากันด้วย

### 2.3.3 ความหนาแน่นและการดูดซับเสียงของวัสดุ

การใช้ฉากในการสะท้อนเสียงนั้นอาจส่งผล ให้มีการดูดกลืนเสียงทั้งหมด หรือ ปริมาณเสียงสะท้อนกลับมาในระดับที่แตกต่างกันได้ เพราะว่าการเดินทางของคลื่นจากตัวกลางที่ต่าง ชนิดกันนั้นจะทำให้คลื่นเกิดการหักเหบางส่วน และในการหักเห นั้นหากว่าคลื่นเสียงนั้นเดินทางไปยัง ฉากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศมากๆ จึงจะเกิดการสะท้อนกลับหมดของคลื่นเสียง แต่ถ้า หากว่าความหนาแน่นของฉากที่ใช้รับคลื่นนั้นลดลงคลื่นเสียงบางส่วนอาจจะถูกดูดกลืนไปทำให้ความ ดังของเสียงที่สะท้อนกลับมานั้นลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามนั้นหากว่าเราปรับให้วัสดุที่ใช้เป็นฉาก สะท้อนคลื่นเสียงนั้นมีความหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้มากขึ้น

วัสดุทุกชนิดสามารถดูดซับเสียงได้ในระดับที่ต่างกันไป เมื่อคลื่นเสียงวิ่งกระทบวัสดุ จะมี บางส่วนของพลังงานเสียงถูกดูดซับและที่เหลือจะสะท้อนออกไป และเสียงที่สะท้อนออกไปนั้นจะมี พลังงานน้อยกว่าแหล่งกำเนิดเสียงเสมอ และพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับเข้าไปจะถูกแปรเปลี่ยนไปเป็น พลังงานรูปอื่น โดยทั่วไปจะเป็นความร้อน และจำนวนพลังงานที่ถูกดูดซับเข้าไปจะถูกแสดงในรูปของ สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient) คือค่าที่แสดงความสามารถในการดูด ซับเสียงของวัสดุ ถ้าหากใช้วัสดุที่ดูดซับเสียงไม่ดีจะทำให้เกิดเสียงก้องภายในห้องนั้นๆ ได้ สามารถ พิจารณาค่าต่างๆ ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ



รูปที่ 2.4 การดูดซับเสียงของวัสดุ

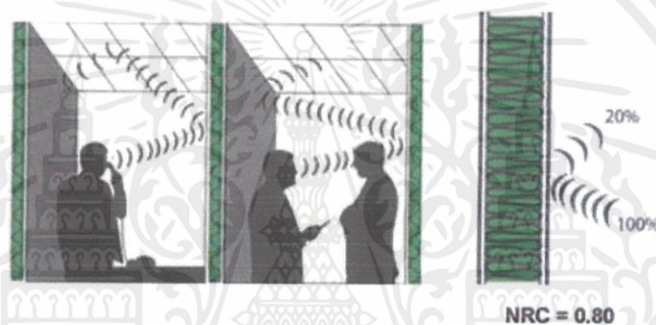
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Sound Absorption Coefficient (SAC)

SAC หมายถึงสัดส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับไปเมื่อชนกระทบ เทียบกับพลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิด ยกตัวอย่าง เช่น มีวัสดุหนึ่งมีค่า SAC 0.85 นั่นก็หมายความว่าพลังงานเสียง 85% ได้ถูกดูดซับไว้เมื่อเคลื่อนที่ไปชนกับวัสดุนี้ และ 15% ของพลังงานที่เทียบเท่ากับแหล่งกำเนิดจะสะท้อนออกมา

### Noise Reduction Coefficient (NRC)

NRC เป็นตัวเลขที่จะระบุได้ถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยที่ NRC คือค่าเฉลี่ยของ SAC ที่ถูกวัดที่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปิดเศษให้อยู่ที่ 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic)



รูปที่ 2.5 Noise Reduction Coefficient

วัสดุดูดซับเสียง ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายลักษณะ แบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

- 1) วัสดุดูดซับเสียงที่โปร่งเบาเป็นฝอยเป็นรูพรุน เช่น ฉนวนเยื่อกระดาษเซลลูโลส ฉนวนใยหิน ฉนวนใยแก้ว ฉนวนโฟมโพลียูรีเทนประเภทต่างๆ คุณสมบัติก็แตกต่างกันไป ตามความแข็งแรง ความหนาแน่น และการใช้งาน เหมาะสำหรับเสียงที่มีความถี่สูง
- 2) วัสดุดูดซับเสียงที่มีผิวปรุเป็นรู แผ่นดูดซับเสียงยิบซับบอร์ดที่มีรู แผ่นชานอ้อย แผ่นไม้คอร์ก สำหรับเพิ่มพื้นที่ผิวในการรับเสียง
- 3) วัสดุดูดซับเสียงที่เป็นเยื่อแผ่น ผนังที่มีหลายชั้นกระจกสองชั้น หรือการติดผ้ามา่านให้กับผนัง/ช่องเปิดสำหรับเสียงที่มีความถี่ต่ำ
- 4) วัสดุดูดซับเสียงที่พื้นผิวมากที่ช่วยลดเสียงสะท้อน ผนังที่มีการออกแบบ เป็นช่องๆ รูปแบบต่างๆ ซึ่งลักษณะการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามการใช้งาน อาจมีหลายลักษณะประกอบกันไปเพื่อประสิทธิภาพการควบคุมเสียงที่เหมาะสม หรือจะใช้วัสดุที่มีพื้นผิวมากประกอบกับวัสดุที่เป็นรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 อัลตราโซนิก (Ultrasonic)

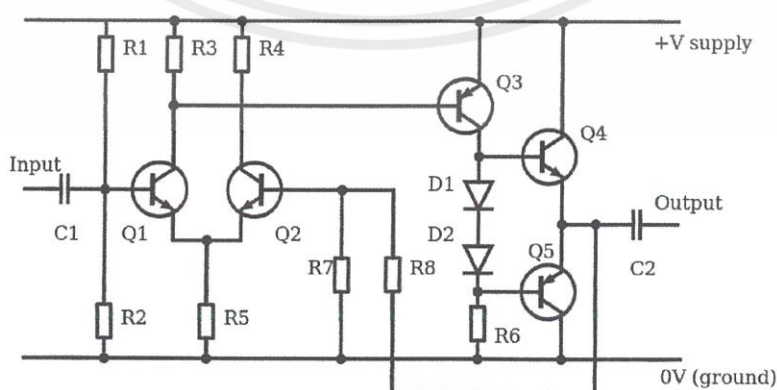
อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อยๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เราเรียกว่า “มีทิศทาง”

## 2.5 การขยายสัญญาณ

### 2.5.1 ตัวขยายสัญญาณ

ตัวขยายสัญญาณ หรือ วงจรขยายสัญญาณ (Electronic Amplifier or Amplifier) หรือเรียกสั้นๆ ว่า Amp เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุต แต่มีขนาดใหญ่กว่า ในความหมายนี้ตัวขยายสัญญาณทำการกล้ำสัญญาณ (modulate) เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างวงจรตัวขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวขยายอิเล็กทรอนิกส์มี 4 ประเภทพื้นฐานได้แก่ ตัวขยายแรงดัน, ตัวขยายกระแส, ตัวขยาย transconductance และตัวขยาย transresistance ความแตกต่างอยู่ที่สัญญาณเอาต์พุตจะแทน ความหมายของสัญญาณอินพุตแบบเชิงเส้นหรือแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ตัวขยายสัญญาณยังสามารถ ถูกแยกประเภทโดยการแทนที่ทางกายภาพในขบวนการของสัญญาณด้วย

## 2.5.2 พาวเวอร์แอมป์ (Power Amplifier)

พาวเวอร์แอมป์โดยทั่วไปจะเป็นตัวขยายสัญญาณตัวสุดท้าย ในขบวนการส่งผ่าน (ส่วน เอาต์พุต) และเป็นส่วนการขยายที่มีจะต้องให้ความสนใจมากที่สุดในประสิทธิภาพการทำงาน การพิจารณาด้านประสิทธิภาพนำไปสู่ระดับชั้นต่างๆ ของพาวเวอร์แอมป์ บนพื้นฐานของการ bias ของทรานซิสเตอร์หรือหลอดที่ทำหน้าที่เป็นตัวขยายเอาต์พุตตัวสุดท้าย

วงจรพาวเวอร์แอมป์ (ขั้นตอนเอาต์พุต) จะจัดระดับเป็น A, B, AB และ C สำหรับการ ออกแบบ แอนาล็อก และ คลาส D และ E สำหรับการออกแบบสวิตซ์ซึ่ง ตามสัดส่วนของแต่ละวงรอบ ของอินพุต (มุมการนำกระแส) โดยอุปกรณ์ขยายจะผ่านกระแสในระหว่างมุมนั้น ภาพของมุมการ นำกระแสจะมาจากการขยายสัญญาณรูปไซน์ หากอุปกรณ์ ON ตลอดเวลา มุมจะเท่ากับ  $360^\circ$  แต่ถ้า มัน ON เพียงครึ่งรอบมุมจะเท่ากับ  $180^\circ$  มุมของการไหลของกระแสจะเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของวงจรขยาย คลาสของมุมการนำกระแสต่างๆ

คลาส A ใช้ 100% ของสัญญาณอินพุต (มุมการนำ  $\Theta = 360^\circ$ ) อุปกรณ์ขยายทำงาน ตลอดเวลา[8]

คลาส B ใช้ 50% ของสัญญาณอินพุต ( $\Theta = 180^\circ$ ) อุปกรณ์ขยายทำงานครึ่งเดียวในแต่ละ รอบและไม่ทำงานใน อีกครึ่งรอบที่เหลือ

คลาส AB อยู่ระหว่างคลาส A และ คลาส B, อุปกรณ์ขยายทั้งสองทำงานมากกว่าครึ่งหนึ่ง ของ เวลา

คลาส C ใช้น้อยกว่า 50% ของสัญญาณอินพุต (มุมการนำ  $\Theta < 180^\circ$ )

คลาส D จะใช้บางรูปแบบของ pulse-width modulation ในการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต; มุมการนำของอุปกรณ์แต่ละตัวจะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสัญญาณอินพุตอีกต่อไป แต่จะ เปลี่ยนตาม ความกว้างของพัลส์แทน งานนี้บางครั้งเรียกว่าแอมป์ "ดิจิทัล" เนื่องจากอุปกรณ์ เอาต์พุตจะเปลี่ยน ON หรือ OFF อย่างเต็มที่ และไม่ได้นำกระแสเป็นสัดส่วนกับขนาดของสัญญาณ

คลาสเพิ่มเติม แอมป์ยังมีคลาสอื่น ๆ อีกหลายคลาส แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบดัดแปลงของคลาสที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น แอมป์คลาส G และคลาส H เป็นการเปลี่ยนแปลงของรางจ่ายไฟที่ตามหลังสัญญาณอินพุต (แบบที่ละชั้นและแบบต่อเนื่องตามลำดับ) ความร้อนที่สูญเสียไปของอุปกรณ์เอาต์พุตสามารถลดลงได้ถ้าแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกจัดการให้มันน้อยที่สุด แอมป์ที่ถูกเลี้ยงด้วยรางแบบนี้ จะเป็นคลาสอะไรก็ได้ แอมป์พวกนี้มีความซับซ้อนมากกว่าและใช้เป็นหลักสำหรับการใช้งานเฉพาะ เช่น แอมป์กำลังสูงมาก แอมป์คลาส E และคลาส F ก็เช่นกัน สำหรับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในที่สุดประสิทธิภาพของคลาสแบบดั้งเดิมมีความสำคัญ แต่ยังมีหลายแง่มุมที่เบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญจากค่าในอุดมคติของพวกมัน คลาสเหล่านี้ใช้การจูนนิ่งเครือข่ายเอาต์พุตแบบฮาร์โมนิกเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและได้รับการพิจารณาว่าเป็นส่วนย่อยของคลาส C เนื่องจากคุณลักษณะมุมการนำของพวกมันภายใต้หัวข้อของแต่ละคลาสที่ต่ำลงไป

### 2.5.3 วงจรขยายสัญญาณ (Operational amplifiers; op-amps)

วงจรรขยายสัญญาณหรือเรียกสั้นๆว่า ออปแอมป์ (op-amps) ที่มีเกนแบบวงเปิด (open loop gain) สูงมาก และเป็นวงจรที่มีอินพุตสองชุดที่มีค่าแตกต่างกันและถูกปิดแบคจากภายนอกเพื่อควบคุมฟังก์ชันการถ่ายโอนหรือเกน แม้ว่าวันนี้คำว่าออปแอมป์โดยทั่วไปนำไปใช้กับวงจรรวม การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณแต่เดิมจะใช้วาล์ว



รูปที่ 2.7 LM741 ออปแอมป์วัตถุประสงค์ทั่วไป

## 2.6 การกล้ำสัญญาณ (Modulation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติบางประการของสัญญาณความถี่สูงหรือที่เรียกว่าคลื่นพาห์ ให้มีการแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะบางประการของสัญญาณผสม (Modulating signal) ทั้งนี้ เพื่อให้สัญญาณคลื่นพาห์ที่ส่งออกจากผู้ส่งออกจากผู้ไปถึงผู้รับนั้น ได้นำพาสารสนเทศที่ต้องการส่งติดตามตัวไปด้วย นอกจากนี้ การผสมคลื่นยังมีความมุ่งหมายเพื่อให้การขนส่งสารสนเทศนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพสูงและเชื่อถือได้ (Reliable) และยังสามารถป้องกันการรบกวนจากสัญญาณตามธรรมชาติภายนอกได้ในหลายกรณีอีกด้วย

### 2.6.1 การผสมสัญญาณเชิงขนาด

การผสมสัญญาณเชิงขนาดเป็นการแปรเปลี่ยนขนาดแรงดันของสัญญาณคลื่นพาห์ ตามค่าขณะหนึ่งขณะใด (Instantaneous value) ของระดับแรงดันสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข่าวสารที่ต้องการผสมเข้าไปในสัญญาณคลื่นพาห์ ในทำนองเดียวกันกับสัญญาณคลื่นพาห์ เมื่อพิจารณาสัญญาณผสมที่มีค่าความถี่เดียวคงที่ค่าหนึ่ง สามารถเขียนสมการของสัญญาณเสียง หรือสัญญาณข่าวสารที่ต้องการผสมได้ดังสมการที่ (2.1)

$$e_m = E_m \cos(\omega_m t + \phi_m) \quad (2.1)$$

โดย	$e_m$	เป็นค่าขนาดแรงดัน ณ เวลาใด ๆ ของสัญญาณผสม มีหน่วยเป็น [V]
	$E_m$	เป็น ค่าขนาดแรงดันสูงสุดของสัญญาณผสม มีหน่วยเป็น [V]
	$t$	เป็น ค่าความถี่เชิงมุมของสัญญาณผสม มีหน่วยเป็น [radian/s]
	$\omega_m$	เป็น ค่าเวลา มีหน่วยเป็น [s]
	$\phi_m$	เป็น ค่ามุมเฟสของสัญญาณผสม มีหน่วยเป็น [radian]

ในกรณีของการผสมสัญญาณเชิงขนาดไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของมุมเฟสและความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์สัญญาณ จึงตัดการพิจารณาในเรื่องของมุมเฟสของทั้งสัญญาณคลื่นพาห์และสัญญาณผสม จากสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$e_c = E_c \cos \omega_c t \quad (2.2)$$

$$e_m = E_m \cos \omega_m t \quad (2.3)$$

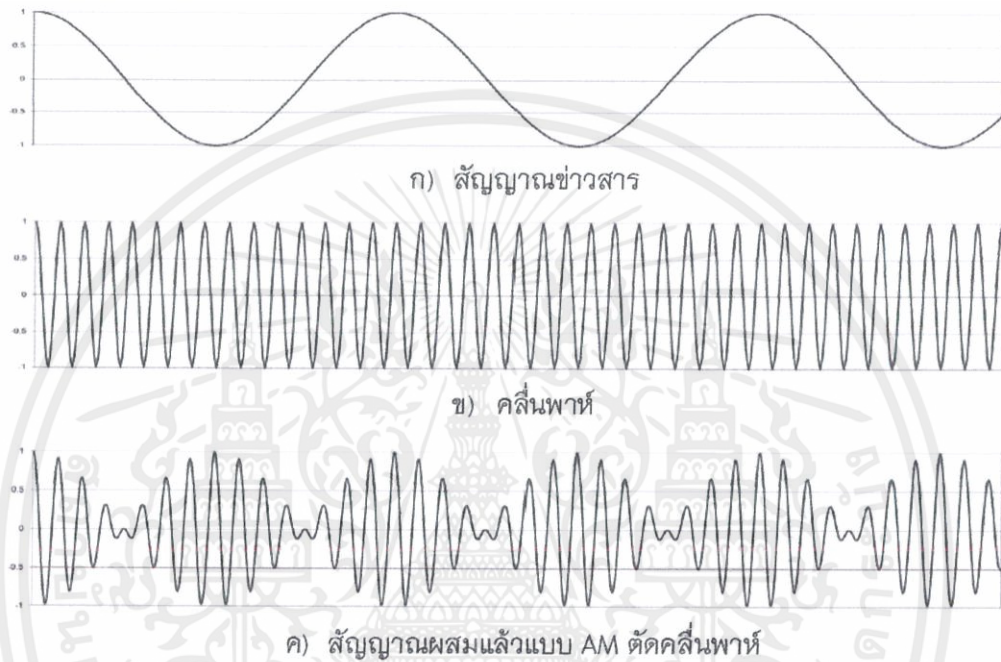
การผสมเชิงขนาดแบบ AM โดยการตัดคลื่นพาห์ (Double-Sideband Suppress Carrier) การตัดไม่ส่งเทอมแรกออกไปจึงไม่ทำให้ข่าวสารสูญเสียไปแต่อย่างใด แต่กลับทำให้ลดกำลังในการส่ง จึงเป็นที่มาของการส่งสองแถบข้างโดยการตัดคลื่นพาห์ ที่เรียกว่า Double-Sideband Suppress Carrier; DSB-SC จากการกำหนดคลื่นพาห์และสัญญาณข่าวสาร

$$e_{AM} = E_{AM} \cos \omega_c t = (E_c + E_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \quad (2.4)$$

หรือ

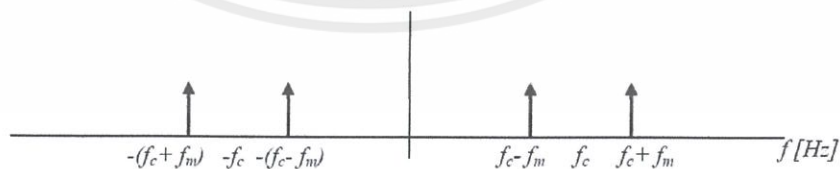
$$e_{AM} = E_c(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \quad (2.5)$$

ได้รูปสัญญาณ DSB-SC เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นพาห์เดิมและสัญญาณข่าวสาร ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สัญญาณ DSB-SC เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณข่าวสาร

และเมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมก็จะได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะพบว่าส่วนที่หายไปคือคลื่นพาห์ เหลือไว้แต่ส่วนที่เป็นแถบข้างทั้งสอง

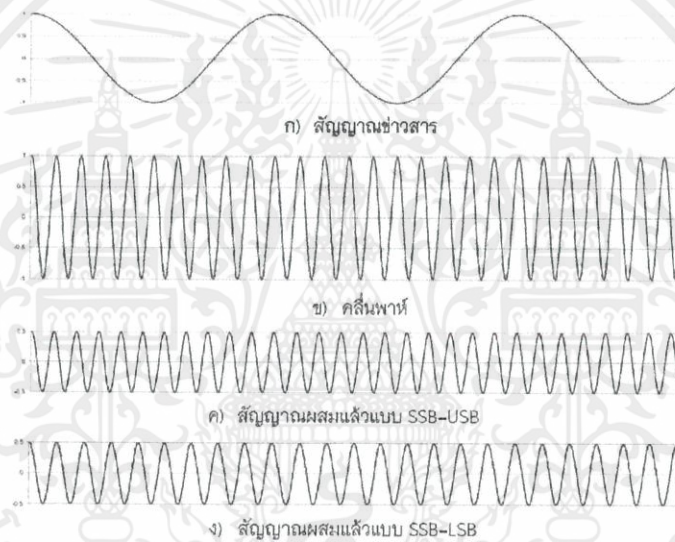


รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของสัญญาณ DSB-SC เมื่อสัญญาณข่าวสารเป็นไซน์ความถี่เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

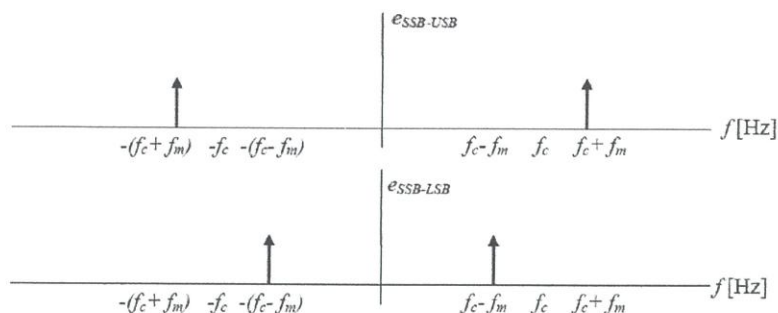
ในกรณีของ DSB-SC ถึงแม้จะสามารถลดกำลังสูญเสียในส่วนของคลื่นพาห้ได้ แต่ยังคงมีแถบกว้างความถี่เท่ากับ DSB-LC เนื่องจากยังคงส่งทั้งสองแถบข้าง จึงทำให้สิ้นเปลืองแถบความถี่ที่ต้องใช้ในการส่ง ในกรณีที่ต้องการส่งหลาย ๆ สัญญาณจึงจำเป็นต้องลดแถบกว้างความถี่ที่ใช้ลง แต่ยังคงได้สัญญาณข่าวสารครบถ้วน การส่งเพียงแถบข้างเดียวเป็นการส่งที่มีประสิทธิภาพในการใช้แถบความถี่มากกว่า จึงเป็นที่มาของการส่งแถบข้างเดียว ที่เรียกว่า Single-Sideband ; SSB ซึ่งสามารถเลือกที่จะส่งด้วยแถบข้างบน (USB) หรือแถบข้างล่าง (LSB) ก็ได้ จากการกำหนดคลื่นพาห้และสัญญาณข่าวสารตั้งสมการการผสมเชิงขนาดแบบ AM โดยการส่งแถบข้างเดียว (Single-Sideband)

$$e_{DSB-SC} = E_c E_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t = E_{DSB-SC} \cos \omega_m t \cos \omega_c t \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.10 สัญญาณ SSB เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณข่าวสาร

