

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงที่มีการจัดวางตัวเรดิเอเตอร์แบบเส้นตรงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟส

Line array radiator acoustic beam steering using phase adjuster



โดย
นายดำรงเกียรติ สุขยิ่ง เลขประจำตัว 45015233
นายสมภพ ผดุงสันต์ เลขประจำตัว 45015233

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61886
วัน,เดือน,ปี 24 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงที่มีการจัดวางตัวเรติเคเตอร์แบบเส้นตรงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟส

Line array radiator acoustic beam steering using phase adjuster



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงที่มีการจัดวางตัวเรดิเอเตอร์แบบเส้นตรงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟส

ผู้จัดทำ

1. นาย ดำรงค์เกียรติ สุขยิ่ง รหัส 45015233
2. นาย สมภพ ผดุงสันต์ รหัส 45015257



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพฑูริย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศคุณูปการ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพันธุ์
เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนแก้ไข
ข้อบกพร่องของปฏิญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา และ
ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณประโยชน์ที่พึงมีจากปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ผู้จัดทำโครงการขออุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเปลี่ยนทิศทางการลำคลื่นเสียงที่มีการจัดวางตัวเรดิเอเตอร์แบบเส้นตรงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟส

นายดำรงเกียรติ สุขยิ่ง เลขประจำตัว 45015233

นายสมภพ ผดุงสันต์ เลขประจำตัว 45015257

รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอวิธีการปรับเปลี่ยนทิศทางการลำคลื่นเสียงด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์ให้มีค่าเฟสล้าหลังกันตามลำดับ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือตัวเรดิเอเตอร์จำนวน 4 ตัว วางเรียงเป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรง มีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น วงจรเลื่อนเฟส และส่วนควบคุมการกวาดของลำคลื่น ได้แก่ สวิตช์อิมัลชันทรานซิสเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ผลการสังเคราะห์รูปแบบการกระจายคลื่นได้ลำคลื่นหลัก 8 ทิศทาง กวาดไปในระนาบอะซิมูทด้วยความเร็ว 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line Array radiator acoustic beam steering using phase adjustment

Mr.Domrongkiat Sukying 45015233

Mr.Sompop Phadungsant 45015257

Assoc.Prof.Dr.Surapan Airphaiboon (Advisor)

2547

Abstract

The thesis present the technique to steer beams of sound by shifting phase of the signal that feeds to radiator arranged in a linear array. The system consists of the important parts which is a four radiator arranged in a linear-array fashion. The distance between radiator is less than half of the wavelength. The other parts include phase shifter, beam-scanning controlled system (electronics switch) and microcontroller MCS-51. Result from synthesis is a 8 main beams scanning a azimuth plane with a frequency of 20kHz.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 คลื่นเสียง	
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง	3
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นเสียง	4
2.3 การใช้ประโยชน์จากคลื่นเสียง	6
2.4 ความสามารถในการได้ยินของมนุษย์	8
บทที่ 3 การกระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดอาร์เรย์	
3.1 หลักของฮอยเกนส์	10
3.2 พอยซอร์ส	11
3.3 อาร์เรย์ของพอยซอร์ส	12
3.4 ตัวเรดิเอเตอร์	13
3.5 อาร์เรย์ของตัวเรดิเอเตอร์	15
บทที่ 4 การออกแบบแหล่งกำเนิดและส่วนป้อนสัญญาณให้แหล่งกำเนิด	
4.1 แหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง	16
4.2 วงจรเลื่อนเฟส	16
4.3 สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์	20
4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	22
4.5 วงจรขยายสัญญาณเสียง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 5 การออกแบบส่วนการวัดรูปแบบการกระจายคลื่น	
5.1 วงจรวัดแอมพลิจูดสัญญาณเสียง	24
5.2 ฐานสำหรับวัดรูปแบบการกระจายคลื่น	27
บทที่ 6 ส่วนควบคุมทิศทางและการกวาดลำคลื่น	
6.1 การปรับเปลี่ยนของสัญญาณอินพุท	28
6.2 การควบคุมสวิทช์เลือกค่าเฟสและการกวาดลำคลื่น	29
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	
7.1 ผลการทดลองวงจรเลื่อนเฟส	32
7.2 การวัดรูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่อง	36
7.3 การวัดรูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งเรดิเอเตอร์โดยไม่มีวัสดุ มาขวางทิศทางการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์	41
7.4 รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อมีการกวาดลำคลื่น	49
บทที่ 8 สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการกวาดลำคลื่นหลัก	53
ภาคผนวก ข Data sheet	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. การเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นหลัก 8 ทิศทางที่ค่าเฟสต่าง ๆ กัน	28
2. การทำงานของสวิตช์และค่าเฟสของสัญญาณ	30



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. การแผ่กระจายของคลื่นเสียง	3
2. ความยาวคลื่น แอมพลิจูด และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น	4
3. การใช้คลื่นเหนือเสียงด้านการประมง	6
4. การสำรวจชั้นหินโดยใช้คลื่นเสียง	7
5 การตรวจครรภ์โดยใช้คลื่นเหนือเสียง	8
6. แสดงขอบเขตการได้ยิน (Auditory field)	9
7. การเลี้ยวเบนของคลื่นหน้าตรงผ่านช่องแคบเดียว	10
8. การใช้หลักของฮอยเกนส์ สร้างหน้าคลื่นใหม่	11
9. การแผ่กระจายคลื่นจากพอยซอร์ส (Point Source)	12
10. อาร์เรย์ของพอยซอร์ส	12
11. รูปแบบการกระจายคลื่นจากตัวเรดิเอเตอร์ (ก) $a < \lambda$ (ข) $a = \lambda$ (ค) $a > \lambda$	14
12. อาร์เรย์ของตัวเรดิเอเตอร์	14
13. การควบคุมเฟสของตัวเรดิเอเตอร์และทิศทางหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์	15
14. การจัดวางตัวเรดิเอเตอร์เป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรง	16
15. (ก) รูปคลื่นของแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่มีมุมต่างเฟส $\phi = -90^\circ$ (ข) วงจรเลื่อนเฟส	17
16. วงจรเลื่อนเฟสที่นำมาใช้งานจริง	18
17. การเชื่อมต่อวงจรเลื่อนเฟส	19
18. แสดงรายละเอียดและการจัดขาภายในของไอซี 4066	20
19. สวิตช์อิล็กทรอนิกส์ 4066 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ที่นำมาใช้งานจริง	20
20. การเชื่อมต่อวงจรสวิตช์อิล็กทรอนิกส์ 4066	21
21. การเชื่อมต่อ AT89C51 กับ 4066	22
22. การเชื่อมต่อวงจรขยายสัญญาณเสียง	23
23. การไปอัสคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	24
24. วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์แบบโอปแอมป์ 3 ตัว	25
25. การเชื่อมต่อวงจรขยายอินสตรูเมนต์	26
26. ฐานสำหรับใช้วัดทิศทางลำคลื่นเสียง	27
27. การทำงานของระบบควบคุมทิศทางลำคลื่นเสียง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
28. โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมทิศทางลำคลื่นเสียง	31
29. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 27°	32
30. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 54°	33
31. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 81°	33
32. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 108°	33
33. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 162°	34
34. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 216°	34
35. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 243°	34
36. สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 324°	35
37. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 1 ($\phi = 108^\circ$)	36
38. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 2 ($\phi = 81^\circ$)	37
39. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 3 ($\phi = 54^\circ$)	37
40. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 4 ($\phi = 27^\circ$)	38
41. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 5 ($\phi = -27^\circ$)	38
42. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 6 ($\phi = -54^\circ$)	39
43. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 7 ($\phi = -81^\circ$)	39
44. รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 8 ($\phi = -108^\circ$)	40
45. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 1 ($\phi = 108^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	41
46. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 2 ($\phi = 81^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	42
47. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 3 ($\phi = 54^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	43
48. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 4 ($\phi = 27^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	44
49. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 5 ($\phi = -27^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	45
50. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 6 ($\phi = -54^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	46
51. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 7 ($\phi = -81^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	47
52. รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 8 ($\phi = -108^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี	48
53. รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อลำคลื่นกวาดไปมาโดยติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่อง	49
54. รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อลำคลื่นกวาดไปมาโดยติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์โดยไม่มีวัสดุมาขวางทิศทาง การแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันคลื่นเสียงได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทั้งในงานด้านการแพทย์และวิศวกรรม โดยทางด้านการแพทย์ได้นำคลื่นเสียงมาใช้ในการตรวจวินิจฉัยภายในด้วยการนำคลื่นอัลตราซาวนด์ กวาดไปมาบนร่างกายผู้ป่วยและวิเคราะห์สัญญาณการสะท้อนกลับของคลื่นทำให้เห็นรูปที่การทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย เช่น การเต้นของหัวใจ การขยับตัวของทารกในครรภ์ เป็นต้น ส่วนทางด้านวิศวกรรมได้นำคลื่นเสียงมาใช้กับระบบการตรวจสอบภูมิศาสตร์ของท้องทะเลซึ่งเป็นประโยชน์มากสำหรับเรือเดินสมุทรในการบอกความลึกของร่องน้ำหรือการตรวจจับสิ่งกีดขวางทางเดินเรือ นอกจากนี้ยังได้นำคลื่นเสียงมาใช้งานทางด้านการบินเชิง ซึ่งงานเหล่านี้ยังประสบกับปัญหาพื้นที่ในการรับฟังที่คลื่นเสียงกระจายไปไม่ถึง ทำให้ผู้ฟังไม่สามารถได้ยินเสียงจากผู้พูดอย่างชัดเจน โดยทั่วไปพื้นที่เหล่านี้จะอยู่ในมุมที่กว้างออกไปจากกึ่งกลางของลำโพง การบังคับทิศทางลำคลื่นเสียงจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเหล่านี้

โครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงให้เบนไปในทิศทางที่ต้องการด้วยการวางลำโพงเรียงกันเป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรงและปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ลำโพงแต่ละตัวให้ล่าหลังกันตามลำดับ เมื่อได้ข้อมูลในการปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณและมุมในการเบนของทิศทางลำคลื่นเสียงแล้ว จึงทำการออกแบบระบบในการควบคุมทิศทางลำคลื่นเสียงให้กวาดไปมาด้วยความถี่ 20 kHz

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียง
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างระบบปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียงโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนเฟส
2. การปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียงโดยใช้การจัดวางตัวเรดิเอเตอร์เป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรงที่ระยะห่างของตัวเรดิเอเตอร์เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีในการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียง
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสัญญาณอินพุตกับทิศทางของลำคลื่นเสียง
3. สร้างระบบสำหรับใช้ควบคุมทิศทางของลำคลื่นเสียงให้สมแกนไปมาโดยอัตโนมัติ
4. วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเหมาะสมในการจัดรูปแบบของการปรับเปลี่ยนเฟสเพื่อบังคับทิศทางของลำคลื่นเสียง
2. ทราบถึงแนวทางในการนำวิธีการปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียงไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

คลื่นเสียง

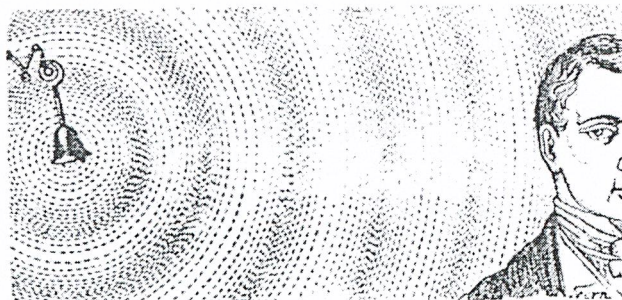
ในบทนี้จะกล่าวถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นเสียงในทางฟิสิกส์ การใช้ประโยชน์จากคลื่นเสียง รวมถึงความสามารถในการได้ยินของมนุษย์

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว สามารถเดินทางผ่านไปมาของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ อนุภาคของสสารที่คลื่นเดินทางผ่านจะสั่นในแนวเดียวกับการแผ่ของคลื่น ระบบประสาทหูและสมองของมนุษย์สามารถรับฟังคลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20 kHz ช่วงความถี่ของคลื่นเสียงที่มนุษย์ฟังได้ยินเรียกว่า “ ออดิเบิล ” (audible) คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วง ออดิเบิล เรียกว่า “ คลื่นใต้เสียง ” (Infrasonic wave) และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าช่วงออดิเบิล เรียกว่า “ คลื่นเหนือเสียง ” (Ultrasonic wave)

โดยปกติคลื่นใต้เสียงเกิดจากต้นกำเนิดที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียงเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับคลื่นที่มีความถี่สูงมาก ๆ คือ คลื่นเหนือเสียง อาจเกิดจากการสั่นแบบยืดหยุ่นของผลึกควอตซ์ ซึ่งเกิดการสั่นพ้องกับสนามไฟฟ้ากระแสสลับที่ใส่เข้าไป ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Piezoelectric effect ด้วยวิธีนี้เราสามารถทำคลื่นเหนือเสียงให้มีความถี่สูงถึง 6×10^8 Hz

คลื่นออดิเบิลอาจเกิดจากการสั่นของเครื่องดนตรีชนิดต่าง ๆ หรือ จากเสียงพูดของมนุษย์ การสั่นเหล่านี้ทำให้เกิดความดันของอากาศที่อยู่รอบ ๆ เปลี่ยนแปลง ซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นกำเนิดของคลื่น ตัวอย่างเช่น เมื่อเคาะกระดิ่งจะมีการสั่นของโมเลกุลของกระดิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศรอบ ๆ จึงเกิดคลื่นออกมาโดยรอบกระดิ่ง เราจะได้ยินเสียงก็ต่อเมื่อคลื่นนี้กระทบกับประสาทหูของเรา ดังรูปที่ 1 คล้ายกับคลื่นน้ำเมื่อเราโยนก้อนหินลงไปในน้ำ เรียกว่า การแผ่กระจายของคลื่นเสียง (Sound propagation)



รูปที่ 1 การแผ่กระจายของคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบมีคาบ หรือจะเกิดจากคลื่นแบบมีคาบหลายคลื่นรวมกันจะสามารถทำให้เกิดเสียงไพเราะน่าฟัง (ถ้าความเข้มของเสียงไม่สูงจนเกินไป) ตัวอย่างเช่น เสียงดนตรี เป็นต้น สำหรับเสียงซึ่งมีรูปร่างคลื่นไม่เป็นแบบมีคาบ ได้แก่ เสียงรบกวน (noise) เสียงรบกวนสามารถแทนด้วยคลื่นแบบมีคาบจำนวนมากรวมกัน

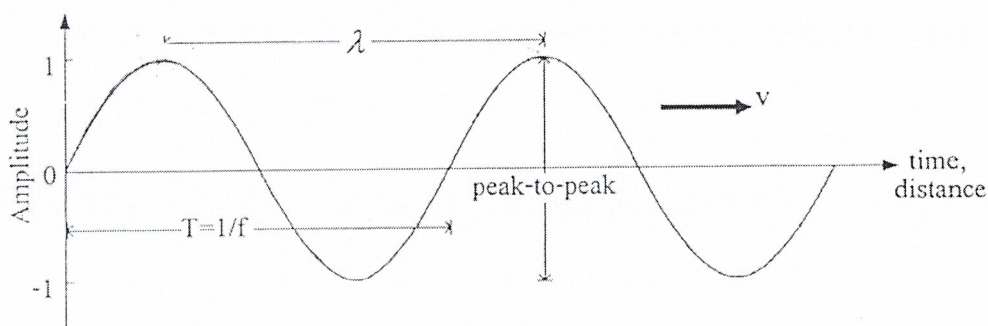
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงที่เราได้ยินนั้นไม่ว่าจะเป็นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงใด ส่วนใหญ่จะเป็นเสียงที่ซับซ้อนที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงที่มีความถี่และระดับความดันเสียงต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ในการศึกษาเรื่องฟิสิกส์ของคลื่นเสียง เราอธิบายเป็นสมการคณิตศาสตร์ให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นในรูปแบบของคลื่นรูปไซน์ เช่น การเคาะส้อมเสียง หรือความสั่นสะเทือนของโมเลกุลของอากาศที่มาจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศโดยรอบ เป็นส่วนอัดส่วนขยาย เรียกว่า ความดันเสียง เคลื่อนที่ส่งผ่านโมเลกุลของตัวกลางไปยังผู้รับเสียง

พารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่จะอธิบายธรรมชาติของการสั่นของโมเลกุลอากาศ จากการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศ หรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในตัวกลาง ผ่านกระบวนการได้ยินของมนุษย์นั้นรับรู้ความรู้สึกของเสียงนั้น มีอยู่ 2 พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความถี่ของเสียง และความยาวคลื่นเสียง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ทิศทางการแผ่กระจายของเสียง และเวลาที่เสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้รับเสียง

โดยทั่วไปคลื่นมีองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้

1. ความถี่ (Frequency ; f) หมายถึง จำนวนรอบที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ ในหนึ่งหน่วยเวลา ในระบบ SI มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที การเคลื่อนที่ของความดันอากาศ หรือการเคลื่อนที่ของลูกสูบในท่อเกิดปรากฏการณ์ส่วนอัดส่วนขยายเดินไปตามท่อ ซึ่งนำมาเขียนกราฟระหว่างแอมพลิจูดกับเวลา หรือแอมพลิจูดกับระยะทาง จะได้กราฟคลื่นรูปไซน์ (Sine wave) ดังรูปที่ 2 จำนวนรอบการเกิดส่วนอัดส่วนขยายเราเรียกว่า ความถี่ของคลื่น



รูปที่ 2 ความยาวคลื่น แอมพลิจูด และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความยาวคลื่น (Wave length ; λ) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในขณะที่อนุภาคต้นครบ 1 รอบ ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตร จากกราฟของการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงระหว่างแอมพลิจูดกับระยะทาง ความยาวคลื่นเสียง คือระยะทางจากยอดคลื่นหนึ่งถึงยอดคลื่นหนึ่ง หรือระยะทางของการเกิดคลื่น 1 คลื่น

3. อัตราเร็วของคลื่น (Speed ; v) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา และเนื่องจากขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่ง เฟสของคลื่นก็เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกว่า อัตราเร็วเฟส (Phase Speed) ของคลื่น ในระบบ SI มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียง เราก็จะหาได้โดยตรงจากการบันทึกเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิด ซึ่งเรารู้ตำแหน่งหรือระยะทางที่อยู่ห่างจากเราอย่างถูกต้องแน่นอน แล้วคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นเสียง จากระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เราพบว่าความดันปกติและที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเสียงในอากาศประมาณ 331 เมตร/วินาที อัตราเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณ 0.6 เมตร/วินาที ทุก ๆ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศาเซลเซียส โดยเขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$v(t) = 331 + 0.6(t) \quad (2.1)$$

เมื่อ $v(t)$ = อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (m/s)

t = อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}C$)

ถ้าเราทราบค่าความถี่ และความยาวคลื่นเสียงแล้ว เราสามารถหาอัตราเร็วคลื่นเสียงได้อีกวิธีหนึ่ง โดยใช้สมการความสัมพันธ์คือ

$$v = \lambda f \quad (2.2)$$

เมื่อ v = อัตราเร็วคลื่นเสียง (m/s)

λ = ความยาวคลื่น (m)

f = ความถี่ของคลื่น (Hz)

คลื่นเสียงทุกช่วงความถี่จะเคลื่อนที่ในอากาศด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน ซึ่งพิจารณาความจริงข้อนี้ได้จากเหตุผลที่ว่า ผู้ฟังได้ยินเสียงจากเครื่องดนตรีที่มีความถี่ต่างกัน ได้พร้อมกัน นอกจากนั้นแล้วเสียงยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ โดยปกติเสียงจะเคลื่อนที่ในของแข็งได้ดีกว่าของเหลว และในของเหลวได้ดีกว่าก๊าซ และปรากฏว่าเสียงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในสุญญากาศ

4. คาบการเคลื่อนที่ (Period ; T) หมายถึง เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ครบ 1 รอบในระบบ SI มีหน่วยเป็นวินาที (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. มุมเฟส (Phases Angle ; ϕ) หมายถึง มุมที่ใช้กำหนดตำแหน่งของคลื่นขณะที่เคลื่อนที่ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian ; rad)

6. แอมพลิจูด (Amplitude) หมายถึง การกระจัดสูงสุดของการสั่นของอนุภาค ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตร (m)

2.3 การใช้ประโยชน์จากคลื่นเสียง

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาการบินและหาอาหารของค้างคาวบางชนิด พบว่าค้างคาวส่วนใหญ่สามารถหาทิศทางการบิน หรือหาอาหารในตอนกลางคืนได้ โดยค้างคาวจะส่งคลื่นเหนือเสียงออกไปกระทบกับสิ่งกีดขวางและสะท้อนกลับมายังหูของค้างคาว ทำให้ค้างคาวสามารถรู้ตำแหน่งสิ่งกีดขวางและบินไปไหนมาไหนได้โดยไม่ชนสิ่งกีดขวาง รวมทั้งค้างคาวยังสามารถใช้วิธีการเดียวกันนี้ในการตรวจสอบตำแหน่งของสิ่งที่ป็นอาหารอีกด้วย

จากการศึกษาธรรมชาติและสมบัติของเสียง นักวิทยาศาสตร์ได้นำความรู้ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้หลายด้านด้วยกัน ดังนี้

ด้านการประมง

เรือประมงใช้เครื่องโซนาร์ (Sound Navigation Ranging ; SONAR) หาตำแหน่งของฝูงปลา เช่นเดียวกับการหาอาหารของค้างคาว เครื่องโซนาร์ของเรือประมงจะส่งคลื่นเหนือเสียงออกไปเป็นจังหวะ ๆ เมื่อคลื่นเสียงดังกล่าวกระทบกับฝูงปลา จะสะท้อนกลับมายังเรือ แบะสัญญาณเสียงที่ได้รับนี้จะถูกส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้า ผ่านเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณซึ่งจะบอกช่วงห่างของเวลาระหว่างสัญญาณเสียงที่ส่งออกกับสัญญาณเสียงสะท้อนที่กลับมายังเรือ และแปลงช่วงเวลานี้เป็นระยะห่างของวัตถุที่สะท้อน โดยจะแสดงผลออกมาทางจอรูปที่ ทำให้ทราบตำแหน่งของฝูงปลาได้ นอกจากนี้ยังใช้คลื่นเสียงสื่อสารระหว่างเรือด้วยกันอีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องโซนาร์จะใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ในช่วง 20 – 100 kHz

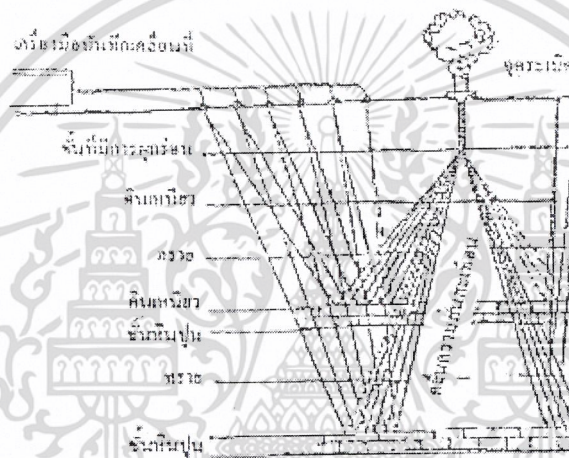


รูปที่ 3 การใช้คลื่นเหนือเสียงด้านการประมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านธรณีวิทยา

การสำรวจแหล่งแร่ด้วยการวิเคราะห์ชั้นหินต่าง ๆ โดยการส่งคลื่นเสียงที่มีพลังงานสูงซึ่งได้จากการทำให้เกิดการระเบิดบริเวณพื้นผิวโลก คลื่นเสียงที่เกิดจากการระเบิดจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นต่าง ๆ ของเปลือกโลกลงไป เปลือกโลกจะประกอบด้วยชั้นหินที่มีลักษณะและพื้นผิวที่ต่างกัน ทำให้คลื่นที่สะท้อนจากแต่ละชั้นของเปลือกโลกมีลักษณะต่างกันไป คลื่นเสียงสะท้อนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า เข้าสู่อุปกรณ์วิเคราะห์ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเป็นข้อมูลหนึ่งของการศึกษาลักษณะชั้นหินต่าง ๆ ได้ผิวโลก



รูปที่ 4 การสำรวจชั้นหินโดยใช้คลื่นเสียง

ด้านการแพทย์

ในด้านการแพทย์ได้นำคลื่นเสียงมาใช้ในการตรวจอวัยวะภายในของเราเพื่อวินิจฉัยสาเหตุของความผิดปกติ เช่น ตรวจการทำงานของลิ้นหัวใจ ตรวจมดลูก ตรวจครรภ์ ตรวจเนื้องอก ตับ ม้าม และสมอง เพราะคลื่นเหนือเสียงสามารถสะท้อนที่รอยต่อระหว่างชั้นของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ดีกว่ารังสีเอกซ์ (X - Rays) มาก คลื่นเหนือเสียงที่ใช้ในทางการแพทย์นี้เป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า มาเป็นพลังงานของคลื่นเหนือเสียงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความถี่ในช่วง 1MHz ถึง 10 MHz เมื่อคลื่นเสียงดังกล่าวผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย ไปกระทบกับเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อมีความหนาแน่นต่างกัน จะสะท้อนคลื่นได้ดีต่างกัน เครื่องรับคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเมื่อผ่านเครื่องวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลคลื่นสะท้อนจากทิศทางต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แล้วสรุปผลที่ได้ออกมาทางจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 การตรวจครรภ์โดยใช้คลื่นเหนือเสียง

