



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก  
 Analog Communication System Training Set

ชื่อนักศึกษา 1. นางสาวนุจรินทร์ อูไรรัตน์ รหัสประจำตัว 48035275  
 2. นายปฏิภาณ นามวัน รหัสประจำตัว 48035276  
 3. นายศรัณย์ ฤกษ์ใหญ่ รหัสประจำตัว 48035295

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.พรพิมล ฉายรัมย์  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.ปิยะ สุวาราสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. รศ.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์	
2. อ.พรพิมล ฉายรัมย์	
3. อ.สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล	
4. อ.ประเสริฐ เคนพันค้อ	
5. อ.ปิยะ สุวาราสวัสดิ์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 2 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 เวลา 13.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(รศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 วันที่ 30 เดือน พ.ค. พ.ศ. 50



<BT492232>

ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## ปริญญาบัตร

ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก

ANALOG COMMUNICATION SYSTEM TRAINING SET



นุจรีวรรณ อูไรรัตน์  
ปฎิภาณ นามวัน  
ศรัณย์ ฤกษ์ใหญ่

รฟ.  
๗๖๒๓๘  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **75152**  
วัน,เดือน,ปี **24 ต.ค. 2550**

b. **118 16212**  
i. ....

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

Analog Communication System Training Set

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเรื่องระบบการสื่อสารแอนะล็อก
2. เพื่อออกแบบชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
3. เพื่อสร้างชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
4. เพื่อทดสอบชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
5. เพื่อนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในระดับ ปวส. ต่อไป

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เรื่องระบบการสื่อสารแอนะล็อก
2. ได้วางจรรยาบรรณของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
3. ได้ชุดต้นแบบของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
4. ได้ผลการทดลองของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
5. ได้ชุดฝึกที่เป็นสื่อการเรียนการสอนในระดับ ปวส.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	
นักศึกษา	นางสาวนุจรินทร์	อุไรรัตน์
	นายปฏิภาณ	นามวัน
	นายศรัณย์	ฤกษ์ใหญ่
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พรพิมล	ฉายรัมย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ปีการศึกษา	2549	

### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสนอชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอน ซึ่งประกอบด้วยชุดรับสัญญาณโดยใช้วิธีการมอดูเลตแอมพลิจูดแบบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย วงจรมอดูเลต วงจรปรับเปลี่ยนระดับ วงจรขยายอัตราขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ วงจรกรองผ่านความถี่สูง วงจรขยายเสียงรวม และ วงจรดีเทคเตอร์ ผลการประเมินคุณภาพของใบงานทั้ง 10 ใบงานจากผู้ทรงคุณวุฒิ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.47 แสดงว่าใบงานการทดลองมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ส่วนด้านของชุดฝึกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.57 แสดงว่าชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

## II

<b>Thesis Title</b>	Analog Communication System Training Set	
<b>Students</b>	Miss Nootjareewan	Urairat
	Mr.Patiparn	Narmwarn
	Mr.Sarun	Lerkyai
<b>Advisor</b>	Dr.Pornpimon	Chayratsami
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Piya	Supavarasuwat
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2006	

### ABSTRACT

This thesis presents the project of analog communication system training set. It is the education demonstrator equipment. It consisted of receiver signal to pass using modulator and demodulator. Circuit consists of balance modulator, unity gain level shifter, 455 kHz I.F filter, high gain 455 kHz I.F filter, low pass filter, high pass filter, audio amplifier and envelope detector. The quality evaluation result of all 10 assignment by 3 honor, acknowledgements is mean 4.36, standard deviations 0.47 is best level and the quality evaluation result of analog communication set by 3 honor, acknowledgements is mean 4.45, standard deviations 0.57 is best level.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.พรพิมล ฉายรัศมี อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัฒน์ ขอขอบคุณรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ อาจารย์ประเสริฐ เคนพันธ์ และอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ที่ช่วยในการประเมินคุณภาพของชุดฝึกและใบงานการทดลอง และขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงการและจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และสำนักหอสมุดกลางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าข้อมูล

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่าง ทางด้านการศึกษาตลอดชีวิตจนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายต้องขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนการทำโครงการ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 รูปคลื่นชนิดต่างๆ	5
2.3 การมอดูเลตในระบบการสื่อสารแอนะล็อก	9
2.3.1 การมอดูเลตสัญญาณทางแอมพลิจูด	9
2.3.2 การมอดูเลตสัญญาณทางความถี่	15
2.3.3 การมอดูเลตสัญญาณทางเฟส	17
2.4 การมอดูเลตในระบบการสื่อสารแอนะล็อก	19
2.4.1 การมอดูเลตสัญญาณทางแอมพลิจูด	19
2.4.2 การมอดูเลตสัญญาณทางความถี่	23
2.4.3 การมอดูเลตสัญญาณทางเฟส	25
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	26
3.1 กล่าวนำ	26
3.2 การออกแบบและการสร้างวงจรมอดูเลตแบบสมดุล	26
3.3 การออกแบบและการสร้างวงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์	27
3.5 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองอัตรากาขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์	28
3.6 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	29
3.7 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	30
3.8 การออกแบบและการสร้างวงจรดีเทคเตอร์	30
3.9 การออกแบบและการสร้างวงจรมอดูเลเตอร์	31
3.10 การออกแบบและการสร้างวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า	32
3.11 การสร้างกล่องชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	32
3.12 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	32
3.13 การวิเคราะห์ข้อมูล	33
3.14 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	34
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>35</b>
4.1 กล่าวนำ	35
4.2 การทดลองการทำงานของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	35
4.2.1 การทดลอง และผลของการทดลองการมอดูเลต	35
4.2.2 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร Level Shifter	38
4.2.3 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร Low pass filter	41
4.2.4 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร High pass filter	43
4.2.5 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร Envelope Detector	45
4.2.6 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร 455 kHz I.F	50
4.2.7 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร Audio Amplifier	54
4.3 ผลการประเมินใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ	54
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	<b>55</b>
5.1 บทสรุป	55
5.2 ปัญหาและวิธีแก้ไข	55
5.3 แนวทางพัฒนา	56

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	58
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	64
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	74
ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	79
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	96
ภาคผนวก ช หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิ	101
ภาคผนวก ซ แบบประเมินและผลการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ	108
ภาคผนวก ฅ ใบงาน	119
ประวัติผู้แต่ง	186



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ของคลื่นพาห์	46
4.1 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ของคลื่นพาห์	47
4.2 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้อมูล	48
4.2 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้อมูล	49
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบสมดุล	75
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	75
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์	75
ค.3 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์	76
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ	76
ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรกรองความถี่สูง	77
ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรดีเทคเตอร์	77
ค.7 รายการอุปกรณ์ของวงจรมาคขยายเสียง	78
ค.8 รายการอุปกรณ์ของวงจรมาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	78
จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น	100
ช.1 แบบประเมินคุณภาพของโรงงาน	110
ช.2 แบบประเมินคุณภาพของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก	112
ช.3 ผลการประเมินคุณภาพของโรงงานการทดลองที่ 1-3 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	113
ช.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของโรงงานการทดลองที่ 4-6 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	114
ช.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของโรงงานการทดลองที่ 7-9 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	115
ช.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของโรงงานการทดลองที่ 10 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	116
ช.4 ผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	117
ช.5 สรุปผลการประเมินคุณภาพของโรงงานการทดลองทั้ง 10 โรงงาน	117
ช.6 สรุปผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก ทั้ง 8 รายการ	118