เนื่องจากการกำหนดสัญญาณข่าวสารเป็นแบบไซน์ความถี่เดียวคงที่ สัญญาณผสมแล้วแบบ SSB จึงดูคล้ายกับคลื่นพาห้ เพราะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เป็นผลบวกของความถี่คลื่นพาห้กับความถี่สัญญาณข่าวสาร ( $f_c + f_m$ ) ในกรณีของ SSB-USB ได้ไซน์ที่มีความถี่สูงขึ้นและเป็นผลต่าง ( $f_c - f_m$ ) ในกรณีของ SSB-LSB ได้เป็นไซน์ที่มีความถี่ต่ำลงจากคลื่นพาห้ แต่ถ้าสัญญาณข่าวสารที่เป็นสัญญาณหลายความถี่และไม่คงที่อย่างเช่นสัญญาณเสียง จะพบว่าสัญญาณผสมแล้วแบบ SSB ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งขนาดและความถี่ตามสัญญาณเสียงนั้นแล้วแต่องค์ประกอบความถี่ที่อยู่ในสัญญาณเสียง แต่ก็จะมีความถี่อยู่เหนือความถี่คลื่นพาห้ในกรณีของ SSB-USB และอยู่ต่ำกว่าความถี่คลื่นพาห้ในกรณีของ SSB-LSB



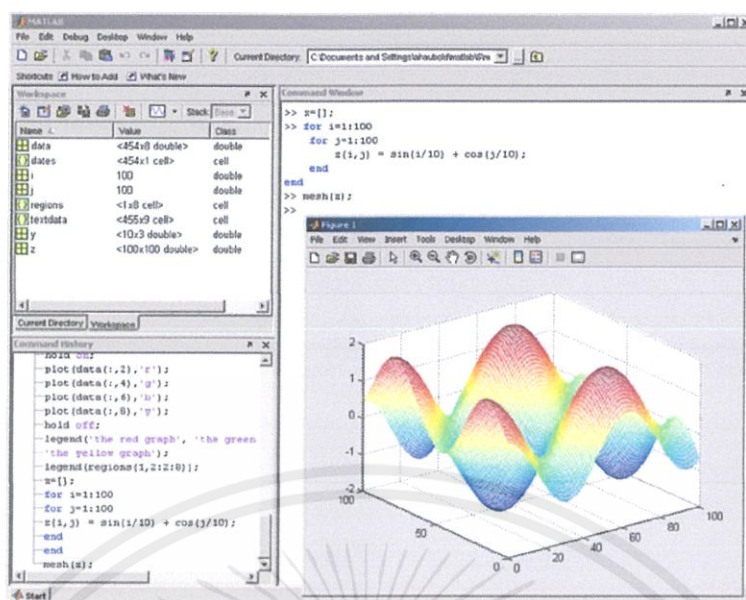
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของสัญญาณ SSB เมื่อสัญญาณข่าวสารเป็นไซน์ความถี่เดียว

## 2.7 แมตแล็บ (MATLAB: Matrix Laboratory)

เป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรม เป็นโปรแกรมหนึ่งที่มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาอัลกอริธึม การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำจำลองการทำงานของระบบ การสร้างระบบควบคุม และโดยเฉพาะเรื่อง image processing และ wavelet การสร้างเมตริกซ์ ผลิตโดยบริษัทแมตเวริกส์ ตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยคือ บริษัท เทคซอร์ส ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด

แมตแล็บ (Matlab) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรในปัจจุบัน ชื่อโปรแกรม MATLAB นั้นย่อมาจาก Matrix Laboratory แมตแล็บได้เริ่มต้นขึ้นเพื่อต้องการให้เราสามารถแก้ปัญหาตัวแปรที่มีลักษณะเป็นเมตริกซ์ได้ง่ายขึ้น แมตแล็บ เริ่มพัฒนาครั้งแรกโดย Dr. Cleve Moler ซึ่งเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมาด้วยภาษาฟอร์แทรน โดยโปรแกรมนี้ได้ พัฒนาภายใต้โครงการ LINPACK และ EISPACK

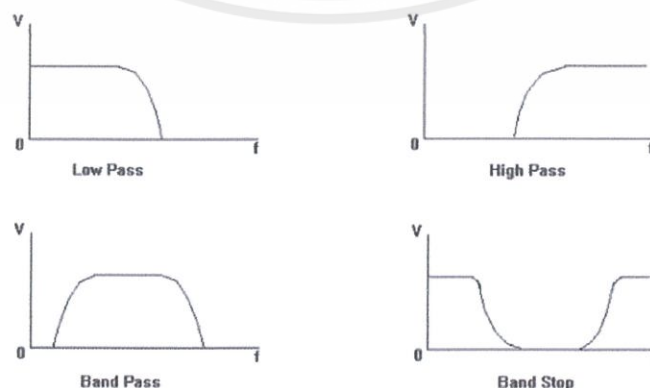
แมตแล็บสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือการเขียนคำสั่งเข้าไปที่ละคำสั่ง เพื่อให้แมตแล็บประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถที่จะรวบรวม ชุดคำสั่งเหล่านั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของแมตแล็บก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บใน ลักษณะของแถวลำดับ คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆ ขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับ ในแมตแล็บเราไม่จำเป็นที่จะต้องจองมิติเหมือนกับ การเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นต่ำทั่วไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะ ของเมตริกซ์และเวกเตอร์ได้โดยง่าย ซึ่งทำให้เราลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการเขียน โปรแกรมโดยภาษาซีหรือภาษาฟอร์แทรน



รูปที่ 2.12 โปรแกรม MATLAB

## 2.8 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่ได้ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางด้านการสื่อสารอย่างกว้างขวาง โดยที่วงจรกรองความถี่จะยอมให้สัญญาณที่มีย่านความถี่ที่กำหนดผ่านระบบไปได้ ขณะเดียวกันก็ลดทอนสัญญาณที่เป็นความถี่ที่ไม่ใช้งานออกไป วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าผ่านได้บางช่วงเท่านั้น โดยที่ความถี่อื่นๆ จะถูกลดทอนหรือ ตัดออกไป เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการเท่านั้น โดยวงจรกรองความถี่นั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter Circuit; LPF), วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter Circuit; HPF), วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter Circuit; BPF) และวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter Circuit; BRF)



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสามารถของแต่ละประเภทวงจรกรองความถี่

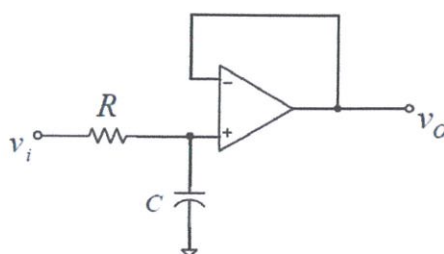
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ (Filters) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบพาสซีฟ (Passive filters) และแบบแอกทีฟ (Active filters) วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกก็ได้ การใช้งานวงจรกรองความถี่สามารถใช้กรองสัญญาณรบกวน หรือกรองเอาสัญญาณข่าวสารออกมาจากคลื่นพาหะในระบบวิทยุ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรกรองความถี่ ถ้าเป็นแบบพาสซีฟจะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนในวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ จะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำ การขยายสัญญาณทำให้วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟมีข้อดีกว่าแบบพาสซีฟ คือ

- ไม่มีการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากออปแอมป์สามารถทำการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการลดทอนของสัญญาณได้
- ราคาถูกโดยเฉลี่ยแล้ววงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟจะมีราคาถูกกว่าแบบพาสซีฟเนื่องจากตัวเหนี่ยวนำ ที่ใช้ในแบบพาสซีฟมีราคาแพงและสร้างได้ยากกว่า
- การปรับค่าวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ สามารถปรับค่าความถี่ที่ต้องการได้ง่ายภายใต้ย่านความถี่ที่กว้างกว่าที่สามารถปรับได้ในแบบพาสซีฟ
- การแยกระหว่างอินพุตและเอาต์พุตเนื่องจากจรรยากรองความถี่แบบแอกทีฟมีการใช้ออปแอมป์ประกอบในวงจรจึงทำให้วงจรกรองความถี่แบบนี้มีอินพุตอินพีแดนซ์สูงและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ ทำให้ไม่มีผลการรบกวนกันระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตและโหลด แต่อย่างไรก็ตามการกรองความถี่แบบแอกทีฟก็มีข้อเสียอยู่บางประการเมื่อเทียบกับแบบพาสซีฟ คือ
- การตอบสนองความถี่วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ มีความสามารถในการตอบสนองความถี่ได้แคบกว่าแบบพาสซีฟเนื่องจากขีดจำกัดของออปแอมป์ยกตัวอย่างเช่นออปแอมป์ เบอร์ 741 มีความสามารถในการตอบสนองความถี่ได้เพียง 1 MHz
- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง เนื่องจากการใช้ออปแอมป์ทำให้ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงในการทำงานในขณะที่แบบพาสซีฟไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

### 2.8.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่ง

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่ง ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรตามแรงดันเพื่อทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่มีค่าต่ำโดยค่าความถี่ตัด ( $f_c$ ) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ภายนอก



รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่ง

จากวงจร สูตรในการคำนวณหาความถี่ตัดคือ

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.7)$$

เมื่อ

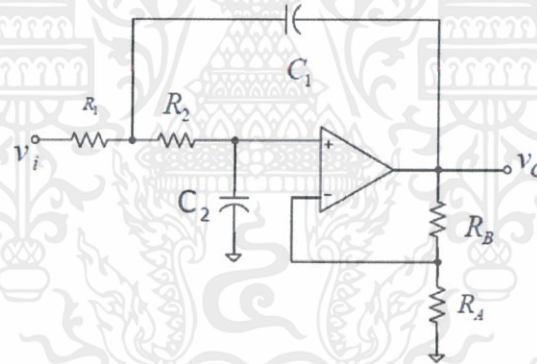
F คือ ความถี่ตัดผ่าน มีหน่วยเป็น เฮิร์ต Hz

$\pi$  คือ ค่าคงที่ มีค่า 22/7 หรือ 3.142

R คือ ค่าความต้านทาน ของตัวต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม

C คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

### 2.8.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง



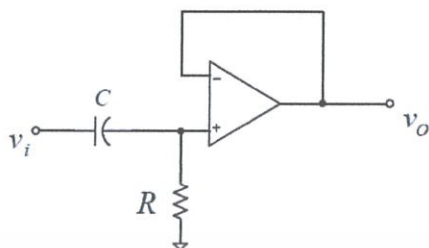
รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง

วงจรของความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง สามารถสร้างได้ง่ายโดยใช้โอปแอมป์เพียงตัวเดียว วงจรนี้อาจจะเรียกว่าวงจรกรองความถี่แบบ Sallen and Key ซึ่งตั้งชื่อตามผู้ออกแบบวงจร สำหรับวงจรนี้ความถี่ตัด (Cut off frequency,  $f_c$ ) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอกตามสมการที่ (2.8)

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่หนึ่ง

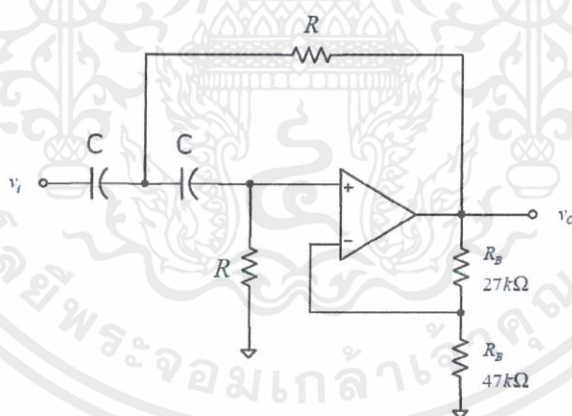


รูปที่ 2.16 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่หนึ่ง

จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 2.14 ถ้าหากการสลับตำแหน่ง R และ C ดังรูปที่ 2.16 ก็จะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มีสูตรการคำนวณหาค่าความถี่ตัดผ่าน ( $f_c$ ) ใช้สูตรเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่หนึ่งคือ

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.9)$$

### 2.8.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สอง



รูปที่ 2.17 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สอง

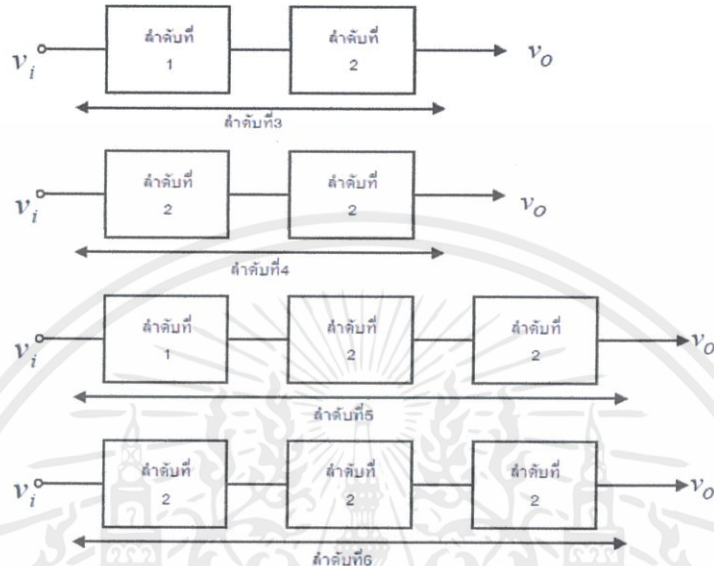
วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สองมีลักษณะวงจรคล้ายกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 2.15 เพียงแต่สลับตำแหน่งของ R และ C เท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.17 และใช้สูตรการคำนวณสูตรเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สองคือ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.5 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น

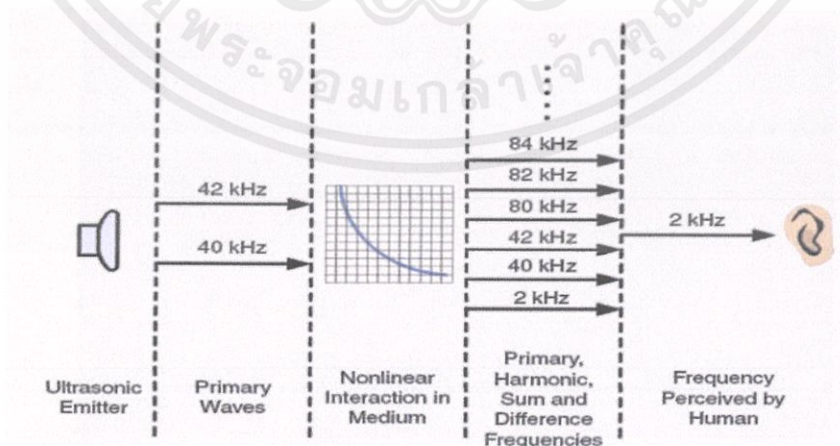
เราสามารถสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้สูงกว่าลำดับที่สองได้ โดยการนำวงจรความถี่ที่มีความถี่ตัดเท่ากันมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งเราเรียกการต่อแบบนี้ว่าแคสเคด (Cascade) จะทำให้ได้ลำดับที่สูงขึ้นตามผลบวกของวงจรของความถี่ที่ต่อเรียงกัน



รูปที่ 2.18 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้มีลำดับที่สูงขึ้น

## 2.9 หลักการทำงานของลำโพงพาราเมตริก

ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ความปฏิสัมพันธ์ของคลื่น sine 2 คลื่นหลักๆ (VC1 และ VC2) ในอากาศ ก่อให้เกิดคลื่นทุติยภูมิหลายคลื่น (เรียกว่าเป็นสัญญาณตีมอดูเลต) เช่น  $W_{c1} \pm W_{c2}$ ,  $2W_{c1}$ ,  $2W_{c2}$  และการรวมกันของคลื่นต่างๆ การตีมอดูเลชันเหล่านี้จะไม่สามารถได้ยินเพราะอยู่ในช่วงของคลื่นอัลตราโซนิค



รูปที่ 2.19 การสร้างปฐมภูมิ, ผลรวม, ความแตกต่างและความถี่ฮาร์โมนิกต่างๆผ่านอาร์เรย์พาราเมตริกในอากาศ

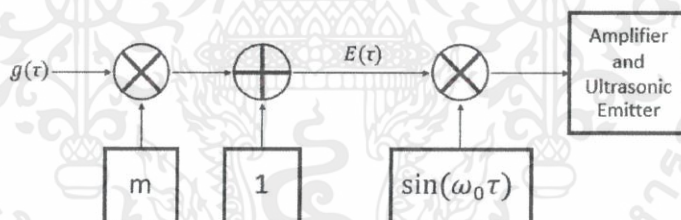
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเสียงที่ถูกส่งไปจะมีการดูดซึมในอากาศและสลายตัวในอัตราที่เร็วกว่าเสียงที่ได้ยิน  $W_{c1} - W_{c2}$  และในแบบที่มีทิศทางจะเป็น  $W_{c1} > W_{c2}$  ดังนั้นเพื่อสร้างการกระจายเสียงโดยใช้ parametric loudspeaker เราสามารถ amplitude modulate สัญญาณเสียงไปบนสัญญาณ ultrasonic carrier และจะต้องแสดงให้เห็นว่าระดับความดังของเสียงและความเพี้ยนของสัญญาณ demodulated ที่มีสัดส่วนกับดัชนีการมอดูเลต ดังนั้นควรระมัดระวังการใช้สิทธิในการกำหนดดัชนีเพื่อใช้ปรับ amplitude modulation (AM). เราจะพิจารณาถึงความแตกต่างของเทคนิคการมอดูเลชันที่สามารถลดการบิดเบือนโดยกระบวนการ self-demodulation ในส่วนต่อไปนี้การวิเคราะห์แบบ single-tone จะใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ การลดการบิดเบือน สำหรับ preprocessing ที่แตกต่างกันแต่ละมอดูเลชันเทคนิค

## 2.10 เทคนิคการมอดูเลชัน (Modulation technique)

### 2.10.1 แอมพลิจูดมอดูเลชัน

ในปี 1993 Yoneyama ได้เสนอลำโพงแบบพาราเมตริกซึ่งใช้ AM ธรรมดาหรือ DSBAM สำหรับการมอดูเลชันของระบบลำโพงแบบพาราเมตริกจะได้รับเป็น  $E(\tau) = 1 + mg(\tau)$  โดยที่  $m$  คือ ดัชนีการมอดูเลชัน (modulation index) และ  $g(\tau)$  คือสัญญาณอินพุตในส่วนบล็อกไดอะแกรมของ DSBAM จะแสดงในรูปที่ 2.20 โดย  $\sin(\omega_0\tau)$  คือ ultrasonic carrier



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของ double sideband

สำหรับการป้อน Single-tone เป็นสัญญาณอินพุตการมอดูเลชันจะกลายเป็น  $E(\tau) = 1 + m\sin(\omega_1\tau)$  ซึ่ง  $\omega_1$  เป็นความถี่เชิงมุมของ single-tone อินพุตโดยใช้กฎ Berkay's far-field ในการคาดการณ์ที่แสดงในสมการที่ (2.11) สัญญาณการตีมอดูเลตจะกลายเป็น

$$p_2(t) \approx -\frac{\beta p_0^2 a^2 \omega_1^2}{8p_2 c_0^4 z \alpha_0} [m\sin(\omega_1 t) - m^2 \cos(2\omega_1 t)] \quad (2.11)$$

หลายอย่างที่ได้รับจากสมการที่ (2.11) สัญญาณตีมอดูเลตประกอบด้วย  $m\sin(\omega_1 t)$  และ  $m^2 \cos(2\omega_1 t)$  ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุต และสัญญาณบิดเบือนตามลำดับ ทั้งในระดับความดันของสัญญาณเสียงที่ต้องการและสัญญาณการบิดเบือน เป็นสัดส่วนกับ  $m$  และ  $m^2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.11) แสดงให้เห็นว่า เป็นข้อได้เปรียบของ nonlinearity คือ  $w_1^2$  ซึ่งจะส่งผลให้ 12 dB/octave high pass ramp ในสัญญาณดีมอดูเลตและเนื่องจากผลของ high-pass filter ที่ลดทอนความถี่ต่ำของสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงจะต้องได้รับการชดเชยในขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้นของระบบลำโพงแบบพาราเมตริก วิธีง่ายๆคือการใช้ low-pass filter เป็นตัวกรองสัญญาณ (or double integration of modulation envelope) ramp at -12 dB/octave เริ่มต้นจากความถี่ศูนย์ขึ้นไป ในช่วงที่เสียงใช้การลดช่วงแบบไดนามิกให้มีความถี่ที่สูงขึ้น

โดยทั่วไปดัชนีประสิทธิภาพที่ใช้ในลำโพงแบบพาราเมตริก คือ Total Harmonic Distortion (THD) ดัชนีนี้แสดงถึงปริมาณของความเพี้ยนของระบบที่มีการป้อนข้อมูล single tone และจะแสดงเป็น

$$THD = \sqrt{\frac{T_2^2 + T_3^2 + \dots + T_{n-1}^2 + T_n^2}{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + \dots + T_{n-1}^2 + T_n^2}} \times 100\% \quad (2.12)$$

ซึ่ง  $T_1$  และ  $T_i$  คือความกว้างของคลื่นความถี่พื้นฐาน ( $W_1$ ) ส่วนประกอบและ harmonics ที่สูงขึ้นที่  $i\omega_i$  (สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n$  ตามลำดับ) โดยการแทนความกว้างของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณการบิดเบือนในสมการที่ (2.12), THD สำหรับ DSBAM จะลดลงไปเท่ากับ  $\frac{m}{\sqrt{m^2+1}} \times 100\%$

## 2.11 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) (Kieth, 1984)

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุตที่มีค่าต่ำ มีความสามารถเป็นสวิตช์ที่มีความเร็วสูงและเวลาการสวิตช์ต่ำอยู่ในระดับนาโนวินาที ทำให้ถูกนำมาใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนทรานซิสเตอร์ ด้วยความแตกต่างทางฟิสิกส์และโครงสร้างทำให้มอสเฟตไม่มีปัญหาในเรื่องของปรากฏการพังทลายแบบที่สอง (Secondary breakdown) เหมือนทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟตยังมีจุดอ่อนในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิตย์ การเก็บรักษา และมอสเฟตกำลังที่มีขายในท้องตลาดยังมีอัตราทนกำลังที่ต่ำอยู่ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์สวิตช์ประเภทอื่นๆ แต่มีแนวโน้มที่จะได้รับการพัฒนาขึ้น

### 2.11.1 คุณสมบัติของกระแสและแรงดัน

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ 3 ขาเช่นเดียวกับอุปกรณ์สวิตช์ประเภทอื่น โดยมีขาเกตเป็นขาควบคุม กระแสที่ขั้วเอาต์พุตเดรนและซอร์ส ขั้วซอร์สเป็นขั้วร่วม (common) ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของมอสเฟตคุณลักษณะสมบัติทั้งเอาต์พุต กระแสเดรน จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันระหว่างเดรนและซอร์ส กับแรงดันที่เกตกับซอร์ส ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เป็นมอสเฟตแบบ N-Channel ส่วนแบบ P-Channel จะมีลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตเช่นเดียวกันแต่จะมีแรงดันและกระแสที่ตรงข้ามดังนั้นลักษณะสมบัติก็