ด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรม

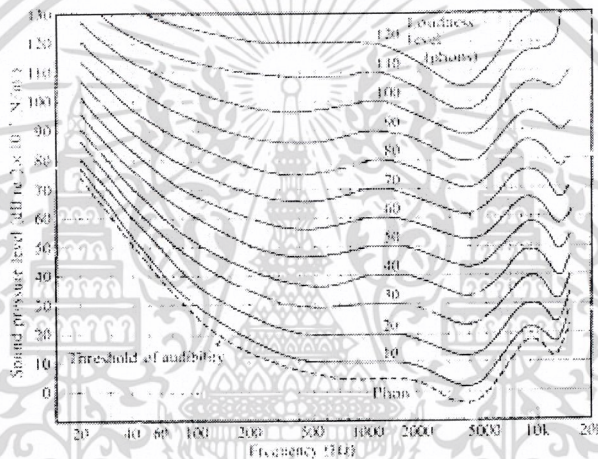
การใช้คลื่นเหนือเสียงตรวจสอบรอยร้าว หรือรอยตำหนิในเนื้อโลหะ แก้ว หรือเซรามิก โดยการส่งคลื่นเหนือเสียงในช่วงความถี่ 500 MHz ถึง 15 MHz ผ่านเข้าไปในชิ้นงาน แล้ววิเคราะห์ลักษณะของคลื่นสะท้อนกลับ หรือวิเคราะห์ลักษณะการรบกวนที่เกิดขึ้นต่อคลื่นที่ผ่านออกไป วิธีการนี้นอกจากจะใช้ตรวจสอบชิ้นงานประเภทโลหะหล่อหรือเซรามิกแล้ว ยังถูกนำไปใช้ตรวจสอบยางรถยนต์ที่ผลิตใหม่อีกด้วย เครื่องมือวัดความหนาของแผ่น โลหะ หรือวัสดุที่มีความแข็งอื่น ๆ สามารถทำได้โดยใช้คลื่นเหนือเสียง แม้ว่าจะไม่สามารถเข้าถึงอีกด้านหนึ่งของผิวหน้าแผ่น โลหะนั้นได้ เช่น การตรวจสอบความหนาของหม้อต้มน้ำความดันสูง สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเป็นต้น ส่วนในทางทหาร ใช้คลื่นเหนือเสียงในการติดต่อสื่อสารกับเรือดำน้ำ การตรวจจับการเคลื่อนไหวของเรือดำน้ำ ตอร์ปิโด ซึ่งจับตำแหน่งของเป้าด้วยคลื่นเหนือเสียง เป็นต้น

2.4 ความสามารถในการได้ยินของมนุษย์

มนุษย์ได้ยินเสียง โดยการนำคลื่นเสียงทางอากาศมาสู่เยื่อแก้วหู แล้วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า และถูกส่งต่อไปยังปลายประสาทสมองรับรู้การได้ยินจนเกิดการแปลความหมายทำให้มนุษย์เข้าใจความหมายของเสียงที่ได้ยิน การสั้นของเซลล์ขนเร็ว หรือช้าสัมพันธ์กับระดับความดันเสียงที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่เซลล์ขนแต่ละเซลล์ที่ถูกทำให้สั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ของเสียง จะเห็นได้ว่าความถี่ไม่ใช่องค์ประกอบอย่างเดียวในการอธิบาย หรือเข้าใจในเรื่องของเสียงและผลกระทบของเสียง ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การได้ยินเสียงโดยการนำเสียงทางอากาศ (Airborne conduction) การได้ยินเสียงอีกอย่างของมนุษย์ คือ การนำเสียงทางกระดูก (Bone conduction) ซึ่งจะเกิดในกรณีที่เสียงมีความถี่ต่ำกว่า 1,000 Hz ลงไป และกรณีที่มีการสั่นสะเทือนของกระดูกในกะโหลกศีรษะที่อยู่ในสภาวะปกติ เราอาจไม่ได้ยินหรือได้ยินเบามาก แต่ถ้าเราอุดหูหรือใส่อุปกรณ์ป้องกันเสียงจะได้ยินเสียงนี้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์สามารถได้ยินเสียงขึ้นอยู่กับระดับความดังเสียง (0 dB ถึง 130 dB) และ ช่วงความถี่ (20 Hz ถึง 20 kHz) ดังรูปที่ 6 ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของเซลล์ขนภายในหูชั้นใน และมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear relationship) กล่าวคือ ที่ระดับเสียงเท่ากันแต่มนุษย์จะได้ยินเป็นความดังที่ไม่เท่ากันทุกความถี่ ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามอธิบายลักษณะของการได้ยินของมนุษย์นี้ ออกมาในรูปของกราฟความสัมพันธ์เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการได้ยินของหูที่ระดับเสียงและความถี่ต่าง ๆ กัน จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 20 Hz ระดับเสียงต้องดัง 80 dB มนุษย์จึงจะเริ่มได้ยินเสียงนั้นที่ความถี่ 1,000 Hz แค่เพียง 5 dB ก็สามรถได้ยินเสียงนั้นแล้ว และมนุษย์จะมีความอ่อนไหวหรือไวต่อการได้ยินมากที่สุดที่ความถี่ 4,000 Hz



รูปที่ 6 แสดงขอบเขตการได้ยิน (Auditory field)

ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์ (Auditory field) อยู่ในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz และ 0 dB ถึง 130 dB แต่ละคนได้ยินเสียงไม่เท่ากัน บางคนอาจได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำมาก ๆ หรือ ระดับเสียงต่ำมาก ๆ เมื่อเทียบกับคนอื่น ในขณะที่บางคนอาจไม่ได้ยินเสียงที่ต่ำกว่า 25 dB ที่ความถี่ 1,000 Hz เลย ตามปกติขีดเริ่มการได้ยิน (Threshold of audibility) ของมนุษย์ในระดับความดังที่ต่ำที่สุดคือ 20 dB เมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตของเสียงดนตรี (Music field) ซึ่งมีระดับเสียงประมาณ 20 dB ถึง 90 dB ช่วงความถี่ประมาณ 50 Hz ถึง 10 kHz ขอบเขตของเสียงสนทนามนุษย์ (Human speech) จะมีระดับเสียงประมาณ 25 dB ถึง 80 dB ในช่วงความถี่ประมาณ 100 Hz ถึง 4,000 Hz และขีดเริ่มของความเจ็บปวด (Threshold of pain) ของมนุษย์ อยู่ที่ประมาณ 130 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

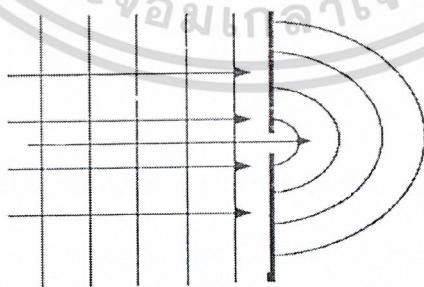
บทที่ 3

การกระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดอาร์เรย์

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักของฮอยเกนส์ แสดงให้เห็นภาพโดยรวมในการเบนของทิศทางลำคลื่น จากนั้นจึงอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบต่าง ๆ ทั้งพอยซอร์ส และตัวเรดิเอเตอร์ ซึ่งในหัวข้อ 3.3 และ 3.5 ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง เป็นการอธิบายทฤษฎีอาร์เรย์ โดยเริ่มจากการหาที่มาของอาร์เรย์แฟกเตอร์ และหลักการคุณรูปแบบการกระจายคลื่น ทั้งนี้ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทิศทางลำคลื่นหลักกับการเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นที่แพร่กระจายจากตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัว

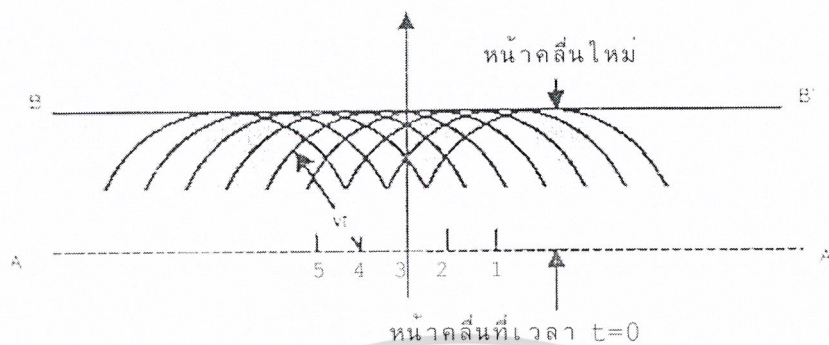
1. หลักของฮอยเกนส์ (Huygens' principle)

การเคลื่อนที่ของคลื่นอาจจะมีหน้าคลื่นเป็นวงกลมหรือแนวตรง หรือ ลักษณะใดลักษณะหนึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางหรือไม่มีการเปลี่ยนตัวกลางในการเคลื่อนที่ ในกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางในลักษณะต่าง ๆ แล้วคลื่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าคลื่นในการเคลื่อนที่ เช่น เมื่อ หน้าคลื่นตรงเคลื่อนที่ผ่านช่อง แคบ ๆ จะเกิดการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดยรูปแบบของหน้าคลื่นจะเปลี่ยนเป็นหน้าคลื่นวงกลม ดังรูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้เป็นไปตามหลักของฮอยเกนส์ที่ว่า “ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นใด ๆ อาจถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นออกไปรอบ ๆ คลื่นใหม่นี้จะมีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นเดิม” ดังนั้นถ้าทราบลักษณะของหน้าคลื่นเดิมก็จะสามารถใช้หลักการคาดเดาหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์ โดยการสร้างผิวซึ่งสัมผัสกับหน้าคลื่นใหม่ที่เป็นคลื่นเล็ก ๆ เหล่านั้น ได้



รูปที่ 7 การเลี้ยวเบนของคลื่นหน้าตรงผ่านช่องแคบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 การใช้หลักของฮอยเกนส์ สร้างหน้าคลื่นใหม่

จากรูปที่ 8 ให้คลื่นระนาบ A ที่มีหน้าคลื่นเส้นตรงเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v พิจารณาจุด 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งถือเป็นจุดกำเนิดของคลื่นเล็ก ๆ ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v เช่นกัน การหาตำแหน่งของหน้าคลื่นเมื่อเวลาผ่านไป t ทำได้โดยสร้าง วงกลมเล็ก ๆ รัศมี r ซึ่งมีค่าเท่ากับ vt โดยจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด 1, 2, 3, 4 และ 5 หน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นคือ เส้นตรงที่ลากสัมผัสกับวงกลมที่มีรัศมี vt เหล่านี้

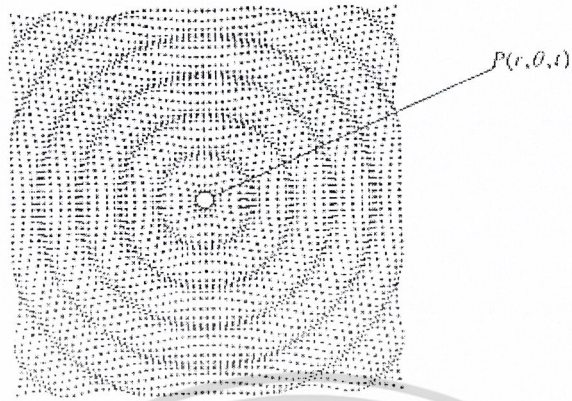
ถ้าสมมติให้แหล่งกำเนิดคลื่นเล็ก ๆ ดังกล่าว มีการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเฟสล่าหลังกันตามลำดับ หน้าคลื่นใหม่ในรูปที่ 8 จะเบนออกจากจุดกึ่งกลางของแหล่งกำเนิด ทิศทางการเคลื่อนที่ของหน้าคลื่นใหม่จากแหล่งกำเนิดคลื่นลักษณะนี้จะเป็นไปตามหลักของฮอยเกนส์ และการคำนวณทิศทางของหน้าคลื่นอธิบายได้ด้วยทฤษฎีอาร์เรย์ ดังจะได้อธิบายต่อไป

2. พอยซอร์ส (Point Source)

พอยซอร์ส หมายถึง แหล่งกำเนิดคลื่นที่สมมติขึ้นเพื่ออธิบายการแพร่กระจายคลื่นที่เคลื่อนที่ในตัวกลาง โดยให้มีลักษณะเป็นจุดกำเนิดคลื่นทรงกลมที่มีรัศมีเล็กมาก ๆ มีการแพร่กระจายคลื่นทุกทิศทาง ดังรูปที่ 9 สมการความดันคลื่นที่กระจายจากพอยซอร์สในทิศทาง r เขียนได้เป็น

$$p(r, \theta, t) = j \frac{Q\rho ck}{4\pi r} e^{j(\omega t - kr)} \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง, c คือ ความเร็วคลื่นเสียง, k คือ ค่าคงตัวของ การเคลื่อนที่ (Propagation constant) หรือเลขคลื่น (wave number) มีค่าเท่ากับ $\frac{2\pi}{\lambda}$, r คือระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดสังเกต และ Q คือ แอมพลิจูด สมการที่ (3.1) แสดงถึงความดันคลื่นจากพอยซอร์ส และเป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณหาความดันคลื่นลัพท์สำหรับอาร์เรย์แบบเส้นตรง



รูปที่ 9 การแผ่กระจายคลื่นจากพอยซอร์ส (Point Source)

3.3 อาร์เรย์ของพอยซอร์ส

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาลักษณะของการวางพอยซอร์สเป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรง ดังรูปที่ 10 มีระยะห่างระหว่างพอยซอร์สเท่ากัน เหตุที่ต้องพิจารณาถึงอาร์เรย์แบบนี้เนื่องจากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีจุดประสงค์ในการออกแบบให้มีการวางตัวเรดิโอเตอร์เรียงในแนวแกนนอน 4 ตัว ถ้าคลื่นหลักกวาดในระนาบอะซิมูท



รูปที่ 10 อาร์เรย์ของพอยซอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์เรย์ลักษณะนี้เป็นการนำพอยซอร์สมาวางเรียงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ d ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($d \leq \lambda/2$) เพื่อให้มีไซด์โลบต่ำ N คือ จำนวนพอยซอร์สในอาร์เรย์

ความดันคลื่นลัพท์จากอาร์เรย์ของพอยซอร์ส คือ

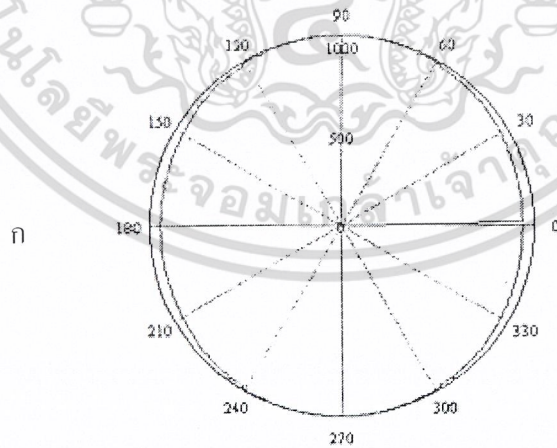
$$p(r, \theta, t) = j \frac{Q\rho ck}{4\pi r} \frac{\sin\left[\left(\frac{\phi - kd \sin \theta}{2}\right)N\right]}{\sin\left(\frac{\phi - kd \sin \theta}{2}\right)} e^{-j(N-1/2)(\phi - kd \sin \theta)} e^{j(\omega t - kr)} \quad (3.19)$$

3.4 ตัวเรดิเอเตอร์ (Radiator Source)

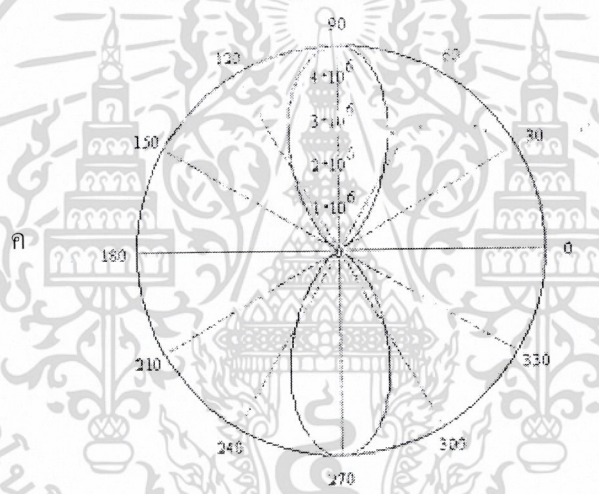
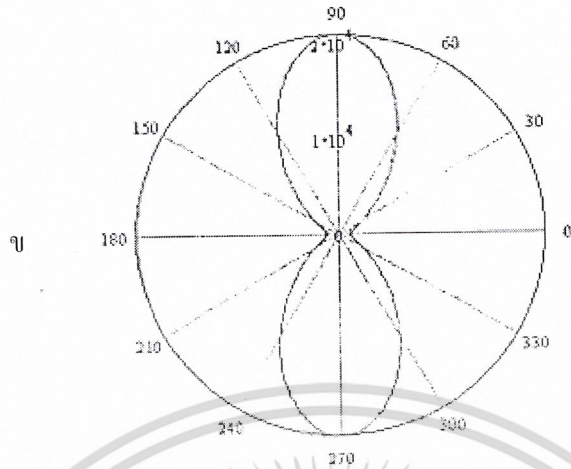
ตัวเรดิเอเตอร์ หมายถึง แหล่งกำเนิดคลื่นทรงกลมเช่นเดียวกับพอยซอร์ส แต่มีความกว้างของแหล่งกำเนิดเข้ามาพิจารณาด้วย โดยให้รัศมีของตัวเรดิเอเตอร์เท่ากับ a เหตุที่นำตัวเรดิเอเตอร์มาพิจารณาเพราะจะได้รูปแบบการกระจายคลื่นที่ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดในทางปฏิบัติมากขึ้น โดยรูปแบบการกระจายคลื่นจะเปลี่ยนไปตามรัศมี a รูปที่ 11 แสดงรูปแบบการกระจายคลื่นจากตัวเรดิเอเตอร์ที่มีค่ารัศมีต่าง ๆ กัน ส่วนความดันคลื่นที่แพร่กระจายจากตัวเรดิเอเตอร์เขียนได้เป็น

$$p(r, \theta, t) = j \frac{Q\rho ck}{4\pi r} e^{j(\omega t - kr)} \left[\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \right] \quad (3.20)$$

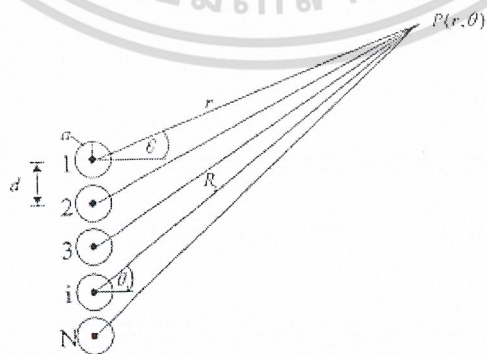
เมื่อ $J_1(ka \sin \theta)$ คือ เบสเซลฟังก์ชันชนิดที่หนึ่ง, a คือ รัศมีของตัวเรดิเอเตอร์, θ คือ มุมในการแพร่กระจายคลื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 รูปแบบการกระจายคลื่นจากตัวเรดิเอเตอร์ (ก) $a < \lambda$ (ข) $a = \lambda$ (ค) $a > \lambda$



รูปที่ 12 อาร์เรย์ของตัวเรดิเอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

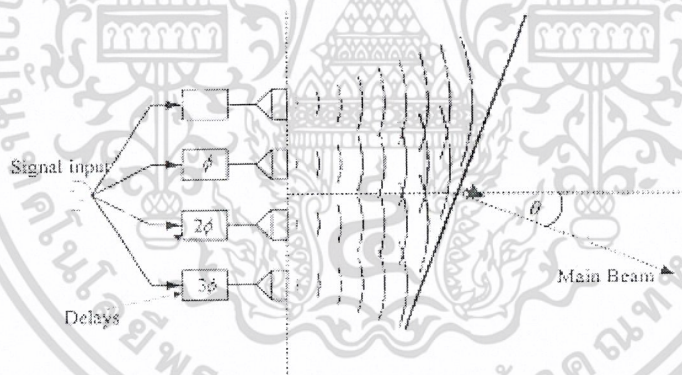
3.5 อาร์เรย์ของตัวเรดิเอเตอร์

อาร์เรย์ของตัวเรดิเอเตอร์มีลักษณะคล้ายกับอาร์เรย์ของพอยซอร์ส แต่นำตัวเรดิเอเตอร์ มาจัดวางเป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรงแทนพอยซอร์สแสดงดังรูปที่ 12

ความดันคลื่นลัพท์ที่กระจายจากอาร์เรย์นี้สามารถหาได้โดยตรงจากหลักการคูณรูปแบบการกระจายคลื่น กล่าวคือเป็นการคูณกันระหว่างการกระจายคลื่นจากตัวเรดิเอเตอร์ตัวเดียวกับอาร์เรย์แฟคเตอร์

$$p(r, \theta, t) = j \frac{Q\rho ck}{4\pi r} \left[\frac{2J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \right] e^{-j((N-1)/2)(\phi - kd \sin \theta)} e^{j(\omega t - kr)} \times \frac{\sin \left[\left(\frac{\phi - kd \sin \theta}{2} \right) N \right]}{\sin \left(\frac{\phi - kd \sin \theta}{2} \right)} \quad (3.21)$$

จากสมการที่ (3.19) และ (3.21) ถ้าเรากำหนดให้เรดิเอเตอร์มีคุณสมบัติการกระจายคลื่นที่เหมือนกันทุกประการ และมีระยะห่างที่เท่ากันดังกล่าวไว้ข้างต้น จะสามารถปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นหลักได้ตามต้องการ ด้วยการควบคุมค่าเฟสของเรดิเอเตอร์ให้ล่าหลังกันตามลำดับ โดยลำคลื่นหลักจะเบนไปเป็นมุม θ จากกึ่งกลางของอาร์เรย์ แสดงดังรูปที่ 13



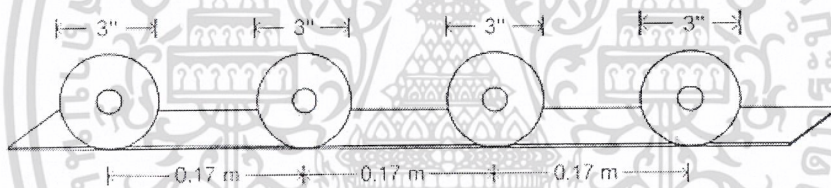
รูปที่ 13 การควบคุมเฟสของตัวเรดิเอเตอร์และทิศทางหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์

บทที่ 4

การออกแบบแหล่งกำเนิดและส่วนป้อนสัญญาณให้แหล่งกำเนิด

4.1 แหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง

สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงการคำนวณและออกแบบแหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง เริ่มจากตัวเรดิเอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ลำโพงแบบกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 8 โอห์ม จากนั้นจึงนำตัวเรดิเอเตอร์มาวางเรียงกันเป็นเส้นตรง ให้ระยะห่างระหว่างตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัว มีระยะห่างเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($d = \lambda / 2$) โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของตัวเรดิเอเตอร์ถึงจุดกึ่งกลางของเรดิเอเตอร์ตัวถัดไป และผู้ทำโครงการได้กำหนดให้ระยะห่าง d เท่ากับ 0.17 เมตร ดังนั้นจึงคำนวณค่าความยาวคลื่น λ เท่ากับ 0.34 เมตร และคำนวณความถี่ของสัญญาณไซน์ที่ป้อนให้กับตัวเรดิเอเตอร์ได้จากสมการอัตราเร็วคลื่นเสียงในอากาศ ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 27°C จะได้ค่าความถี่ที่ใช้เท่ากับ 1 kHz สำหรับ โครงสร้างแสดงการจัดวางตัวเรดิเอเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 14 โดยใช้ตัวเรดิเอเตอร์จำนวน 4 ตัว ติดไว้กับแผ่นไม้



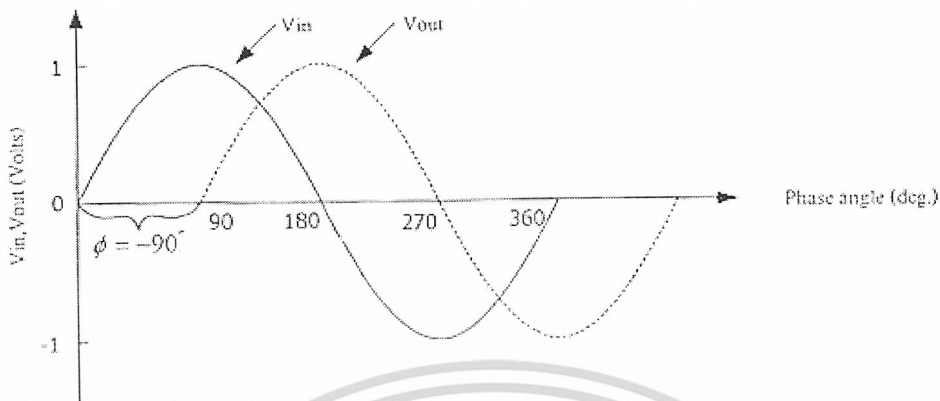
รูปที่ 14 การจัดวางตัวเรดิเอเตอร์เป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรง