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปคลื่นชนิดต่างๆ	6
2.2 การวิเคราะห์รูปคลื่นไซน์	6
2.3 คลื่นที่ประกอบกันเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	7
2.4 วิเคราะห์คลื่นรูปสี่เหลี่ยมในเชิงความถี่	7
2.5 คลื่นประกอบกันเป็นคลื่นฟันเลื่อย	8
2.6 สเปกตรัมความถี่ของคลื่นฟันเลื่อย	9
2.7 รูปคลื่นสัญญาณของการมอดูเลตทางแอมพลิจูด	10
2.8 การวัดค่าดัชนีการมอดูเลต	10
2.9 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณที่มอดูเลตแอมพลิจูดแบบเต็ม	12
2.10 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณ AM แบบ DSBSC	13
2.11 รูปคลื่นสัญญาณ AM แบบ DSBSC	13
2.12 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณ AM แบบ SSB	14
2.13 การกำเนิดสัญญาณ SSB ด้วยวิธีการกรอง	14
2.14 การกำเนิด SSB ด้วยวิธีการจัดเฟส	15
2.15 การมอดูเลตทางความถี่	16
2.16 ความแตกต่างระหว่างสัญญาณ PM กับสัญญาณ FM	18
2.17 การดีเทคเตอร์สัญญาณทางแอมพลิจูดด้วยไดโอด	20
2.18 วงจรดีเทคเตอร์สัญญาณทางแอมพลิจูดด้วยทรานซิสเตอร์	20
2.19 วงจรซิงโครไนส์ดีเทคเตอร์	21
2.20 รูปคลื่นในวงจรซิงโครไนส์ดีเทคเตอร์	22
2.21 วงจรโปรตักดีเทคเตอร์	22
2.22 วงจรสโปลดีเทคเตอร์ และผลตอบสนองความถี่ของวงจร	23
2.23 ดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน	24
2.24 แผนผังวงจร PLL	25
2.25 การดีมอดูเลตสัญญาณทางเฟส	25
3.1 วงจรมอดูเลตแบบสมดุส	26
3.2 วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	27
3.3 วงจรกรองความถี่	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์	29
3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	29
3.6 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	30
3.7 วงจรดีเทคเตอร์	31
3.8 วงจรขยายเสียง	31
3.9 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	32
4.1 DSB Modulator	35
4.2 สัญญาณอินพุตสัญญาณข่าวสาร	36
4.3 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาห์	37
4.4 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 50 %	37
4.5 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 100 %	38
4.6 สัญญาณอินพุตสัญญาณข่าวสาร	39
4.7 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาห์	39
4.8 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier	40
4.9 ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้ต่ำสุด	40
4.10 ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้สูงสุด	41
4.11 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ Low pass filter	42
4.12 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ Low pass filter	43
4.13 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ High pass filter	44
4.14 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ High pass filter	45
4.15 Diode Envelope Detector for an AM Signal	45
4.16 วงจรเครื่องรับวิทยุแบบ ซุปเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne)	50
4.17 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p ที่จุด 1	51
4.18 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 Vp-p	51
4.19 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด 2 โดยปรับเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 50 %	52
4.20 ป้อนความถี่ 955 kHz แอมพลิจูด 500 mVp-p เป็นสัญญาณ LO	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 รูปคลื่นสัญญาณสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 3	53
4.22 รูปคลื่นสัญญาณสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 4	53
4.23 ป้อนสัญญาณทางด้านอินพุตของภาค Audio Amplifier	54
ก.1 ด้านหน้าของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก	59
ก.2 ด้านหลังของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก	59
ก.3 ด้านในของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก	60
ก.4 วงจรมอดูเลตแบบสมดุล	60
ก.5 วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	61
ก.6 วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์	61
ก.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	62
ก.8 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	62
ก.9 วงจรดีเทคเตอร์	63
ก.10 วงจรขยายเสียง	63
ก.11 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	63
ข.1 วงจรมอดูเลตแบบสมดุล	65
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรมอดูเลตแบบสมดุล	65
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมอดูเลตแบบสมดุล	66
ข.4 วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	66
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	66
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน	67
ข.7 วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์	67
ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์	67
ข.9 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์	68
ข.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	68
ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	68
ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.13 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	69
ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	69
ข.15 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	70
ข.16 วงจรดีเทคเตอร์	70
ข.17 แผ่นวงจรพิมพ์ วงจรดีเทคเตอร์	70
ข.18 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ วงจรดีเทคเตอร์	71
ข.19 วงจรขยายเสียง	71
ข.20 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายเสียง	71
ข.21 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายเสียง	72
ข.22 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	72
ข.23 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	72
ข.24 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า	73
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก (ด้านหน้า)	98
จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก (ด้านหลัง)	99

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเรียนการสอนนิเวศระบบการสื่อสารแอนะล็อกใช้ชุดฝึกที่มีความยุ่งยากในการทดลอง มีราคาแพง ไม่เพียงพอในการทดลอง และไม่ครอบคลุมเนื้อหาในบางเรื่อง นอกจากชุดฝึกเหล่านี้ไม่แสดงรายละเอียดของการทำงานของภาคต่างๆเท่าที่ควร ดังนั้น จึงมีแนวความคิดในการจัดทำอุปกรณ์ช่วยสอนในการเรียนการสอน ที่สามารถทำได้ง่ายทำความเข้าใจง่าย สามารถศึกษาข้อมูลได้รวดเร็ว และสามารถนำเสนอต่อบุคคลอื่นได้ ซึ่งตรงกับรูปแบบการเรียนการสอนแบบใหม่ ที่เน้นให้นักเรียนเป็นศูนย์กลางการศึกษา

### 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้สร้างชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกสำเร็จรูปขึ้นมา เพื่อให้ผู้ที่ศึกษามีความรู้เรื่องระบบการสื่อสารแอนะล็อก, สามารถออกแบบและสร้างชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกพร้อมกับการทดลอง เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในระดับ ปวส. ซึ่งในชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจะประกอบด้วยใบงานการทดลอง 10 ใบงาน ที่สามารถค้นคว้ารายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องที่ทำการทดลองและนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีเรื่องนั้นๆ ได้ จึงไม่ยุ่งยาก ไม่เสียเวลา และยังสร้างความสนใจในการเรียนของนักศึกษาได้มากขึ้น และชุดทดลองนี้จะเป็นตัวช่วยในการประหยัดงบประมาณของสถานศึกษาได้ เพราะใช้อุปกรณ์ที่มีขายในประเทศจึงง่ายในการซ่อมแซมและต้นทุน เพราะไม่ต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง

### 1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อผ่านการเรียนและทำการทดลองตามใบงานในโครงการนี้แล้ว ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแอนะล็อกในภาคต่างๆ จนสามารถนำชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกเป็นสื่อการเรียนการสอนในระดับ ปวส. ต่อไป โดยชุดทดลองนี้จะผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในระดับดี ขึ้นไป

### 1.4 ขีดความสามารถในโครงการ

โครงการนี้มีความสามารถดังต่อไปนี้

1. ในชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจะประกอบไปด้วยวงจรภาค

1.1 Multiplier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2 Level Shifter
- 1.3 Envelope Detector
- 1.4 I.F. Filter
- 1.5 I.F. Amplifier
- 1.6 Active Filters
- 1.7 Audio Amplifier
2. มีจุดเชื่อมต่อและทดสอบระหว่างภาคต่างๆ
3. มีใบงานในการทดลองระบบการสื่อสารแอมพล็อกทั้งหมด 10 ใบงาน ดังต่อไปนี้
  - 3.1 Principles of Communication and Types of Signals
  - 3.2 Doubled Side Band
  - 3.3 Doubled Side Band Transmitters/Coherent Receiver
  - 3.4 Doubled Side Band Transmitters/Coherent Receiver
  - 3.5 Diode Envelope Detector for an AM Signal
  - 3.6 AM Superheterodyne Receiver
  - 3.7 Demodulation of Local AM Broadcast Stations
  - 3.8 FM Modulation
  - 3.9 FM Demodulation
  - 3.10 Advance Frequency Modulation & Frequency Demodulation
4. ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยต้องได้คะแนน 3.5 ขึ้นไป จากคะแนน 5 คะแนน