จะอยู่ในควอดแดรนต์ที่สามของระนาบ ในการประยุกต์ใช้งานมอสเฟตในลักษณะของสวิตช์เพื่อควบคุมกำลังที่จะจ่ายให้กับโหลด ซึ่งมอสเฟตจะทำงานที่มีคุณลักษณะในย่านคัตออฟ (cut off region) ผ่านย่านแอกทีฟ (active region) และย่านเชิงเส้น (ohmic region)

มอสเฟตจะทำงานอยู่ในลักษณะคัตออฟเมื่อแรงดันระหว่างขาเกตและซอร์สต่ำกว่าแรงดันเทรชโฮล ซึ่งปกติมอสเฟตกำลังโดยทั่วไปจะมีค่าไม่มากนักซึ่งจะให้ลักษณะเหมือนเปิดวงจรทำให้แรงดันที่เดรนและซอร์สมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายซึ่งการใช้งานแรงดันที่คร่อมที่เดรนและซอร์สต้องมีค่าไม่เกินค่าแรงดันพังทลาย และมีค่ากำลังไฟฟ้าไม่เกินกว่าที่พิกัดจะทนได้เพราะถ้าเกินจะทำให้มอสเฟตเกิดความเสียหาย

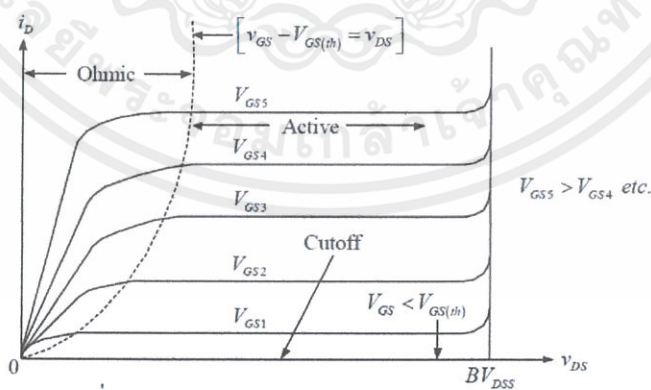
เมื่อแรงดันที่เกตและซอร์สมีค่าที่มากพอที่จะให้การทำงานมอสเฟตอยู่ในย่านเชิงเส้นในขณะที่แรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สมีค่าต่ำ ในย่านนี้จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นที่มอสเฟตค่อนข้างมากโดยมอสเฟตจะทำงานในย่านนี้เมื่อ  $V_{GS} - V_{GS(th)} > V_{DS} > 0$

ในย่านแอกทีฟกระแสเดรนจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันระหว่างขาเดรนและซอร์ส แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดันระหว่างเกตและซอร์ส ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระแสนั้นมีในตัวในย่านนี้ค่าของกระแสเดรนสามารถหาค่าโดยประมาณได้จากสมการที่ (2.13)

$$i_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2 \quad (2.13)$$

โดยค่า K เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะโครงสร้างของมอสเฟต ที่ช่วงต่อระหว่างย่านเชิงเส้นกับย่านแอกทีฟค่าของ  $V_{GS} - V_{GS(th)} = V_{DS}$  ทำให้กระแสเดรนเท่ากับ  $i_D = KV_{DS}^2$

ซึ่งแสดงเป็นเส้นดังในรูปที่ 2.21 ซึ่งมอสเฟตกำลังมักจะพิจารณาการทำงานมอสเฟตในลักษณะสวิตช์ ซึ่งจะควบคุมแรงดันระหว่างเกตและซอร์สเมื่อเทียบกับค่า ซึ่งเปรียบได้กับย่านคัตออฟกับย่านแอกทีฟ



รูปที่ 2.21 กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน

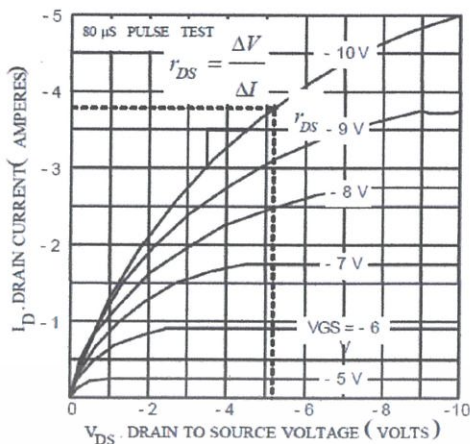
## 2.11.2 ข้อจำกัดการทำงานและพื้นที่การทำงาน

**2.11.2.1 แรงดันพังทลาย (Voltage Breakdown)** มอสเฟตมีอัตราทนแรงดันอยู่สองค่า คือค่าที่ใช้ได้ไม่เกินค่าแรกเป็นค่าของแรงดัน  $V_{GSmax}$  ค่าที่สองเป็นค่า  $BV_{DSmax}$  ค่าแรงดันที่ยอมได้สูงสุดระหว่างเกตและซอร์ส  $V_{GSmax}$  เป็นผลมาจากที่เกตออกไซด์จะพังทลายได้จากสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งโดยทั่วไปการพังทลายของสาร  $SiO_2$  จะมีค่าสนามไฟฟ้าประมาณ 5 – 10 ล้าน V/Cm ดังนั้นถ้าเกตออกไซด์มีความหนา 1000 Å จะสามารถทนแรงดันระหว่างเกตและซอร์สได้ประมาณ 50 – 100 โวลต์ โดยปกติค่าโดยทั่วไปของ  $V_{GSmax}$  จะอยู่ระหว่าง 20 – 30 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากคู่มือที่แสดงค่าที่ปลอดภัยในการใช้งานที่เผื่อเอาไว้ป้องกันการพังทลายอย่างถาวรของเกตออกไซด์ในอุปกรณ์ สิ่งที่ต้องระวังอีกอย่างคือผลของไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นที่เกตออกไซด์จากการประมาททำให้เกิดออกไซด์นั้นเกิดการแตกและด้วยการต่อซีเนอร์ไดโอดสองตัวอนุกรมกันแบบกลับขั้วต่อคร่อมที่ขาเกตและซอร์สโดยที่ค่าแรงดันซีเนอร์จะต้องน้อยกว่าค่าของ  $V_{GSmax}$  แรงดันสูงสุดที่ยอมได้ที่ขาเดรนกับซอร์ส  $BV_{DSmax}$  เป็นค่าแรงดันขนาดใหญ่ของมอสเฟตที่ไม่ทำให้รอยต่อ PN ที่ขาเดรนนั้นเกิดการเสียหายค่าแรงดันพังทลายค่ามากขึ้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างมอสเฟตในสวนความยาวของแถบกระจายสารและการโด๊ป ดังนั้นการใช้งานจะต้องระวังค่าแรงดันระหว่างเดรนและซอร์สไม่ให้เกินอัตราทนนี้ ตามข้อมูลแต่ละตัวของมอสเฟต

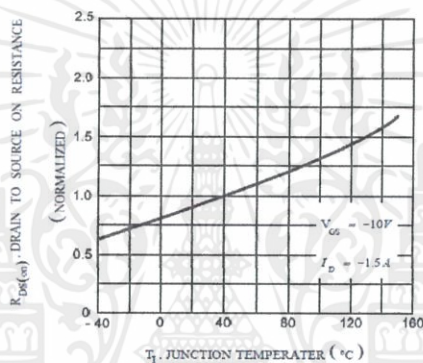
**2.11.2.2 ค่าสูญเสียขณะนำกระแส** เมื่อมอสเฟตมีสถานะนำกระแสจะเกิดกำลังสูญเสียขึ้นที่มอสเฟตอันเนื่องมาจากค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟตโดยหาได้จากสมการที่ (2.14)

$$P_{(on)} = I_o^2 \cdot r_{DS(on)} \quad (2.14)$$

ค่าความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอร์สมีค่าเท่ากับ  $\frac{V_{DS}}{I_D}$  ในแต่ละจุด (ส่วน  $r_{DS}$  เป็นค่าความต้านทานไดนามิกขณะนำกระแส  $\frac{V_{DS}}{I_D}$  ที่แต่ละจุด) ค่าของ  $r_{DS}$  นั้นมีส่วนประกอบอยู่สองอย่างคือความต้านทานที่แกนแนลกับความต้านทานที่ชั้นของสารกึ่งตัวนำ ค่าความต้านทานที่เกิดจากแกนแนลนั้นสามารถเกี่ยวข้องกับแรงดันเกตกับซอร์สที่สั่งให้นำกระแส โดยที่จะมีค่าลดลงได้โดยการเพิ่มแรงดัน  $V_{GS}$  แต่ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.22 กราฟความต้านทานสถิตระหว่างเดรนและซอส



รูปที่ 2.23 กราฟสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของมอสเฟต

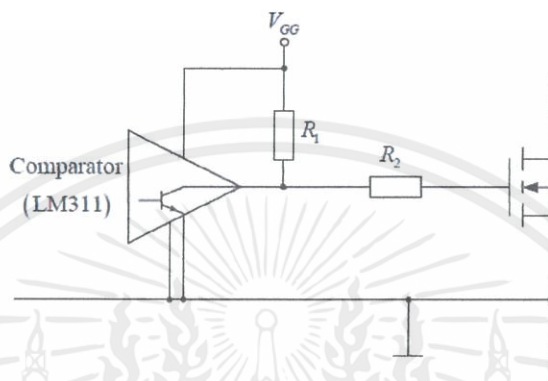
ค่าความต้านทานขณะนำกระแส นั้น จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ตัวมอสเฟตตั้งรูปที่ 2.23 ด้วยค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่เป็นบวกจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าลดลงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

### 2.12 วงจรขับเคลื่อน (Kieth, 1984)

การขับเคลื่อนจากที่พิจารณาลักษณะสมบัติในการเป็นสวิตช์ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $V_{DS}$  และ  $I_D$  นั้นเกี่ยวข้องกับกระแสเกตที่เป็นผลเกี่ยวเนื่องกับความเร็วของการเก็บและการคายประจุของตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตและซอร์สของมอสเฟต ดังนั้นการออกแบบวงจรควบคุมเวลาการสวิตช์มอสเฟต จึงเป็นการควบคุมแหล่งจ่ายกระแสด้วยวงจรขับเคลื่อน ข้อดีของความเร็วการสวิตช์ที่สูงเป็นการลดกำลังการสูญเสียตลอดจนการลดเวลาการเปลี่ยนสภาวะสวิตช์ ซึ่งมีผลกับการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง แต่ข้อเสียของความเร็วการสวิตช์ที่สูงๆ จะมีผลเสียต่อสัญญาณแทรกและรบกวนสูงการเพิ่มขึ้นของปัญหากระแสย้อนกลับที่ผ่านพรีวิลลิ่งไดโอด และการเกิดแรงดันเกินที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะลดลงที่ความเร็วการสวิตช์ต่ำ มอสเฟตมักถูกเลือกใช้งานความถี่การเป็นสวิตช์สูงที่ต้องการในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถสวิตช์ดีกว่า

อุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ ในการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่สูง มอสเฟตนั้นต้องการกระแสเกตที่มากพอในขนาดประมาณ 1 แอมแปร์หรือมากกว่าเพื่อจะให้ความเร็วในการสวิตช์สูง

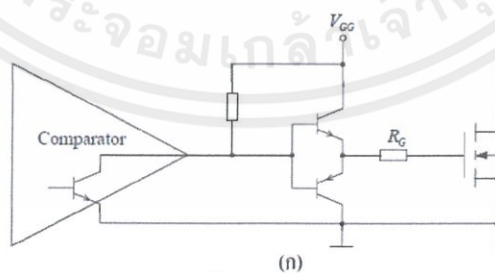
สัญญาณที่ควบคุมมอสเฟตนั้นโดยปกติจะถูกส่งจากวงจรลอจิกเกตที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไอซีหรือไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น สัญญาณที่ได้จากวงจรลอจิกนั้นปกติจะไม่สามารถขับมอสเฟตได้โดยตรง เพราะจะต้องคำนึงถึงค่าของกระแสเกตและขนาดทั้งการไหลออกและเข้าที่ขาเกต



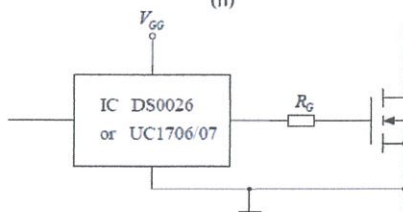
รูปที่ 2.24 วงจรขับเกตอย่างง่าย

วงจรขับเกตอย่างง่ายที่จะใช้กับการควบคุมหนึ่งสวิตช์เพื่อควบคุมกระแสเกตดังแสดงในรูปที่ 2.24 และเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียที่เกิดจากวงจรขับ  $R_1$  จะต้องมีค่ามาก รูปที่ 2.25 (ก) เป็นการปรับปรุงวงจรในรูปที่ 2.24 โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์คู่ NPN และ PNP

ซึ่งจะพบว่าสามารถอัดประจุและคายประจุที่เกตและซอร์สได้อย่างรวดเร็ว ในรูปที่ 2.25 (ข) เป็นวงจรขับเกตอีกแบบหนึ่งที่ทำโดยการใช้ไอซีบัฟเฟอร์เช่น เบอร์ CD4069 หรือ 4068 ในกรณีที่ไม่ต้องการกระแสเกตมากนักหรือ DS0026 หรือ UC1707 ซึ่งสามารถจ่ายและผ่านกระแสได้ไม่เกิน 1 แอมแปร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.25 วงจรขับเกตแบบใช้ไอซีบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

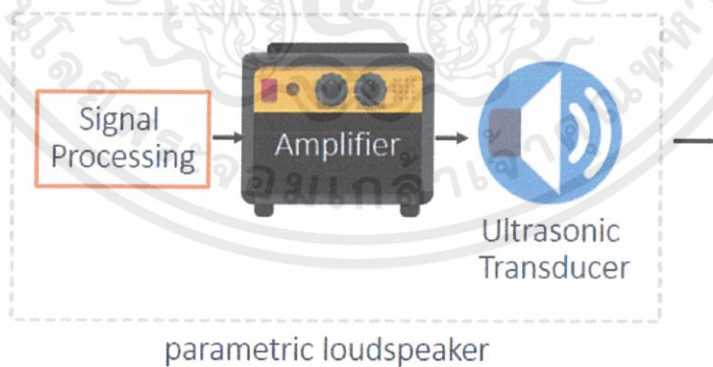
## บทที่ 3

### การวิเคราะห์และการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการทำงานของระบบและการออกแบบในส่วนต่างๆ ของลำโพงพาราเมตริกอะคูสติกรี โดยจะประกอบไปด้วย หลักการทำงานของระบบที่จะอธิบายถึงขั้นตอนการทำงานหลักๆ ของระบบ โดยเริ่มตั้งแต่การประมวลผลสัญญาณ ส่งขยายสัญญาณไปจนถึงการแพร่กระจายเสียง การออกแบบเครื่องขยายเสียงแบบต่างๆ และการออกแบบแผงการทำงานของลำโพงอัลตราโซนิกจนถึงการเลือกใช้งานในแบบที่เหมาะสม

#### 3.1 หลักการทำงานของระบบ

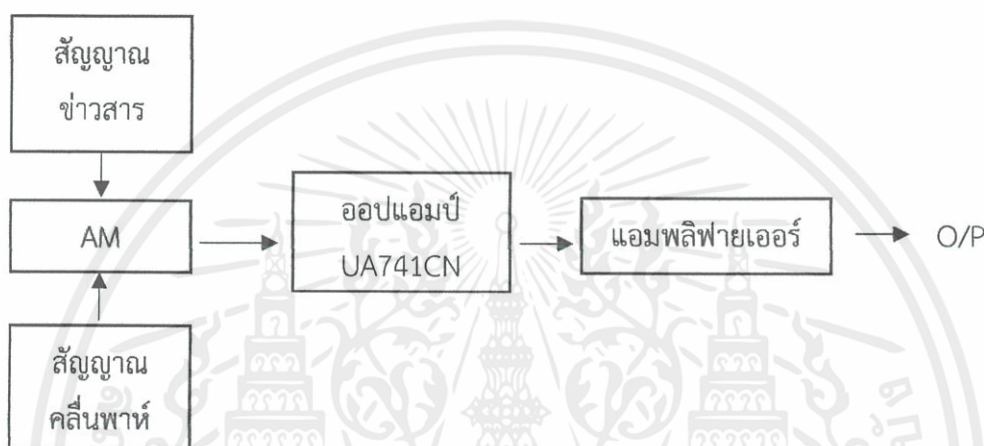
หลักการทำงานของระบบจะสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนการประมวลผลสัญญาณ ส่วนของตัวขยายสัญญาณ และส่วนของตัวแพร่กระจายเสียง ในส่วนแรกคือการประมวลผลสัญญาณ หรือเรียกว่า Signal Processing ซึ่งจะใช้การมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ หรือ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งจะทำให้การมอดูเลตสัญญาณให้มีความกว้างตามสัดส่วนที่กำหนดบนความถี่คลื่นพาห์ (Carrier) โดยการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกับเพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการใช้งานต่อมาจะส่งสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลชันไปที่ส่วนของตัวขยายสัญญาณเพื่อทำการขยายสัญญาณเสียงและสุดท้ายส่งสัญญาณที่ทำการขยายแล้วไปยังตัวแพร่กระจายสัญญาณเสียงเพื่อแพร่กระจายเสียงให้ผู้ฟังได้ยิน



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบ

### 3.2 การออกแบบเครื่องขยายเสียงอัลตราโซนิกแบบ AM

ในส่วนของภาคประมวลผลสัญญาณจะใช้วิธีการมอดูเลชันแบบ แอมพลิจูดมอดูเลชัน (AM) ของระบบลำโพงแบบพาราเมตริก โดยจะทำการรวมสัญญาณข่าวสาร และสัญญาณคลื่นพาท้รวมเข้าด้วยกัน และทำการขยายระดับสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันในเบื้องต้นให้เหมาะสมด้วยออปแอมป์เบอร์ UA741 หลังจากนั้นจะเข้าส่วนแอมพลิฟายเออร์เพื่อขยายสัญญาณเสียงอีกครั้ง เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานของตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมหลักทำงานของเครื่องขยายเสียงอัลตราโซนิกแบบ AM

#### 3.2.1 วงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาท้

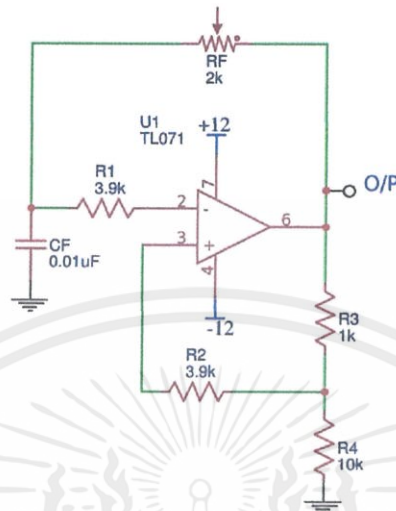
จะใช้วงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณคลื่นพาท้เพื่อนำไปใช้เป็นคลื่นพาท้ในการนำข่าวสารรวมส่งออกไป โดยในที่นี้ใช้วงจรกำเนิดสัญญาณแบบสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square wave form) โดยจะใช้ TL071 เป็นตัวสร้างสัญญาณ โดยความถี่ของสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่า CF และ RF ของรูปที่ 3.2 ที่เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณที่จะนำมาใช้เป็นสัญญาณคลื่นพาท้ซึ่งในที่นี้เราต้องการความถี่ที่ 40 KHz ในการใช้งานกับตัวอัลตราโซนิก

จากสูตร

$$f = \frac{1}{2\pi R_F C_F} \quad (3.1)$$

f คือ ค่าความถี่ที่ต้องการให้ได้เท่ากับ 40 KHz

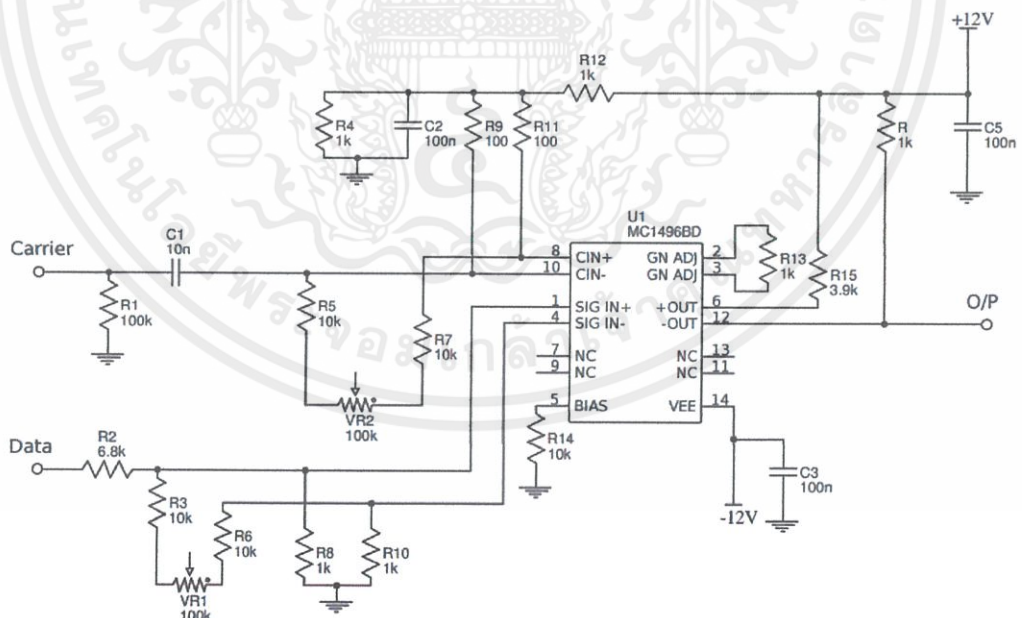
จากรูปที่ 3.2 กำหนดให้  $C_F$  มีค่าเท่ากับ  $0.01 \mu\text{F}$  ทำให้ค่าของ  $R_F$  เท่ากับประมาณ  $400 \mu$  ในที่นี้จะใช้ตัวต้านทาน (R) ที่ปรับค่าได้ในช่วง  $2 \text{ K}\Omega$  แล้วจึงทำการปรับค่า  $R_F$  ให้ความถี่ที่ด้าน O/P อยู่ที่  $40 \text{ KHz}$



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่  $40 \text{ KHz}$

### 3.2.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude - Shift Keying: ASK)

ในที่นี้ใช้ ASK จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ AM จากรูปที่ 3.3 VR1 และ VR2 เป็นตัวปรับจูนสัญญาณ O/P ที่ผ่านการมอดูเลชันให้เหมาะสม ใช้ไฟเลี้ยง  $+12\text{v}$  กับ  $-12\text{v}$

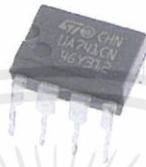


รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude - Shift Keying; ASK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 วงจรขยายสัญญาณ (Op-amps; ออปแอมป์)