4.2 วงจรเลื่อนเฟส

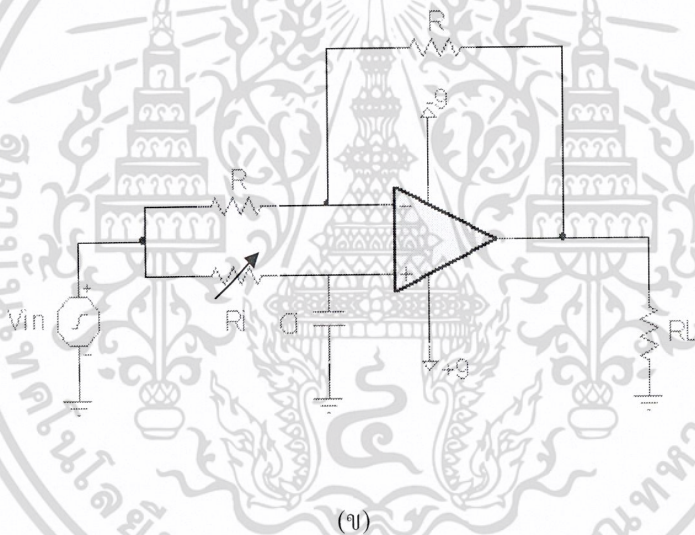
วงจรเลื่อนเฟสคือวงจรซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณ โดยไม่ทำให้รูปร่างและขนาดของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่จะเลื่อนเฟสของสัญญาณเอาท์พุทให้มีมุมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุทของวงจรเป็นมุม ϕ (phase angle) หรือเขียนได้เป็น $\angle -\phi$ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อป้อนสัญญาณไซน์ที่มีขนาดและความถี่ของสัญญาณ V_p และความถี่เท่ากับ 1 kHz ให้กับวงจรเลื่อนเฟส ดังรูปที่ 15 (ก) แรงดันเอาท์พุทของวงจรจะมีขนาดและความถี่ของสัญญาณเท่าเดิมแต่จะมีเฟสของสัญญาณล่าหลัง (lag) สัญญาณอินพุทเป็นมุมเท่ากับ 90° หรือเขียนได้เป็น

$$V_{out} = V_{in} \angle -90^\circ \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 15 (ก) รูปคลื่นของแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่มีมุมต่างเฟส $\phi = -90^\circ$

(ข) วงจรเลื่อนเฟส โดยใช้ ไอซีเบอร์ LM 741

ดังนั้นวงจรเลื่อนเฟสดังรูปที่ 15 (ข) จึงสามารถเขียนอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้คือ

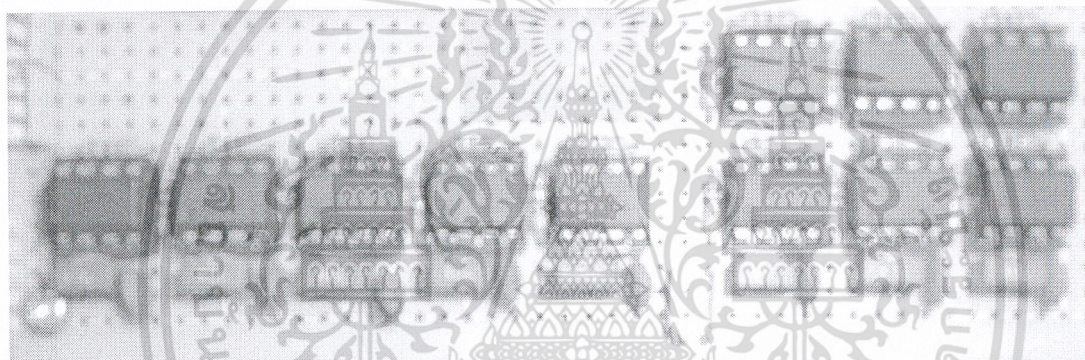
$$V_{out} = V_{in} \angle -\phi \quad (4.1)$$

โดยที่ ϕ คือ มุมต่างเฟสของวงจรซึ่งมีค่าเท่ากับ

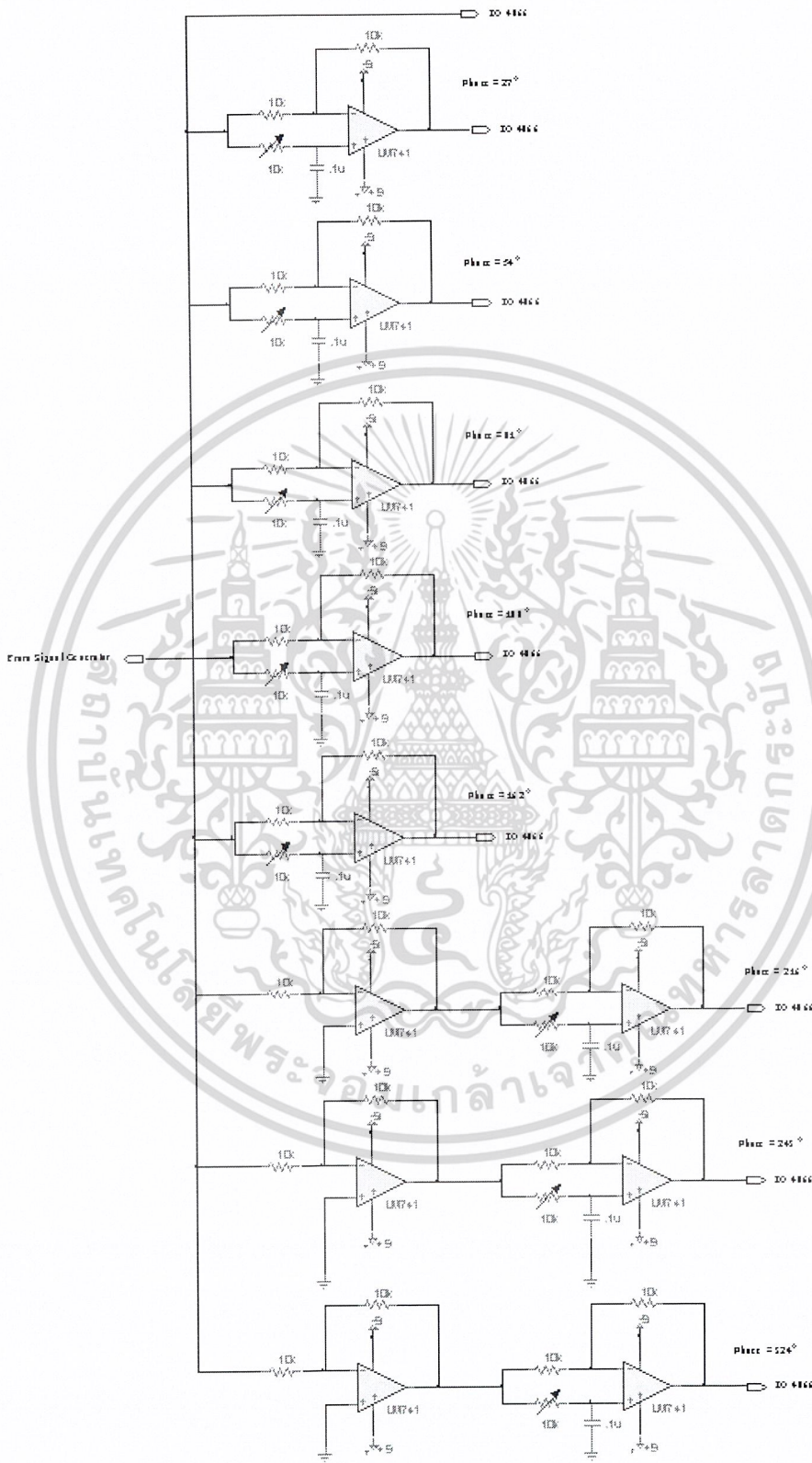
$$\phi = 2 \tan^{-1} (2\pi f R_i C_i) \quad (4.2)$$

การทดลองนี้ได้ใช้ค่าเฟสลาหลังของสัญญาณ 8 ค่า ดังนั้นจึงใช้วงจรเลื่อนเฟสจำนวน 8 วงจร แต่แต่ละวงจรจะถูกกำหนดให้มีค่าเฟสแตกต่างกันไปคือ 27° , 54° , 81° , 108° , 162° , 216° , 243° และ 324° เนื่องจากวงจรเลื่อนเฟสสามารถเลื่อนเฟสของสัญญาณให้มีค่ามากที่สุดได้ประมาณ 180° แต่มีค่าเฟสอยู่ 3 ค่าที่เกิน 180° คือ 216° , 243° และ 324° เพื่อให้ได้ค่าเฟสเหล่านี้จึงต้องใช้วงจรขยายแบบกลับเฟสที่มีกำลังขยายเท่ากับ 1 มาต่อร่วมกับวงจรเลื่อนเฟส โดยวงจรขยายแบบกลับเฟสจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสของสัญญาณไป 180° ส่วนค่าเฟสที่เหลือจะใช้วงจรเลื่อนเฟสมาทำหน้าที่ ตัวอย่างเช่น ค่าเฟส 216° จะใช้วงจรเลื่อนเฟสเลื่อนเฟสไป $216^\circ - 180^\circ = 36^\circ$

ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเลื่อนเฟสผู้ทำโครงงานเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ C_i เท่ากับ $0.1 \mu F$ และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ $10 k\Omega$ เพื่อปรับค่าความต้านทานให้ได้ค่าเฟสที่ต้องการ



รูปที่ 16 วงจรเลื่อนเฟสที่นำมาใช้งานจริง

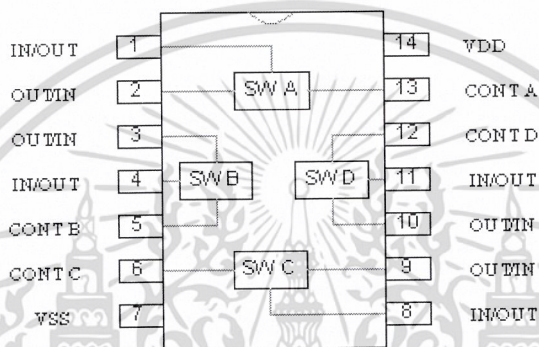


รูปที่ 17 การเชื่อมต่อวงจรเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ 4066

การทดลองนี้ได้ใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นไอซีชนิดซีเอ็มอส (CMOS) เบอร์ 4066 ภายในประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว นำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง คือ สวิตช์แต่ละตัวยอมให้สัญญาณผ่านในทิศทางใดก็ได้ การเปิดปิดสวิตช์ถูกกระตุ้นด้วยขาคควบคุมซึ่งมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สวิตช์แต่ละตัวขณะเปิดวงจรจะมีความต้านทานสูงมาก แต่ขณะสวิตช์ปิดวงจรจะมีความต้านทานประมาณ 90 Ω รูปที่ 18 แสดงรายละเอียดภายในและการจัดขาของไอซีเบอร์ 4066



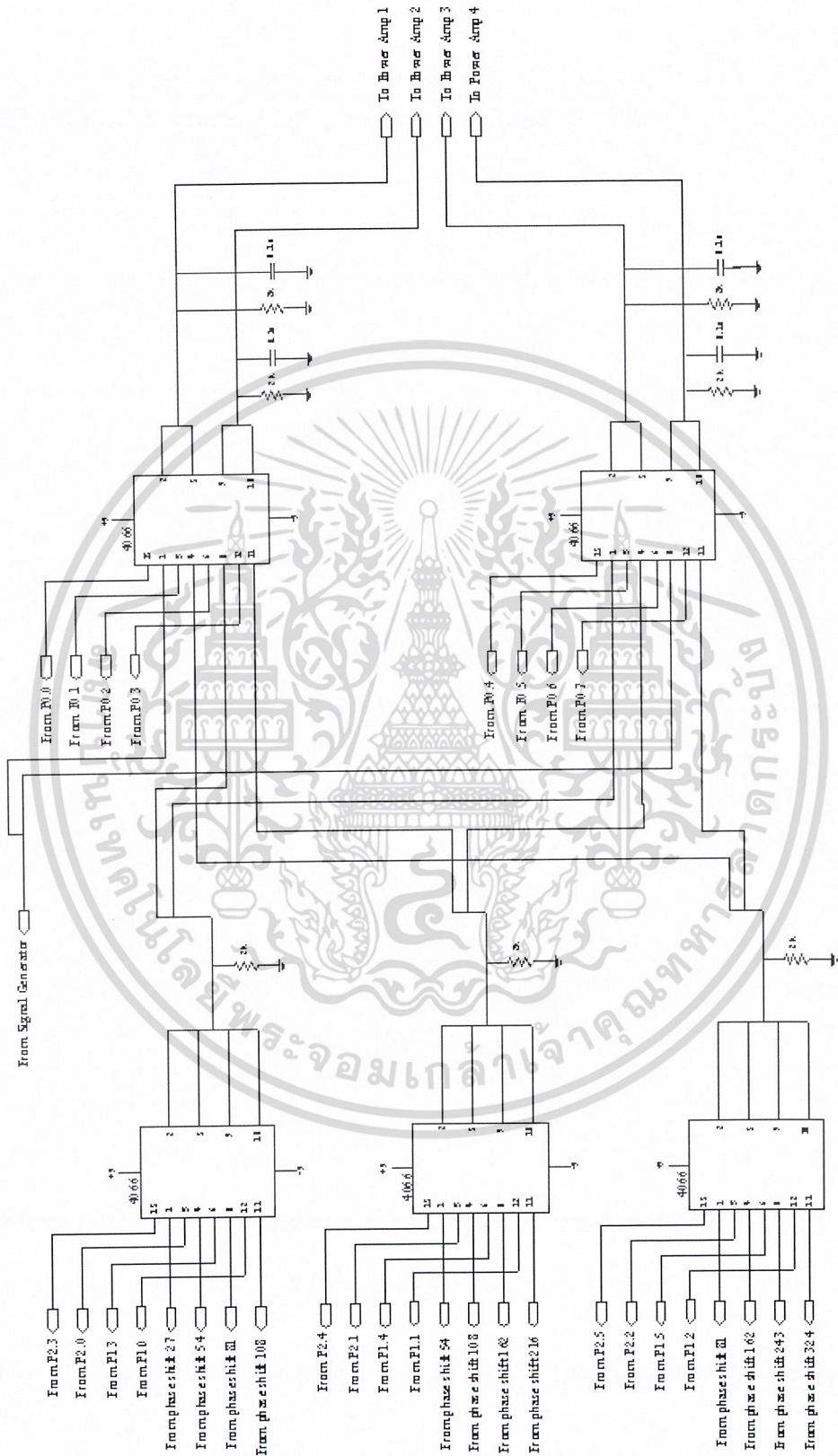
รูปที่ 18 แสดงรายละเอียดและการจัดขาภายในของไอซี 4066

สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์นี้ ทำหน้าที่ในการเลือกสัญญาณที่มีค่าเฟสต่าง ๆ ที่ใช้งานและส่งต่อไปยังวงจรเพาเวอร์แอมป์ โดยใช้ไอซีจำนวน 5 ตัว (20 สวิตช์) ขาคควบคุมของไอซีต่อกับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขารับสัญญาณอินพุตแต่ละขาจะรับสัญญาณค่าเฟสต่าง ๆ จากวงจรเลื่อนเฟส



รูปที่ 19 สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ 4066 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ที่นำมาใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



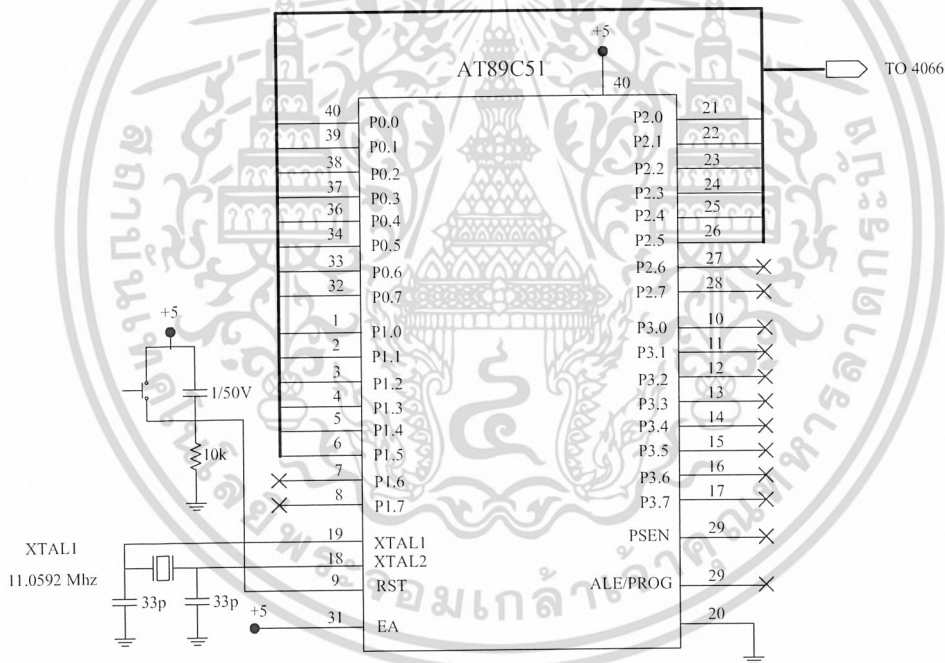
รูปที่ 20 การเชื่อมต่อวงจรสวิตช์อเนกประสงค์ 4066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดลองนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C51 เนื่องจากมีพอร์ตถึง 4 พอร์ต (P0 , P1 , P2 และ P3) ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานและราคาถูกเมื่อเทียบกับเบอร์อื่น ๆ AT89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 bit มีหน่วยความจำแบบแฟลชอยู่ภายในขนาด 4 kbyte ที่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พีซีทำการลบและเขียนโปรแกรมได้โดยตรง เรียกว่า “ซิสเต็มโปรแกรมมิ่ง” โดยสามารถโปรแกรมได้อีกเป็นพันครั้ง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ให้เปิดปิดเพื่อเลือกใช้สัญญาณที่ค่าเฟสต่าง ๆ กันและยังทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการกวาดของลำคลื่น ด้วยการเขียนโปรแกรมหน่วงเวลาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 21

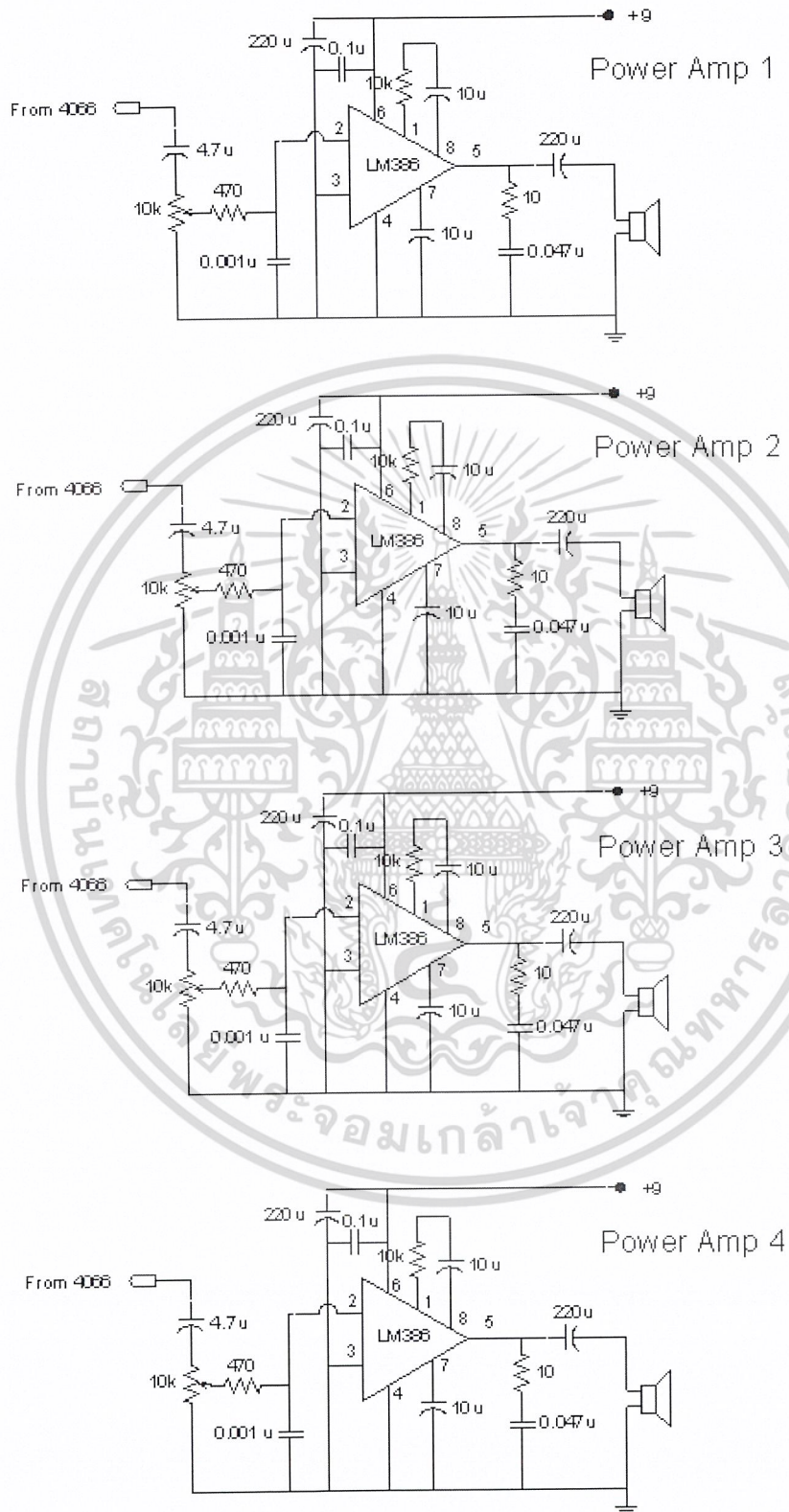


รูปที่ 21 การเชื่อมต่อ AT89C51 กับ 4066

4.5 วงจรขยายสัญญาณเสียง (Power Amplifier)

วงจรถยายสัญญาณเสียงทำหน้าที่ขยายและป้อนสัญญาณค่าเฟสต่าง ๆ กันให้กับตัวเรดิเอเตอร์ การทดลองนี้ใช้ตัวเรดิเอเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งจะใช่วงจรขยายสัญญาณเสียง 1 วงจรต่อตัวเรดิเอเตอร์ 1 ตัว ผู้ทำโครงการนได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ LM386 ซึ่งเป็นออปแอมป์มาใช้ในการขยายสัญญาณเสียง การเชื่อมต่อวงจรถยายสัญญาณเสียงแสดงไว้ในรูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 การเชื่อมต่อวงจรขยายสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบส่วนการวัดรูปแบบการกระจายคลื่น

ส่วนการวัดรูปแบบการกระจายคลื่นในปริภูมิตวินพจน์ฉบับนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรวัดแอมพลิจูดสัญญาณเสียง และส่วนของฐานสำหรับวัดรูปแบบการกระจายคลื่น

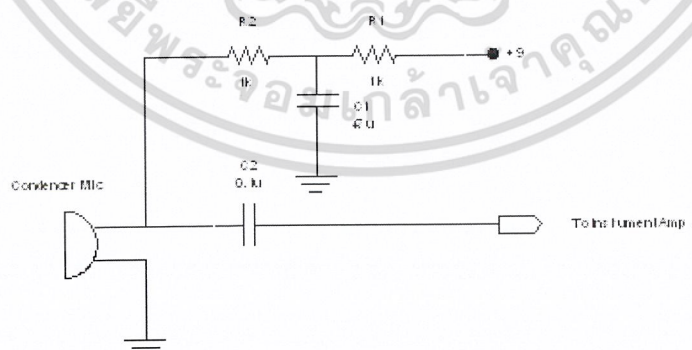
5.1 วงจรวัดแอมพลิจูดสัญญาณเสียง

ในส่วนของวงจรวัดแอมพลิจูดสัญญาณเสียงประกอบด้วยส่วนของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone) และส่วนของวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ (Instrument Amplifier) โดยคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง จากนั้นจึงส่งสัญญาณต่อไปยังวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ เพื่อลดสัญญาณรบกวนและขยายสัญญาณเสียง โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

5.1.1 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ทำหน้าที่ใช้วัดความดันเสียง ซึ่งหมายถึงเอาต์พุตซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะได้สัดส่วนโดยตรงกับความดันของเสียง ที่มากระทำต่อไดอะเฟรม ส่วนประกอบที่สำคัญของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน คือ มีไดอะเฟรมที่ทำด้วยโลหะบางติดกับแผ่นโลหะหนาที่มีฉนวนกันไว้

การใช้งานคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนโดยทั่ว ๆ ไป จะมีการไบอัสด้วยไฟฟ้ากระแสตรงและมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อร่วมกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 การไบอัสคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

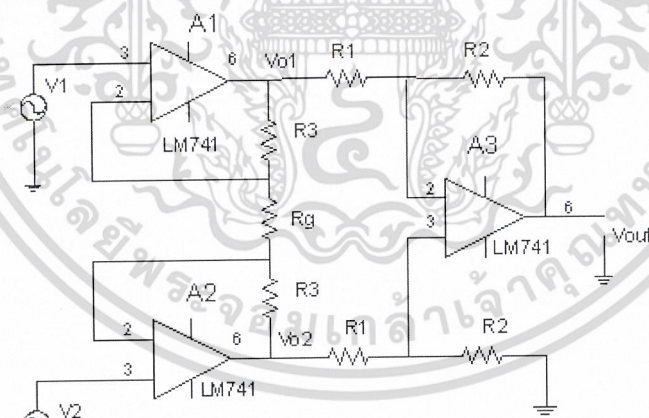
5.1.2 วงจรขยายอินสตรูเมนต์

วงจรขยายอินสตรูเมนต์ (Instrument Amplifier) หรืออาจเรียกย่อ ๆ ว่า วงจร IA นั้นเป็นวงจรทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุตทั้งสองของวงจร ซึ่งพัฒนามาจากหลักการของวงจรขยายสัญญาณผลต่างพื้นฐาน (Difference Amplifier) เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของวงจรให้ดีขึ้น โดยแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการที่ (5.1) ดังนี้ คือ