## 1.5 ขั้นตอนการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และใบงาน ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มศึกษาโครงสร้าง และรูปแบบการทำงานของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอมพล็อก เพื่อทำความเข้าใจหลักการการทำงานของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอมพล็อก เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบใบงานการทดลอง

## 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกแก่การศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ชี้ความสามารถของโครงการ การประเมินใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอมพล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ และเนื้อหาในบทต่างๆ

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ และหลักการ กล่าวถึง การสื่อสารเบื้องต้น การมอดูเลตในระบบสื่อสารแอนะล็อก ซึ่งได้แก่ การมอดูเลตทางแอมพลิจูด การมอดูเลตทางความถี่ การมอดูเลตทางเฟส และการดีมอดูเลตในระบบสื่อสารแอนะล็อก ส่วนต่อมาจะกล่าวถึง วงจรขยายความต้านทานทางอินพุตสูง การขยายแบบควอดราเจอร์ที่มีอัตราขยายสูง และการขยายสัญญาณแบบรบกวน การประมวลสัญญาณเสียงสำหรับเครื่องส่งเอฟเอ็ม การเฮทเทอร์โรไดอันแบบความถี่ต่ำ การดีมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยการดีเทคผลคูณ การมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบสัญญาณแถบข้างคู่รัศมีนพาร์ การออสซิลเลตสัญญาณแบบเอฟเอ็ม โดยใช้ไดโอดแบบจูนนิ่ง การดีมอดูเลตทางแอมพลิจูดและความถี่โดยการดีเทคผลคูณ และการตรวจสอบเครื่องมือ

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโครงการ ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนถึงการออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรจำลองการทำงานของระบบสื่อสารแอนะล็อก พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ การประเมินใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรภาคต่างๆ มีเนื้อหาเกี่ยวกับลักษณะของสัญญาณที่ได้ที่จุดทดสอบต่างๆ ของชุดทดลองนี้ ซึ่งจะแสดงสัญญาณที่ได้ในจุดทดสอบต่างๆ ในแต่ละใบงานการทดลอง ผลการประเมินใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและพัฒนา เป็นการสรุปข้อบกพร่องต่างๆ และชุดทดลองที่จัดทำขึ้น การอภิปรายถึงสาเหตุของข้อบกพร่อง แนวทางแก้ไขในการปรับปรุงชุดทดลอง ในภาคผนวกจะแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่จัดทำโครงการดังนี้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ฉ หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ช แบบประเมินและผลการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญาโทในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่จะนำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงานโดยประกอบด้วย การสื่อสารเบื้องต้น การมอดูเลตทางแอมพลิจูด การมอดูเลตทางความถี่ การมอดูเลตทางเฟส และการดีมอดูเลตในระบบสื่อสารแอนะล็อก ส่วนต่อมาจะกล่าวถึง วงจรขยายความต้านทานทางอินพุตสูง การขยายแบบควอดราเจอร์ที่มีอัตราขยายสูง และการขยายสัญญาณแบบรบกวน การประมวลสัญญาณเสียงสำหรับเครื่องส่งเอฟเอ็ม การเซทเทอร์โรโมดัลแบบความถี่ต่ำ การดีมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยการดีเทคผลคูณ การมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบสัญญาณแถบข้างคู่ไร้คลื่นพาหะ การออสซิลเลตสัญญาณแบบเอฟเอ็มโดยใช้ไดโอดแบบจูนนิ่ง และการดีมอดูเลตทางแอมพลิจูดและความถี่โดยการดีเทคผลคูณ

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้นเป็นการสื่อความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสารโดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสาร โดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แล้วก็เ็นระบบไปรษณีย์เป็นการส่งโทรเลขจนถึงในปัจจุบันเป็นการส่งข่าวสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารโดยการพูดพัฒนาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดาไปเป็นโทรศัพท์และวิทยุ วิศวกรรมต่างๆ มักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารได้ไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น

ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุช่วยให้ติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายให้เป็นคลื่นเสียง (หรือออดิโอ) แล้วทำการผสมกับคลื่นพาหะ (คลื่นวิทยุ) จากนั้นส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามถ้าหากส่งเสียงพูดไปในรูปของคลื่นเสียง (ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์) ปัญหาจะเกิดขึ้นตามมาหลายประการดังนี้

ประการที่หนึ่ง การที่จะทำให้การส่งมีประสิทธิภาพจะต้องใช้สายอากาศที่มีขนาดความยาว เท่ากับ  $1/4$  หรือ  $1/2$  ของความยาวคลื่น ฉะนั้นการส่งคลื่น 3 กิโลเฮิรตซ์ จะต้องใช้สายอากาศ ยาวอย่างน้อย 25 กิโลเมตร

ประการที่สอง แม้ว่าจะแก้ปัญหสายอากาศได้แต่ก็เกิดปัญหาตามมาอีกว่า ส่งได้เพียงครั้งละสถานีเพราะทุกสถานีก็ใช้ความถี่เสียงซ้ำกัน

ประการที่สาม การส่งโดยใช้ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่เสียงนั้นจะไม่มีประสิทธิภาพเพราะไปได้ไม่ไกล

ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้สัญญาณความถี่สูงเป็นพาหะ เพื่อให้สัญญาณเสียงพูด เกาะไปเมื่อส่งไปถึงเครื่องรับ พาหะที่มีสัญญาณเสียงพูดเกาะมาด้วย ก็จะถูกแยกออกไปและกลับคืนตัวเป็นเสียงพูดตามเดิม วิธีการแรกเรียกว่า การมอดูเลต (Modulation) หมายถึง สัญญาณเสียงเข้าไปมอดูเลตบน

คลื่นพาห้ วิธีการหลังเรียกว่า การดีมอดูเลต (Demodulation) หรือดีเทค (Detect) หมายถึง แยกสัญญาณเสียงที่มอดูเลต บนคลื่นพาห้กลับคืนมา

สัญญาณโคไซน์ Cosine สามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$V = E \cos(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

โดยที่  $V$  คือ ค่าแรงดันชั่วขณะของสัญญาณ

$E$  คือ แอมพลิจูดของสัญญาณ

$\omega$  คือ ความถี่เชิงมุมของสัญญาณ

$\phi$  คือ เฟสที่เลื่อนไปจากเฟสอ้างอิง

$E, \omega$  และ  $\phi$  ในที่นี้เป็นตัวแปรอิสระ

ถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งถูกทำให้เปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลตอบสนองต่อสัญญาณอื่น แสดงว่าสัญญาณถูกมอดูเลต (Modulate) ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