วงจรขยายสัญญาณหรือออปแอมป์ คือองค์ประกอบวงจรชนิดแอคทีฟที่สามารถออกแบบให้เป็นวงจรดำเนินการทาง คณิตศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วย การบวก การลบ การคูณ การหาร การหาอนุพันธ์และการหา ปริพันธ์ในการขยายสัญญาณเสียงในเบื้องต้นหลังจากผ่านในส่วนของการมอดูเลชันนั้นเลือกใช้ออปแอมป์เบอร์ UA741CN โดยใช้ไฟเลี้ยง +12 v และ -12 v



รูปที่ 3.5 ไอซีขยายสัญญาณเบอร์ UA741CN (Op-Amp)

ออปแอมป์เบอร์ UA741CN มีอัตราขยายวงรอบเปิดเท่ากับ  $2 \times 10^5$  สิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเมื่อต่อวงจรออปแอมป์คือ การต่อไฟเลี้ยงขั้วลบ (-) ที่ขา 4 และไฟเลี้ยงขั้วบวก (+) ที่ขา 7 เพราะหากต่อไม่ถูกต้อง ออปแอมป์อาจได้รับความเสียหาย หรือวงจรอาจไม่ทำงานตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ

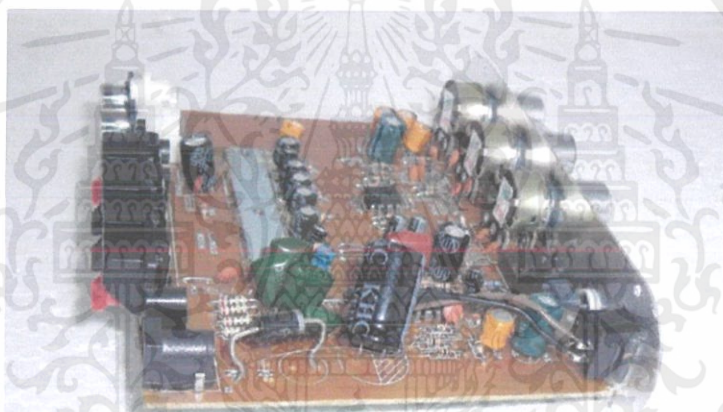
### 3.2.4 ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)

ตัวขยายสัญญาณ (Electronic Amplifier or Amplifier) หรือเรียกสั้นๆ ว่า Amp เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุต แต่มีขนาดใหญ่กว่า

ในส่วนของภาคขยายส่วนสุดท้ายก่อนนำไปรวมเข้ากับอัลตราโซนิค จะใช้แอมพลิฟายเออร์สำเร็จรูปของ Lepai LP-838 ใช้ไฟเลี้ยง 12V 3A โดยมีการเปลี่ยนออปแอมป์จากเดิมเป็น NE5532D เป็นเครื่องขยายเสียงขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงคู่ เมื่อเทียบกับเครื่องขยายเสียงที่ใช้งานได้ตามมาตรฐาน เช่น 1458 แสดงประสิทธิภาพเสียงดีขึ้นไดรฟ์ออกดีขึ้น ความสามารถและสัญญาณขนาดเล็กที่มากขึ้น และพลังงานแบนด์วิดท์ทำให้อุปกรณ์เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์เครื่องเสียงที่มีคุณภาพสูง



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์ Lepai LP-838



รูปที่ 3.7 วงจรภายใน Lepai LP-838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

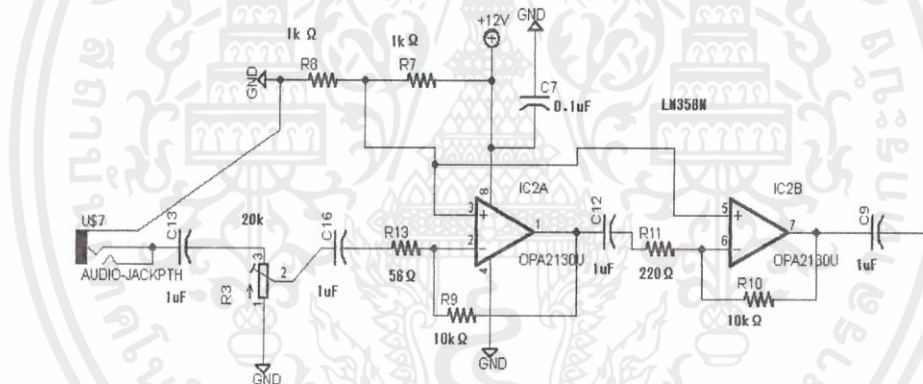


### 3.3.1 ปรีแอมป์ (Pre-Amp)

ปรีแอมป์คือตัวอุปกรณ์ที่อยู่ก่อนป้อนสัญญาณเข้าตัวขยายสัญญาณ หรือหนังสือวิชาการบางเล่มถอดความได้ว่าภาคขยายส่วนหน้า โดยความเป็นจริงปรีแอมป์นี้จัดอยู่ในหมวดภาคขยายเช่นกัน เพียงแต่ว่าระดับสัญญาณที่ขยายได้นั้นยังมีอิมพีแดนซ์สูงกว่าลำโพง ดังนั้นจึงไม่สามารถนำสัญญาณที่ได้ออกมาจากปรีแอมป์นี้มาขับลำโพงได้โดยตรง ต้องผ่านเพาเวอร์แอมป์ก่อน ซึ่งหน้าที่หลักของปรีแอมป์จะมีอยู่สองประการคือ

- ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในระดับต่ำ เพื่อให้มีระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนสู่ภาคขยายอื่นๆ ต่อไป รวมถึงการทำตัวเป็นวงจรถับฟีดแบ็ค (กันชน) เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ทางเสียงที่อิมพีแดนซ์ หรือความต้านทานภายในต่างกันให้ทำงานร่วมกันได้
- ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพร้อมการปรับแต่งและการปรุงแต่งเสียง ซึ่งอาจกำหนดให้มีการขยายระดับสัญญาณให้สูงขึ้น หรือไม่มีการขยายสัญญาณก็ได้

โดยจากสัญญาณข้อมูลที่เข้ามาจะผ่านตัว R3 ซึ่งเป็น R ที่สามารถปรับค่าได้เพื่อกำหนดความดังเบาของสัญญาณเสียง

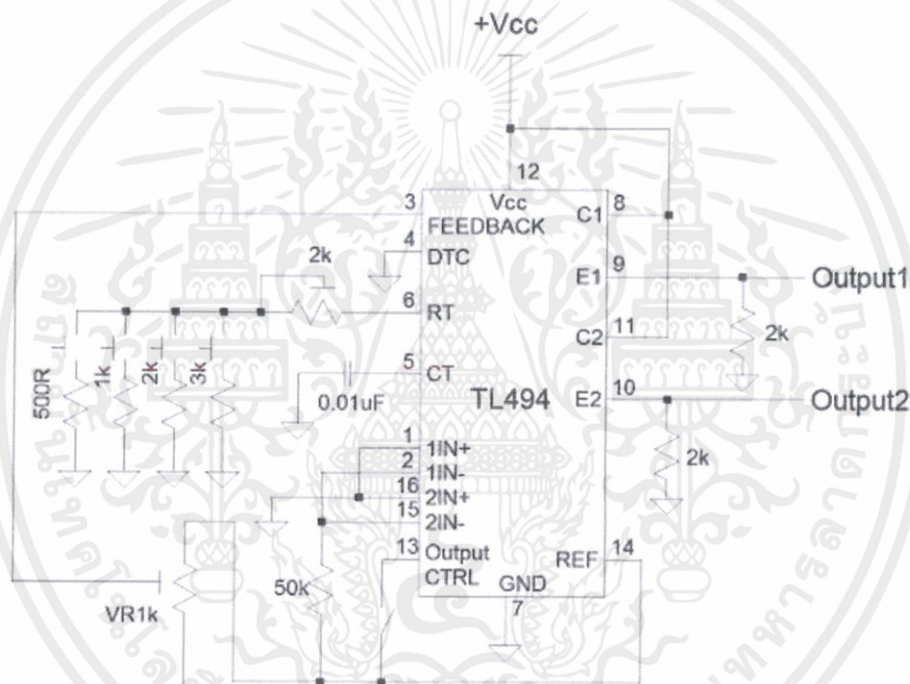


รูปที่ 3.9 วงจรภาคขยายส่วนหน้า (ปรีแอมป์)

### 3.3.2 วงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation; PWM)

วงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) เป็นวงจรสำคัญอีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพราะหัวใจสำคัญในการควบคุมค่าแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ ก็คือการควบคุม “ช่วงเวลาน่ากระแส” ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจร โดยทั่วไปเมื่อโหลดดึงกระแสมากขึ้นแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ก็จะลดลง

ดังนั้นวงจรควบคุมจึงต้องเพิ่มช่วงเวลานำกระแสให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นการชดเชย เพื่อคงค่าแรงดันเอาไว้ ซึ่งในทางกลับกันเมื่อโหนดดึงกระแสปล่อยลงช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็ต้องปล่อยลงตามไปด้วยเช่นกัน วงจรควบคุมที่ใช้กับคอนเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จึงเป็น วงจรในลักษณะการมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ คือ เมื่อแรงดันป้อนกลับมีค่าน้อยลงความกว้างของ เอาต์พุตพัลส์ (ซึ่งนำไปใช้ขับให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส) ก็จะมากขึ้น และเมื่อแรงดัน ป้อนกลับมีค่ามากขึ้นความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ก็จะน้อยลงกลับทางกัน การมอดูเลชันทางความ กว้างพัลส์ จะเป็นการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกับระหว่างสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณ ที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ โดยจะใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถทำการ มอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ได้



รูปที่ 3.10 ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TL494 ใช้ในการมอดูเลตทางความกว้างพัลส์

ความถี่ของวงจร  $f_{osc}$  ที่ต้องการใช้เป็นความถี่การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่า RT กับ CT ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามโหมดการทำงาน สำหรับโหมด Single-ended (Output1 และ Output2 ทำงานพร้อมกัน) สำหรับวงจรที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวอย่าง ฟลายแบคหรือฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ จะใช้สูตรนี้

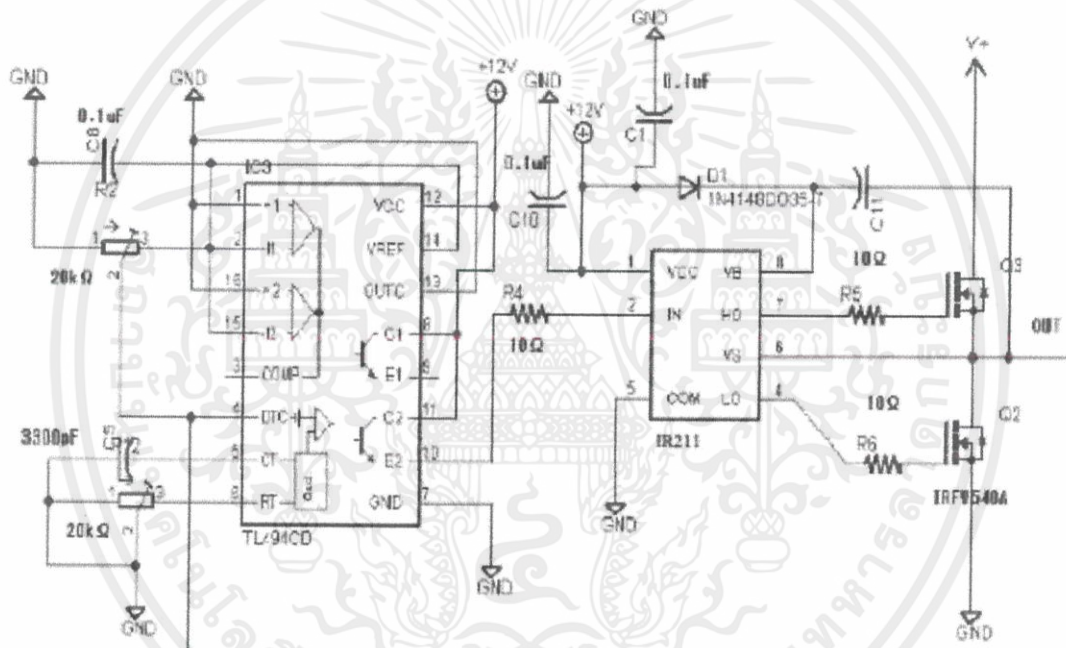
$$f_{osc} = \frac{1}{(R_T \times C_T)} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโหมด Push-pull (Output1 และ Output2 สลับกันทำงาน) สำหรับวงจรที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวสลับกันนำกระแส เช่น พุซพูล, ฮาล์ฟบริดจ์ และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะใช้สูตรนี้

$$f_{osc} = \frac{1}{2(R_T \times C_T)} \quad (3.3)$$

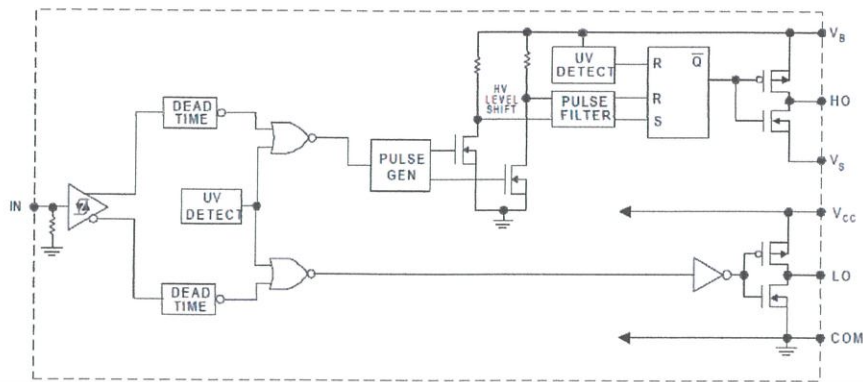
หมายความว่าในโหมด Push-pull ถ้าใช้  $R_T$  กับ  $C_T$  ค่าเดียวกันกับโหมด Single-ended ความถี่จะหายไปครึ่งหนึ่ง ซึ่งการจะใช้โหมด Push-pull นั้น ให้อายุไฟบวกเข้าที่ขา 13 ที่ใช้เป็น ตัวเลือกโหมด และแรงดันไฟบวกที่ใช้ก็สามารถใช้แรงดันจากขา 14 ซึ่งมีค่าคงที่ 5V เป็นแรงดันอ้างอิงที่เท่ากับ TL494 อยู่แล้วได้เลย แต่ถ้าจะใช้โหมด Single-ended ก็ปล่อยขา 13 ให้อยู่เอาไว้



รูปที่ 3.11 วงจรมอดูละชั้นทางความกว้างพัลส์

### 3.3.3 วงจรขับเคลื่อน (Gate drive)

ในการขับเคลื่อนมอสเฟตนั้นเลือกใช้ไอซีเบอร์ IR2111 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในงานขับเคลื่อนมอสเฟตที่ต่อกับวงจรโดยเฉพาะ ซึ่งหลักการการทำงานของ IR2111 คือจะมีช่องสัญญาณลอยตัว ที่ออกแบบมาเพื่อการบูตบูสเตอร์ ทนต่อแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะเชิงลบ  $dV/dt$  ภูมิคุ้มกันช่วงไครฟ์ของ Gate Drive มีตั้งแต่ 10 V ถึง 20 V การลดแรงดันไฟฟ้าสำหรับทั้งสองช่อง การหน่วงเวลาการเผยแพร่ข้อมูลที่ตรงกันสำหรับทั้งสองช่อง ตั้งค่า deadtime ภายในเอาต์พุตด้านสูงในเฟสด้วยอินพุตทางด้านอินพุตจะรับสัญญาณแล้วผ่านวงจรขมิดต์ทริกเกอร์หรือตัวเปรียบเทียบใหม่เพื่อให้สัญญาณเกิดความแน่นอนมากขึ้นส่วนทางด้านเอาต์พุต ใช้มอสเฟตต่อเป็นลักษณะพุซพูลเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า



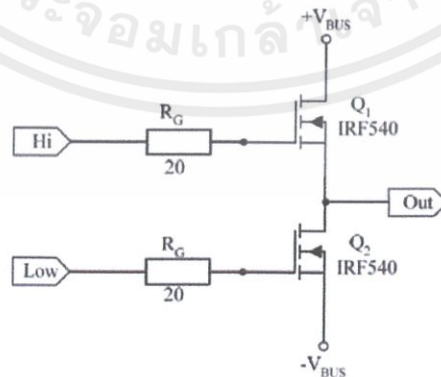
รูปที่ 3.12 วงจรภายในของไอซีเบอร์ IR2111

### 3.3.4 วงจร 2 CHOPPER MOSFET

วงจรชอปเปอร์กระแสสลับเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง เพื่อส่งผ่านไปยังวงจรเรโซแนนซ์โดยใช้หลักการสับแรงดันหรือการตัดต่อวงจรเป็นช่วงๆ เพื่อทำให้เกิดแรงดันความถี่สูงก่อนส่งผ่านไปยังวงจรเรโซแนนซ์

โครงสร้างของวงจรชอปเปอร์กระแสสลับประกอบด้วยวงจรสวิตช์และวงจรควบคุม โดยในส่วนของวงจรสวิตช์ประกอบด้วยมอสเฟตกำลัง 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจร เพื่อทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง และในส่วนของวงจรควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์จำนวน 4 ช่อง สำหรับควบคุมการทำงานของมอสเฟตกำลังแต่ละตัว โดยมีวงจรขบเกตสำหรับมอสเฟตกำลัง ทำหน้าที่เพิ่มขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีระดับของแรงดันเหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมมอสเฟตกำลัง

วงจรชอปเปอร์นี้ใช้มอสเฟตกำลัง 2 ตัว ในการทำงานโดยจะสลับกันทำงานโดยมีวงจรหน่วงเวลาเป็นตัวกำหนดให้ทำงานช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยในรูปที่ 3.13 ตัว  $R_G$  เป็นตัวกำหนดเวลาการอัดประจุและคายประจุของมอสเฟตกำลัง ซึ่งจะใช้ค่าความต้านทานต่ำประมาณ 10 - 30  $\Omega$  ในการเลือกขนาด



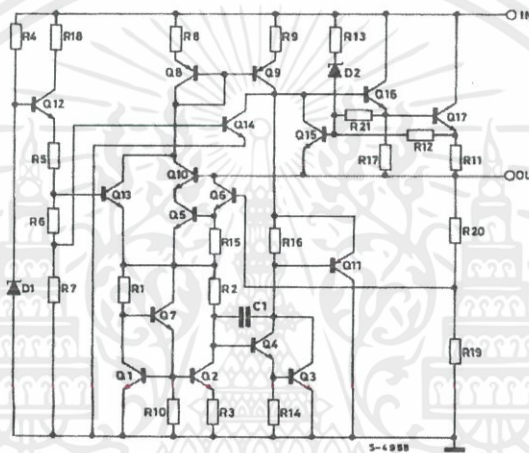
รูปที่ 3.13 วงจรชอปเปอร์โดยใช้มอสเฟตชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

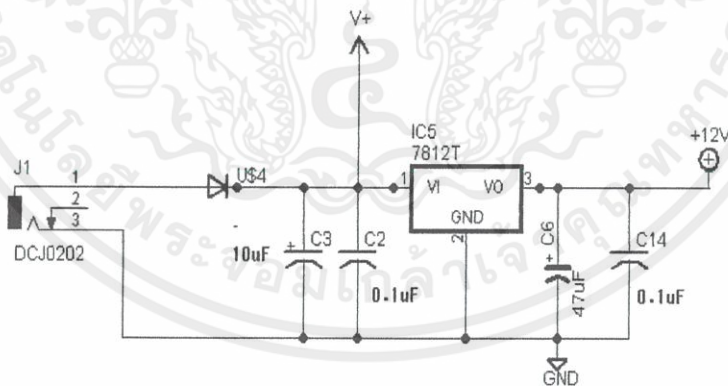
เลือกใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRF540 ชนิด N ซึ่งมีค่า  $R_{D(on)}$  ต่ำประมาณ 0.08 - 0.1  $\Omega$  และมีอัตราทนกระแสสูง 27 A และมีความเร็วในการสวิตซ์สูง การเลือกใช้ ตัว  $R_G$  จะทำหน้าที่ลดระดับการออสซิลเลตของสัญญาณขับเคลื่อน โดยเลือกใช้ค่า 20  $\Omega$  0.5 W ถ้าเลือกใช้ค่าความต้านทานมากเกินไป จะทำให้มอสเฟตกำลังทำงานช้าลง ถ้าค่าน้อยเกินไปจะทำให้เกิดกระแสโอเวอร์ชูต

### 3.3.5 วงจรแปลงไฟ

วงจรแปลงไฟนี้มีไว้เพื่อทำการแปลงไฟ 24 v ให้กลายเป็นไฟ 12 v โดยจะทำการแปลงโดยผ่านไอซีเบอร์ L7812CV ซึ่งไฟ 12 v จะทำการเลี้ยงวงจรแอมป์ได้ส่วนหนึ่ง และจะมีการทำงานภายในดังรูปที่ 3.14



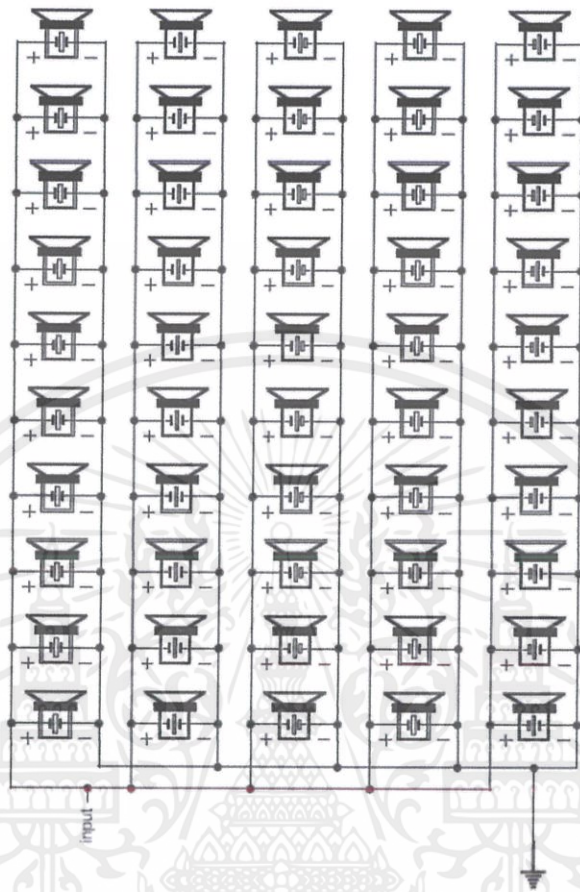
รูปที่ 3.14 วงจรภายในตัวแปลงไฟไอซีเบอร์ L7812CV



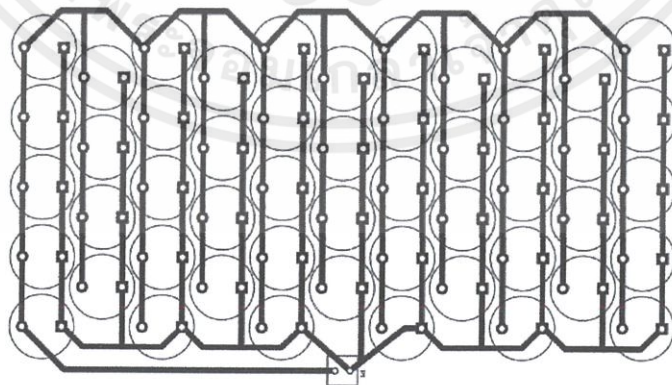
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงไฟของไอซีเบอร์ L7812CV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบ Ultrasonic Speaker Array