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \tag{5.1}$$

โดยที่ A คือ อัตราขยายสัญญาณ (Gain) ของวงจร วงจร IA ซึ่งถูกปรับปรุงขึ้นนี้มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายสัญญาณผลต่างพื้นฐาน คือ มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) อัตราขยายสัญญาณของวงจรและความสามารถในการขจัดสัญญาณรบกวน (Common Mode Rejection Ratio, CMRR) สูงมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของวงจร IA ให้ผลใกล้เคียงกับวงจรขยายสัญญาณผลต่างในทางอุดมคติมากที่สุดวงจรหนึ่ง

วงจรขยายอินสตรูเมนต์แบบใช้โอปแอมป์ (Op Amp) 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 24 โดยที่โอปแอมป์ A_1 และ A_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรภาคอินพุตส่วนหน้า (First stage หรือ Input stage) ขณะที่โอปแอมป์ A_3 จะเป็นวงจรภาคเอาต์พุตส่วนที่สอง (Second stage หรือ Output stage) ของวงจร ถ้าให้ V_{o1} และ V_{o2} เป็นแรงดันเอาต์พุตของ A_1 และ A_2 ตามลำดับ



รูปที่ 24 วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์แบบใช้โอปแอมป์ 3 ตัว

ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตของ A_3 หรือแรงดันเอาต์พุตของวงจร V_{out} มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}(V_{02} - V_{01}) \tag{5.2}$$

และเนื่องจากคุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_3 และ R_G มีค่าเท่ากัน ($I_{R_3} = I_{R_G}$) ซึ่งจากกฎของโอห์มจะได้

$$V_{01} - V_{02} = (2R_3 + R_G)I_{R_G} \tag{5.3}$$

เมื่อ $V_1 = 0$ แล้ว กระแสที่ไหลผ่าน R_G มีค่าเท่ากับ

$$I_{R_G} = \frac{V_1 - V_2}{R_G} \tag{5.4}$$

แทนค่าสมการ (5.4) ลงในสมการ (5.3) และ (5.2) จะได้

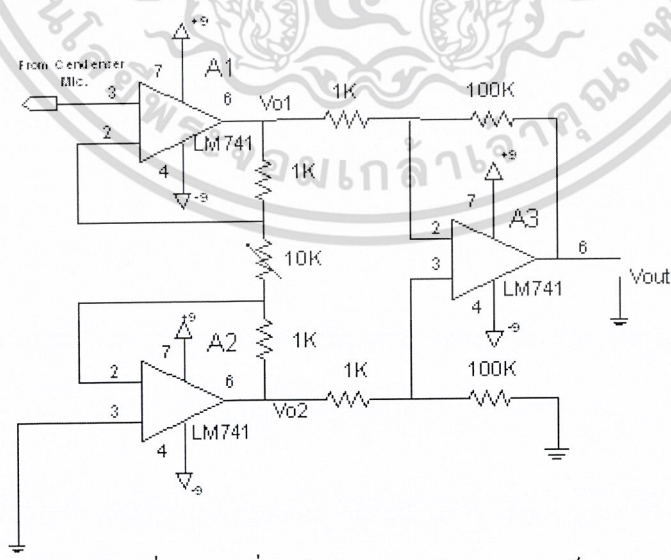
$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \tag{5.5ก}$$

โดยที่

$$A = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right) \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \tag{5.5ข}$$

เนื่องจากแรงดันอินพุต V_1 และ V_2 ของวงจรมันถูกป้อนโดยตรงเข้าทางขาอินพุตไม่กลับเฟสของออปแอมป์จึงทำให้วงจร IA นี้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรสูงมาก (ประมาณเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์นั่นเอง) นอกจากนี้อัตราขยายสัญญาณ A ของวงจรสามารถปรับค่าได้อย่างสะดวกและอิสระด้วยการปรับค่าของ R_g

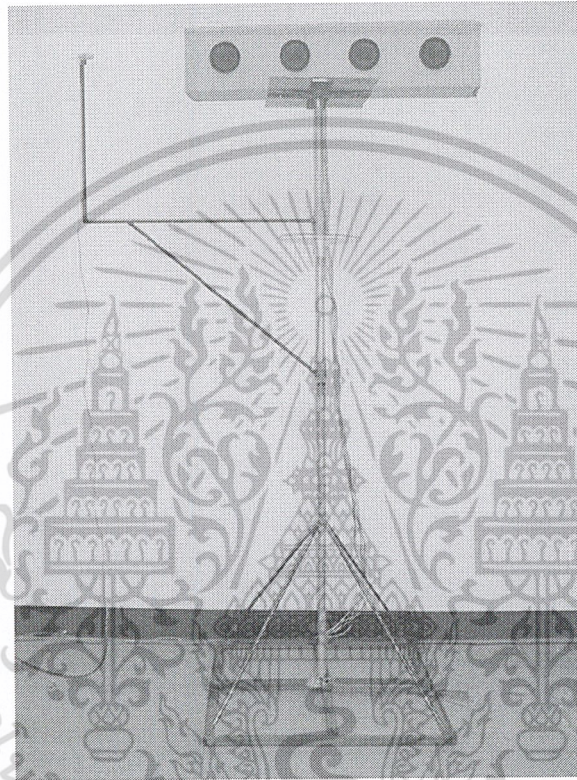
ในการวิเคราะห์แบบการกระจายของคลื่นเสียงผู้ทำโครงการฯ ได้เลือกใช้วงจรขยายอินสตรูเมนต์ ดังรูปที่ 25 และสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร จะนำมาพล็อตกราฟเป็นผลการทดลอง



รูปที่ 25 การเชื่อมต่อวงจรขยายอินสตรูเมนต์

5.2 ฐานสำหรับวัดรูปแบบการกระจายคลื่น

อุปกรณ์ชิ้นนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับวัดรูปแบบการกระจายคลื่นรอบ ๆ แหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง ดังรูปที่ 26 มีคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนติดตั้งอยู่กับแขนความยาว 1 เมตร หมุนได้รอบ 360 องศา เพื่อวัดรูปแบบการกระจายคลื่นรอบ ๆ แหล่งกำเนิด



รูปที่ 26 ฐานสำหรับใช้วัดทิศทางลำคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ส่วนควบคุมทิศทางและกวาดลำคลื่น

บทนี้จะกล่าวถึงเงื่อนไขในการกำหนดค่าเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้ตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัว ให้สัมพันธ์กับทิศทางของลำคลื่นหลัก โดยหัวข้อ 6.1 จะกล่าวถึงการปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุต และหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงการควบคุมสวิทช์ เลือกค่าเฟส การกวาดของลำคลื่น การทำงานโดยรวมของระบบและโพลีชาร์ตอธิบายการทำงานของโปรแกรม

6.1 การปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุต

การปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นหลัก ทำได้ด้วยการกำหนดค่าเฟสของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์ที่วางเรียงเป็นอาร์เรย์ ให้มีค่าเฟสต่างกันตามลำดับ ในปฏิญานิพนธ์นี้ได้ใช้ตัวเรดิเอเตอร์จำนวน 4 ตัว เงื่อนไขในการกำหนดค่าเฟสของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัว จึงเป็น $0, \phi, 2\phi$ และ 3ϕ ตามลำดับ โดยลำคลื่นหลักเปลี่ยนไปได้ 8 ทิศทาง ดังแสดงให้เห็นด้วยตาราง 1 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของการคำนวณ จากสมการ

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\phi}{kd} \quad (3.14)$$

เมื่อระยะห่างระหว่างตัวเรดิเอเตอร์ $d = 0.5\lambda$ และ $k = 2\pi/\lambda$ จะได้ความสัมพันธ์ใหม่ดังนี้คือ

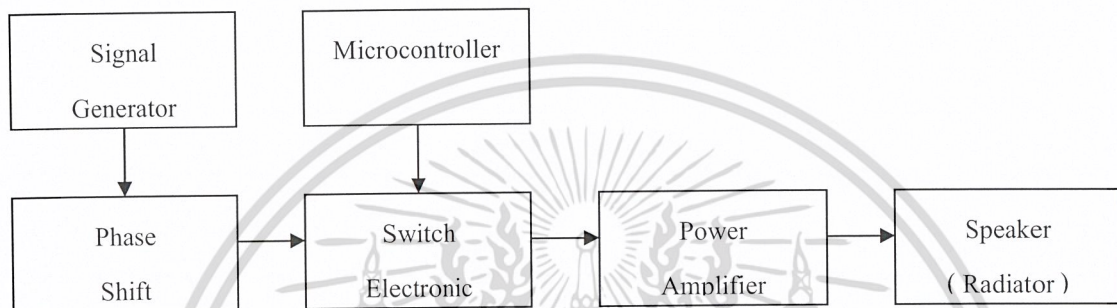
$$\theta = \sin^{-1} \frac{\phi}{180} \quad (6.1)$$

ทิศทางที่	ϕ°	θ°
1	108	36.87
2	81	26.74
3	54	17.46
4	27	8.63
5	-27	-8.63 (351.37)
6	-54	-17.46 (342.54)
7	-81	-26.74 (333.26)
8	-108	-36.87 (326.13)

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นหลัก 8 ทิศทาง ที่ค่าเฟสต่าง ๆ

6.2 การควบคุมสวิทซ์เลือกค่าเฟสและการกวาดลำคลื่น

การออกแบบระบบควบคุมทิศทางของลำคลื่นเสียง สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวควบคุมลำคลื่นเสียงให้สแกนไปมาโดยอัตโนมัติ (Automatic) สามารถควบคุมความถี่ในการเปลี่ยนทิศทางโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และสวิทซ์อิเล็กทรอนิกส์ 4066 ในการปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับตัวเรดิเอเตอร์ การทำงานของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 25



รูปที่ 27 การทำงานของระบบควบคุมทิศทางลำคลื่นเสียง

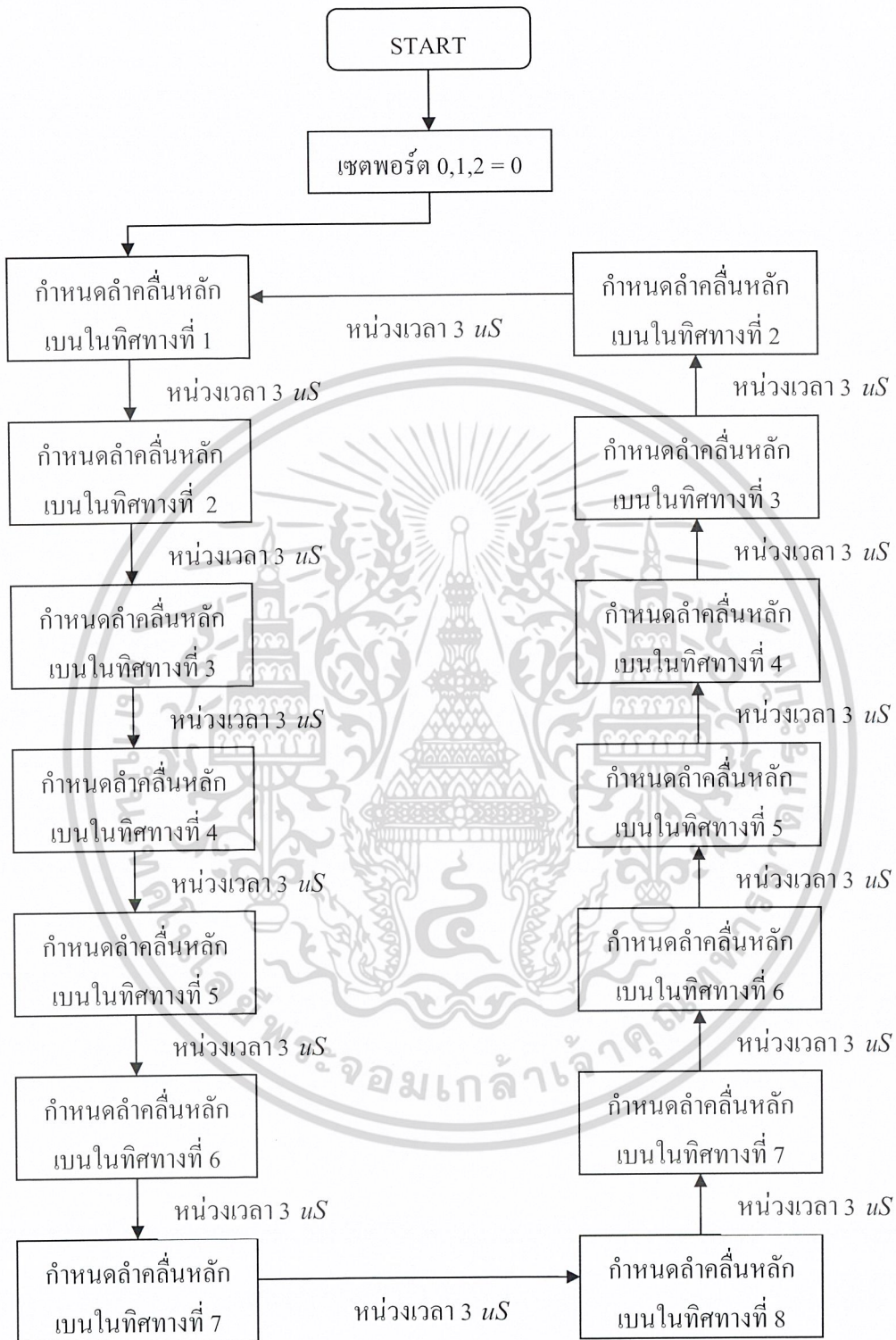
เมื่อสัญญาณถูกส่งเข้าวงจรเลื่อนเฟส เฟสของสัญญาณจะล่าหลังกันเป็นมุมต่างๆ ตามที่กำหนดไว้จากชุดของวงจรเลื่อนเฟส จากนั้นสัญญาณที่เฟสต่างๆ กันจะเข้าไปยังวงจรขยายสัญญาณเสียง เพื่อเข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์ โดยมีสวิทซ์อิเล็กทรอนิกส์ 4066 ที่ได้รับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 เป็นตัวเลือกสัญญาณจากชุดของวงจรเลื่อนเฟสว่าจะใช้สัญญาณที่มีความต่างเฟสเท่าใดในการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียง

ทิศทางการที่	สวิตช์ที่ใช้งาน	เฟสของสัญญาณที่เข้าตัวเรกติเอเตอร์ (องศา)			
		ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3	ตัวที่ 4
1	P1.0,P1.1,P1.2, P0.0,P0.2,P0.5,P0.7	0	108	216	324
2	P1.3,P1.4,P1.5, P0.0,P0.2,P0.5,P0.7	0	81	162	243
3	P0.2,P2.1,P2.2, P0.0,P0.2,P0.5,P0.7	0	54	108	162
4	P2.3,P2.4,P2.5, P0.0,P0.2,P0.5,P0.7	0	27	54	81
5	P2.3,P2.4,P2.5, P0.1,P0.3,P0.4,P0.6	81	54	27	0
6	P2.0,P2.1,P2.2, P0.1,P0.3,P0.4,P0.6	162	108	54	0
7	P1.3,P1.4,P1.5, P0.1,P0.3,P0.4,P0.6	243	162	81	0
8	P1.0,P1.1,P1.2, P0.1,P0.3,P0.4,P0.6	324	216	108	0

ตารางที่ 2 การทำงานของสวิตช์และค่าเฟสของสัญญาณ

การพิจารณาเลือกใช้ค่าเฟสในปริภูมิพหุคูณฉบับนี้ คำนวณได้จากจำนวนตัวเรกติเอเตอร์และทิศทางการที่ล้าคลื่นเบนไป โดยมีเงื่อนไขว่าค่าเฟสของสัญญาณที่เข้าสู่ตัวเรกติเอเตอร์มีค่า $0, \phi, 2\phi$ และ 3ϕ ดังกล่าวไว้แล้วตอนต้น สำหรับค่าเฟสที่เข้าสู่ตัวเรกติเอเตอร์ตัวสุดท้ายคือ 3ϕ ต้องมีค่าไม่เกิน 360° ซึ่งถ้าค่าเฟสนี้เข้าใกล้ 360° มากขึ้นก็จะทำให้เกิดไซด์โพลบเพิ่มมากขึ้น จากตาราง 2 จะเห็นได้ว่าในทิศทางการที่ 4 และ 5 มีค่าเฟสเริ่มต้นเท่ากับ 27 องศา ส่วนในทิศทางการที่ 1 และ 8 มีค่าเฟสของสัญญาณที่เข้าสู่ตัวเรกติเอเตอร์ตัวสุดท้ายเท่ากับ 324°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 28 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมทิศทางลำคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

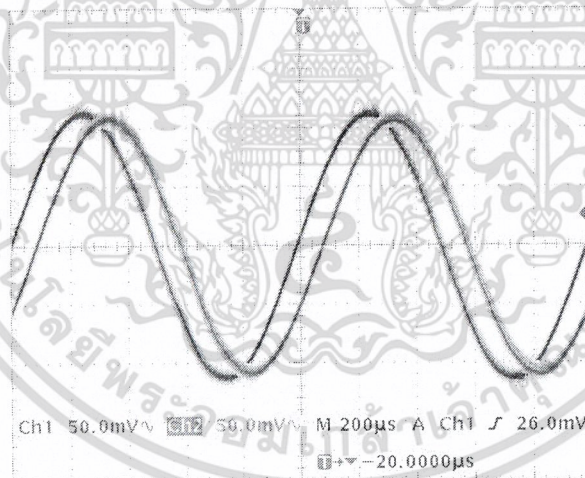
บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

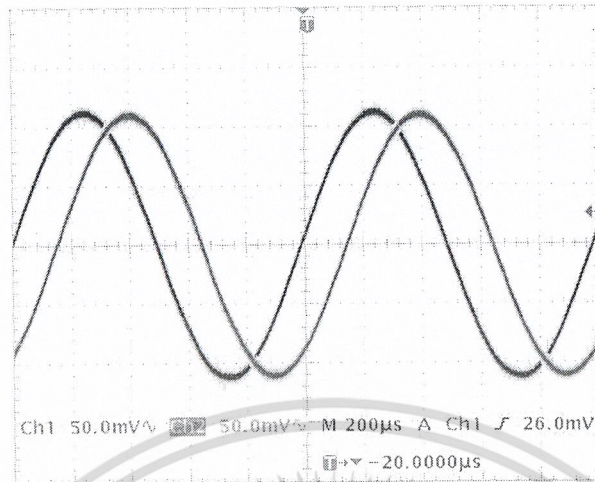
จากการออกแบบสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ในบทที่ 4 ได้นำมารวมกันเป็นแหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรง โดยในขั้นตอนนี้ จะควบคุมทิศทางของลำคลื่นหลักด้วยการป้อนสัญญาณไซน์ที่เฟสต่าง ๆ กัน ให้กับเรดิเอเตอร์ทีละครั้ง แล้วทดลองวัดรูปแบบการกระจายคลื่นรอบ ๆ แหล่งกำเนิด

7.1 ผลการทดสอบวงจรเลื่อนเฟส

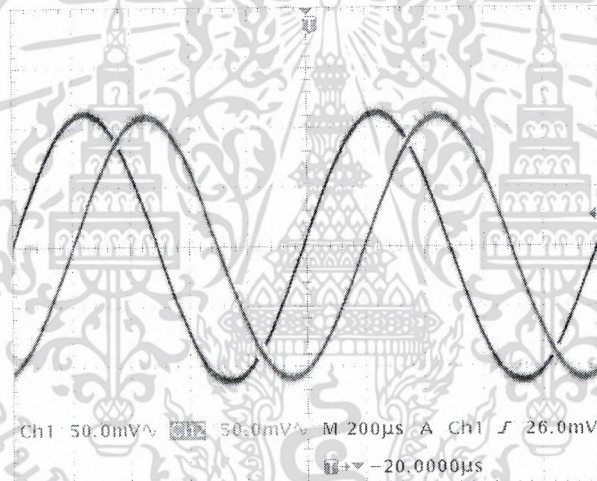
ในการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดอาร์เรย์แบบเส้นตรงนี้ วงจรเลื่อนเฟสถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญ เพราะถ้าขาดวงจรเลื่อนเฟสแล้วการกวาดลำคลื่นหลักก็จะไม่เกิดขึ้น ในการทดสอบนี้ ได้ป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 kHz ซึ่งเป็นความถี่เดียวกับสัญญาณที่เข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์ ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบได้ใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แสดงผลความต่างเฟสของสัญญาณ ทั้งนี้ได้แสดงผลของเฟสที่เลื่อนไปเป็นมุมต่าง ๆ เอาไว้ในรูปที่ 29-36



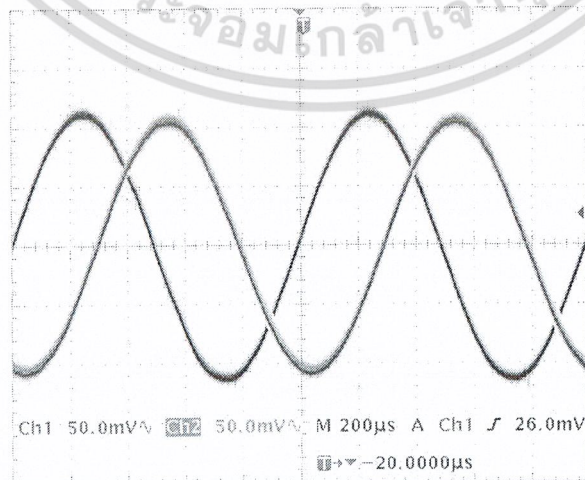
รูปที่ 29 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 27°



รูปที่ 30 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 54°

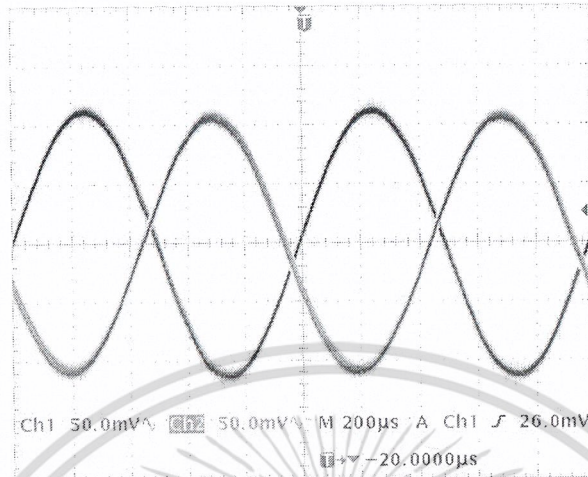


รูปที่ 31 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 81°

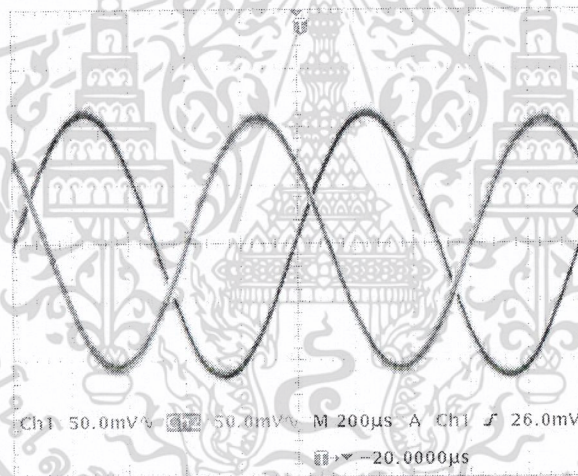


รูปที่ 32 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 108°

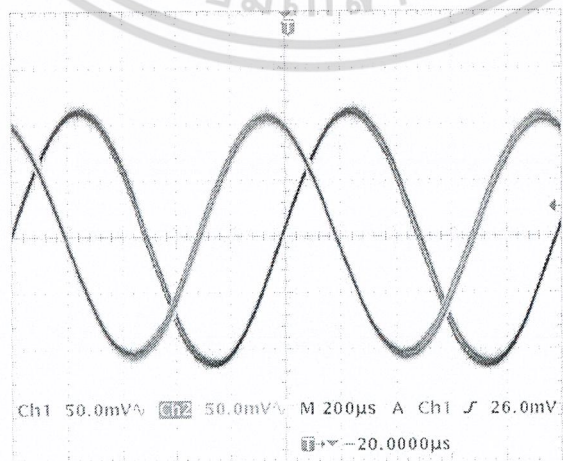
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 162°

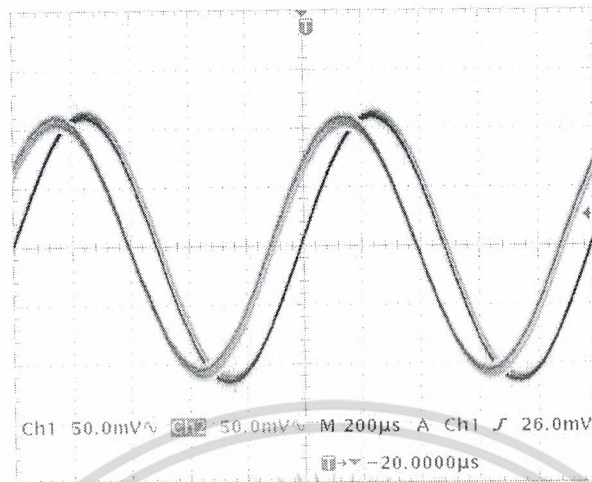


รูปที่ 34 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 216°



รูปที่ 35 สัญญาณไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 243°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 36 สัญญาณ ไซน์เมื่อกำหนดให้มีความต่างเฟสกันเท่ากับ 324°