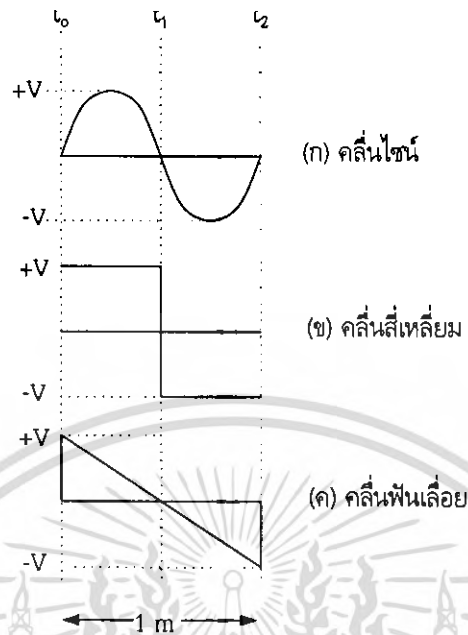
- 1) มอดูเลตทางขนาด (Amplitude Modulation AM) คือ มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $E$
- 2) มอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation FM) คือ มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\omega$
- 3) มอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation PM) คือ มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$  โดยที่สัญญาณที่ถูกมอดูเลตนี้เรียกว่า คลื่นพาห้ (Carrier Wave)

## 2.2 รูปคลื่นชนิดต่างๆ

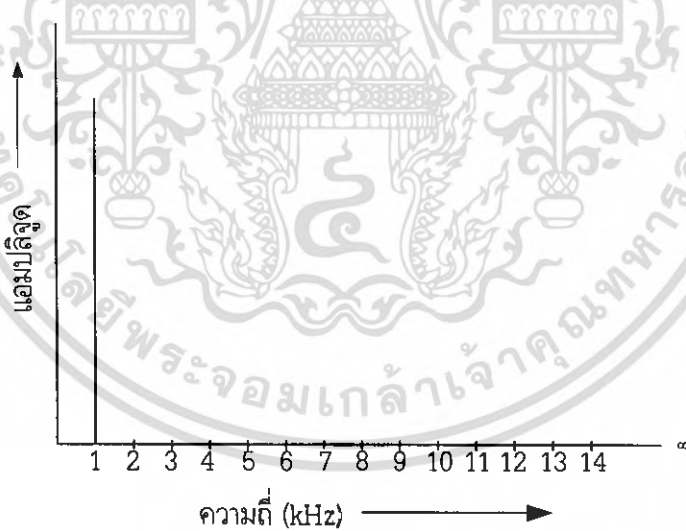
ก่อนที่จะเข้าสู่เรื่องการมอดูเลต จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับรูปคลื่นสำคัญๆ ที่พบบ่อยๆ และวิเคราะห์คลื่นเชิงความถี่ (Frequency domain) ใดๆ จะประกอบขึ้นด้วยรูปคลื่นไซน์จำนวนมากมายผสมกัน คลื่นรายคาบในที่นี้หมายถึง คลื่นที่มีรูปคลื่นซ้ำๆ กันทุกๆ ไซเคิล รูปที่ 2.1 แสดงคลื่นรายคาบ 3 ชนิดซึ่งมีรูปคลื่นซ้ำกันทุกๆ ไซเคิล คลื่นรายคาบทั้ง 3 ชนิดนั้น แท้ที่จริงก็เกิดขึ้นจากการประกอบของคลื่นรูปไซน์ซึ่งมีค่าแอมพลิจูด เฟส และความถี่ตามสัดส่วน นอกจากนี้เราสามารถพิสูจน์ให้เห็นว่า ไม่ว่าคลื่นรายคาบจะมีรูปร่างแบบไหนเมื่อวิเคราะห์ในเชิงความถี่ ตามสัดส่วน

- 1) คลื่นรูปไซน์ (Sine wave) จะมีรูปคลื่นตามรูปที่ 2.1 (ก) ซึ่งเป็นภาพที่เราสามารถมองเห็นได้จากออสซิลโลสโคปโดยแกนแนวราบเป็นเวลา แกนแนวตั้งเป็นแอมพลิจูด ส่วนในรูปที่ 2.2 เป็นรูปคลื่นที่ปรากฏบนเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Spectrum analyzer) ซึ่งเป็นการแสดงภาพในเชิงความถี่ แกนแนวราบเป็นความถี่ แกนแนวตั้งเป็นแอมพลิจูด สังเกตว่าคลื่นรูปไซน์จะปรากฏเป็นแท่นแนวตั้ง 1 แท่น ตรงตำแหน่งความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ บนแกนแนวราบมีเพียงแท่นเดียวเพราะเป็นคลื่นรูปไซน์บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



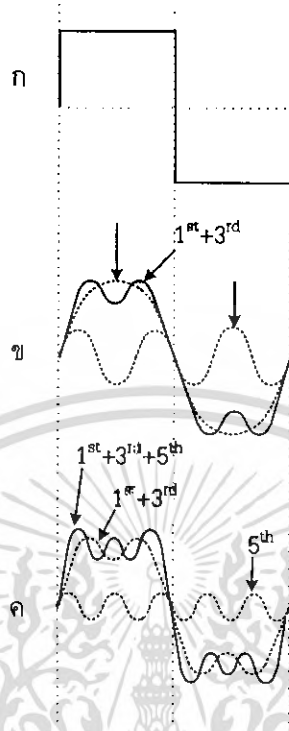
รูปที่ 2.1 รูปคลื่นชนิดต่างๆ



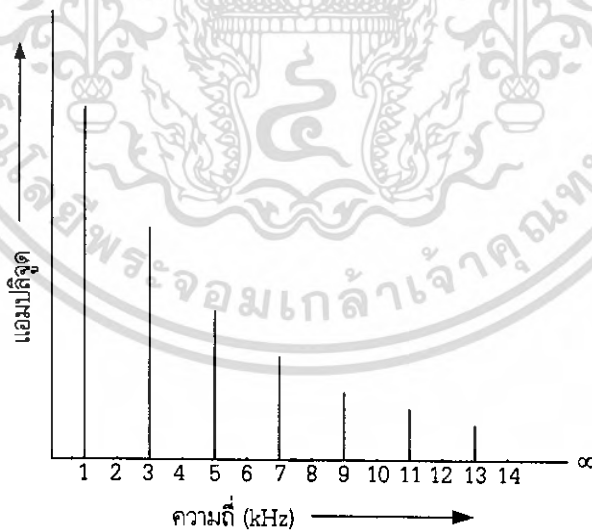
รูปที่ 2.2 แสดงการวิเคราะห์รูปคลื่นไซน์

2) คลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ คลื่นรูปสี่เหลี่ยมนี้ประกอบด้วยคลื่นไซน์จำนวนมาก หรือกล่าวได้ว่า คลื่นสี่เหลี่ยมประกอบด้วยคลื่นไซน์ที่เป็นคลื่นความถี่พื้นฐาน (Fundamental) จำนวน 1 คลื่นและรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 คลื่นที่ประกอบกันเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