รูปที่ 3.16 รูปแผงวงจรลำโพงอัลตราโซนิกที่ต่อแบบขนาน



รูปที่ 3.17 รูปสายวงจรของลำโพงอัลตราโซนิกที่ต่อแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อตัวอัลตราโซนิกแบบนี้เป็นการนำเอาตัวอัลตราโซนิกหลายๆ ตัวมาต่อรวมกัน และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดที่จุดหนึ่ง นำปลายสายของทุกๆ ตัวมาต่อรวมกันและนำไปต่อกับแหล่งกำเนิดอีกจุดหนึ่งที่เหลือ ซึ่งเมื่อตัวอัลตราโซนิกแต่ละอันต่อเรียบร้อยแล้วจะกลายเป็นวงจรย่อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลจะสามารถไหลได้หลายทางขึ้นอยู่กับตัวของอุปกรณ์ที่นำมาต่อขนานกัน ถ้าเกิดในวงจรมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งขาดหรือเปิดวงจร อุปกรณ์ตัวที่เหลือก็ยังสามารถทำงานได้อยู่ ทำให้การต่อแบบขนานเหมาะกับการต่อดอกลำโพงอัลตราโซนิกมาก เพราะเป็นการทำให้เกิดการรวมตัวกันของ beam ลำคลื่นของสัญญาณเสียงที่แพร่กระจายออกมา ทำให้เกิดความเข้มของเสียงมากขึ้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

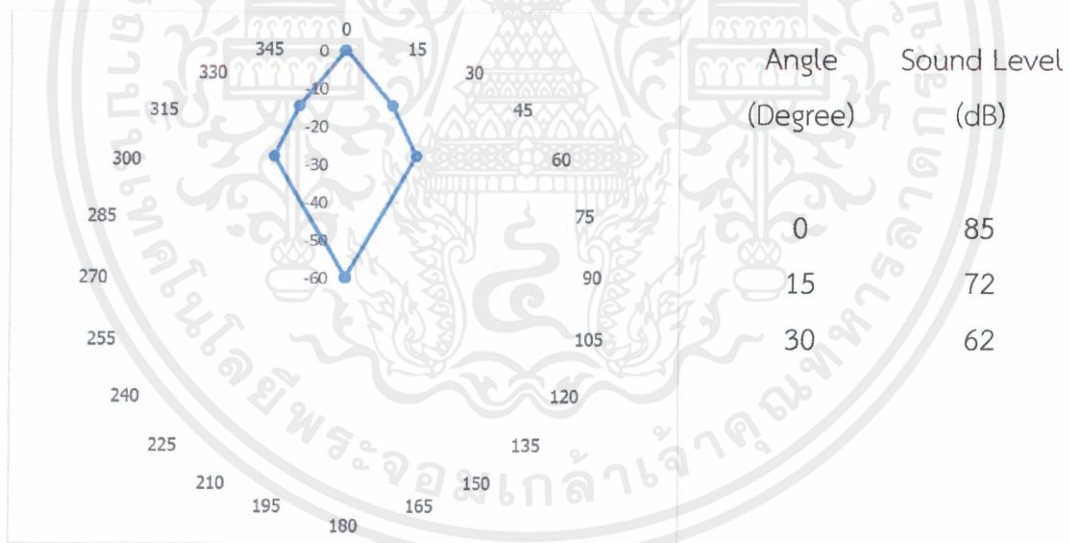
## บทที่ 4

### ลักษณะการแพร่กระจายของเสียง

บทนี้จะกล่าวถึงลักษณะการแพร่กระจายของเสียง ซึ่งจะบอกพฤติกรรมการแพร่กระจายของคลื่นเสียงว่ามีการแพร่กระจายไปในทิศทางใด โดยจะใช้โปรแกรมแมตแล็บ (MATLAB) ในการแสดงผลด้วยการพลอตกราฟการแพร่กระจายเสียงจากการใช้เครื่องวัดในความถี่และระยะที่วัดต่างๆ กัน ซึ่งกราฟจะเป็นกราฟแสดงการลดลงของความดังเสียงเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง โดยที่จะนำกราฟไปใช้ในการศึกษาและพิจารณาว่า ที่ตำแหน่งมุมมองต่างๆ และระยะทางในการวางตัวลำโพงมีผลอย่างไรกับการแพร่กระจายเสียงของลำโพง นอกจากนี้ยังนำมาเปรียบเทียบหาความถี่และระยะการแพร่กระจายที่ดีและเหมาะสมในการใช้งาน

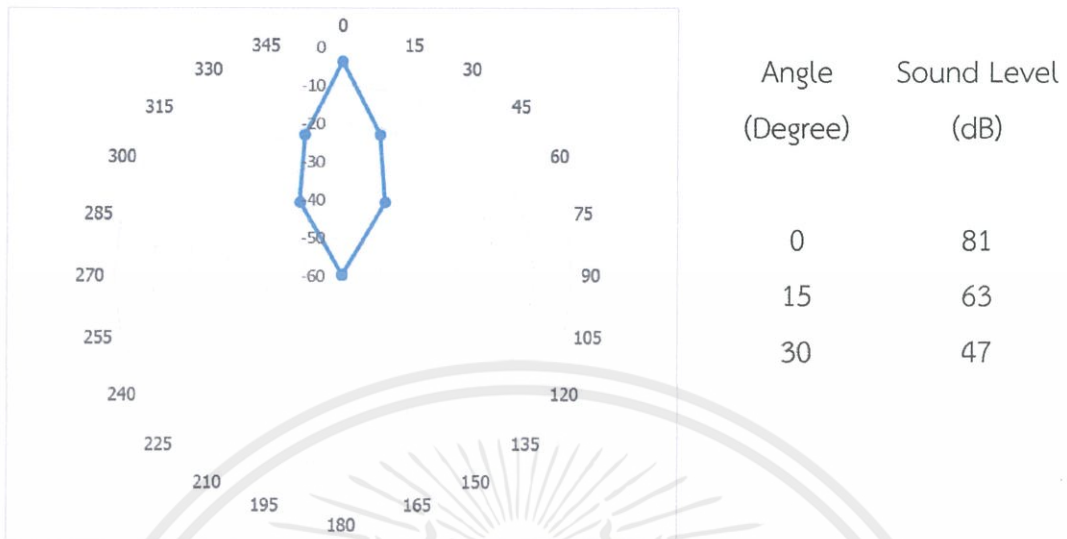
#### 4.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายของเสียง

- ที่คลื่นความถี่ 200 Hz ระยะ 1 เมตร



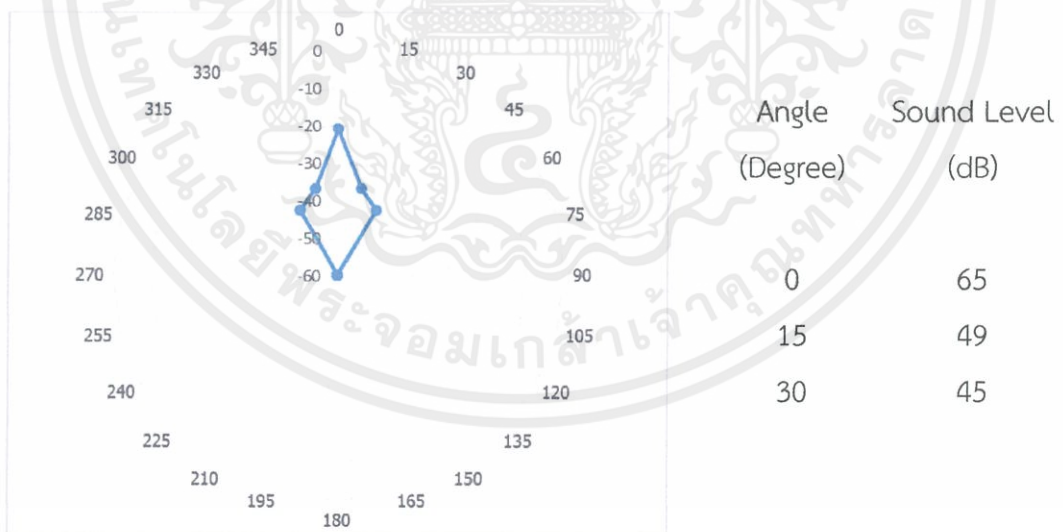
รูปที่ 4.1 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 2 เมตร



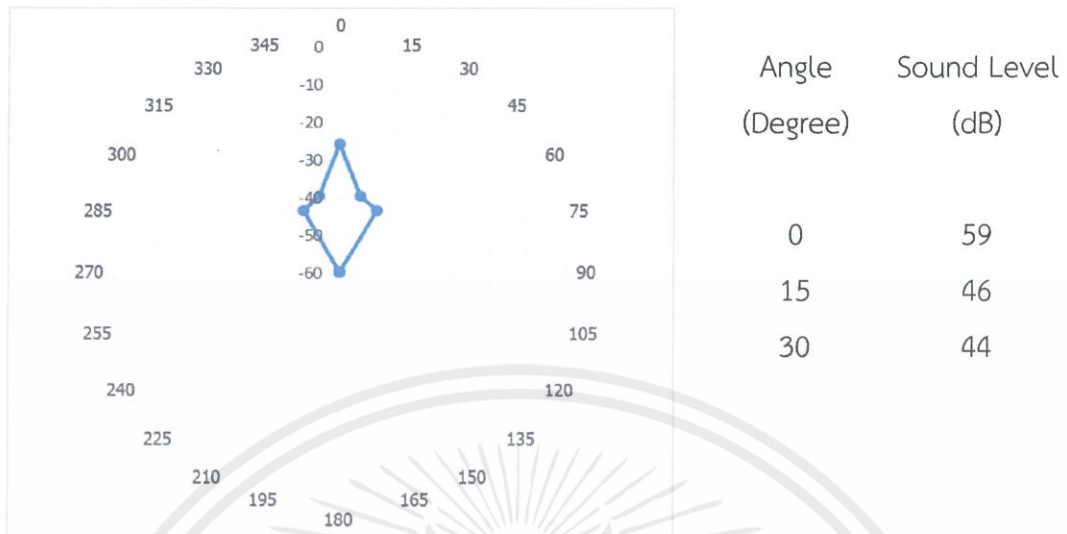
รูปที่ 4.2 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 200 Hz ระยะ 5 เมตร



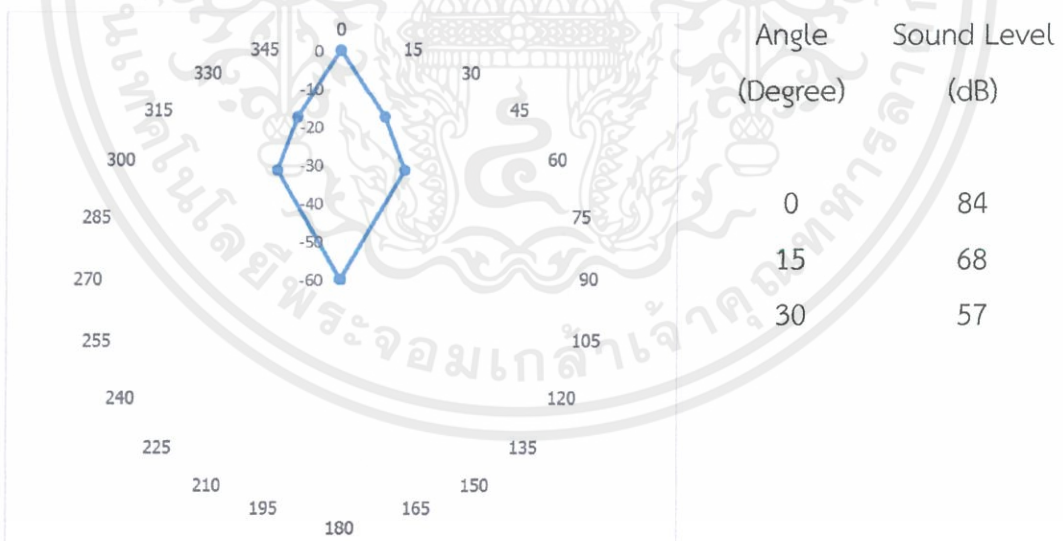
รูปที่ 4.3 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 200 Hz ระยะ 8 เมตร



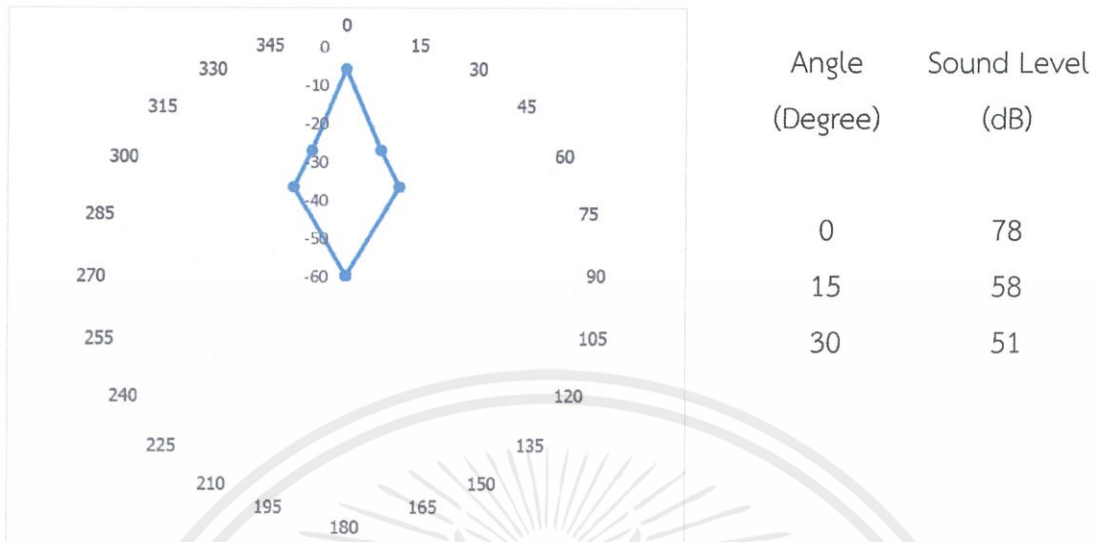
รูปที่ 4.4 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 200 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



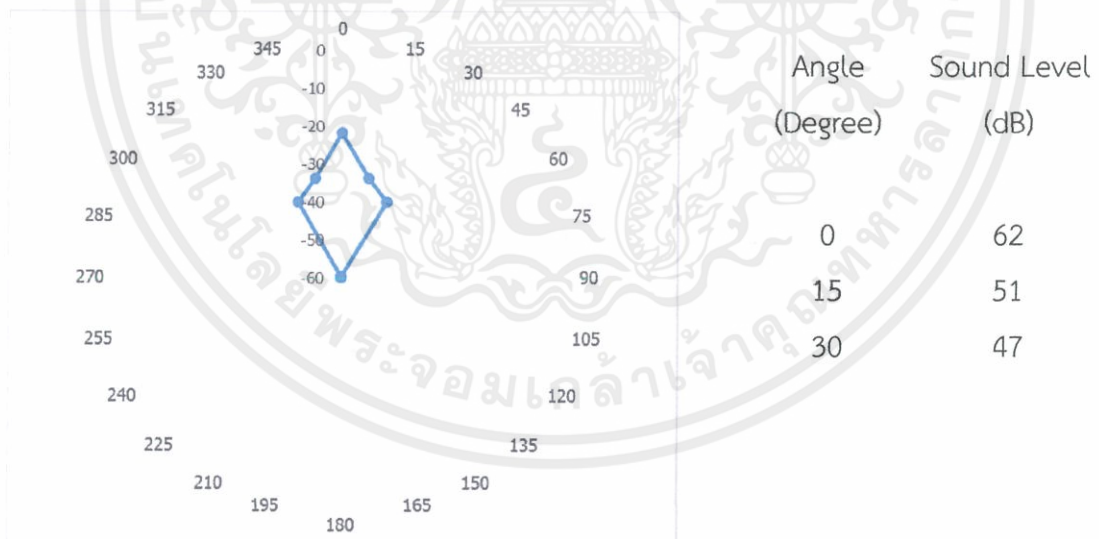
รูปที่ 4.5 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 2 เมตร



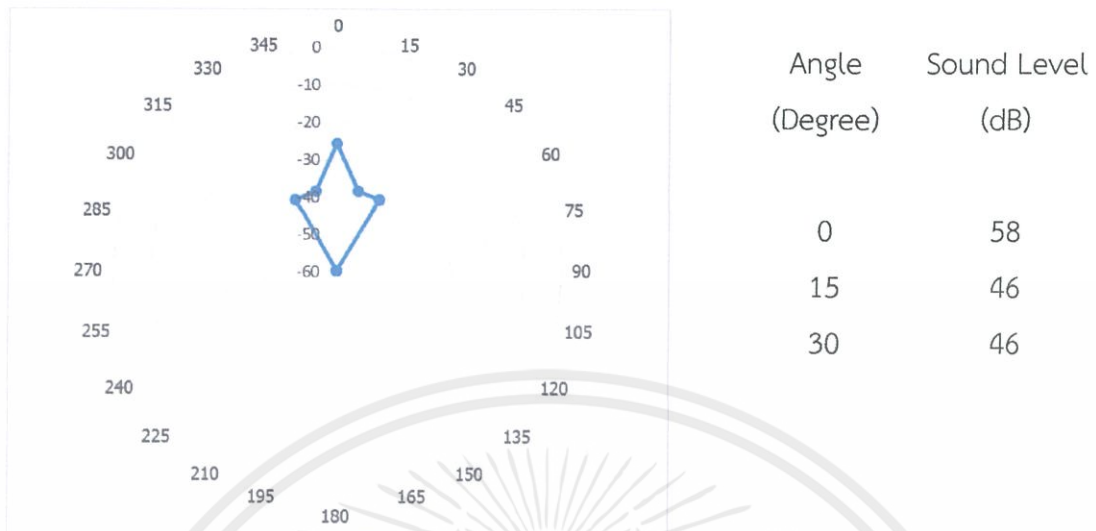
รูปที่ 4.6 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 5 เมตร



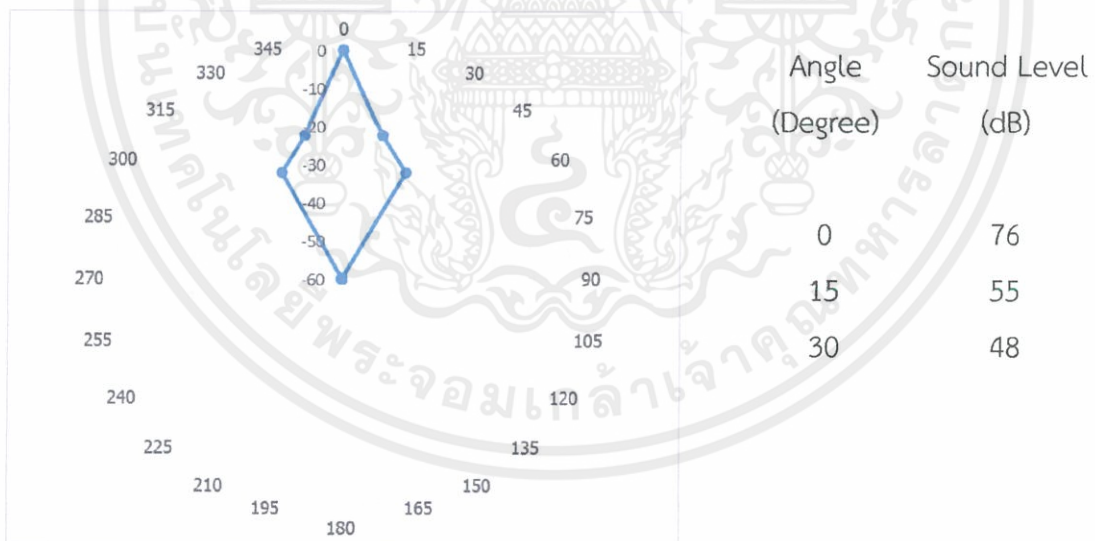
รูปที่ 4.7 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 8 เมตร



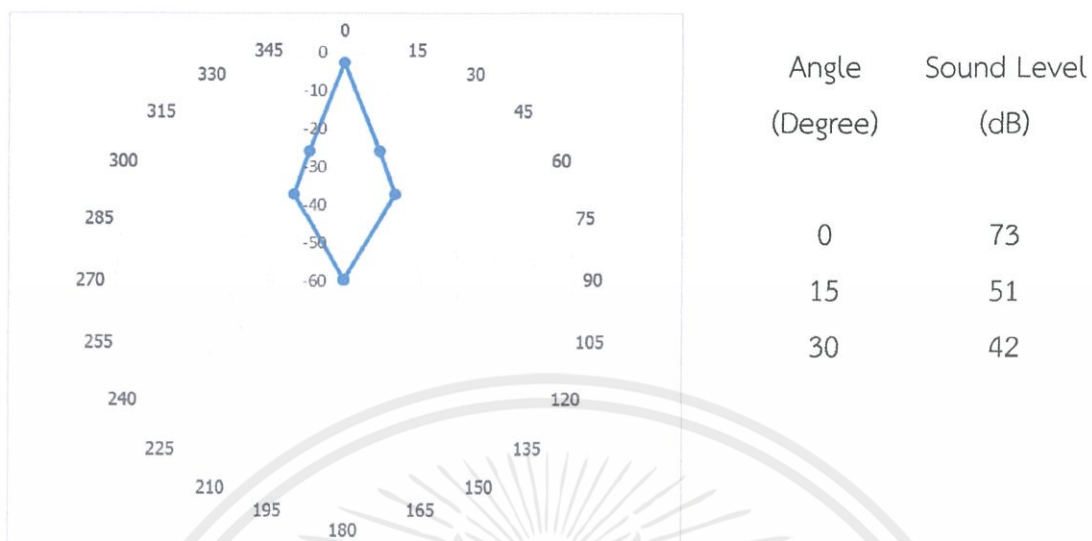
รูปที่ 4.8 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 เมตร