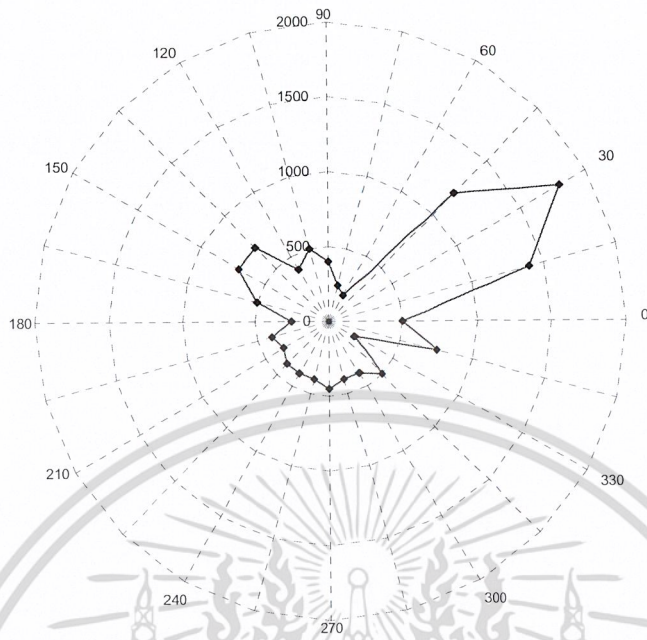
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่อง

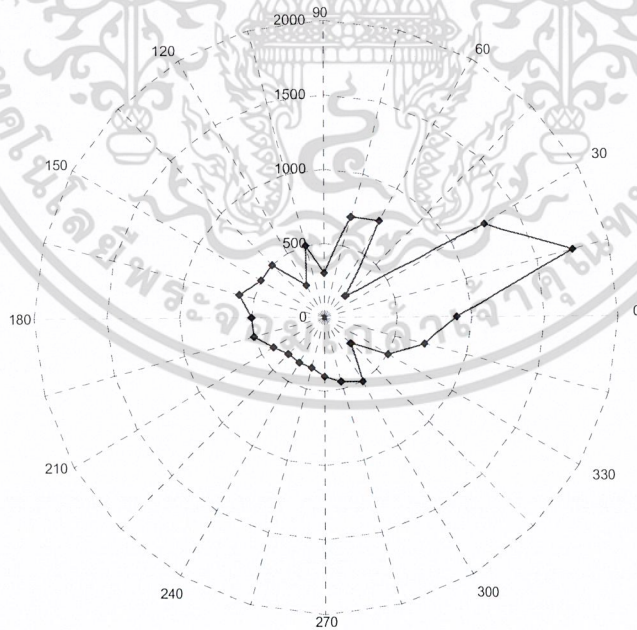
การทดลองนี้เบื้องต้นผู้ทำโครงการได้นำตัวเรดิเอเตอร์มาติดตั้งไว้กับกล่องกระดาษ เพื่อป้องกันคลื่นที่แพร่กระจายจากทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์ เคลื่อนที่มาแทรกสอดกับคลื่นที่แพร่กระจายออกทางด้านหน้าตัวเรดิเอเตอร์ เนื่องจากตัวเรดิเอเตอร์ที่นำมาใช้มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นได้ดีทางด้านหน้า ดังนั้นลำคลื่นหลักควรอยู่ทางด้านหน้าของอาร์เรย์ การนำตัวเรดิเอเตอร์มาติดตั้งไว้กับกล่องดังกล่าว จึงเป็นการป้องกันมิให้ลำคลื่นหลักทางด้านหน้าถูกรบกวน ผลการวัดรูปแบบการกระจายคลื่นในการทดลองนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 37 - 44



รูปที่ 37 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 1 ($\phi = 108^\circ$)

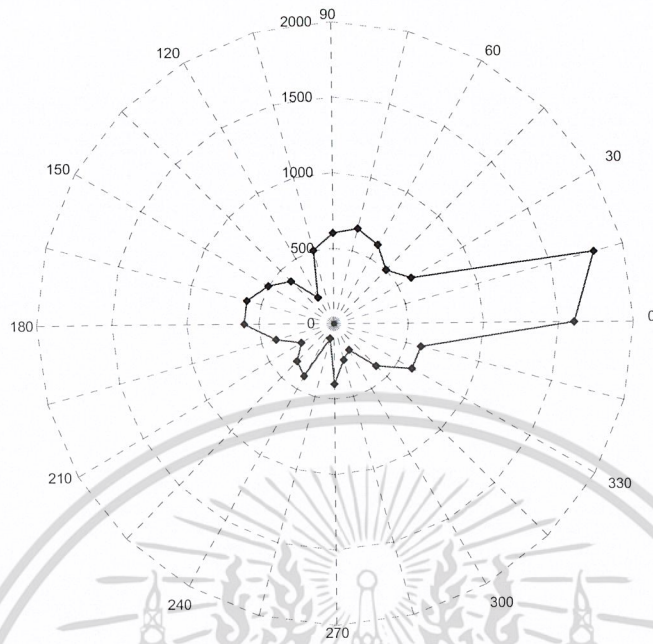


รูปที่ 38 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 2 ($\phi = 81^\circ$)

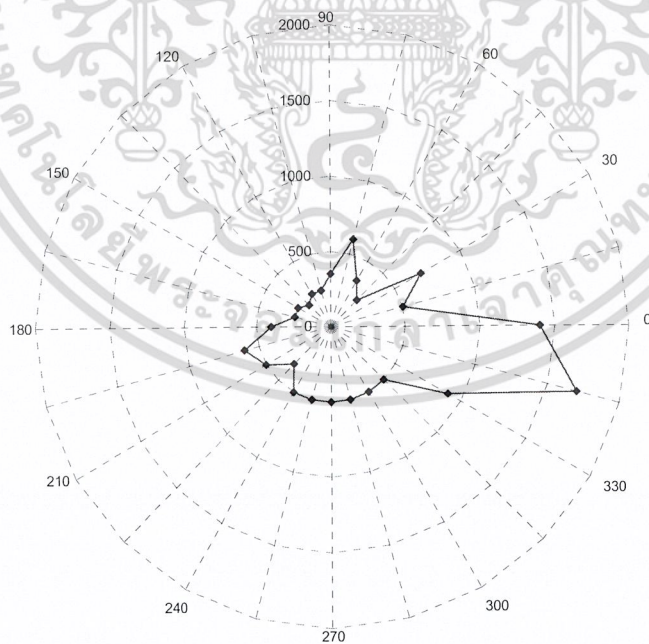


รูปที่ 39 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 3 ($\phi = 54^\circ$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

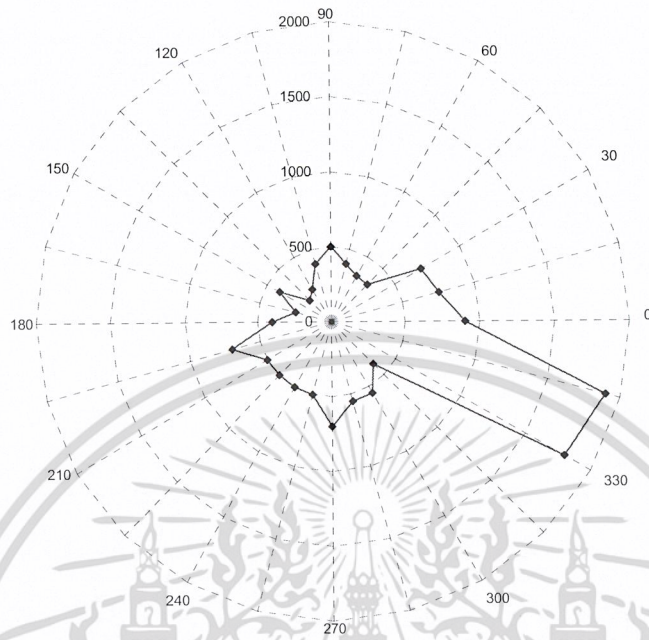


รูปที่ 40 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 4 ($\phi = 27^\circ$)

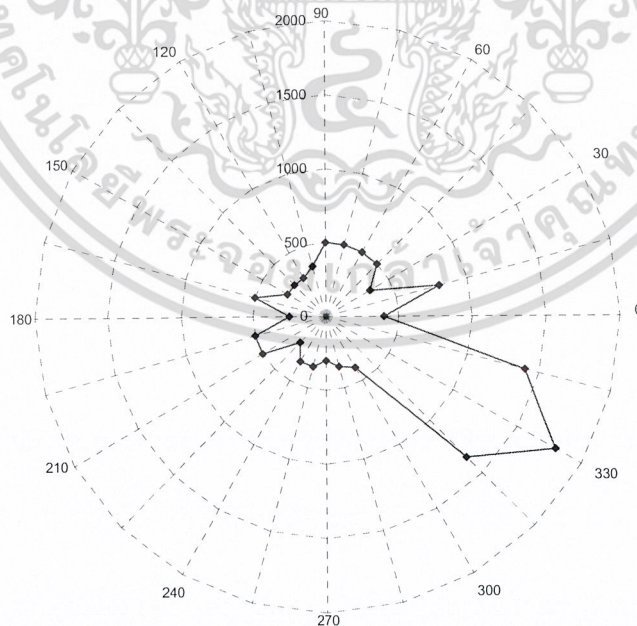


รูปที่ 41 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 5 ($\phi = -27^\circ$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

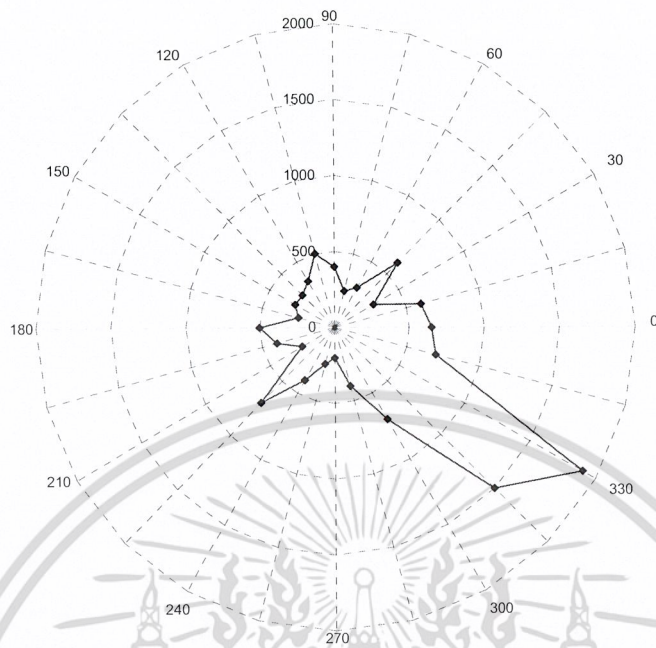


รูปที่ 42 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 6 ($\phi = -54^\circ$)



รูปที่ 43 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 7 ($\phi = -81^\circ$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

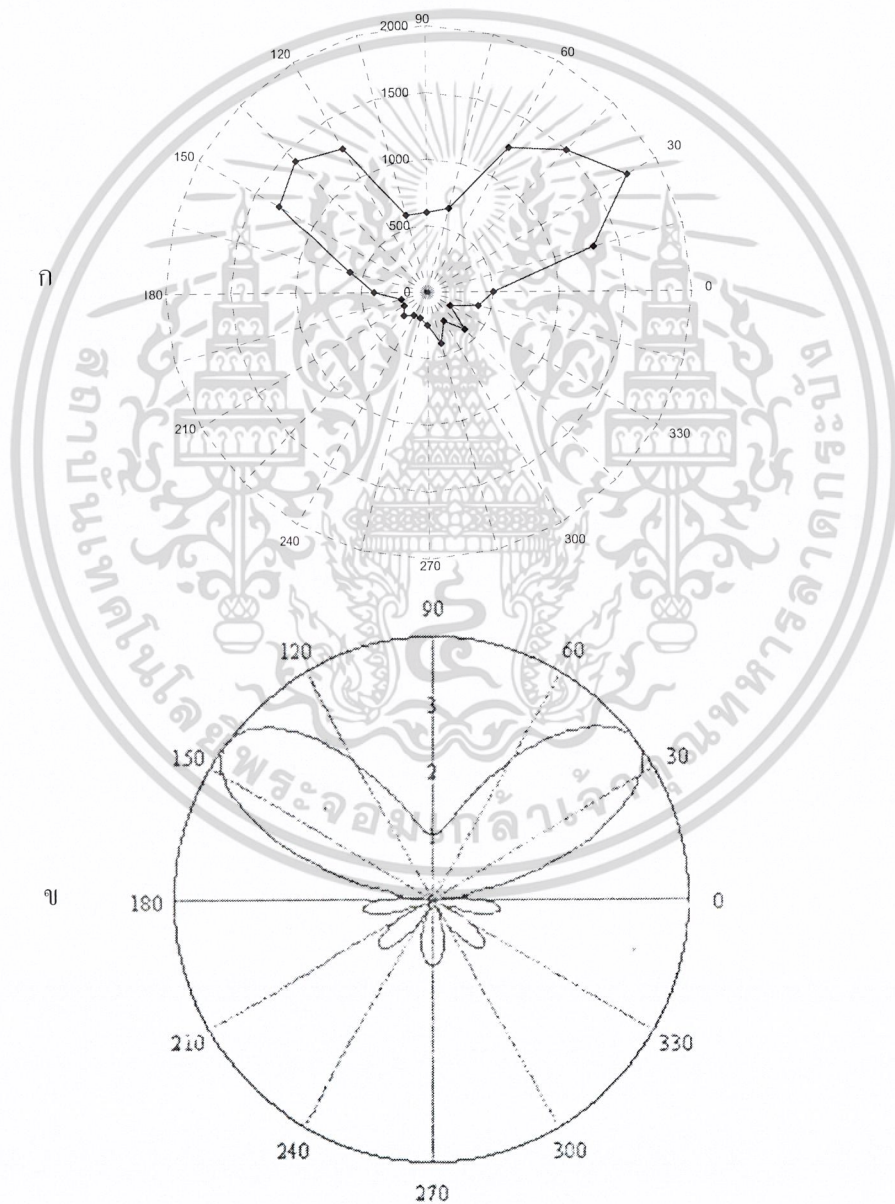


รูปที่ 44 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องทิศทางที่ 8 ($\phi = -108^\circ$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

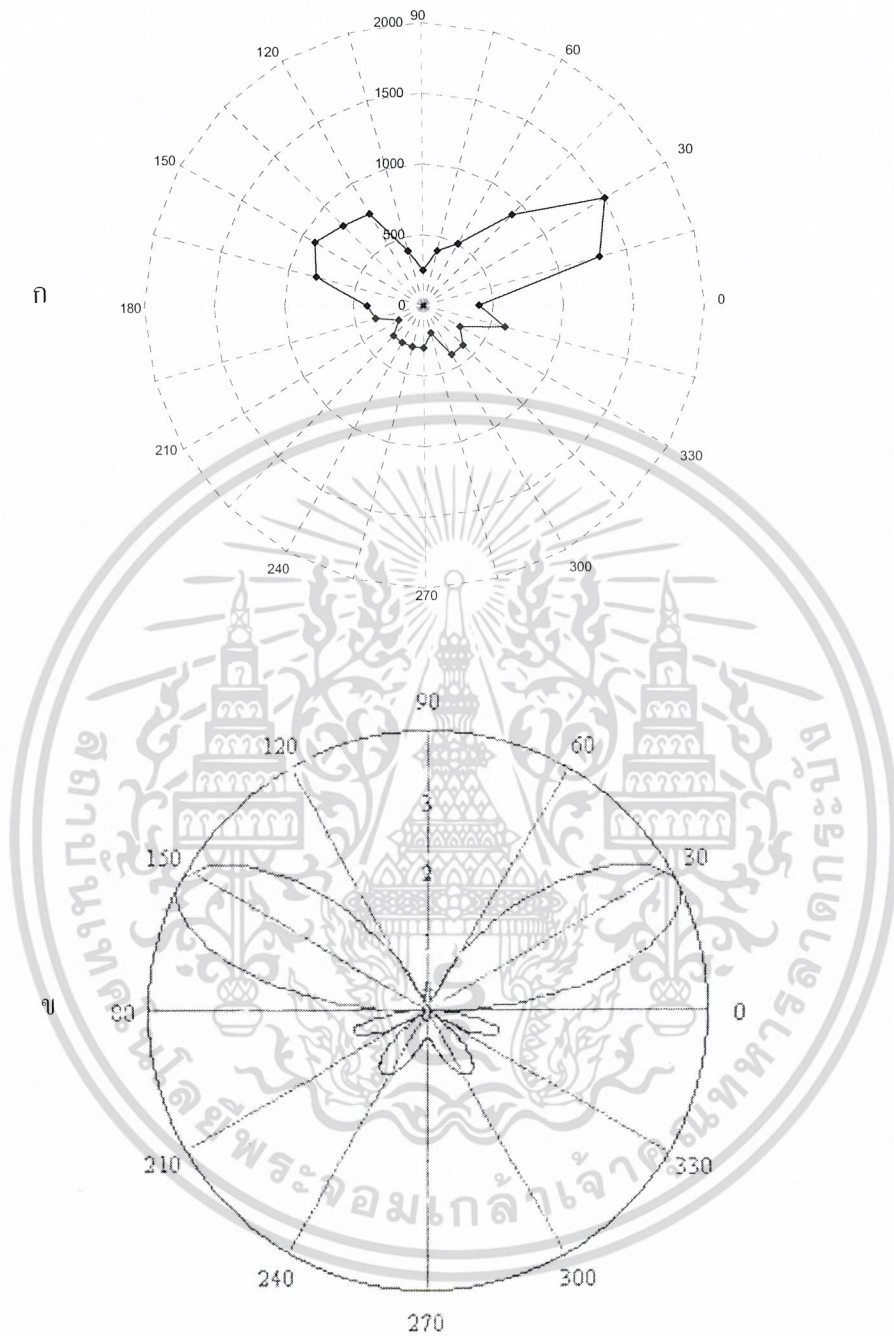
7.3 การวัดรูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อติดตั้งเรดิเอเตอร์โดยไม่มีวัสดุมาขวางทิศทางการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์

จากการทดลองในหัวข้อ 7.2 จะเห็นว่าลำคลื่นหลักเกิดขึ้นทางด้านหน้าของอาร์เรย์เพียงอย่างเดียว แต่ตามทฤษฎีในบทที่ 3 ได้กล่าวไว้ว่า ตัวเรดิเอเตอร์ในทางทฤษฎีมีการแพร่กระจายคลื่นในทุกทิศทาง ผู้ทำโครงการจึงนำตัวเรดิเอเตอร์มาติดตั้งโดยไม่มีวัสดุใดๆ มาขวางทิศทางการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์ ผลการวัดรูปแบบการกระจายคลื่นแสดงไว้ในรูปที่ 45 - 52



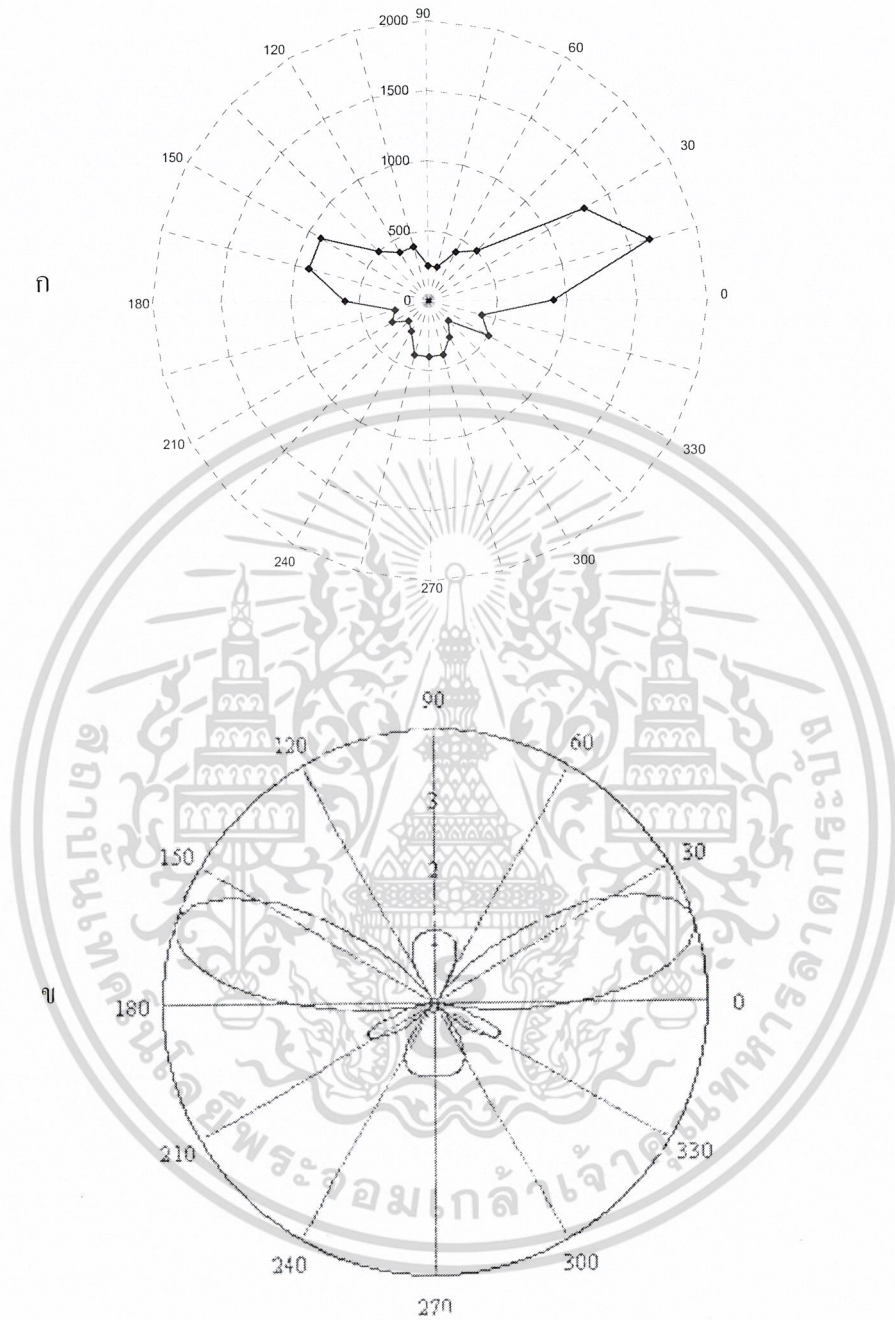
รูปที่ 45 รูปแบบการกระจายคลื่นทิศทางที่ $1(\phi = 108^\circ)$ (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



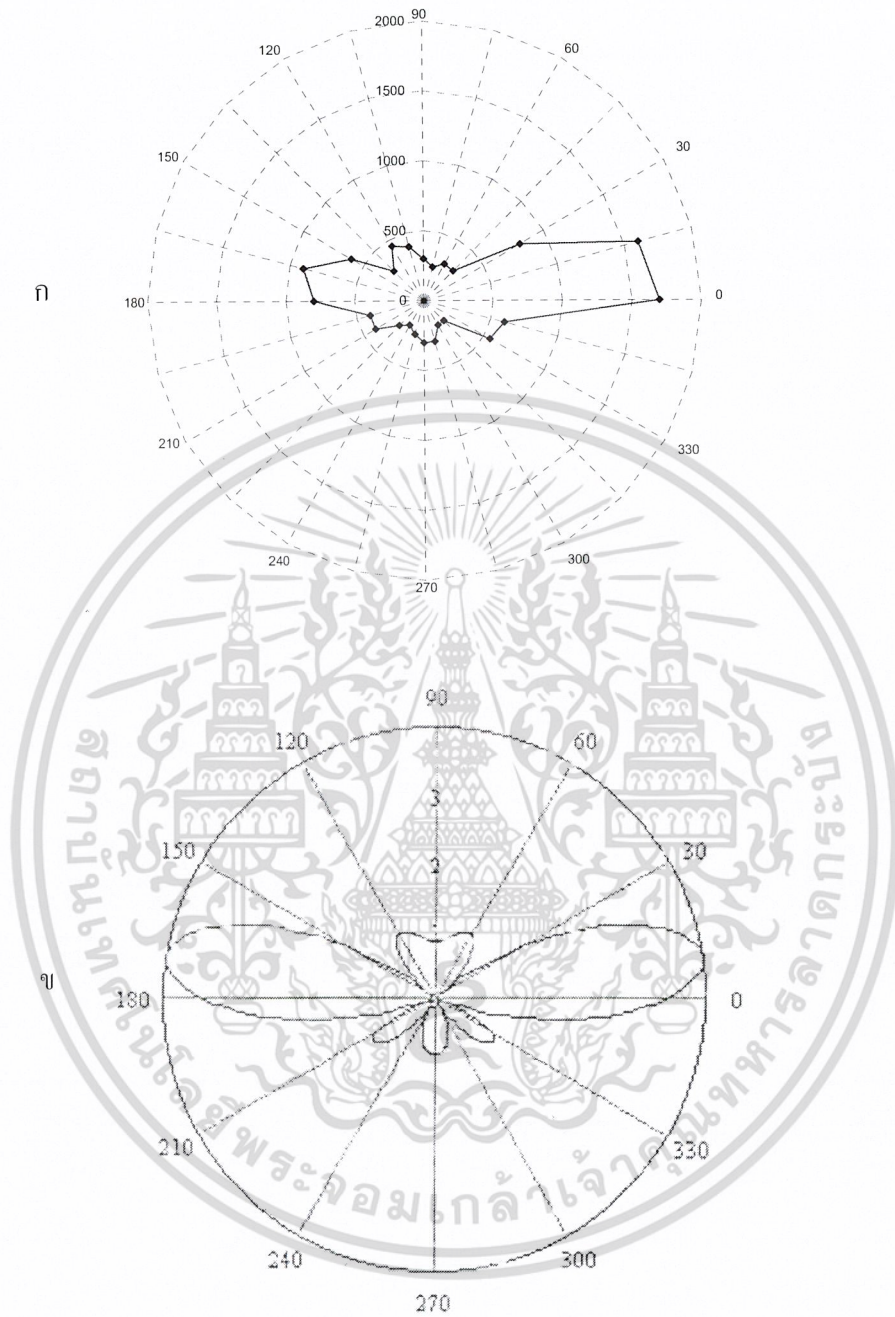
รูปที่ 46 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ $2(\phi = 81^\circ)$ (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