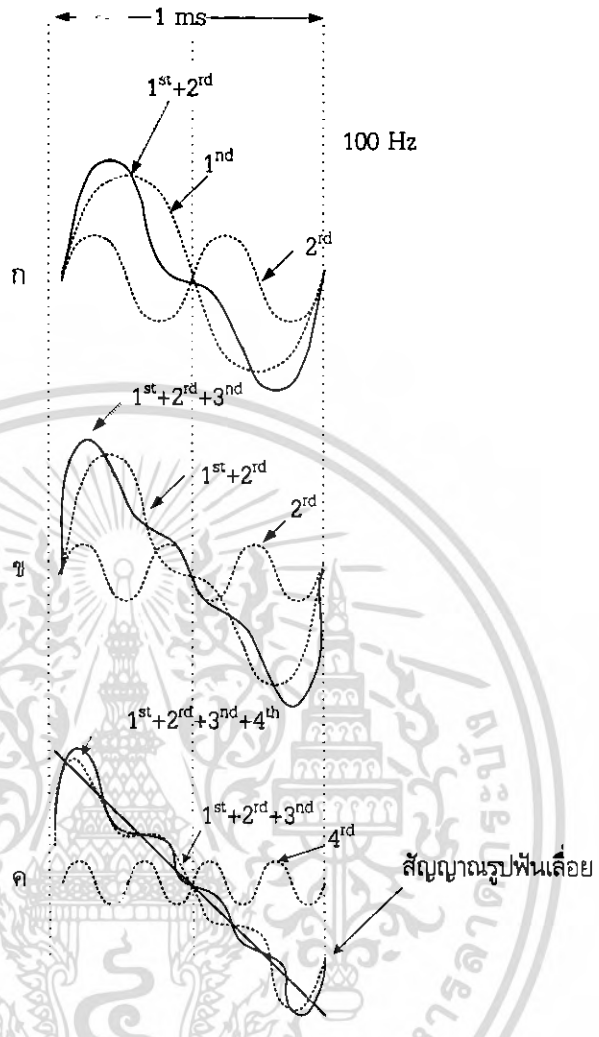


รูปที่ 2.4 วิเคราะห์คลื่นรูปสี่เหลี่ยมในเชิงความถี่

3) คลื่นรูปฟันเลื่อย (Sawtoothed wave) รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นฟันเลื่อยซึ่งประกอบด้วย ฮาร์โมนิกลำดับคี่และลำดับคู่ ในรูปที่ 2.5 (ค) แสดงถึงการรวมของคลื่นไซน์

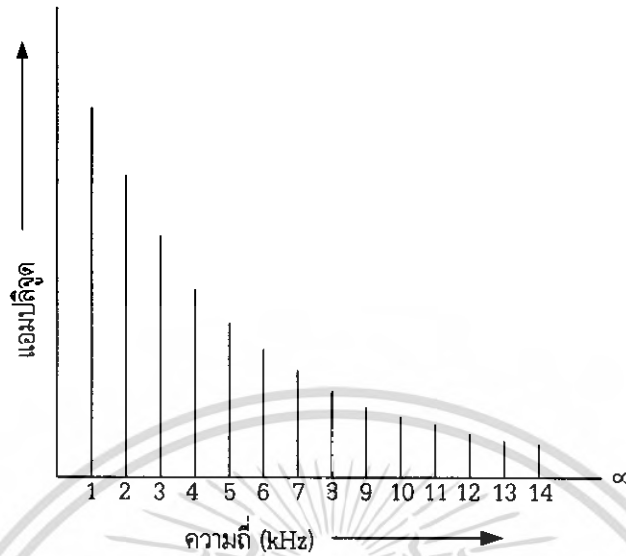
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1<sup>st</sup> หมายถึง ฮาร์โมนิกที่ 1  
หรือ ฟันดาเมนตัน
- 2<sup>nd</sup> หมายถึง ฮาร์โมนิกที่ 2
- 3<sup>rd</sup> หมายถึง ฮาร์โมนิกที่ 3
- 4<sup>th</sup> หมายถึง ฮาร์โมนิกที่ 4



รูปที่ 2.5 คลื่นประกอบกันเป็นคลื่นฟันเลื่อย

จากตัวอย่างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและฟันเลื่อย สรุปว่าเราสามารถนำคลื่นรูปไซน์ต่างๆ มาผสมกันให้เป็นคลื่นรูปร่างซับซ้อนกันได้จำนวนนับไม่ถ้วน และในทางกลับกันคลื่นรูปร่างใดๆ ก็ตามเราสามารถแยกออกเป็นคลื่นรูปไซน์ต่างๆ ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมความถี่ของคลื่นพ่นเลื่อย

## 2.3 การมอดูเลตในระบบการสื่อสารแอนะล็อก

ในระบบการสื่อสารแอนะล็อกสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Modulation Signal) คือ สัญญาณแบบแอนะล็อก โดยสัญญาณแอนะล็อกจะทำให้สัญญาณคลื่นพาห้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการมอดูเลตในระบบนี้สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

### 2.3.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด

การมอดูเลตทางแอมพลิจูด คือ การทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาห้เปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารที่นำมามอดูเลต ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบเต็ม (Full AM) โดยสมมุติให้สัญญาณข่าวสารที่นำมามอดูเลตเป็น

$$V_m = E_m \cos \omega_m t \quad (2.2)$$

และสัญญาณคลื่นพาห้มีค่าเป็น

$$V_c = E_c \cos \omega_c t \quad (2.3)$$

เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมาทำการมอดูเลตทางแอมพลิจูดจะได้สมการ คือ

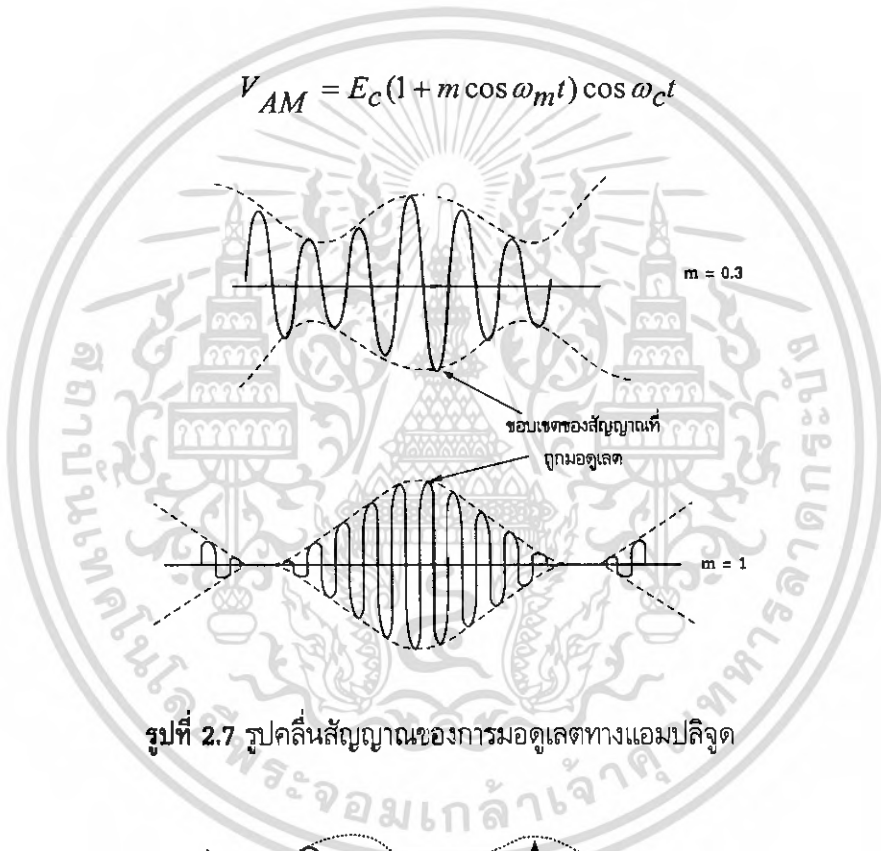
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{AM} = (E_c + E_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \tag{2.4}$$

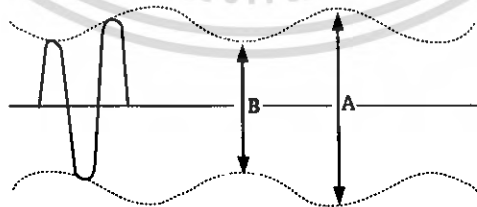
$$= E_c \left[ 1 + \frac{E_m}{E_c \cos \omega_m t} \right] \cos \omega_c t \tag{2.5}$$