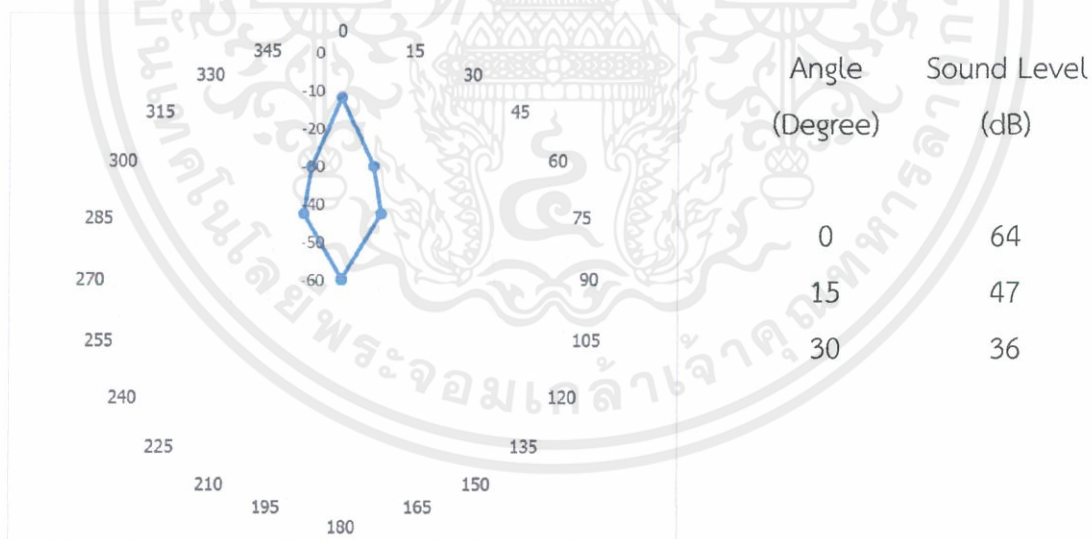
รูปที่ 4.9 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 1 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 1000 Hz ระยะ 2 เมตร



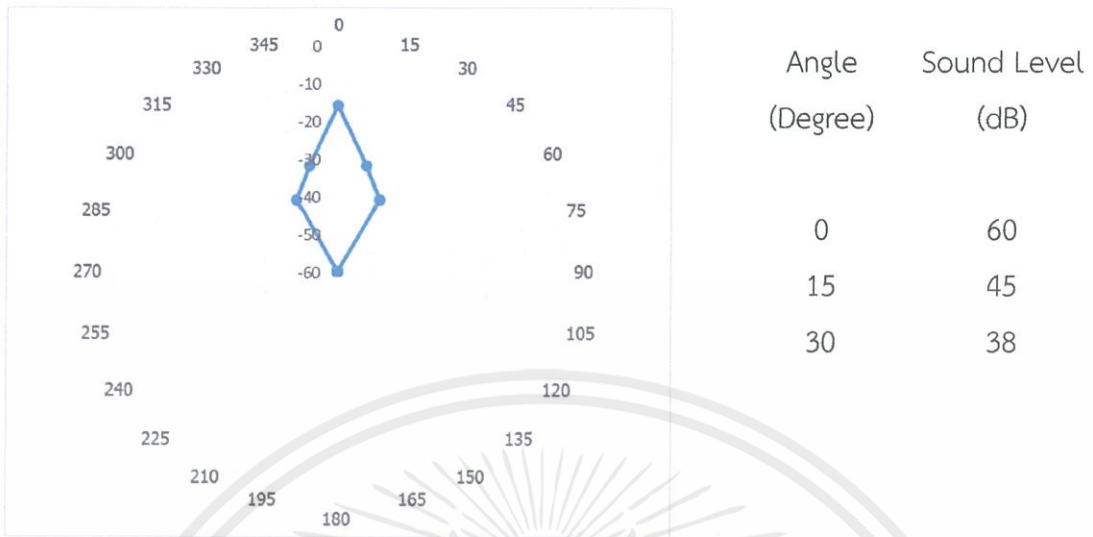
รูปที่ 4.10 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 2 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 1000 Hz ระยะ 5 เมตร



รูปที่ 4.11 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 5 เมตร

- ที่คลื่นความถี่ 1000 Hz ระยะ 8 เมตร

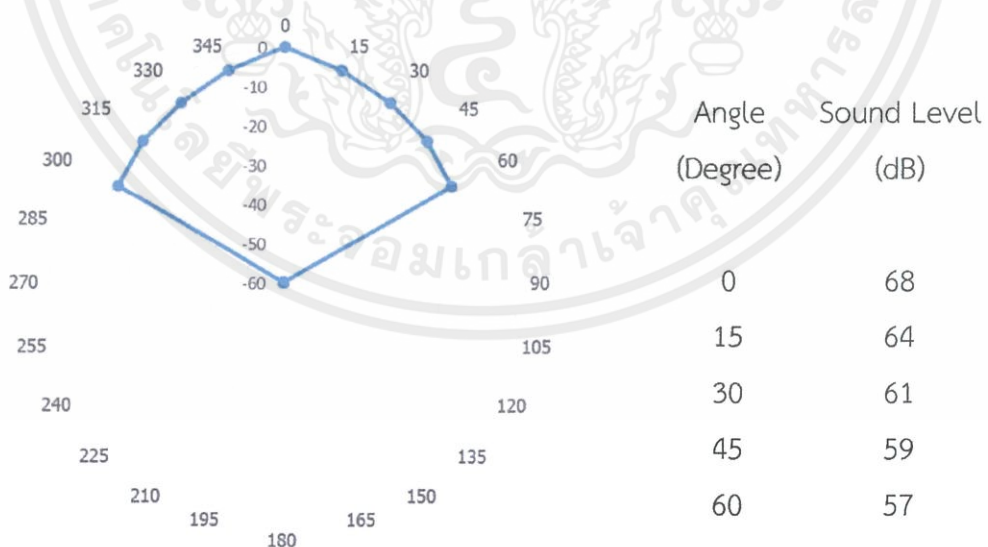


รูปที่ 4.12 การแพร่กระจายเสียงที่ลดลงแต่ละองศาของลำโพง PAA ที่ความถี่ 1000 Hz วัดจากจุดกำเนิดเสียง ระยะ 8 เมตร

#### 4.2 การวัดรูปแบบการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนแต่ละชนิด

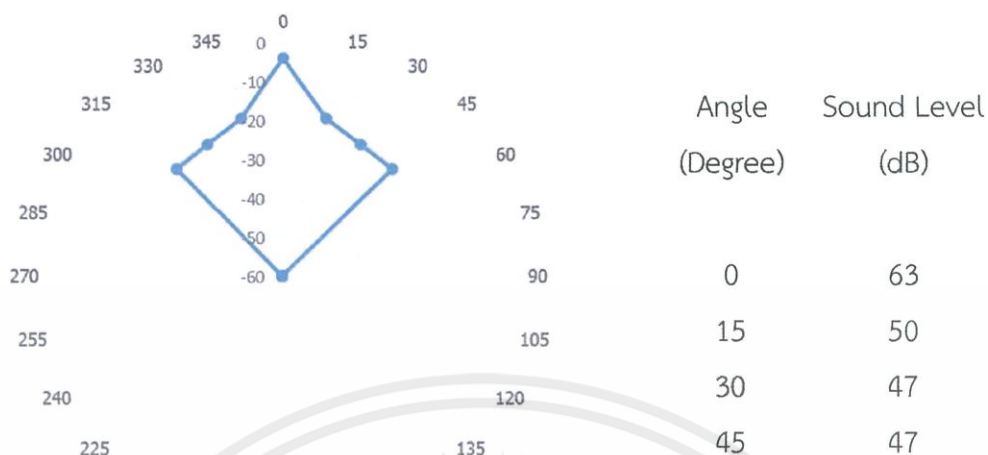
##### 4.2.1 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากโปรเจคเตอร์ (Projector screen)

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.13 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากโปรเจคเตอร์ เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร

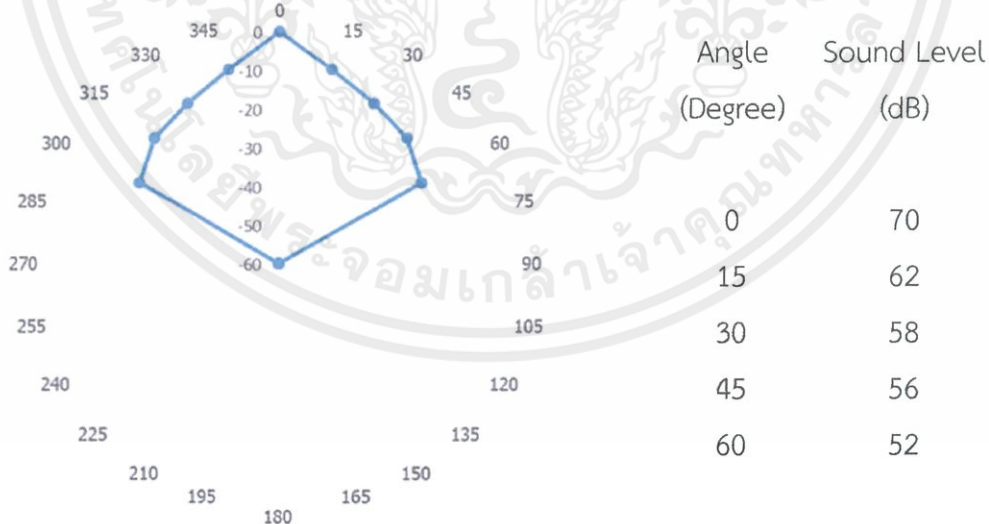
- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 4 เมตร



รูปที่ 4.14 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ติดตั้งแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากโปรเจกเตอร์เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร

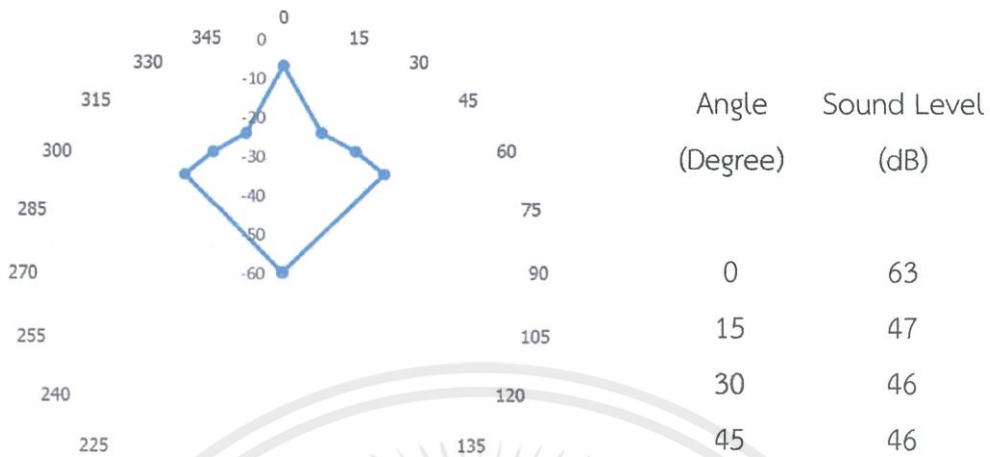
#### 4.2.2 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากกระดานไวท์บอร์ด (Whiteboard)

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.15 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ติดตั้งแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากกระดานไวท์บอร์ดเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร

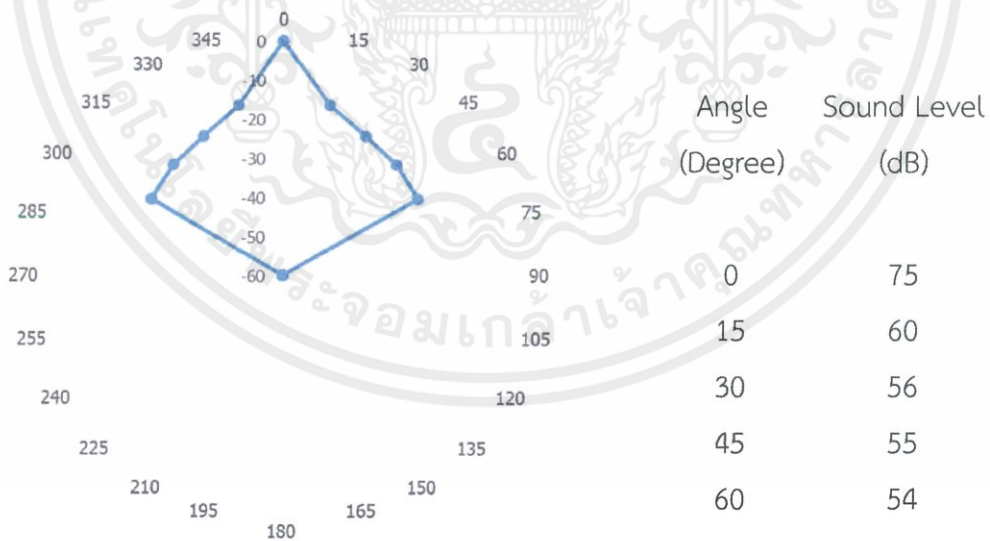
- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 4 เมตร



รูปที่ 4.16 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากกระดานไวท์บอร์ดเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร

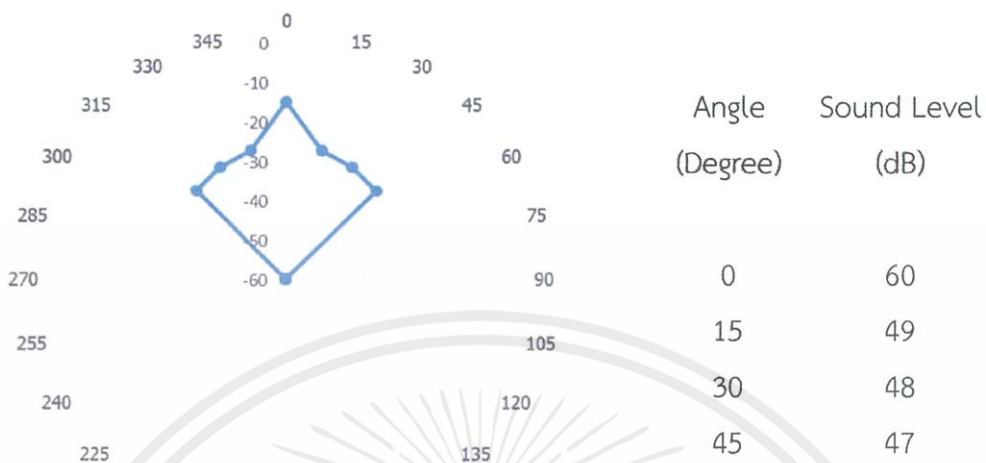
#### 4.2.3 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนพาราโบลา (Parabolic reflector)

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.17 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากสะท้อนพาราโบลาเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร

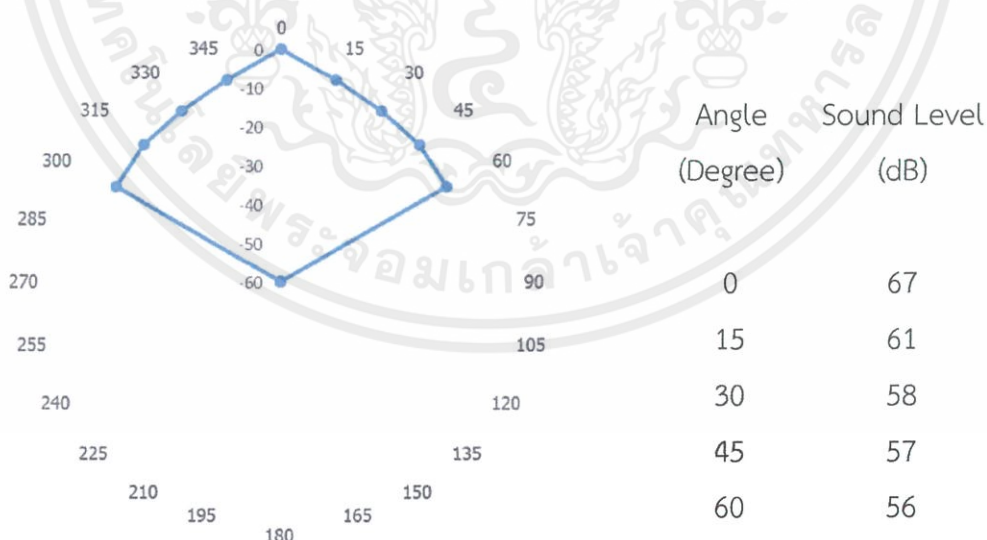
- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 4 เมตร



รูปที่ 4.18 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากสะท้อนพาราโบลาเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร

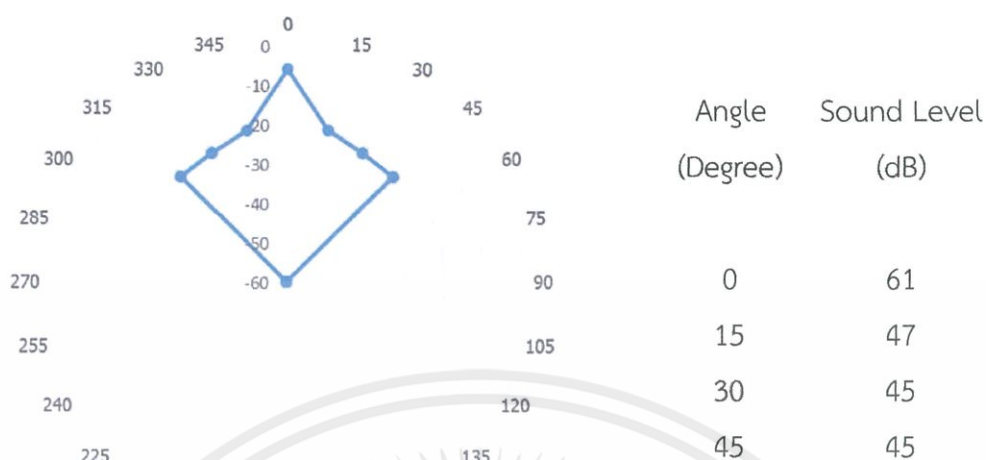
#### 4.2.4 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ผนังเก็บเสียง (Soundproof)

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.19 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ผนังเก็บเสียงเป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร

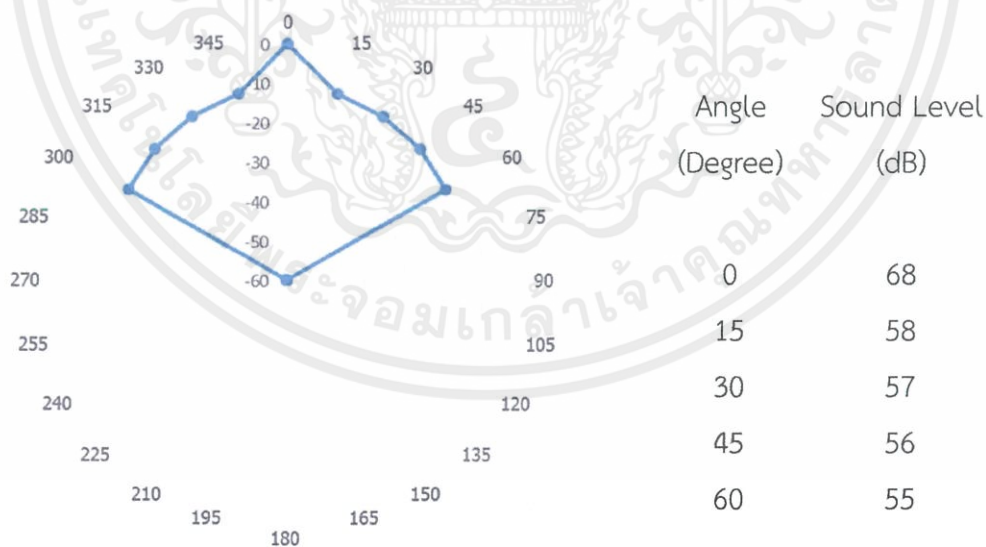
- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 4 เมตร



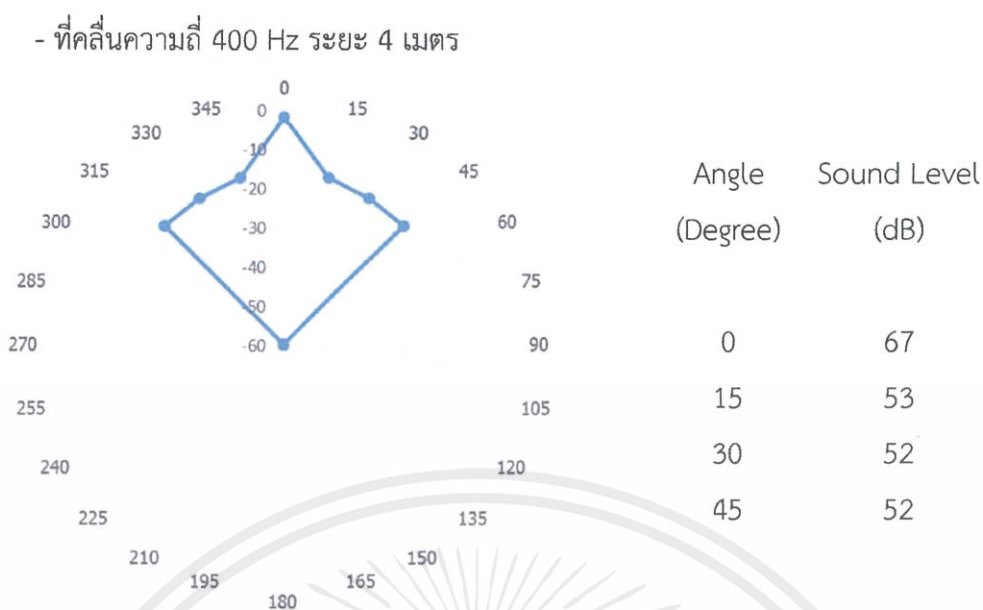
รูปที่ 4.20 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ผนังเก็บเสียง เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร

#### 4.2.5 วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากแบ็คดรอป (Backdrop)

- ที่คลื่นความถี่ 400 Hz ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.21 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากแบ็คดรอป เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 1 เมตร

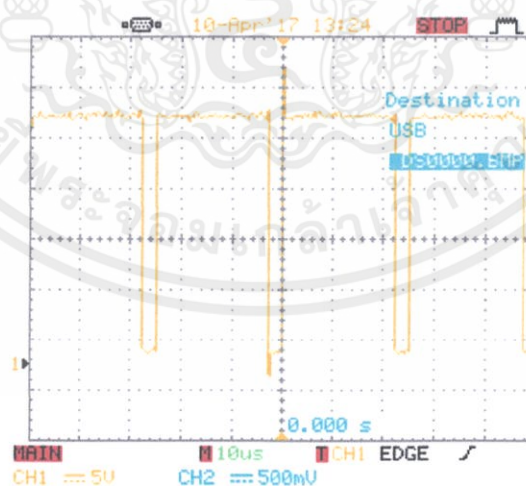


รูปที่ 4.22 การแพร่กระจายเสียงของลำโพง PAA ที่ลดลงแต่ละองศาเมื่อใช้ฉากแบ็คดรอป เป็นฉากสะท้อน ที่ความถี่ 400 Hz วัดจากฉากสะท้อนระยะ 4 เมตร