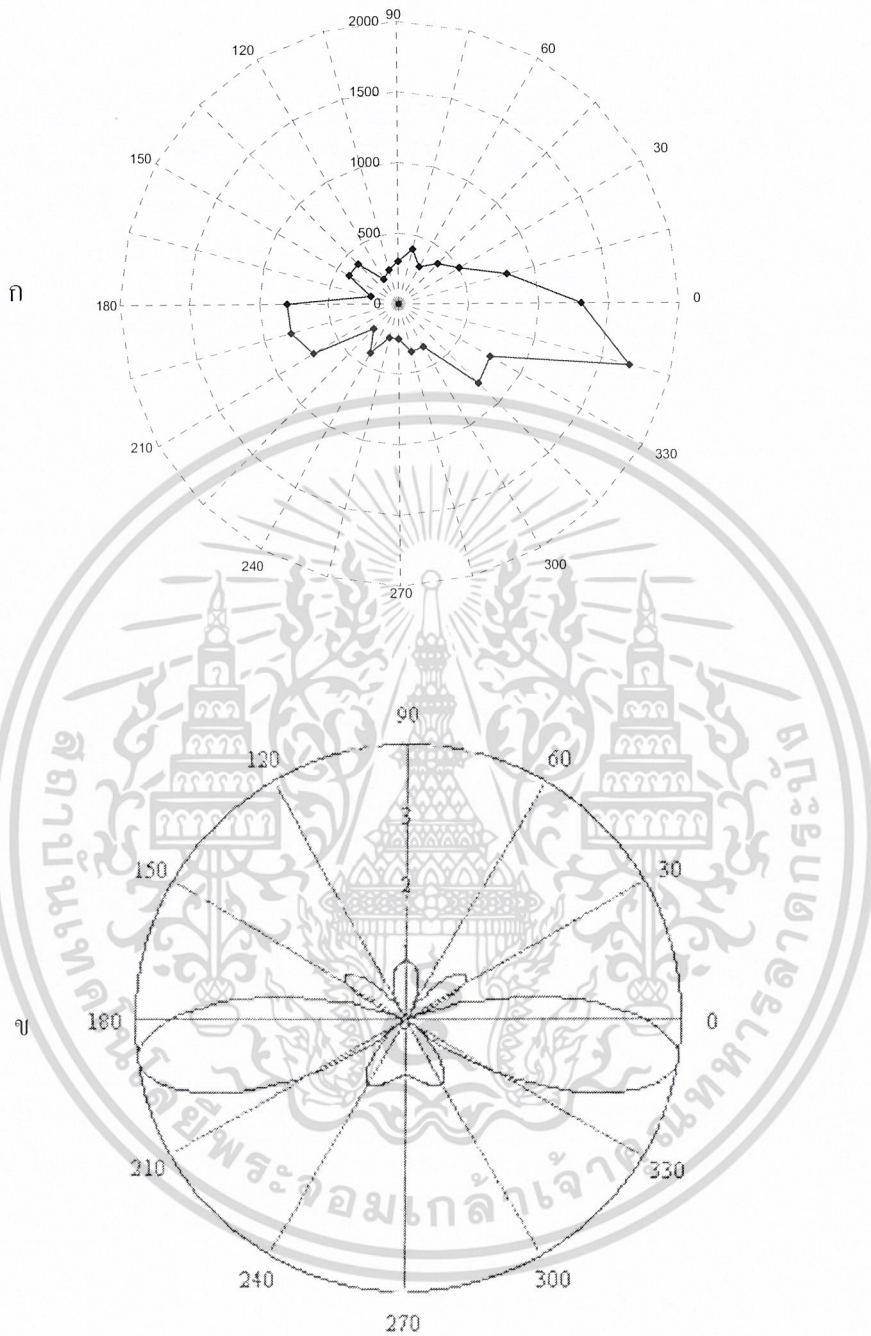
รูปที่ 47 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ $3(\phi = 54^\circ)$ (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



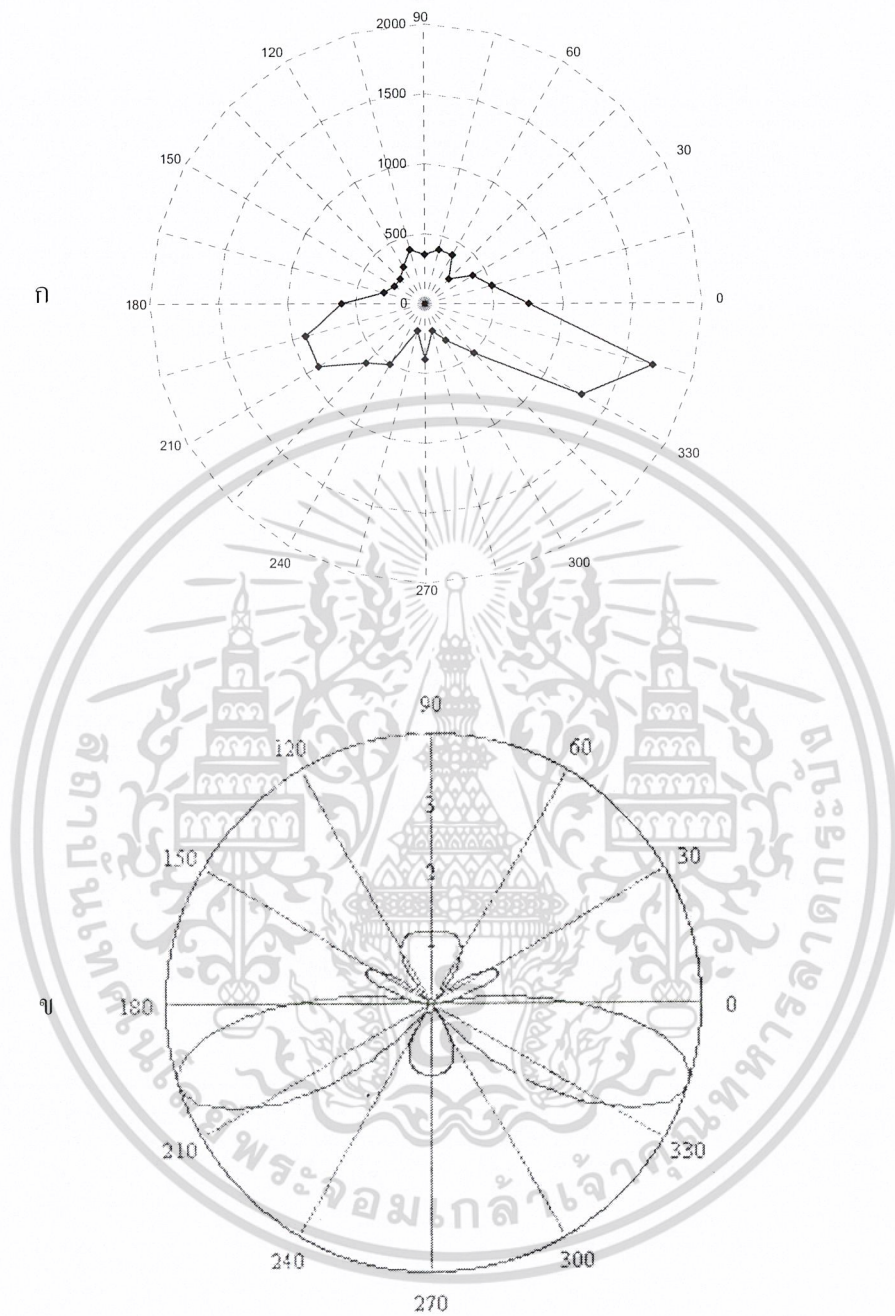
รูปที่ 48 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ $4(\phi = 27^\circ)$ (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



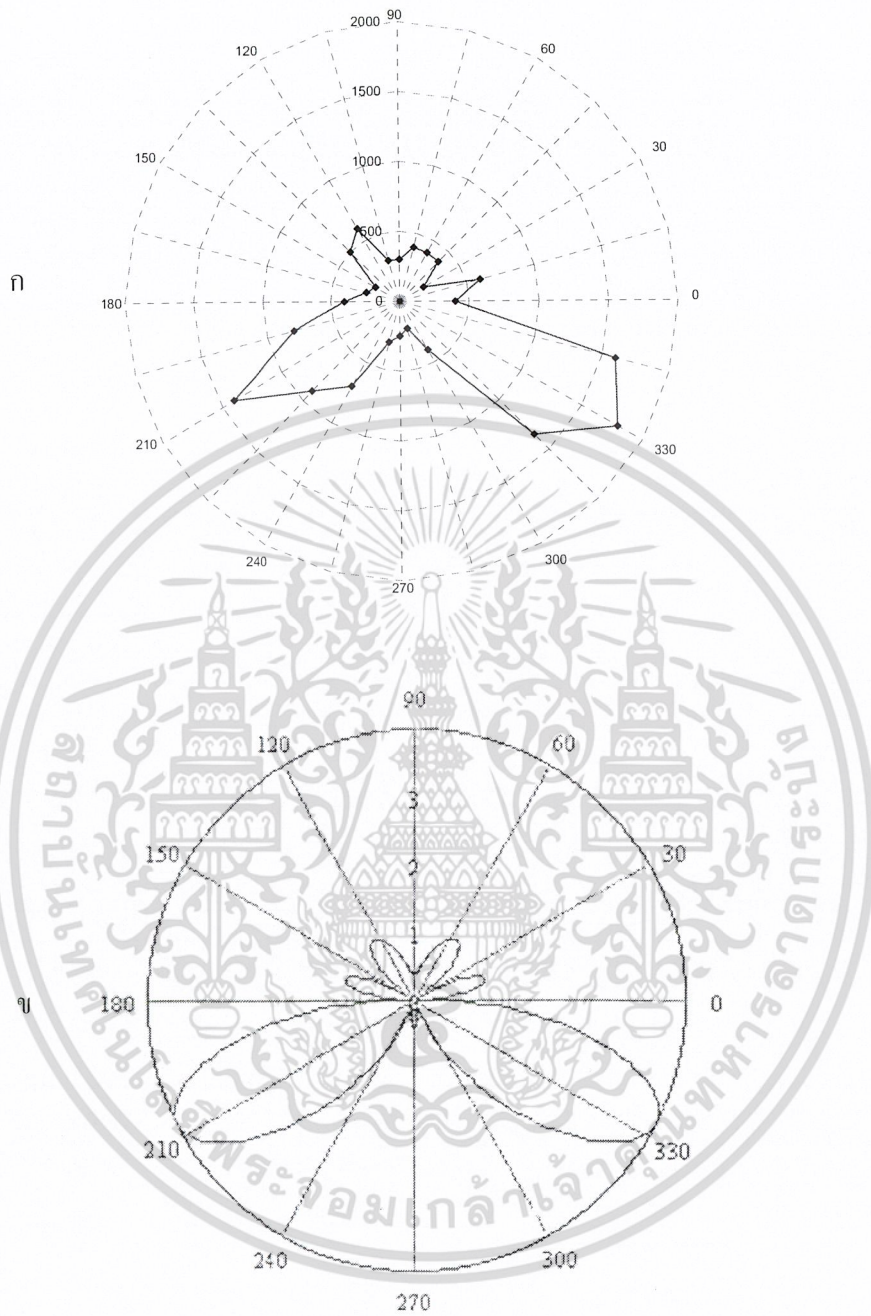
รูปที่ 49 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 5 ($\phi = -27^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



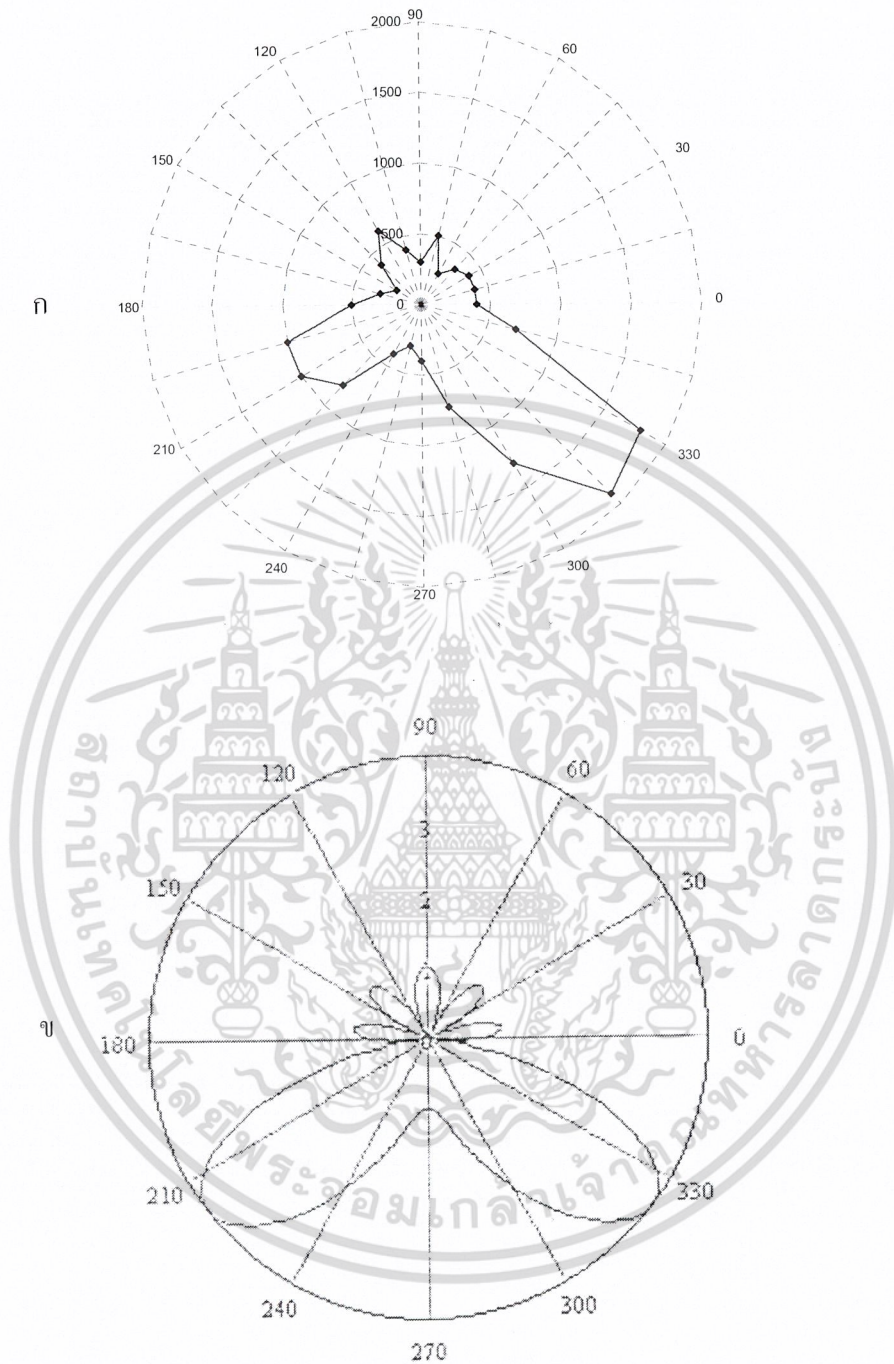
รูปที่ 50 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 6 ($\phi = -54^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 51 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 7 ($\phi^{\circ} = -81^{\circ}$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 52 รูปแบบกระจายคลื่นทิศทางที่ 8 ($\phi = -108^\circ$) (ก) จากการทดลอง (ข) จากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

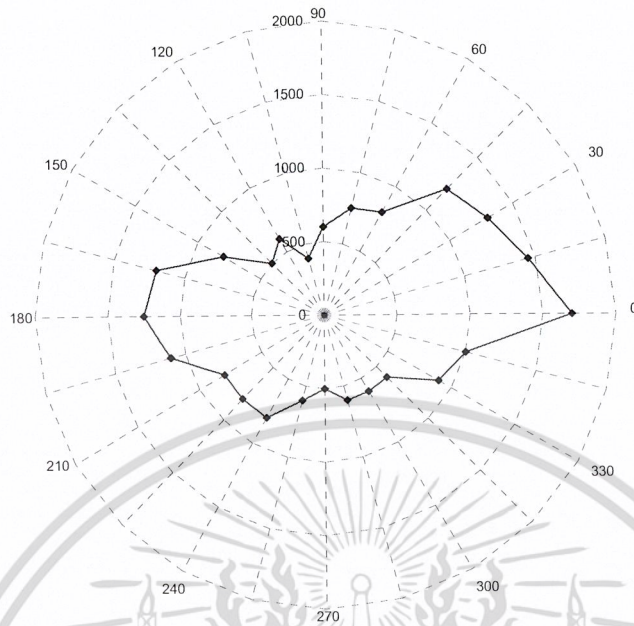
รูปแบบการกระจายคลื่นในรูปที่ 45 – 52 จะเห็นว่าผลทางทฤษฎีจะมีลำคลื่นหลักเกิดขึ้น 2 ทิศทาง เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเรดิเอเตอร์คือ มีการแผ่กระจายคลื่นทุกทิศทางจึงเกิดการแพร่กระจายคลื่นทางด้านซ้ายของอาร์เรย์ด้วย ทำให้มีลำคลื่นหลักเกิดขึ้นอีกอันหนึ่ง แต่ในทางปฏิบัติตัวเรดิเอเตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้คือลำโพงแบบกรวยทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหน้าได้ดีกว่าทางด้านหลัง ความดันคลื่นลัพท์ทางด้านหลังจึงมีค่าน้อยกว่าทางด้านหน้า ดังรูปที่ได้จากการทดลองจริง

7.4 รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อมีการกวาดลำคลื่น

จากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฟสกับทิศทางในการเบนของลำคลื่นหลัก ในหัวข้อนี้เป็นการวัดรูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อลำคลื่นหลักกวาดไปมาด้วยความถี่ 20 kHz ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ 4066 ดังกล่าวไว้ในบทที่ 6 รูปแบบการกระจายคลื่นที่ได้จากการทดลองทั้งการติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่องกระดาษ และแบบไม่มีวัสดุมาขวางทิศทางการแพร่กระจายคลื่นด้านหลัง



รูปที่ 53 รูปแบบการกระจายคลื่นเมื่อลำคลื่นกวาดไปมาโดยติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ไว้กับกล่อง



รูปที่ 54 รูปแบบกระจายคลื่นเมื่อเมื่อลำคลื่นกวาดไปมา โดยติดตั้งตัวเรดิเอเตอร์ โดยไม่มีวัสดุมาขวางทิศทางการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลังของตัวเรดิเอเตอร์

บทที่ 8

สรุปผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ในการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียง จากแหล่งกำเนิดที่มีการจัดวางตัวเรดิเอเตอร์เป็นอาร์เรย์แบบเส้นตรงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์ จะเริ่มศึกษาจากหลักของฮอยเกนส์และทฤษฎีอาร์เรย์เพื่อหาทิศทางลำคลื่นหลัก ซึ่งเกิดจากการแทรกสอดของคลื่นที่เคลื่อนที่จากตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัว โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฟสของสัญญาณที่ล่าช้าลึกลับกับทิศทางการเบนของลำคลื่นหลัก จากผลการทดลองวัดรูปแบบการกระจายคลื่นที่อุณหภูมิ 27 °C ซึ่งมีทิศทางของลำคลื่นหลัก 8 ทิศทาง ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 45 - 52 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (ก) ส่วนที่ได้จากการทดลอง (ข) ส่วนที่เป็นทฤษฎี เพื่อเปรียบเทียบให้เห็น จะเห็นว่าทิศทางของลำคลื่นหลักที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลที่ได้จากทฤษฎี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นเสียงในโครงงานนี้นั้นได้ทิศทางลำคลื่นหลักที่ดี ซึ่งหมายความว่า เราสามารถปรับเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นหลักได้จริง เมื่อปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่ตัวเรดิเอเตอร์แต่ละตัวให้ล่าช้าลึกลับตามลำดับตามเงื่อนไขในทฤษฎี

บรรณานุกรม

- [1] D.A. Russell, J.P. Titlow, Y-J. Bommen, Acoustic monopole, dipoles, and quadrupoles :An experiment revisited, Am. J. Phys. 67, 1999
- [2] T.D. Rossing, N. H. Fletcher, Principles of vibration and sound, Springer-Verlag, 1994
- [3] S. C. Wooh, Y. Shi, Optimum beam steering of linear phased arrays, Wave Motion 29, 1999
- [4] D. A. Russell, Acoustic animation, Kettering University Applied Physics, 2000
- [5] ผศ. วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก, ว. เพ็ชรสกุล, 2545





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 0000H
MOV P1,#00000000B
MOV P2,#00000000B
MOV P3,#00000000B
MAIN: MOV P3,#10100101B ; direction 1
MOV P1,#00000111B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#10100101B ; direction 2
MOV P1,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
MOV P1,#00000000B ; clear P1 delay 2uS
MOV P3,#10100101B ; direction 3
MOV P2,#00000111B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#10100101B ; direction 4
MOV P2,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#01011010B ; direction 5
MOV P2,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#01011010B ; direction 6
MOV P2,#00000111B ;
NOP ; delay 1uS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV P2,#00000000B ; clear P2 delay 2uS
MOV P3,#01011010B ; direction 7
MOV P1,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#01011010B ; direction 8
MOV P1,#00000111B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#01011010B ; direction 7
MOV P1,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
MOV P1,#00000000B ; clear P1 delay 2uS
MOV P3,#01011010B ; direction 6
MOV P2,#00000111B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#01011010B ; direction 5
MOV P2,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#10100101B ; direction 4
MOV P2,#00111000B ;
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
NOP ; delay 1uS
MOV P3,#10100101B ; direction 3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV P2,#00000111B      ;
NOP                      ; delay 1uS
MOV P2,#00000000B      ; clear P2 delay 2uS
MOV P3,#10100101B      ; direction 2
MOV P1,#00111000B      ;
NOP                      ; delay 1uS
AJMP MAIN                ; repeat delay 2uS
END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

For a complete data sheet, please also download:

- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Family Specifications HEF, HEC
- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Package Outlines/Information HEF, HEC

HEF4066B gates Quadruple bilateral switches

Product specification
File under Integrated Circuits, IC04

January 1995

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

QUADRUPLE BILATERAL SWITCHES

The HEF4066B has four independent bilateral analogue switches (transmission gates). Each switch has two input/output terminals (Y/Z) and an active HIGH enable input (E). When E is connected to V_{DD} a low impedance bidirectional path between Y and Z is established (ON condition). When E is connected to V_{SS} the switch is disabled and a high impedance between Y and Z is established (OFF condition).

The HEF4066B is pin compatible with the HEF4016B but exhibits a much lower ON resistance. In addition the ON resistance is relatively constant over the full input signal range.

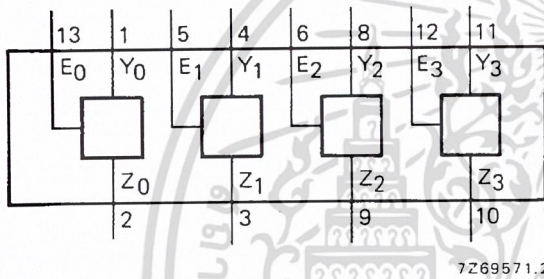


Fig. 1 Functional diagram.

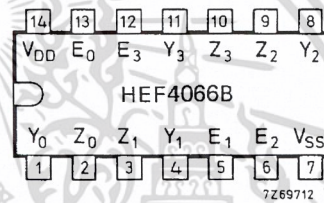


Fig. 2 Pinning diagram.

PINNING

- E_0 to E_3 enable inputs
- Y_0 to Y_3 input/output terminals
- Z_0 to Z_3 input/output terminals

- HEF4066BP(N): 14-lead DIL; plastic (SOT27-1)
- HEF4066BD(F): 14-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT73))
- HEF4066BT(D): 14-lead SO; plastic (SOT108-1)
- () : Package Designator North America

APPLICATION INFORMATION

An example of application for the HEF4066B is:

- Analogue and digital switching

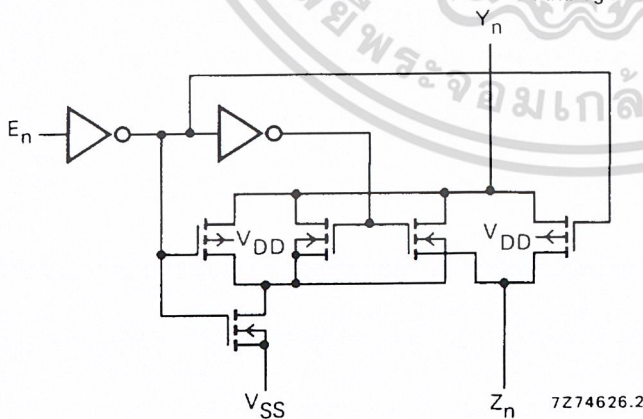


Fig. 3 Schematic diagram (one switch).