โดยที่  $\frac{E_m}{E_c}$  คือ ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และแทนด้วย  $m$  ดังนั้นได้สมการของสัญญาณที่มอดูเลตแบบ AM คือ สัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ Full AM แสดงดังใน รูปที่ 2.7

$$V_{AM} = E_c (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \tag{2.6}$$



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นสัญญาณของการมอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 2.8 การวัดค่าดัชนีการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 สามารถหาค่า  $m$  ได้จาก

$$m = \frac{A - B}{A + B} \quad (2.7)$$

ในสมการที่ (2.6) จะเห็นได้ว่าคลื่นสัญญาณพาห์ที่ถูกมอดูเลตไม่ได้มีความถี่เพียงความถี่เดียวซึ่งเราสามารถแยกออกได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{AM} &= E_c(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t & (2.8) \\ &= E_c \cos \omega_c t + m E_c \cos \omega_m t \cos \omega_c t \\ &= E_c \cos \omega_c t + 0.5 m E_c [(\cos \omega_m) t + \cos(\omega_c + \omega_m) t] \end{aligned}$$

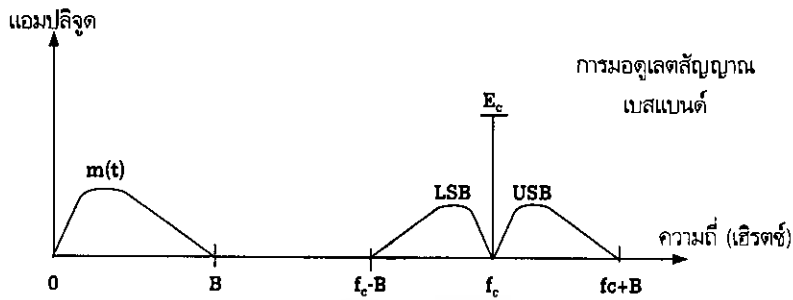
เมื่อทำการกระจายสมการออกแล้ว เห็นได้ว่ามีความถี่เพิ่มขึ้นมา 2 ความถี่ โดยความถี่หนึ่งมีค่าสูงกว่าความถี่คลื่นพาห์ (Carrie Frequency:  $f_c$ ) และอีกความถี่มีค่าต่ำกว่า  $f_c$  ซึ่งความถี่ทั้งสองนี้ เรียกว่าความถี่ข้างที่สูงกว่า (Upper Side Frequencies) คือ ส่วนของ  $(\omega_c + \omega_m)$  และความถี่ข้างที่ต่ำกว่า (Lower Side Frequencies) คือ ส่วนของ  $(\omega_c - \omega_m)$  โดยความถี่ทั้งสองจะมีขนาดเป็น 0.5 เท่าคลื่นพาห์

ในรูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณซึ่งมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบเต็มโดยในรูป (ก) สำหรับกรณีที่ทำกรมอดูเลตกับสัญญาณเพียงความถี่เดียว ในรูป (ข) สำหรับกรณีที่มอดูเลตกับสัญญาณความถี่หลายสัญญาณ จะทำให้เกิดแถบข้างขึ้น (Sidebands) โดยประกอบด้วย แถบข้างบน (Upper Sideband : USB) และแถบข้างล่าง (Lower Sideband : LSB)

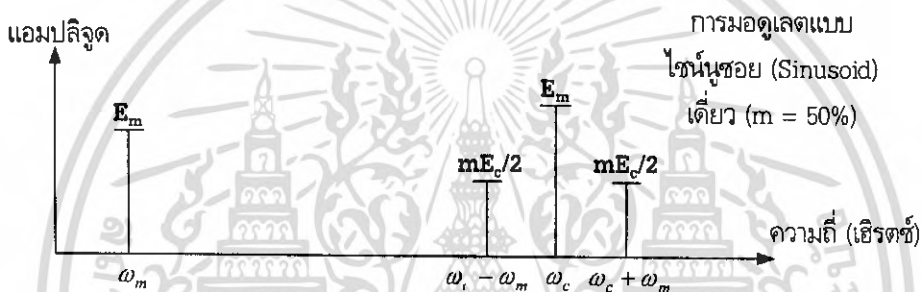
จากรูปที่ 2.9 สามารถหาแถบแบนวิธ (Bandwidth : BW) ที่ต้องใช้ในการส่งสัญญาณการมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบเต็ม ได้ดังนี้

$$BW_{FULLAM} = 2B \quad (2.9)$$

โดยที่  $B$  คือ แบนด์วิธของสัญญาณข่าวสาร



(ก) การมอดูเลตกับสัญญาณเพียงความถี่เดียว



(ข) มอดูเลตกับสัญญาณความถี่หลายสัญญาณ

รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณที่มอดูเลตแอมพลิจูดแบบเต็ม

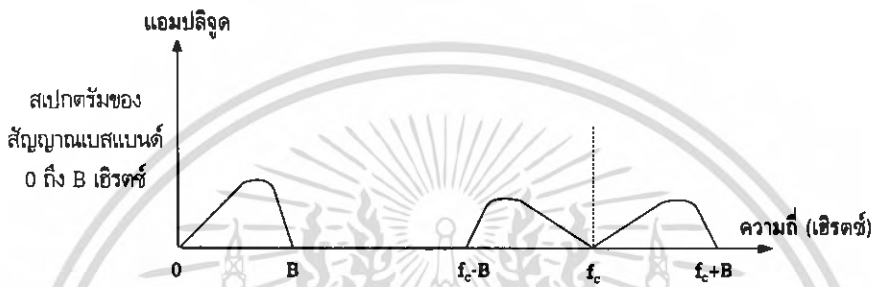
2. การมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบสัญญาณแถบข้างคู่ไร้คลื่นพาห้ (Double Sideband Suppressed Carrier : DSBSC) เนื่องจากการส่งสัญญาณซึ่งถูกมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบเต็มจะต้องใช้แบนด์วิดท์ และกำลังในการส่งมาก นอกจากนี้สัญญาณส่วนที่เป็นความถี่คลื่นพาห้ที่ไม่มีข่าวสารบรรจุอยู่ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเอาสัญญาณคลื่นพาห้ที่ออกซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$V_{DSBSC} = V_{AM} - V_c \tag{2.10}$$

หรือเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} V_{DSBSC} &= V_m - V_c \\ &= E_m \cos \omega_m t - E_c \cos \omega_c t \\ &= 0.5 E_m [\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t] \end{aligned} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณ AM แบบ DSBSC

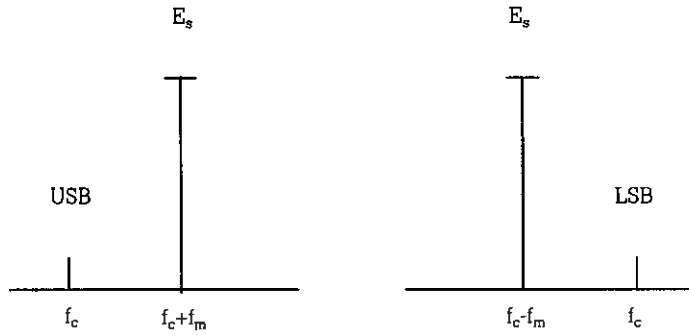
เมื่อนำสมการที่ (2.11) มาหาสเปกตรัม จะได้รูปที่ 2.10 และแบนด์วิดท์จะมีขนาดเท่ากับแบนด์วิดท์ของสัญญาณมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบเต็ม



รูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณ AM แบบ DSBSC

3. การมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบแถบข้างเดียว (Single Sideband: SSB) เนื่องจากข่าวสารซึ่งบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ทั้งสองของสัญญาณ AM เป็นข่าวสารที่เหมือนกัน ดังนั้นสามารถส่งสัญญาณ AM เพียงไซด์แบนด์เดียวเท่านั้นก็จะได้ข่าวสารครบถ้วน และใช้กำลังในการส่งแบนด์วิดท์ลดลงวิธีการสร้างคลื่นสัญญาณ SSB สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