### 4.3 การทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ

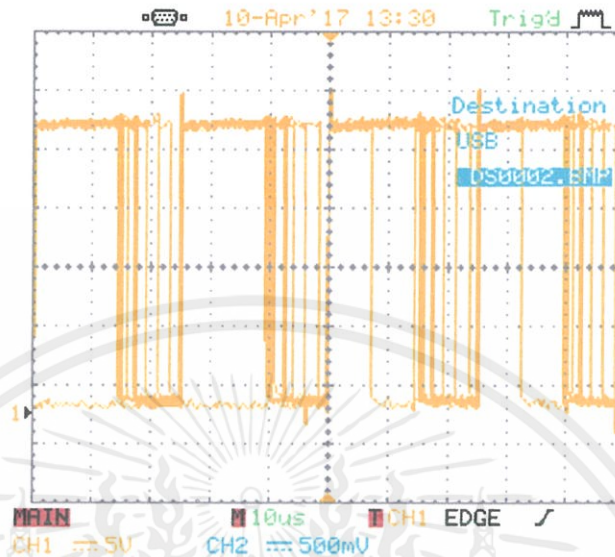
#### 4.3.1 การทดสอบวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์เมื่อยังไม่ทำการป้อนสัญญาณ ขาวสารเข้าไปจะเป็นสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์

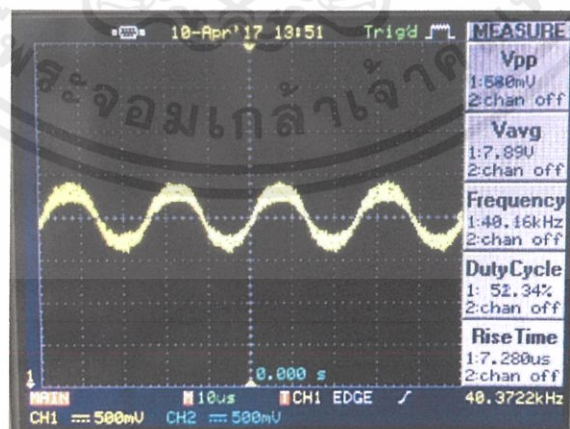
และเมื่อเราทำการป้อนอินพุตสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 200 Hz เพิ่มเข้าไปในวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ที่ความถี่ 40 KHz ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์เมื่อรวมสัญญาณข่าวสาร

#### 4.3.2 การทดสอบวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด (AM)

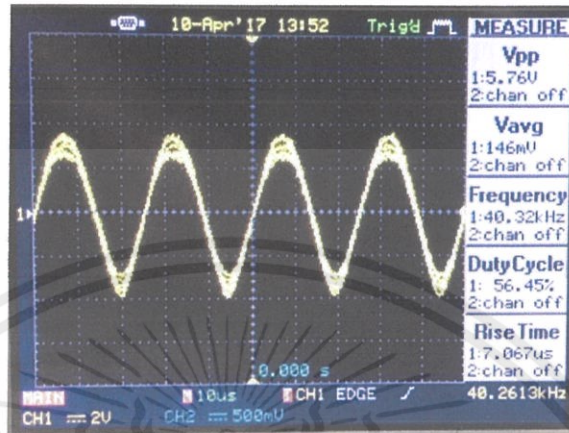
ทำการป้อนสัญญาณข่าวสารที่ 200 Hz เข้าวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด และ ทำการวัดสัญญาณที่ได้หลังจากจากวงจรมอดูชันทางแอมพลิจูด ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาดังรูปที่ 4.25 และวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 580 mV



รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อผ่านวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด

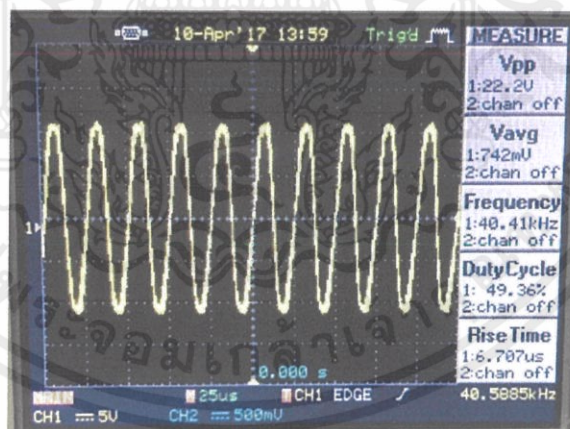
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวัดสัญญาณที่ออกมาหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ออปแอมป์) จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.26 เมื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าถูกขยายขึ้นมาเป็น 5.76 V



รูปที่ 4.26 สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ

และส่วนต่อมาทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านแอมพลิฟายเออร์สำเร็จรูปตัว Lepai LP-838 จะได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านแอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดการแพร่กระจายของเสียงที่ความถี่ต่างๆ กัน ได้แก่ การวัดที่ความถี่ 100 Hz, 400 Hz และ 1000 Hz ที่ระยะ 1 m, 2 m, 5 m และ 8 m จะมีการแพร่กระจายเสียงลดลงตามระยะทางที่ไกลออกไป การวัดรูปแบบการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนแต่ละชนิดทำให้พบว่า วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากโปรเจคเตอร์นั้นมีการแพร่กระจายเสียงจากการสะท้อนออกมาจากฉากที่ดูกว้างและมีการสะท้อนของเสียงเฉลี่ยที่ไกลกว่าฉากอื่นในระยะที่เท่ากัน ที่เหลือเป็นวัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากกระดานไวท์บอร์ด วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากสะท้อนพาราโบล่า วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ผนังเก็บเสียง วัดการสะท้อนของเสียงโดยใช้ฉากเบ็ดครอบมีการลดลงของการแพร่กระจายเสียงที่เฉลี่ยแล้วมีความใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังมีการทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ การทดสอบวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) ผลที่ได้หลังจากเพิ่มความถี่ 40 KHz เข้าไปในวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ทำให้เกิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave form) ที่มีสัญญาณรบกวนประกอบ ส่วนการทดสอบวงจรมอดูเลชันทางแอมพลิจูด (AM) ผลที่ได้เมื่อทำการวัดสัญญาณที่ออกมาหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ จะได้สัญญาณตั้งขึ้นซึ่งดูได้จากแอมพลิจูดของรูปที่ 4.26 สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ และหลังจากผ่านแอมพลิฟายเออร์สำเร็จรูปตัว Lepai LP-838

## บทที่ 5

# สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 5.1 บทสรุปโครงการ

โครงการชิ้นนี้นำเสนอเรื่องของการพัฒนาและออกแบบลำโพงพาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์ เพื่อใช้ในการยิงสัญญาณเสียงเข้าสู่ฉากสะท้อน ทำให้ฉากสะท้อนเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียง เหมือนกับลำโพงไร้สาย ซึ่งลำโพงไร้สายในที่นี้คือฉากสะท้อน และส่วนไร้สายคือเสียงที่ถูกส่งออกมา จากลำโพงอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งในโครงการชิ้นนี้ได้ทำระบบของลำโพงพาราเมตริก อะคูสติกอาเรย์มาสองรูปแบบ คือรูปแบบการมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ และรูปแบบมอดูเลชัน ทางแอมพลิจูด ซึ่งในรูปแบบมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ส่วนของฮาร์ดแวร์จะสามารถออกแบบได้ ง่ายกว่าและมีขนาดเล็กกว่า ในขณะที่รูปแบบมอดูเลชันทางแอมพลิจูด จะมีความซับซ้อนมากกว่า

หลังจากนำลำโพงพาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์ไปใช้งานคู่กับฉากสะท้อนแล้ว ระดับความ ดังของเสียงจากฉากสะท้อนนั้นอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ และสามารถจำกัดพื้นที่ในการใช้งานให้ อยู่ในบริเวณหน้าฉากสะท้อนที่เราสนใจได้ และยังสามารถนำลำโพงพาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์ ไปประยุกต์ใช้งานได้อีกหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในระบบการจราจรเพื่อแจ้งเตือนเฉพาะจุด เฉพาะคันได้ ทั้งยังใช้ในพิพิธภัณฑ์ในการบรรยายเรื่องราวแบบระบบสองภาษา และยังสามารถใช้เป็น ลำโพงส่วนตัวเพื่อที่จะไม่ไปรบกวนคนรอบข้าง

### 5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

- ควรศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของลำโพงพาราเมตริกอะคูสติกอาเรย์เพื่อใช้งานใน รูปแบบต่าง ๆ เพื่อทำความเข้าใจในลักษณะการแพร่กระจายของตัวลำโพงเมื่อนำมาใช้งาน
- สามารถเพิ่มหรือปรับคุณภาพของเสียงได้โดยการแก้ไขปรีแอมป์ เนื่องจากปรีแอมป์ที่ใช้ใน ชิ้นงานอยู่ตอนนี้ ยังมีประสิทธิภาพที่ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งาน
- ด้วยข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างเช่นในส่วนของพื้นที่ที่ใช้ในการวัดแพทเทิร์น รวมถึงอุปกรณ์ใน การวัดยังมีข้อจำกัดอยู่ ทำให้ยังมีค่าความผิดพลาดในการวัดแพทเทิร์น เนื่องจากไม่สามารถควบคุม ตัวแปรอิสระได้ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของเสียงรบกวน การสะท้อนจากสิ่งที่ไม่ต้องการ และอื่น ๆ
- ผู้วิจัยยังขาดความรู้เรื่องอิเล็กทรอนิกส์ในศาสตร์ของเสียง เนื่องจากยังมีปัจจัยอีกหลาย อย่างที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเสียง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสายทองแดง ระยะห่างของการเดินไฟ การ จัดวางอุปกรณ์นั้น ก็ส่งผลต่อคุณภาพของเสียงไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การนำโครงการออกแสดงในที่ต่างๆ

- งาน “ Thailand-Japan Student ICT Fair 2016 ” วันที่ 21-23 ธันวาคม 2559 ณ โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ชลบุรี



รูปที่ 5.1 ภาพบรรยากาศภายในงาน “ Thailand-Japan Student ICT Fair 2016 ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัฒน์ แสดัน. 2014 เทคนิคและการออกแบบ Switching Power Supply. [Online]  
Available : <https://smpsbyuwatdun.blogspot.com/2014/09/pwm.html>.
- [2] ณัฐวุฒิ พลชะติน, วิริยะ พิเชฐจำเริญ. การวิเคราะห์วงจรเอซีชอปเปอร์โดยมีวงจรสับเบอร์ทำงาน  
ในระหว่างการเปลี่ยนโหมด ปริญญาพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2017.
- [3] มন্ত্রী ศิริปรัชญานันท์, ระบบสื่อสารแบบแอนะล็อก, บริษัท แอนนาดิจิต กรุ๊ป จำกัด, ธันวาคม  
2544, บทที่ 5
- [4] มন্ত্রী ศิริปรัชญานันท์, การใช้งานออปแอมป์, บริษัท แอนนาดิจิต กรุ๊ป จำกัด, มีนาคม 2544, บทที่  
17-18, หน้าที่ 247-271
- [5] มন্ত্রী ศิริปรัชญานันท์, วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟเบื้องต้น, บริษัท แอนนาดิจิต กรุ๊ป จำกัด,  
มีนาคม 2544, บทที่ 17-18, หน้าที่ 247-271
- [6] ฉัตรชัย สุขามาลย์, การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย, กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการ  
พิมพ์, ไม่ระบุปีที่พิมพ์.
- [7] ชนวัฒน์ ศรีสอ้าน, สุทธิชัย มณีรัตน์รุ่งโรจน์, เอกสารประกอบการบรรยาย : การสื่อสารทางไกล  
และเครือข่าย, นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2542.
- [8] Jun Yang, Jing Tian. **Parametric Loudspeaker: from theory to applications.**  
Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, July. 2014.
- [9] Woon-Seng Gan, Ee-Leng Tan, and Sen M. Kuo. **Audio Projection : Directional sound  
and its application in immersive communication.** IEEE SIGNAL PROCESSING  
MAGAZINE, January. 2011.
- [10] Foodland. **Principle of operation.** www.it.com. 2015.
- [11] **Ultrasonic Directive Speaker.** Articles of Elector Magazine. 2009.
- [12] Swagatam Majumdar. **Making an Ultrasonic Directive Speaker Circuit - Parametric  
Speaker System.** June. 2014.
- [13] Agilent Technologies. **Digital Modulation in Communications Systems -  
An Introduction.** U.S.A.. 2001.
- [14] George Clayton and Steve Winder, **Operational Amplifiers,** 4th edition, Newnes-  
Butterworth, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] Robert F. Coughlin and Frederick F. Driscoll, **Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits**, Prentice-Hall International, Inc., 1998.
- [16] M. Yoneyama, J. Fujimoto, Y. Kawamo, and S. Sasabe, "The audio spotlight: An application of nonlinear interaction of sound waves to a new type of loudspeaker design," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 73, no. 5, pp.1013-1020, 1983.
- [17] C. Shi, H. Nomura, T. Kamakura, and W. S. Gan, "Spatial aliasing effects in a steerable parametric loudspeaker for stereophonic sound reproduction," *IEICE Trans. Fund. Electron. Commun. Computer Sci.*, vol. E97 A, no.9, pp. 1859-1866, 2014.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## Poster และรูปผลงาน

Department of Computer Engineering  
(Information Engineering)



### PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY

**Totsapon Ruangsri, Thanawat Kittichaikarn and Warangkana Noomrit**  
**Advisor: Asst.Prof.Dr.Dolcha Sookcharoenphol**


---

#### Abstract

This thesis proposed wireless loudspeakers system using parametric acoustic array technique and design, including sample applications. Due to the outstanding attribute of propagation for wireless loudspeaker have narrow feature, allows limit of hearing in specific areas and do not interfere with other areas. As feature above it can be used in two types, it can send audio signal directly to a specific area and another type is use smooth scene as audio reflector to the listener. In the part of signal processing of parametric acoustic array it consist of the modulation audio signal input with carrier 40 KHz and amplify ultrasonic signal with amplifier then input to the parametric acoustic array. To optimize audio performance, improve better quality by testing appropriate methods of modulation for reduction the lowest THD

#### Results

Test propagation of the parametric acoustic array for each frequency with different distances and test propagation from the reflection scene with difference shape and surface



#### Introduction


Today we are talking about a device that can propagation and amplify the volume up. We are reminded of the loudspeaker device that can be propagation and amplified the volume up to listener in wide area and more clearly. But sometimes, some area may not be suitable or inconvenience to set loudspeaker.

#### Conclusion

This project we use amplifier D class. In the section of signal processing we provides as pulse width modulation(PWM) method. And use ultrasonic transducer 40kHz to propagation. Propagation appearance of PAA and reflection from reflector scene, there are several factors that affect reflection. Whether it is reflection material or feature of reflector scene as straight or curved scene


#### Methodology

The system consists of a computer or a microphone as a sound signal input to parametric acoustic array speaker system. To send a narrow sound wave into the reflection scene to reflect the sound waves back to the listener. Signal is part of the modulation carrier with the news. The amplifier is a modulated amplified audio amplifier. And ultrasonic transducer will be the propagation part to the reflection scene.




#### References

- [1] A parametric speaker experiment kit Retrieved January 18, 2017, Web site: [http://zao.jp/radio/parametric/index\\_e.php](http://zao.jp/radio/parametric/index_e.php)
- [2] Woon-Seng Gan, Ee-Leng Tan, and Sen M. Kuo. Directional sound and its application in immersive communication. IEEE Signal Processing Magazine. 2011;28:43-57.
- [3] Jun Yang, Jing Tian and Woon Seng Gan. Parametric loudspeaker: from theory to applications. 21st International Congress on Sound and Vibration (ICSV21), 2014;1:1-18.



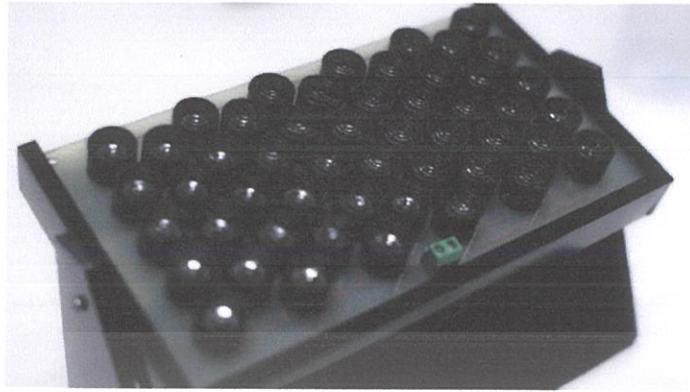
**ENGINEERS  
LADKRABANG**  
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี



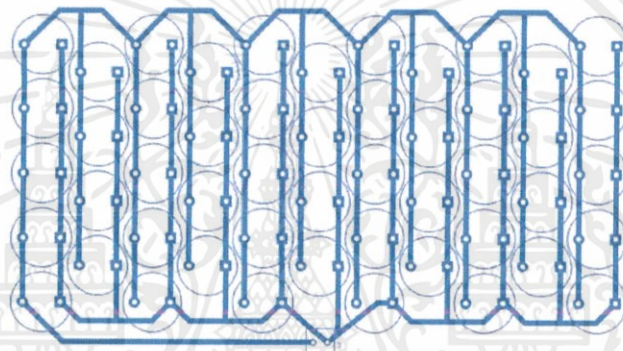
E-mail: 56010474@kmit.ac.th,  
56010550@kmit.ac.th, 56011078@kmit.ac.th

รูปที่ ก.1 Poster

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ลำโพงอัลตราโซนิก



รูปที่ ก.3 ลาย PCB ลำโพงอัลตราโซนิก



รูปที่ ก.4 Pulse width modulation Amplifier ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 Pulse width modulation Amplifier ด้านหลัง

รูปที่ ก.6 ภาพรวมของลำโพงอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

Order this document by TL494/D

### TL494

#### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751B  
(SO-16)



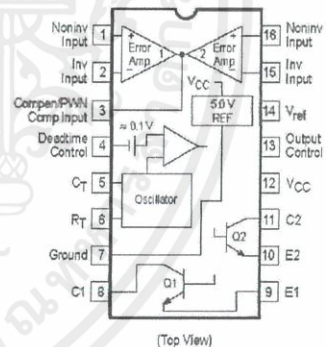
N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 648

**MAXIMUM RATINGS** (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42		V
Collector Output Voltage	V <sub>C1</sub> , V <sub>C2</sub>	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I <sub>C1</sub> , I <sub>C2</sub>	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V <sub>I</sub> R	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ 45°C	P <sub>D</sub>	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	125		°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T <sub>A</sub>	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

#### PIN CONNECTIONS



#### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T <sub>A</sub> = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T <sub>A</sub> = -25° to +85°C	Plastic

© Motorola, Inc. 1996

Rev 1

## TL494

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	$I_{C1}, I_{C2}$	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	$V_{in}$	–0.3	–	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	$I_{fb}$	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	$I_{ref}$	–	–	10	mA
Timing Resistor	$R_T$	1.8	30	500	k $\Omega$
Timing Capacitor	$C_T$	0.0047	0.001	10	$\mu$ F
Oscillator Frequency	$f_{osc}$	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15$  V,  $C_T = 0.01$   $\mu$ F,  $R_T = 12$  k $\Omega$ , unless otherwise noted.)For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

## REFERENCE SECTION

Reference Voltage ( $I_O = 1.0$ mA)	$V_{ref}$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ( $V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	$Reg_{line}$	–	2.0	25	mV
Load Regulation ( $I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	$Reg_{load}$	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ( $V_{ref} = 0$ V)	$I_{SC}$	15	35	75	mA

## OUTPUT SECTION

Collector Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	$\mu$ A
Emitter Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	$\mu$ A
Collector–Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common–Emitter ( $V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter–Follower ( $V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	– –	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ( $V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ( $V_{OC} = V_{ref}$ )	$I_{OCL}$ $I_{OCH}$	– –	10 0.2	– 3.5	$\mu$ A mA
Output Voltage Rise Time Common–Emitter (See Figure 12) Emitter–Follower (See Figure 13)	$t_r$	– –	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common–Emitter (See Figure 12) Emitter–Follower (See Figure 13)	$t_f$	– –	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

## TL494

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ ,  $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.)