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

Power dissipation per switch

P max. 100 mW

For other RATINGS see Family Specifications

D.C. CHARACTERISTICS

T_{amb} = 25 °C

	V _{DD} V	symbol	min.	typ.	max.	conditions
ON resistance	5	R _{ON}	—	350	2500	E _n at V _{DD} V _{is} = V _{SS} to V _{DD} see Fig. 4
	10		—	80	245	
	15		—	60	175	
ON resistance	5	R _{ON}	—	115	340	E _n at V _{DD} V _{is} = V _{SS} see Fig. 4
	10		—	50	160	
	15		—	40	115	
ON resistance	5	R _{ON}	—	120	365	E _n at V _{DD} V _{is} = V _{DD} see Fig. 4
	10		—	65	200	
	15		—	50	155	
'Δ' ON resistance between any two channels	5	ΔR _{ON}	—	25	—	E _n at V _{DD} V _{is} = V _{SS} to V _{DD} see Fig. 4
	10		—	10	—	
	15		—	5	—	
OFF state leakage current, any channel OFF	5	I _{OZ}	—	—	—	E _n at V _{SS}
	10		—	—	—	
	15		—	—	200	
E _n input voltage LOW	5	V _{IL}	—	2,25	1	I _{is} = 10 μA see Fig. 9
	10		—	4,50	2	
	15		—	6,75	2	

	V _{DD} V	symbol	T _{amb} (°C)			conditions
			-40 max.	+25 max.	+85 max.	
Quiescent device current	5	I _{DD}	1,0	1,0	7,5	V _{SS} = 0; all valid input combinations; V _I = V _{SS} or V _{DD}
	10		2,0	2,0	15,0	
	15		4,0	4,0	30,0	
Input leakage current at E _n	15	± I _{IN}	—	300	1000	E _n at V _{SS} or V _{DD}

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

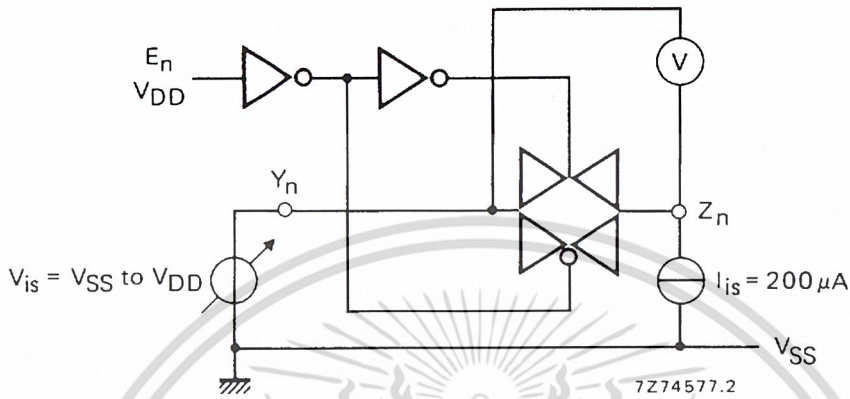


Fig. 4 Test set-up for measuring R_{ON} .

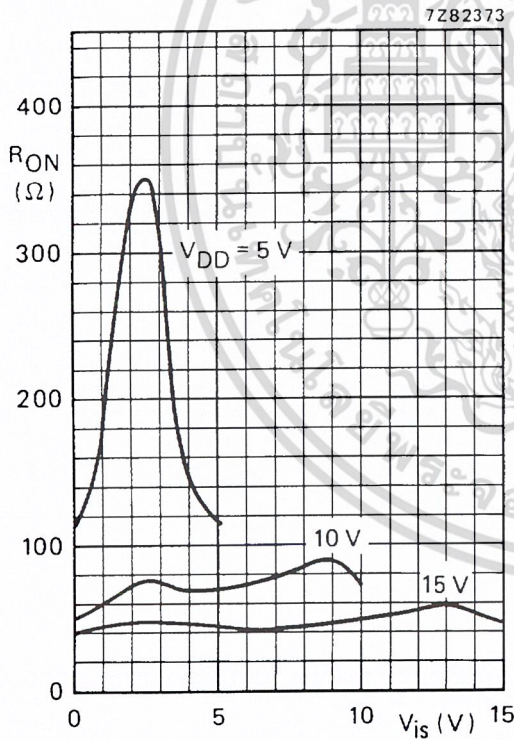


Fig. 5 Typical R_{ON} as a function of input voltage.

E_n at V_{DD}
 $I_{is} = 200 \mu A$
 $V_{SS} = 0 V$

NOTE

To avoid drawing V_{DD} current out of terminal Z, when switch current flows into terminals Y, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0,4 V. If the switch current flows into terminal Z, no V_{DD} current will flow out of terminals Y, in this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at Y and Z may not exceed V_{DD} or V_{SS} .

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

A.C. CHARACTERISTICS

 $V_{SS} = 0\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; input transition times $\leq 20\text{ ns}$

	V_{DD} V	symbol	typ.	max.		
Propagation delays $V_{is} \rightarrow V_{os}$ HIGH to LOW	5	tPHL	10	20	ns	} note 1
	10		5	10		
	15		5	10		
LOW to HIGH	5	tPLH	10	20	ns	} note 1
	10		5	10		
	15		5	10		
Output disable times $E_n \rightarrow V_{os}$ HIGH	5	tPHZ	80	160	ns	} note 2
	10		65	130		
	15		60	120		
LOW	5	tPLZ	80	160	ns	} note 2
	10		70	140		
	15		70	140		
Output enable times $E_n \rightarrow V_{os}$ HIGH	5	tPZH	40	80	ns	} note 2
	10		20	40		
	15		15	30		
LOW	5	tPZL	45	90	ns	} note 2
	10		20	40		
	15		15	30		
Distortion, sine-wave response	5		0,25		%	} note 3
	10		0,04			
	15		0,04			
Crosstalk between any two channels	5		—		MHz	} note 4
	10		1			
	15		—			
Crosstalk; enable input to output	5		—		mV	} note 5
	10		50			
	15		—			
OFF-state feed-through	5		—		MHz	} note 6
	10		1			
	15		—			
ON-state frequency response	5		—		MHz	} note 7
	10		90			
	15		—			
	V_{DD} V	typical formula for P (μW)		where f_i = input freq. (MHz) f_o = output freq. (MHz) C_L = load capacitance (pF) $\Sigma(f_o C_L)$ = sum of outputs V_{DD} = supply voltage (V)		
Dynamic power dissipation per package (P)	5	$800 f_i + \Sigma(f_o C_L) \times V_{DD}^2$				
	15	$3\,500 f_i + \Sigma(f_o C_L) \times V_{DD}^2$ $10\,100 f_i + \Sigma(f_o C_L) \times V_{DD}^2$				

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

NOTES

V_{is} is the input voltage at a Y or Z terminal, whichever is assigned as input.

V_{os} is the output voltage at a Y or Z terminal, whichever is assigned as output.

- $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to V_{SS} ; $C_L = 50\text{ pF}$ to V_{SS} ; $E_n = V_{DD}$; $V_{is} = V_{DD}$ (square-wave); see Figs 6 and 10.
- $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 50\text{ pF}$ to V_{SS} ; $E_n = V_{DD}$ (square-wave);
 $V_{is} = V_{DD}$ and R_L to V_{SS} for t_{PHZ} and t_{PZH} ;
 $V_{is} = V_{SS}$ and R_L to V_{DD} for t_{PLZ} and t_{PZL} ; see Figs 6 and 11.
- $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 15\text{ pF}$; $E_n = V_{DD}$; $V_{is} = \frac{1}{2} V_{DD}$ (p-p) (sine-wave, symmetrical about $\frac{1}{2} V_{DD}$);
 $f_{is} = 1\text{ kHz}$; see Fig. 7.
- $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $V_{is} = \frac{1}{2} V_{DD}$ (p-p) (sine-wave, symmetrical about $\frac{1}{2} V_{DD}$);
 $20 \log \frac{V_{os}(B)}{V_{is}(A)} = -50\text{ dB}$; $E_n(A) = V_{SS}$; $E_n(B) = V_{DD}$; see Fig. 8.
- $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to V_{SS} ; $C_L = 15\text{ pF}$ to V_{SS} ; $E_n = V_{DD}$ (square-wave); crosstalk is $|V_{os}|$ (peak value);
see Fig. 6.
- $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; $E_n = V_{SS}$; $V_{is} = \frac{1}{2} V_{DD}$ (p-p) (sine-wave, symmetrical about $\frac{1}{2} V_{DD}$);
 $20 \log \frac{V_{os}}{V_{is}} = -50\text{ dB}$; see Fig. 7.
- $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; $E_n = V_{DD}$; $V_{is} = \frac{1}{2} V_{DD}$ (p-p) (sine-wave, symmetrical about $\frac{1}{2} V_{DD}$);
 $20 \log \frac{V_{os}}{V_{is}} = -3\text{ dB}$; see Fig. 7.

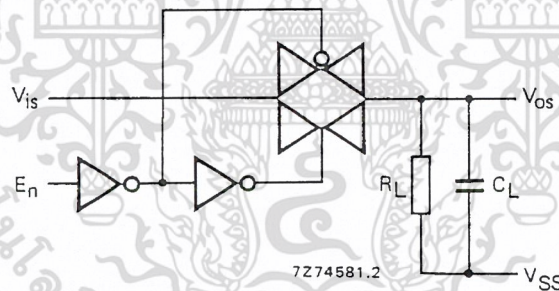


Fig. 6.

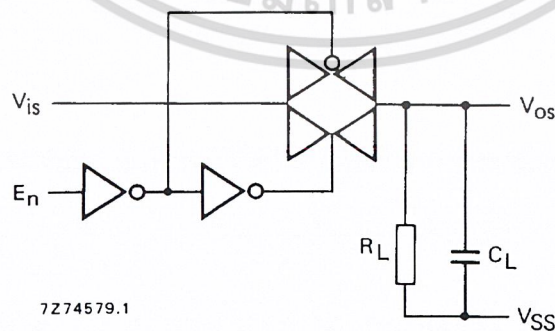


Fig. 7.

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

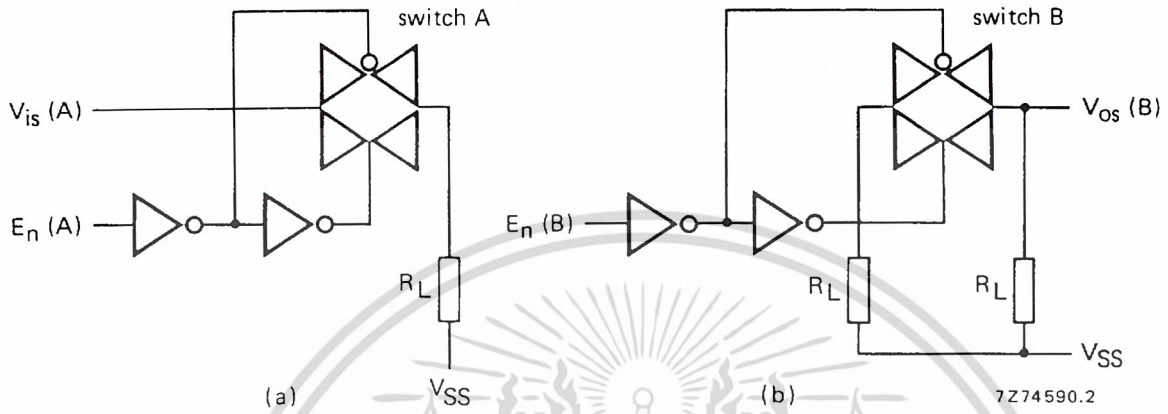


Fig. 8.

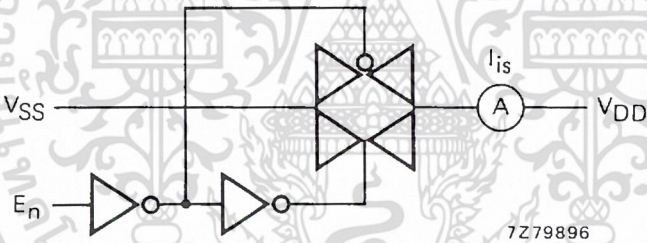


Fig. 9.

Quadruple bilateral switches

HEF4066B
gates

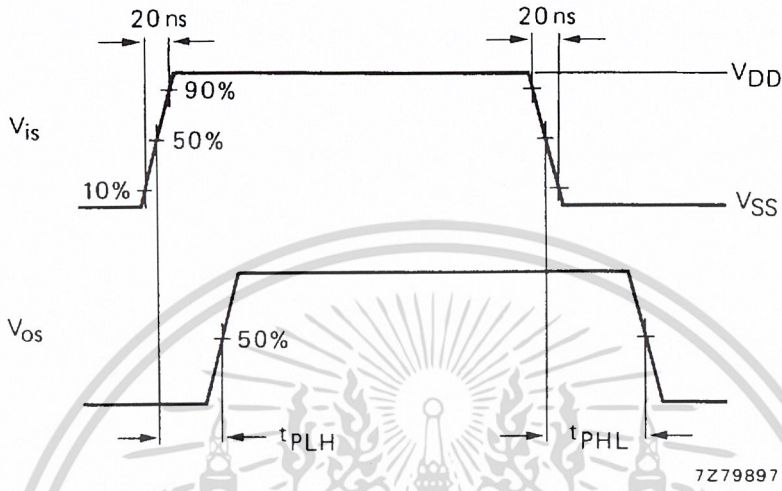
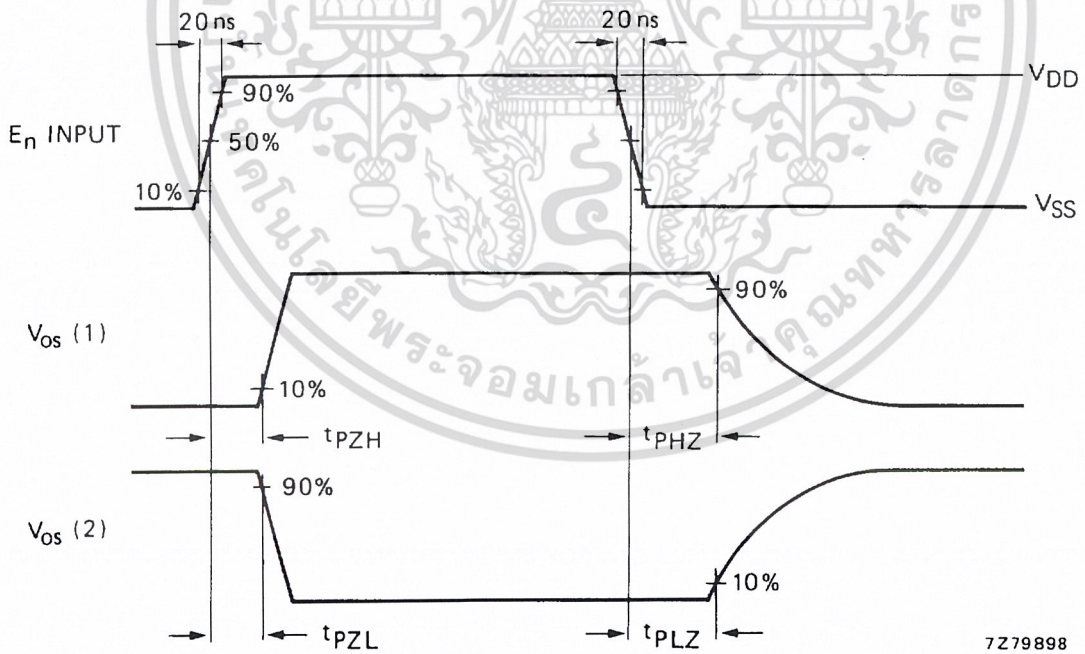


Fig. 10 Waveforms showing propagation delays from V_{is} to V_{os} .



(1) V_{is} at V_{DD} ; (2) V_{is} at V_{SS} .

Fig. 11 Waveforms showing output disable and enable times.

LM386

Low Voltage Audio Power Amplifier

General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value from 20 to 200.

The inputs are ground referenced while the output automatically biases to one-half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

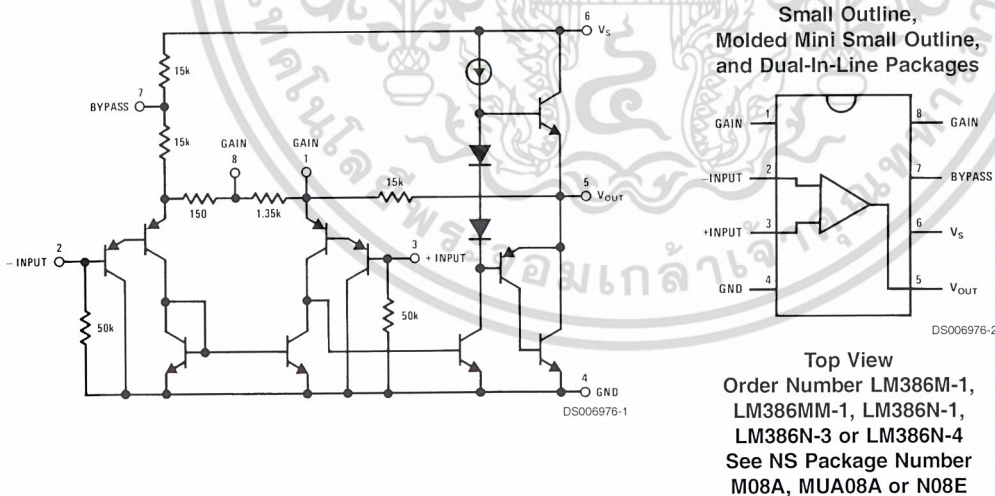
Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion: 0.2% ($A_v = 20$, $V_s = 6V$, $R_L = 8\Omega$, $P_O = 125mW$, $f = 1kHz$)
- Available in 8 pin MSOP package

Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

Equivalent Schematic and Connection Diagrams



Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V	Dual-In-Line Package Soldering (10 sec)	+260°C
Supply Voltage (LM386N-4)	22V	Small Outline Package (SOIC and MSOP)	+215°C
Package Dissipation (Note 3) (LM386N)	1.25W	Vapor Phase (60 sec)	+220°C
(LM386M)	0.73W	Infrared (15 sec)	+220°C
(LM386MM-1)	0.595W	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
Input Voltage	±0.4V	Thermal Resistance	
Storage Temperature	-65°C to +150°C	θ_{JC} (DIP)	37°C/W
Operating Temperature	0°C to +70°C	θ_{JA} (DIP)	107°C/W
Junction Temperature	+150°C	θ_{JC} (SO Package)	35°C/W
Soldering Information		θ_{JA} (SO Package)	172°C/W
		θ_{JA} (MSOP)	210°C/W
		θ_{JC} (MSOP)	56°C/W

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

$T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage (V_S) LM386N-1, -3, LM386M-1, LM386MM-1 LM386N-4		4 5		12 18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_S = 6V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT}) LM386N-1, LM386M-1, LM386MM-1 LM386N-3 LM386N-4	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$ $V_S = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$ $V_S = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	250 500 700	325 700 1000		mW
Voltage Gain (A_V)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}$ 10 μF from Pin 1 to 8		26 46		dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6V, \text{ Pins 1 and 8 Open}$		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{ mW}$ $f = 1\text{ kHz, Pins 1 and 8 Open}$		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz, } C_{BYPASS} = 10\ \mu\text{F}$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance (R_{IN})			50		k Ω
Input Bias Current (I_{BIAS})	$V_S = 6V, \text{ Pins 2 and 3 Open}$		250		nA

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of 107°C/W junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of 170°C/W for the small outline package.

Application Hints

GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the 1.35 k Ω resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the 1.35 k Ω resistor, the gain will go up to 200 (46 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal 15 k Ω resistor). For 6 dB effective bass boost: $R \approx 15$ k Ω , the lowest value for good stable operation is $R = 10$ k Ω if pin 8 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then R as low as 2 k Ω can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 9.

INPUT BIASING

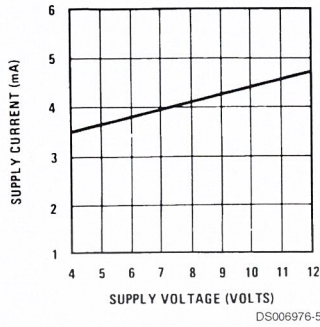
The schematic shows that both inputs are biased to ground with a 50 k Ω resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than 250 k Ω it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than 10 k Ω , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

When using the LM386 with higher gains (bypassing the 1.35 k Ω resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a 0.1 μ F capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

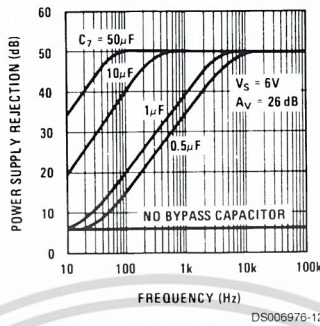


Typical Performance Characteristics

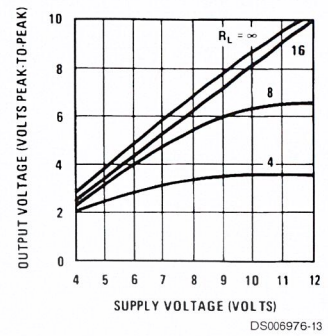
Quiescent Supply Current vs Supply Voltage



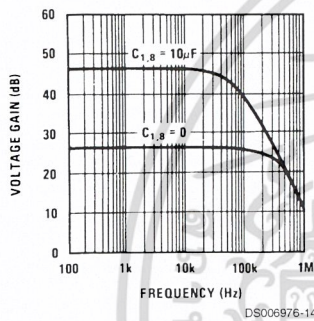
Power Supply Rejection Ratio (Referred to the Output) vs Frequency



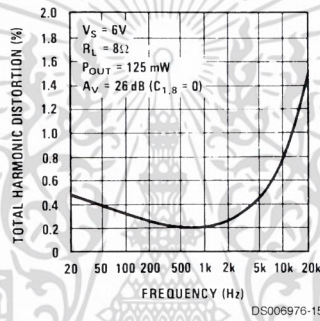
Peak-to-Peak Output Voltage Swing vs Supply Voltage



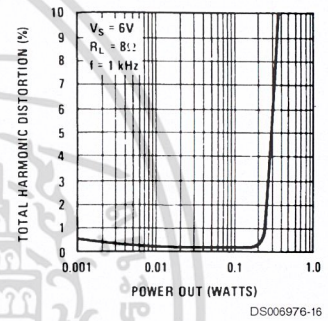
Voltage Gain vs Frequency



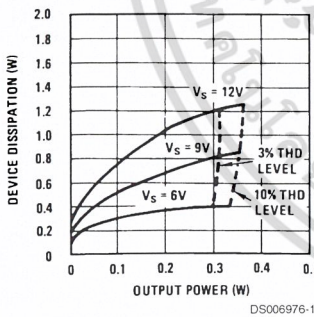
Distortion vs Frequency



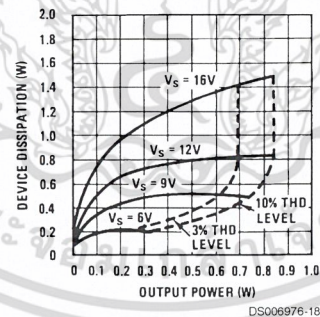
Distortion vs Output Power



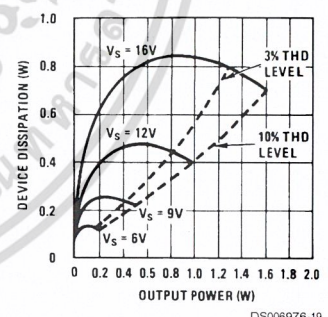
Device Dissipation vs Output Power—4Ω Load