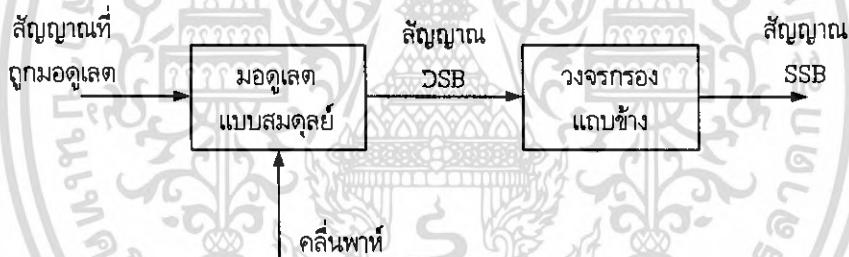
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณ AM แบบ SSB

วิธีการสร้างคลื่นสัญญาณ SSB สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

ก) วิธีการกรองสัญญาณ (Filtering) ในการกรองนี้จะใช้การกำหนดสัญญาณ DSBSC แล้วเพิ่ม วงจรกรองแถบข้าง (Sideband Filter) เข้าไปในวงจรเพื่อเลือกไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่ง

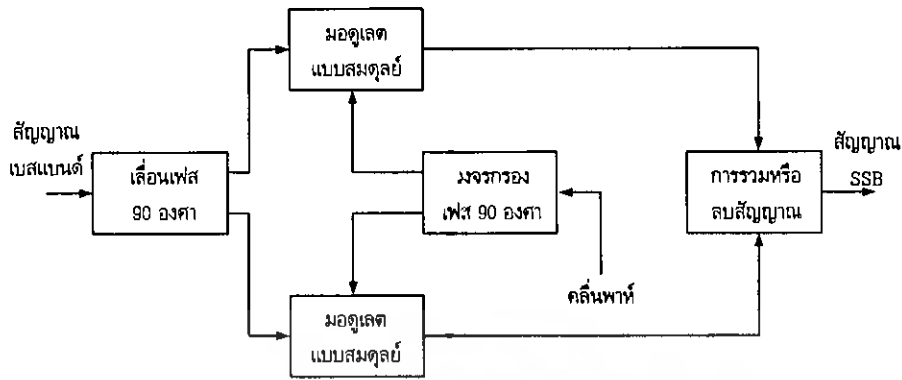


รูปที่ 2.13 การกำเนิดสัญญาณ SSB ด้วยวิธีการกรอง

ข) วิธีการจัดเฟส (Phasing) การจัดเฟสให้มอดูเลเตอร์ได้ดุลย์ (Balance Modulator : BM) 2 ตัว โดยนำสัญญาณที่มอดูเลตที่มีเฟสกัน 90 องศา มามอดูเลตแล้วจะนำมารวมหรือลบกันก่อนส่ง แต่วิธีการจัดเฟสนี้ไม่ค่อยนิยมเท่ากับวิธีการกรอง โดยแบนด์วิดธ์ของสัญญาณ AM แบบ SSB จะมีค่าเท่ากับ

$$BW_{SSB} = B \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การกำเนิด SSB ด้วยวิธีการจัดเฟส

### 2.3.2 การมอดูเลตทางความถี่

ในการมอดูเลตทางความถี่นั้น ความถี่ของสัญญาณช่วงระจะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่จะนำมามอดูเลต คือ

$$\omega(t) = \omega_c + kV_m \tag{2.13}$$

โดยที่  $\omega_c$  คือ ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์  
 $V_m$  คือ แรงแต้นของสัญญาณที่จะนำมามอดูเลต  
 $k$  คือ ค่าคงที่ (มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์/โวลต์)

และ 
$$V_m = E_m \sin \omega_m t$$

ดังนั้น สมการในรูปทั่วไปสัญญาณคลื่นพาห์ ซึ่งถูกมอดูเลตความถี่ด้วยสัญญาณข้อมูล คือ

$$\begin{aligned} V_{FM} &= E \cos[(\omega_c + kEm \sin \omega_m)t + \phi] \\ &= E \cos[(\omega_c t + kEm \sin(\omega_m t + \phi))] \\ &= E \cos[(\omega_c t + m \sin(\omega_m t + \phi))] \end{aligned} \tag{2.14}$$

โดยที่  $m$  คือ ดัชนีการมอดูเลต  
 ค่า  $m$  สามารถหาได้จาก

$$m = \frac{fd}{f_m} \tag{2.15}$$

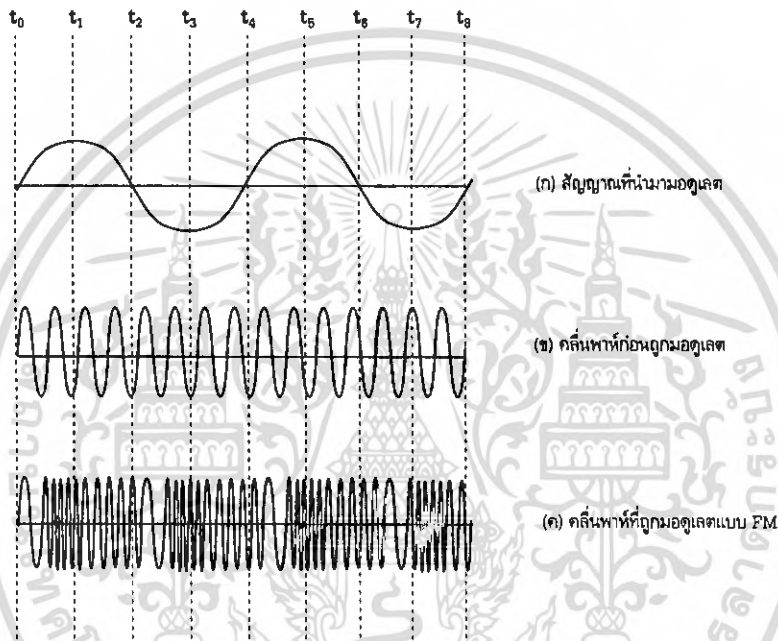
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$fd$  คือ ความถี่เบี่ยงเบน

$fm$  คือ ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้จะเป็นเฟสอ้างอิงซึ่งในที่นี้ให้  $\phi = 0$  จะได้

$$V_{FM} = E \cos(\omega_c t + m \sin \omega_m t) \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.15 การมอดูเลตทางความถี่

สัญญาณคลื่นพาห้หลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ 2.15 (ค) เป็นสัญญาณ FM จะเห็นว่าที่เวลา  $t_0$  สัญญาณ FM อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุดความถี่ของคลื่นพาห้จะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตที่ขนาดสูงสุดที่เวลา  $t_4$  ส่วนที่เวลา  $t_2$  สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิม หลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าต่ำกว่าศูนย์ กลายเป็นลบ คลื่นพาห้จะมีความถี่ลดต่ำกว่าความถี่กลาง และเมื่อสัญญาณมอดูเลตกลับมาเป็นศูนย์อีกครั้ง ความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะกลับมาถึงความถี่กลางดั้งเดิมในช่วงเวลา  $t_4$  ถึง  $t_8$  ก็จะซ้ำแบบเดิมไปเรื่อยๆ สรุปแล้วความถี่คลื่นพาห้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต และคลื่นพาห้ก็ยังคงที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณที่นำมามอดูเลตเป็นศูนย์

ช่วงความถี่ซึ่งคลื่นพาห้เกิดการเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลาง เรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่

(Frequency Deviation :  $f_d$ ) โดยอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ส่วนขนาดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตนั้นจะเป็นตัวกำหนดช่วงการเบี่ยงเบนความถี่