For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

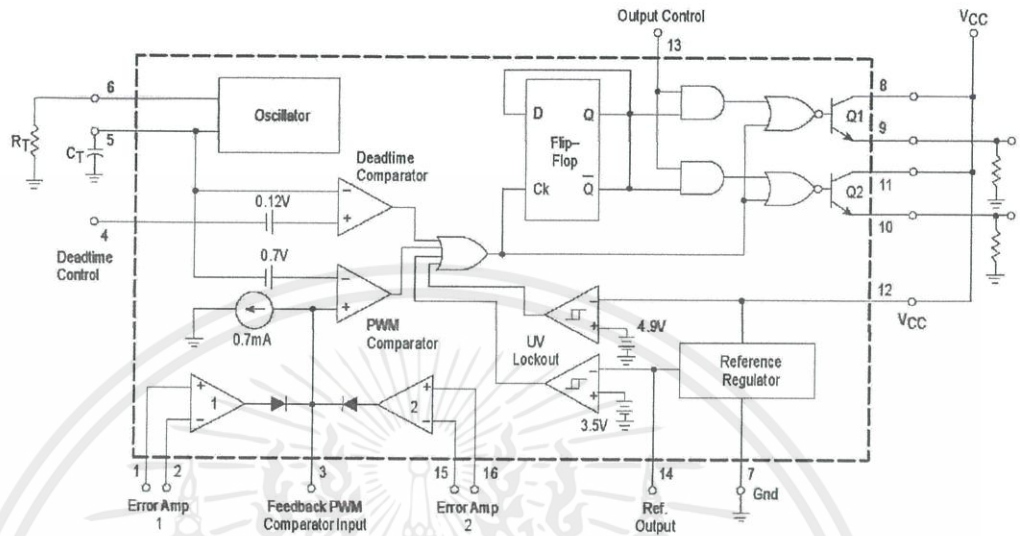
Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	–	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	–	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	–	–0.1	–1.0	$\mu\text{A}$
Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_{ICR}$	–0.3 to $V_{CC}$ –2.0			V
Open Loop Voltage Gain ( $\Delta V_O = 3.0\ \text{V}$ , $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$A_{VOL}$	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$f_{C-}$	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$\phi_m$	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ )	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ( $\Delta V_{CC} = 33\ \text{V}$ , $V_O = 2.5\ \text{V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current ( $V_O$ (Pin 3) = 0.7 V)	$I_{O-}$	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current ( $V_O$ (Pin 3) = 3.5 V)	$I_{O+}$	2.0	–4.0	–	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	$V_{TH}$	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{Pin\ 3} = 0.7\ \text{V}$ )	$I_{I-}$	0.3	0.7	–	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ to 5.25 V)	$I_{B(DT)}$	–	–2.0	–10	$\mu\text{A}$
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ ) ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$DC_{max}$	45 –	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	$V_{th}$	– 0	2.8 –	3.3 –	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$f_{osc}$	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$\sigma_{f_{osc}}$	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0\ \text{V}$ to 40 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$\Delta f_{osc}(\Delta V)$	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ ) ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )	$\Delta f_{osc}(\Delta T)$	–	–	12	%
<b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$ )	$V_{th}$	5.5	6.43	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open) ( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ ) ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ )	$I_{CC}$	–	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , $V_{Pin\ 4} = 2.0\ \text{V}$ ) ( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ ) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

\* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula,  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

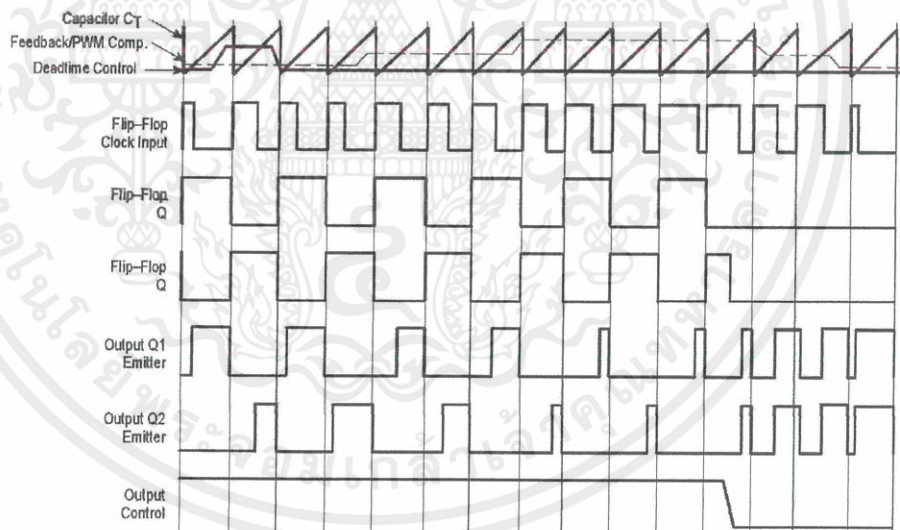
## TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



## TL494

## APPLICATIONS INFORMATION

## Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components,  $R_T$  and  $C_T$ . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor  $C_T$  to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 98% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ $V_{ref}$	Push-pull Operation	0.5

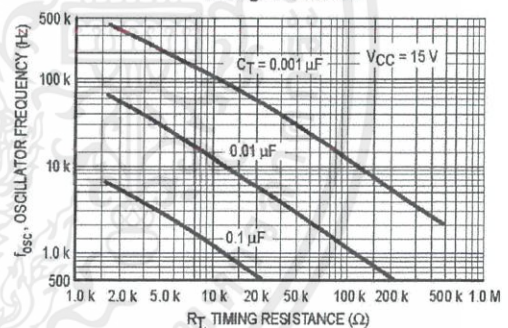
The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to  $(V_{CC} - 2V)$ , and

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor  $C_T$  is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of  $\pm 5.0\%$  with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



TL494

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

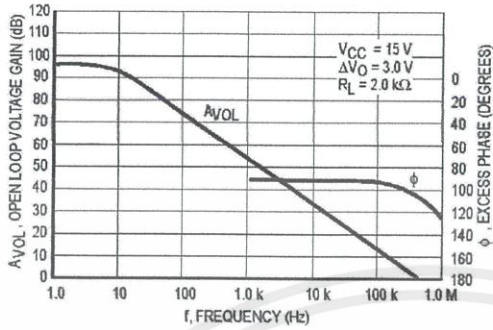


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

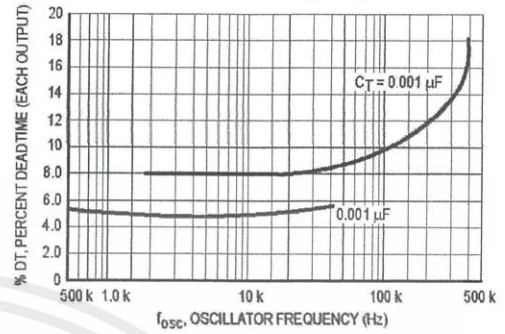


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

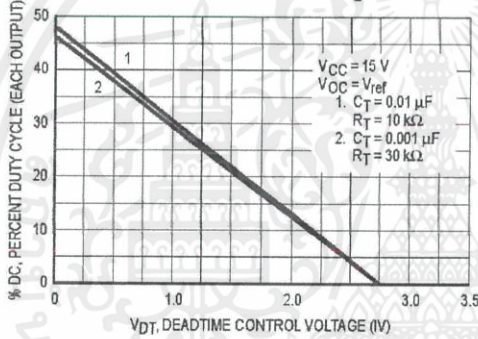


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

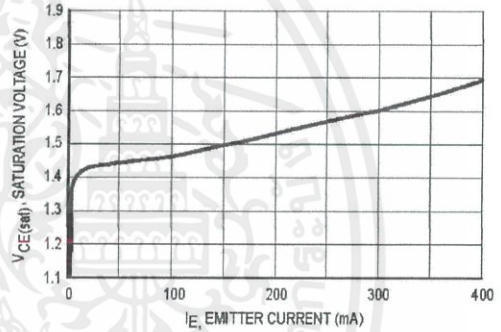


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

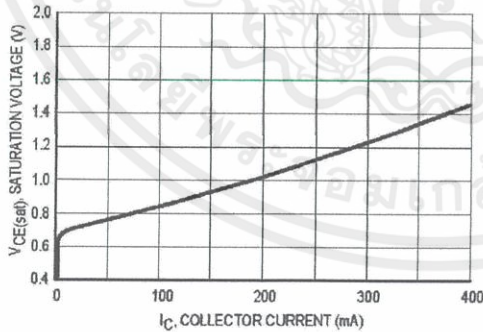
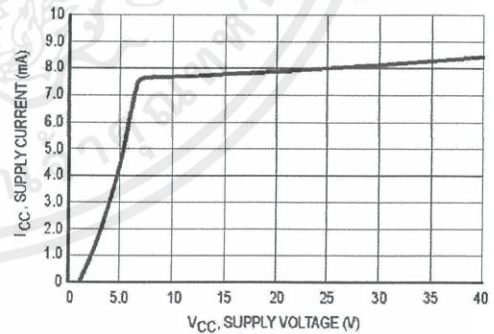


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

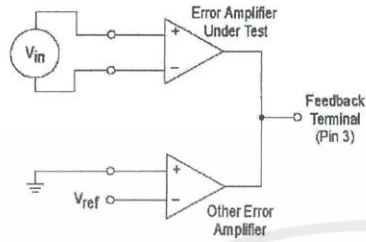


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

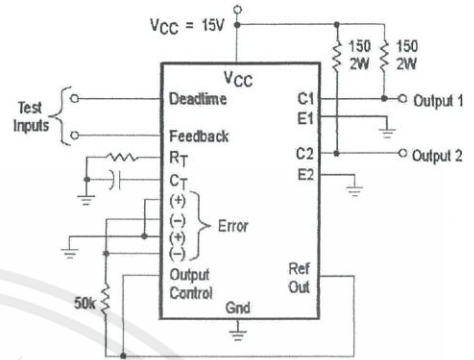


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

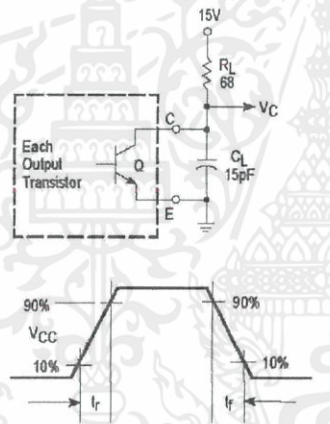
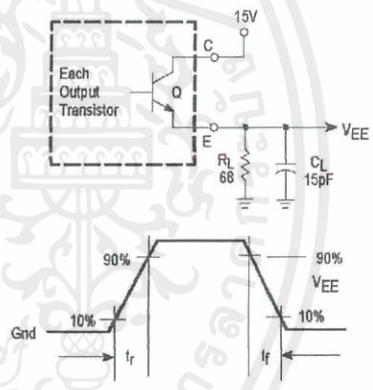


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

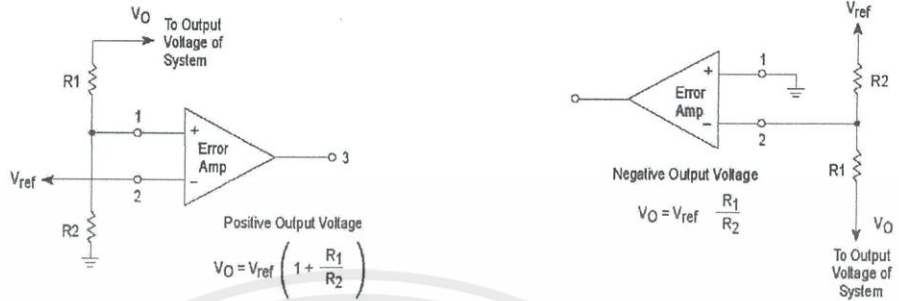


Figure 15. Deadtime Control Circuit

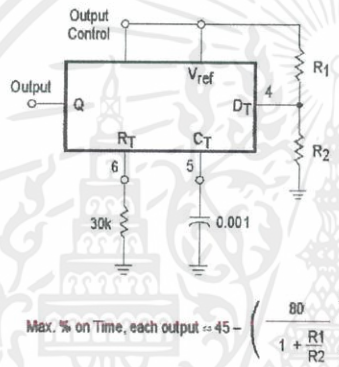


Figure 16. Soft-Start Circuit

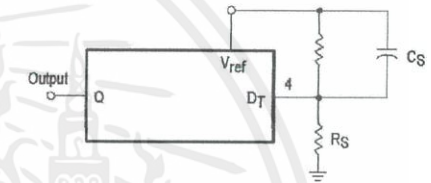
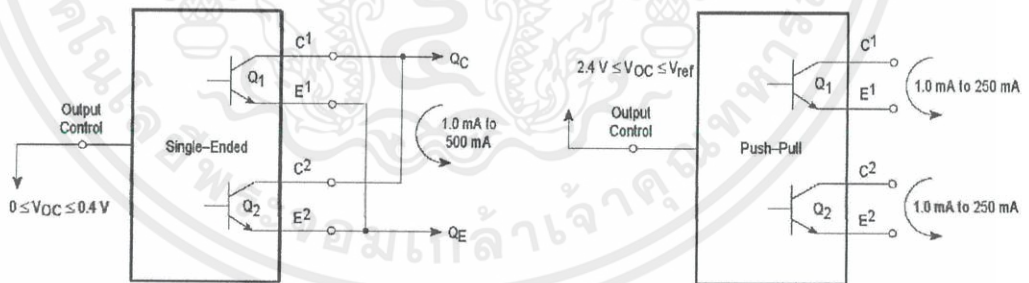


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL494**

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

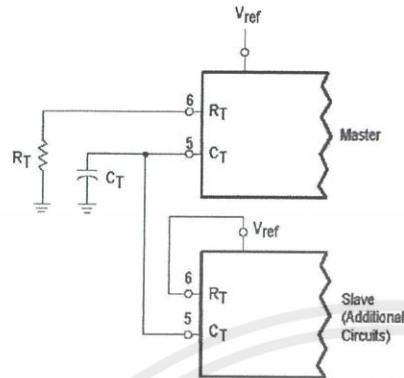


Figure 19. Operation with  $V_{in} > 40V$  Using External Zener

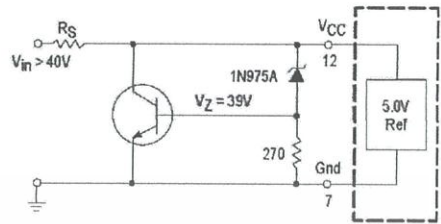
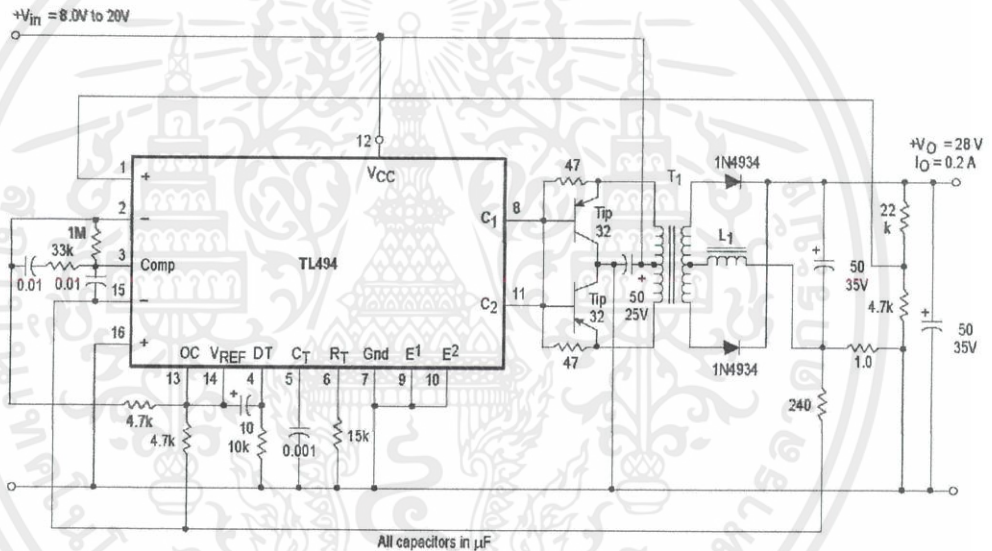


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter



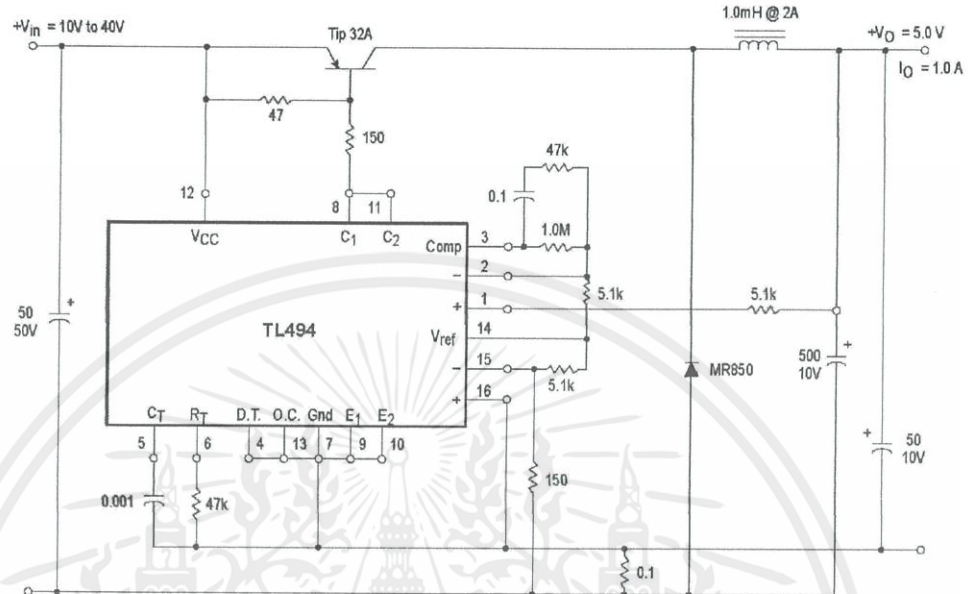
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10V$ to $40V$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28V$ , $I_O = 1.0mA$ to $1.0A$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28V$ , $I_O = 1.0A$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28V$ , $R_L = 0.1\Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28V$ , $I_O = 1.0A$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A  
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG  
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG  
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL494**

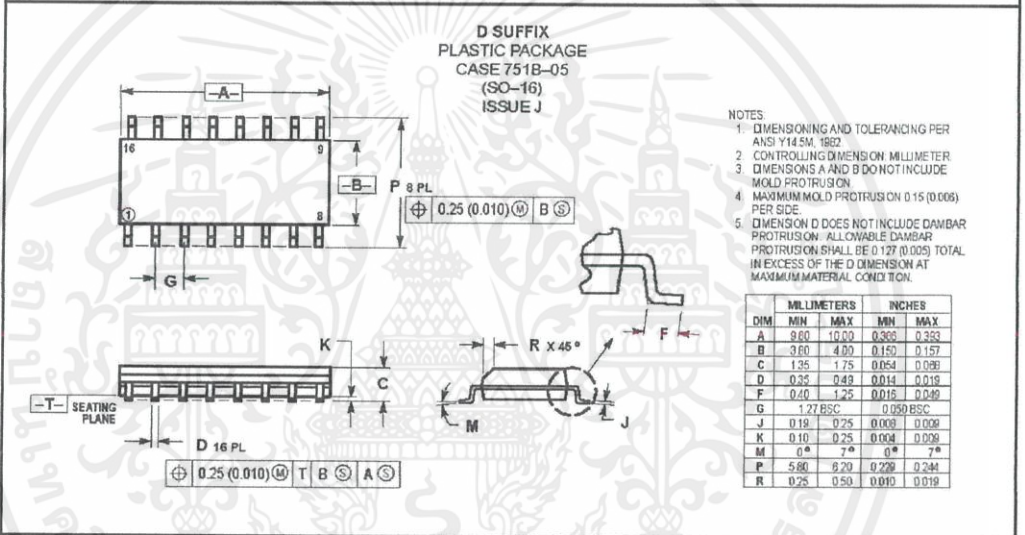
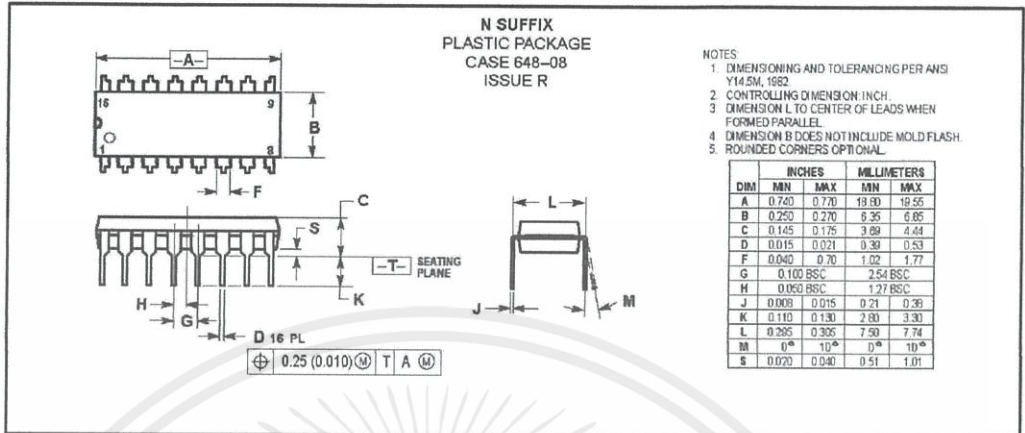
Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**TL494**  
**OUTLINE DIMENSIONS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL494



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

## How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



◇

TL494/D



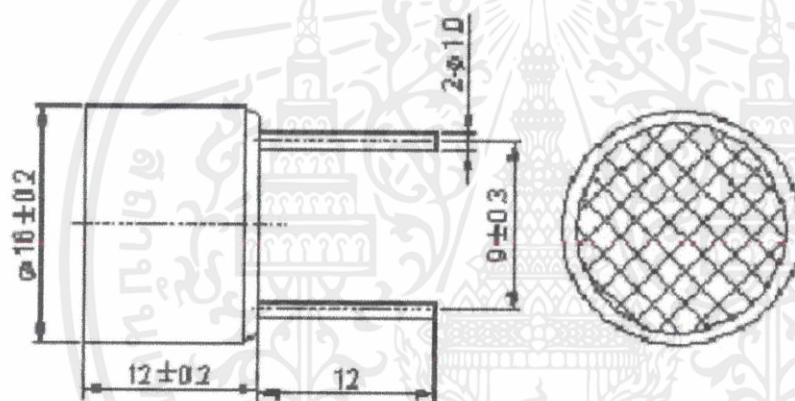
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16mm, 40kHz ultrasonic sensor (open type)

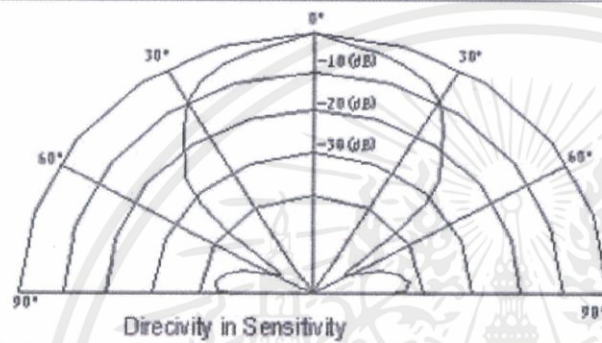
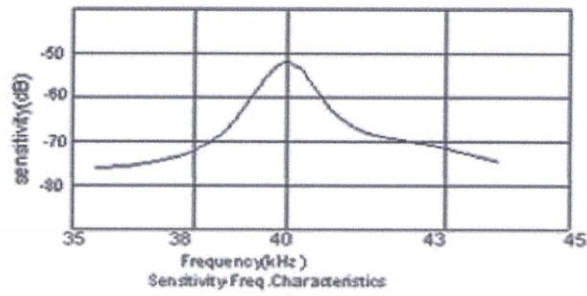
### SPECIFICATION:

No.	Item	Unit	Specification	Condition
1	Center Frequency	KHz	40±1	
2	Free Capacitance	pF	2500±25%	at 1KHz
3	Min. Sound Pressure level	dB	≥110	10Vrms/30cm
4	Sensitivity	dB	≥-70dB	
5	Material		Aluminum	
6	Operating temp	°C	-40°C~+85°C	
7	Storage temp	°C	-40°C~+85°C	
8	Dimension	mm	16*12	See appearance drawing
9	Weight	g	1.0	

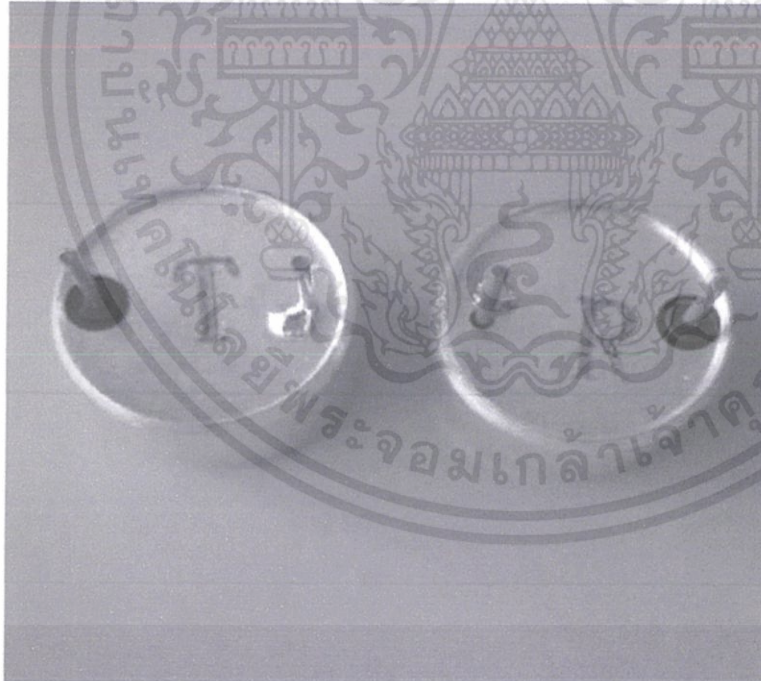
### APPEARANCE DRAWING:



## INPUT VOLTAGE/S.P.L CHARACTERISTICS



Product picture:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้