Device Dissipation vs Output Power—8Ω Load

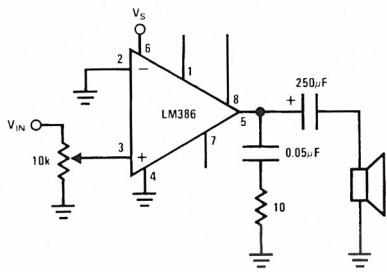


Device Dissipation vs Output Power—16Ω Load



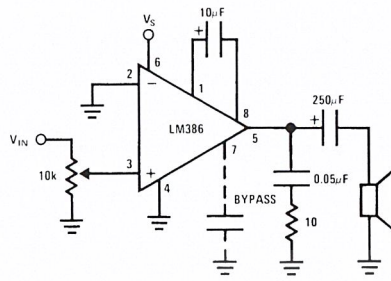
Typical Applications

**Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts**



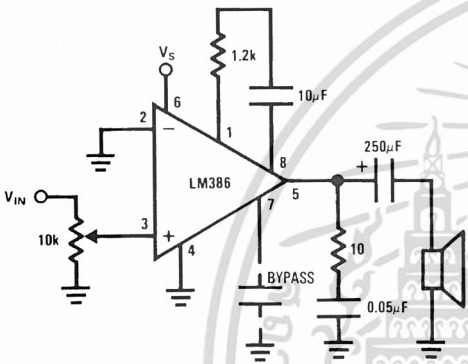
DS006976-3

Amplifier with Gain = 200



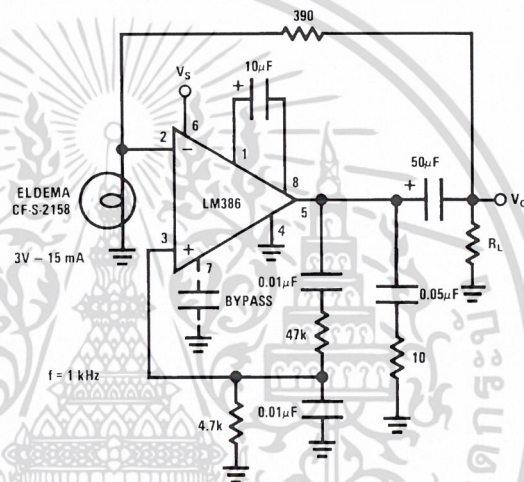
DS006976-4

Amplifier with Gain = 50



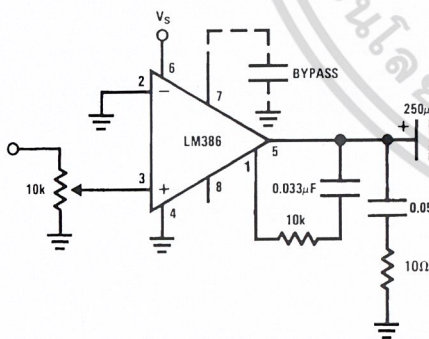
DS006976-6

Low Distortion Power Wienbridge Oscillator



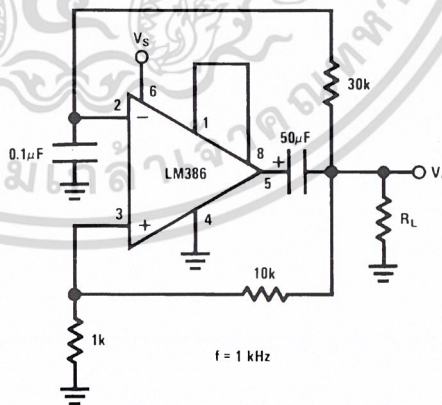
DS006976-7

Amplifier with Bass Boost



DS006976-8

Square Wave Oscillator

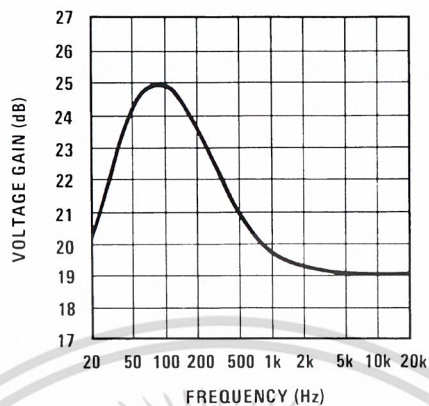


DS006976-9

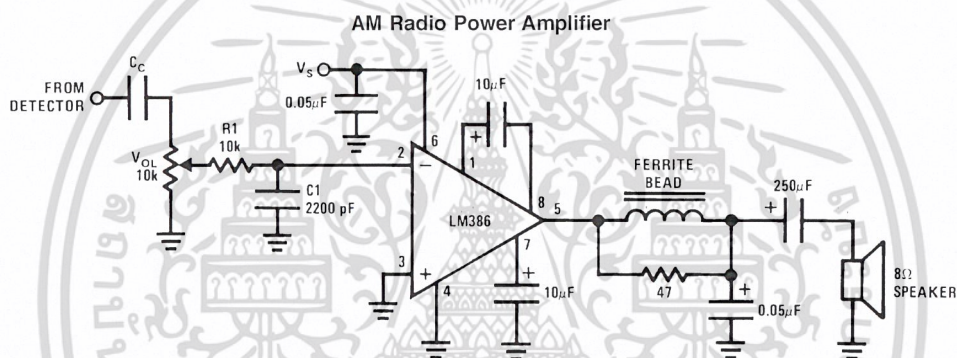
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Frequency Response with Bass Boost



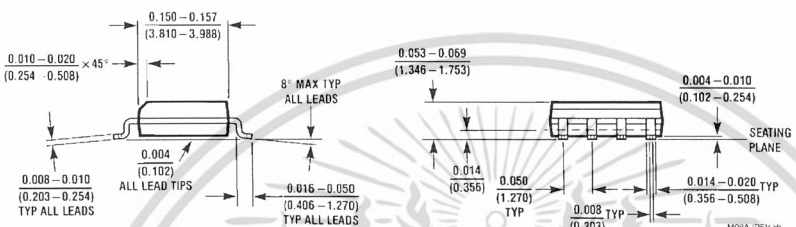
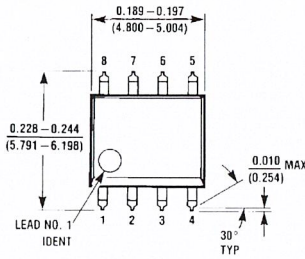
DS006976-10



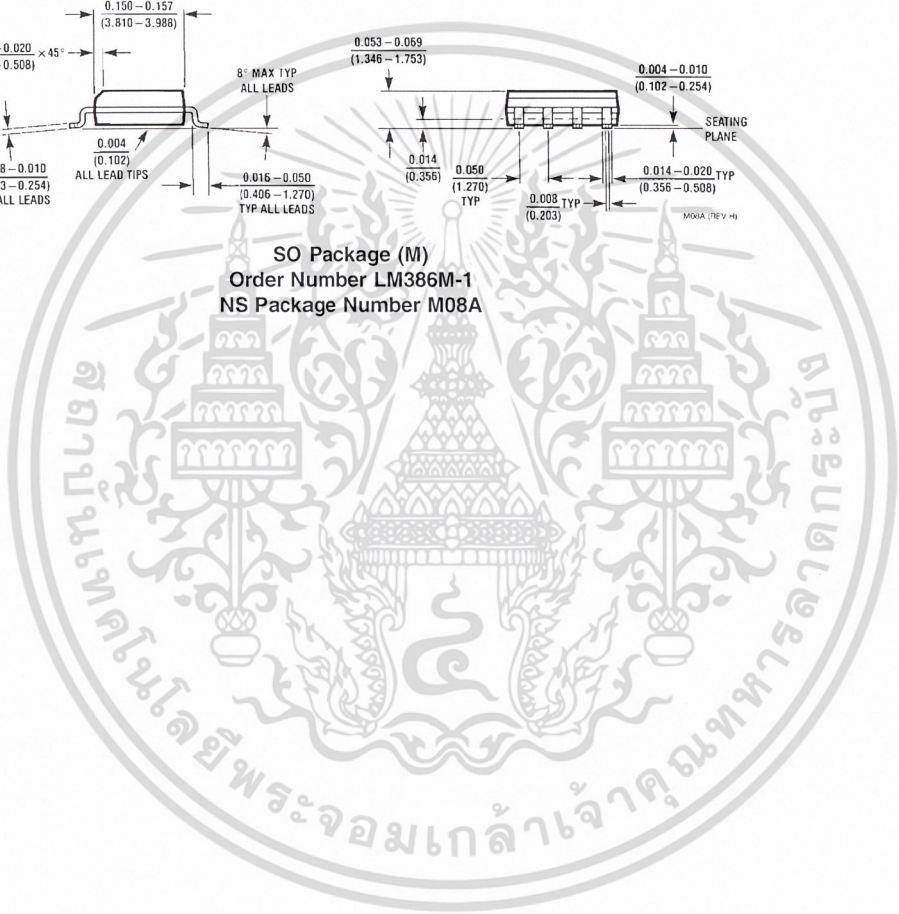
DS006976-11

- Note 4:** Twist supply lead and supply ground very tightly.
- Note 5:** Twist speaker lead and ground very tightly.
- Note 6:** Ferrite bead in Ferroxcube K5-001-001/3B with 3 turns of wire.
- Note 7:** R1C1 band limits input signals.
- Note 8:** All components must be spaced very closely to IC.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

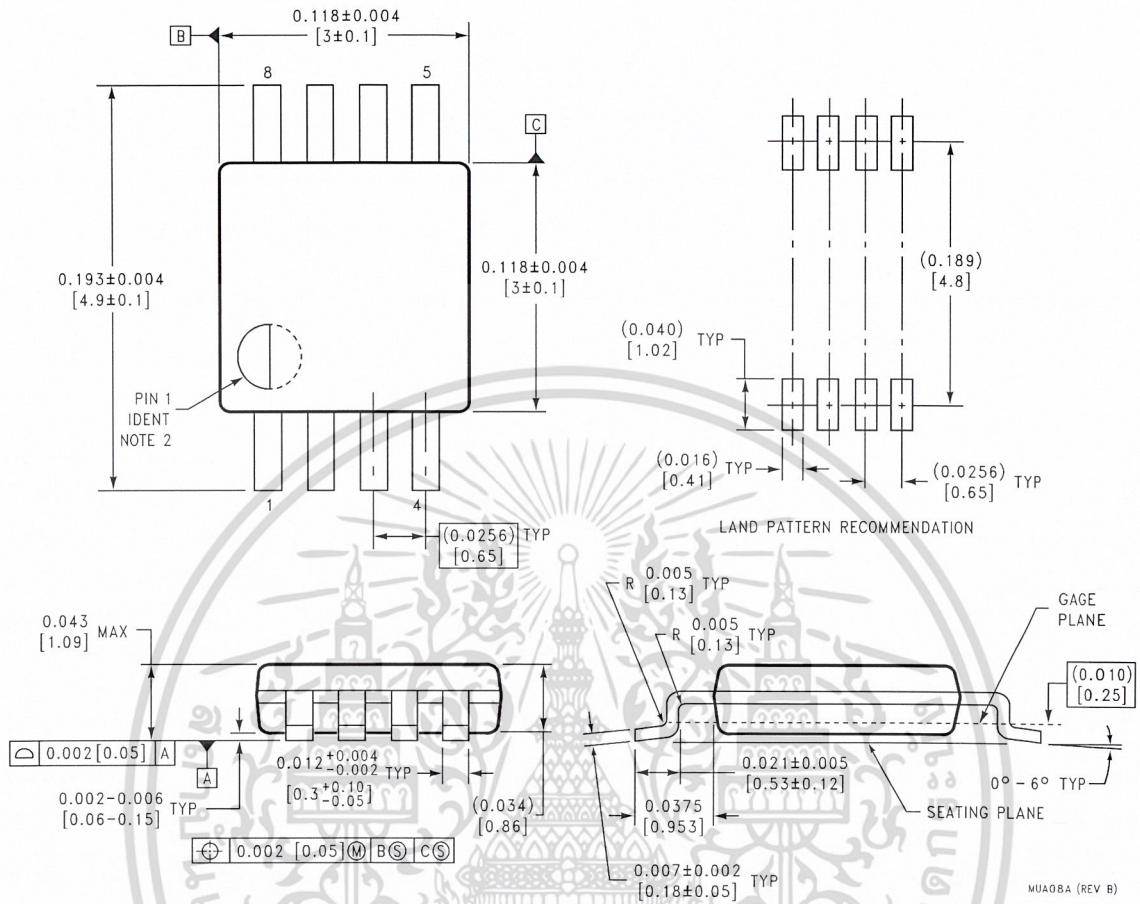


SO Package (M)
 Order Number LM386M-1
 NS Package Number M08A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

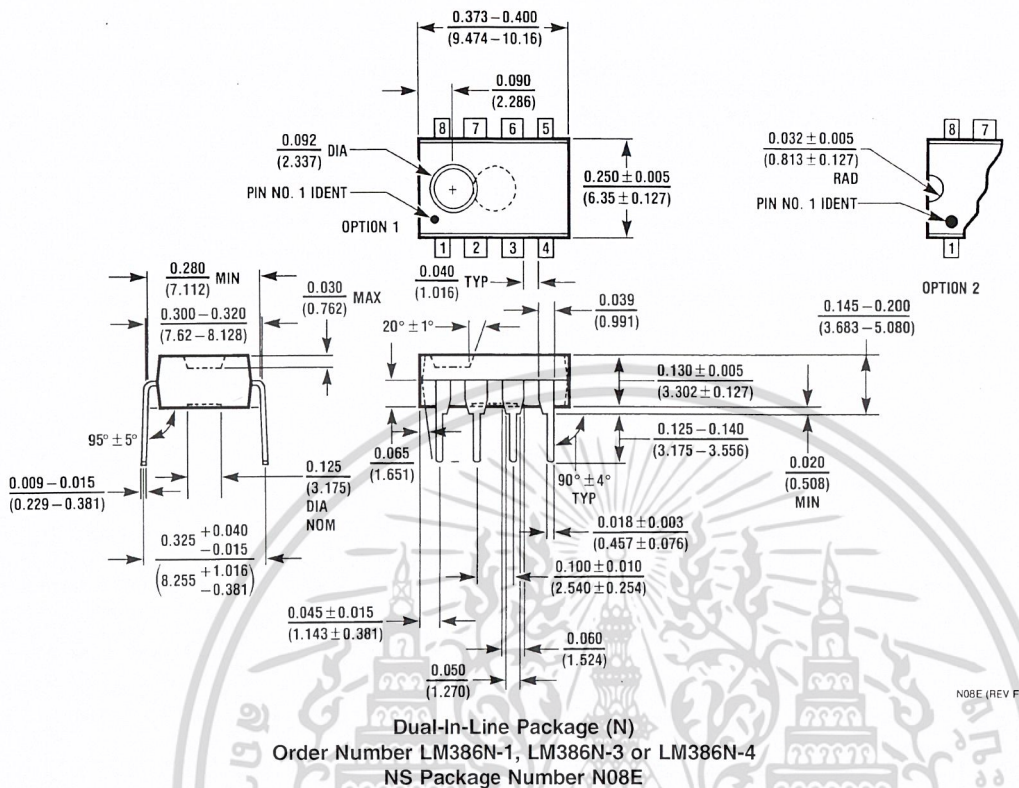
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
Order Number LM386MM-1
NS Package Number MUA08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
 Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741 Operational Amplifier

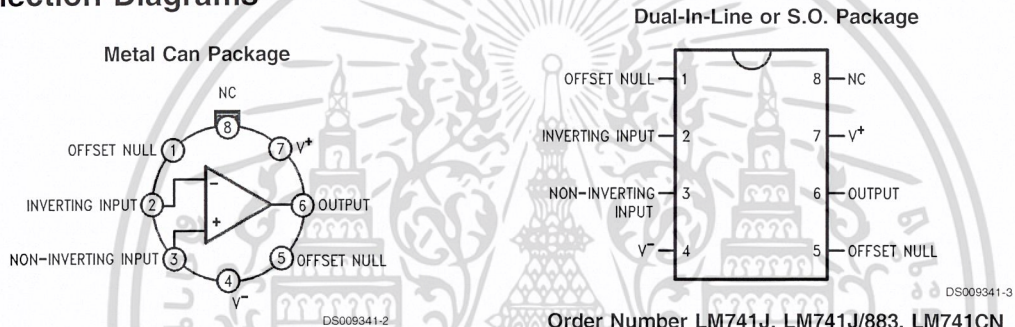
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Connection Diagrams

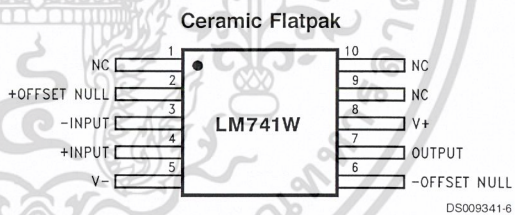


DS009341-3

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

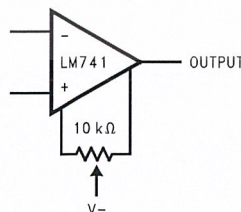


DS009341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



DS009341-7

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		0.8	3.0	1.0	5.0	2.0	6.0		mV	
	$R_S \leq 50\Omega$									mV	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0		6.0		7.5		mV	
Average Input Offset Voltage Drift				15						$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15		mV	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30	20	200	20	200		nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70	85	500		300		nA	
Average Input Offset Current Drift				0.5						$\text{nA}/^\circ\text{C}$	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80	80	500		80	500	nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210		1.5			0.8	μA	
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0	$\text{M}\Omega$	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX},$ $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5								$\text{M}\Omega$	
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13	V	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13				V	

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16 ± 15									V V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$										dB
	$R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time	0.25	0.8		0.3		0.3			μs
		Overshoot	6.0	20		5		5			%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5		0.5			V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$				1.7	2.8		1.7	2.8		mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$		80	150							mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60	100				mW mW
					45	75					mW

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Note 3: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{jA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{jA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{jC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 4: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

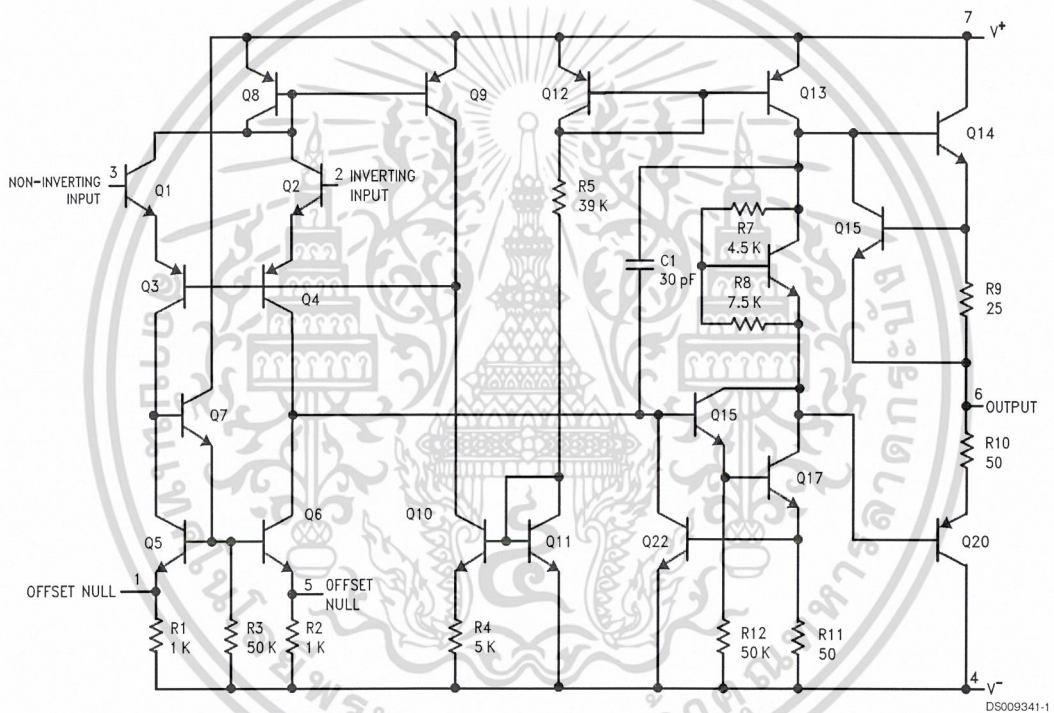
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$.

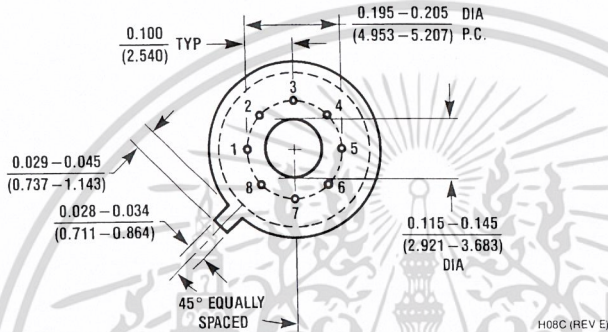
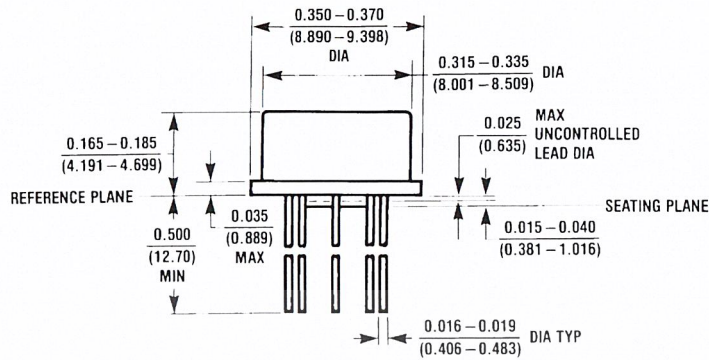
Note 7: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 8: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

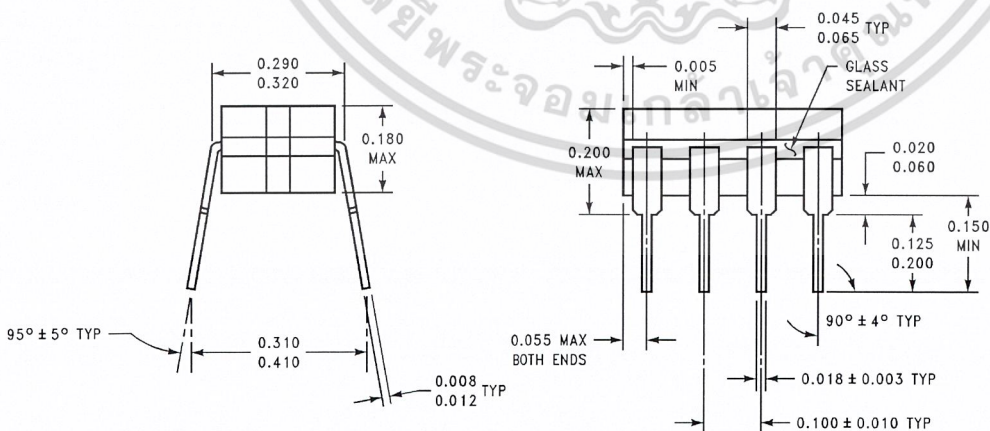
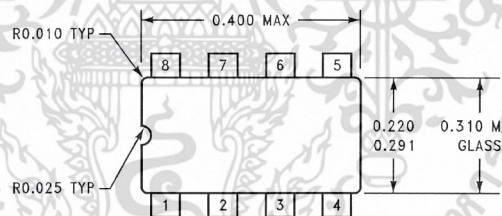
Schematic Diagram



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Metal Can Package (H)
 Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH
 NS Package Number H08C

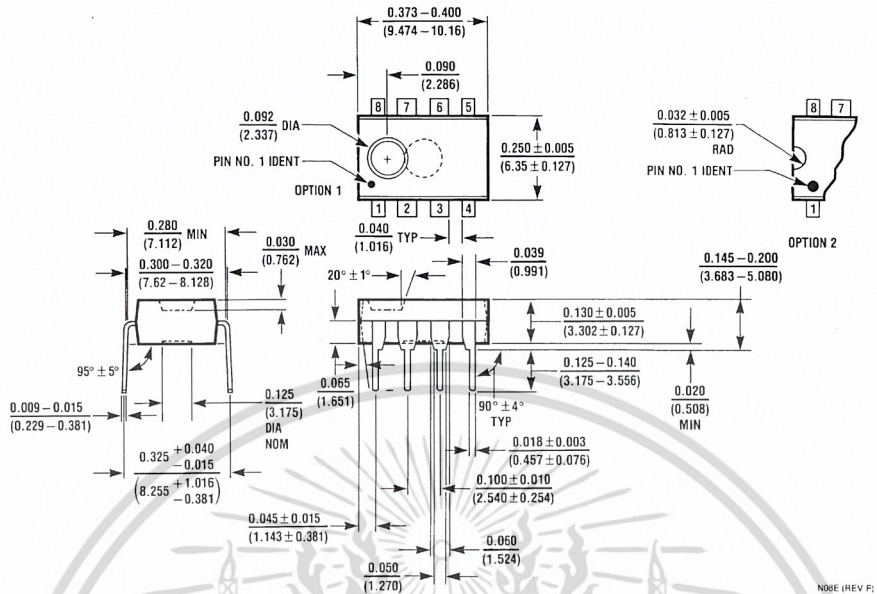


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM741J/883
 NS Package Number J08A

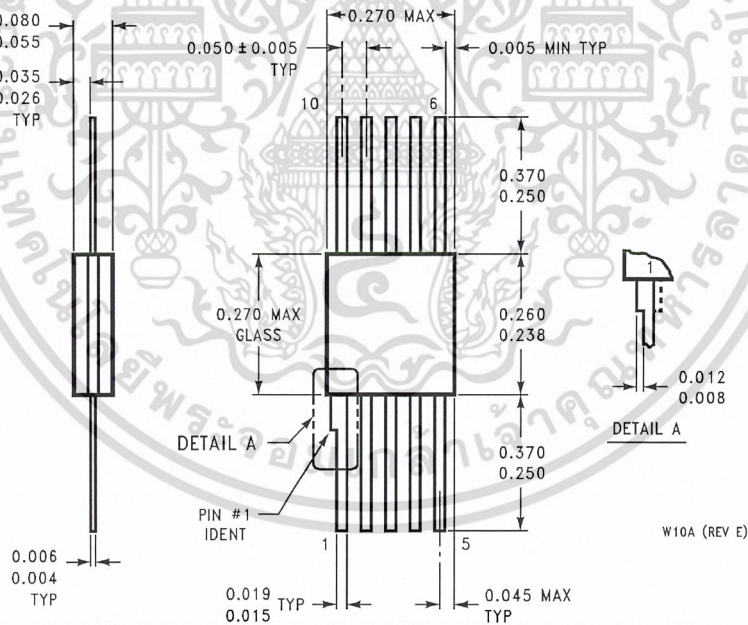
J08A (REV K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM741CN
NS Package Number N08E



10-Lead Ceramic Flatpak (W)
Order Number LM741W/883, LM741WG-MPR or LM741WG/883
NS Package Number W10A


Notes



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 **National Semiconductor Corporation**
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507