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์ และขนาดของไซด์แบนด์ขึ้นอยู่กับธรรมชาติการมอดูเลต โดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต คือ ไซด์แบนด์คู่แรก  $f_c \pm f_m$  และไซด์แบนด์คู่ที่ 2 มีความถี่เท่ากับ  $f_c \pm 2f_m$  , ฉะนั้นแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกๆ ตัว ซึ่งสามารถหาแบนด์วิดท์ได้จาก

$$BW_{FM} = 2(m + 1)f_{m, \max} \quad (2.17)$$

กล่าวโดยสรุปสัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีขนาดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับขนาด และสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

### 2.3.3 การมอดูเลตทางเฟส

ในการมอดูเลตทางเฟสชั่วขณะของสัญญาณที่นำมามอดูเลต คือ

$$\phi(t) = \phi + kV_m \quad (2.18)$$

โดยที่  $\phi$  คือ เฟสอ้างอิงของสัญญาณคลื่นพาห้

$V_m$  คือ แรงดันของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

$k$  คือ ค่าคงที่ (มีหน่วยเป็น เรเดียน/โวลต์)

และ

$$V_m = E_m \sin \omega_m t$$

จากสมการของสัญญาณ  $\cos$  คือ

$$V = E \cos(\omega t + \phi) \quad (2.19)$$

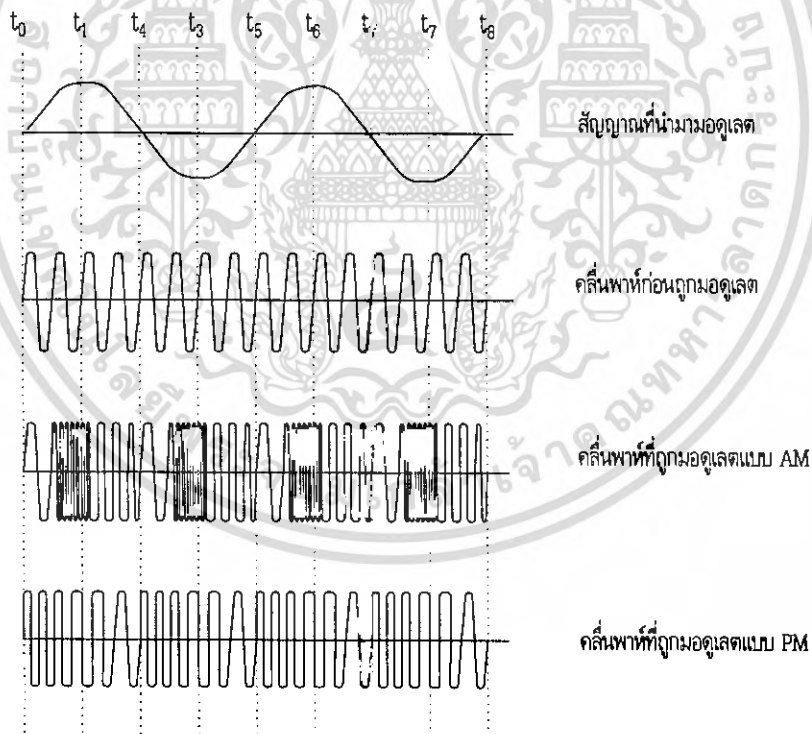
ดังนั้น สมการโดยทั่วไปสำหรับสัญญาณคลื่นพาห้  $\cos$  ที่ถูกมอดูเลตทางเฟสด้วยสัญญาณข้อมูล  $\sin$  คือ

$$\begin{aligned}
 V_{FM} &= E \cos[\omega_c t + \phi + kV_m] \\
 &= E \cos[(\omega_c t + \phi + kE_m \sin \omega_m t)]
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้จะเฟสอ้างอิง ในที่นี้ให้  $\phi = 0$  จะได้

$$V_{FM} = E \cos[\omega_c t + kE_m \sin \omega_m t]
 \tag{2.21}$$

จากสมการที่ (2.20) จะเห็นได้ว่าเฟสคลื่นพาห้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต เมื่อเฟสของคลื่นพาห้เปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะเปลี่ยนด้วย ฉะนั้นจะการมอดูเลตทางเฟสจะทำให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนด้วยเสมอ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายการมอดูเลตทางความถี่ จึงมีการเรียกรวมการมอดูเลตทั้งสองชนิดนี้รวมกันว่า การมอดูเลตเชิงมุม (Angle modulation)



รูปที่ 2.16 ความแตกต่างระหว่างสัญญาณ PM กับสัญญาณ FM

ในรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าสัญญาณทั้ง 2 มีลักษณะคล้ายกัน แต่สัญญาณ PM จะมีค่าความถี่เบี่ยงเบนที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส และขนาดของสัญญาณที่นำเข้ามามอดูเลต ด้วยเหตุนี้การมอดูเลตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเฟสจะมีค่าความถี่เบี่ยงเบนมากที่สุด ในขณะที่สัญญาณที่นำมามอดูเลตเปลี่ยนจากบวกเป็นลบหรือลบเป็นบวก

สังเกตที่เวลา  $t_2$  สัญญาณที่เข้ามามอดูเลตผ่านแกนศูนย์ สัญญาณ PM เบี่ยงเบนไปยังความถี่ต่ำที่เวลา  $t_4$  สัญญาณที่เข้ามามอดูเลตผ่านแกนศูนย์อีกครั้ง สัญญาณ PM จะเบี่ยงเบนไปยังความถี่สูง ดังนั้น การมอดูเลตทางเฟสจึงทำให้เกิดสัญญาณ FM ด้วย ซึ่งอาจเรียกการมอดูเลตทางเฟสได้ว่า โดยอ้อม (Indirect FM)

## 2.4 การดีมอดูเลตในระบบการสื่อสารแอนะล็อก

การดีมอดูเลต (Demodulation) คือ การแยกสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณซึ่งถูกมอดูเลต หรืออาจเรียกว่า การดีเทค (Detection)

### 2.4.1 การดีมอดูเลตสัญญาณทางแอมพลิจูด

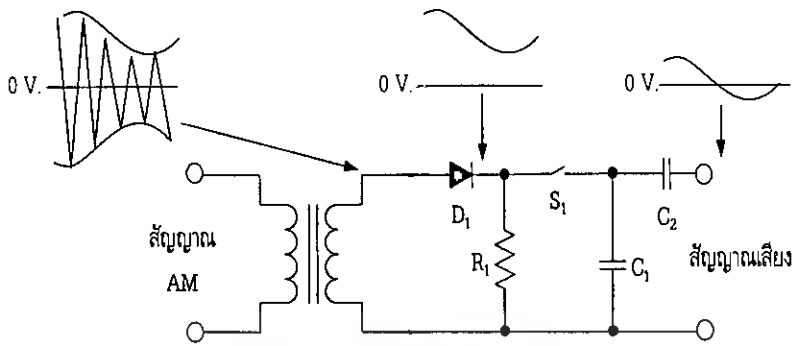
การดีมอดูเลต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ใหญ่ๆ คือ

ก) การดีมอดูเลตแบบไม่รวมนัย (Non - coherent Demodulation) คือ การดีมอดูเลตสัญญาณที่ไม่ต้องใช้สัญญาณคลื่นพาห้

ข) การดีมอดูเลตแบบรวมนัย (Coherent Demodulation) คือ การดีมอดูเลตสัญญาณที่ต้องใช้สัญญาณคลื่นพาห้

สำหรับการดีเทคสัญญาณทางแอมพลิจูดแบบไม่รวมนัยแบ่งได้ดังนี้

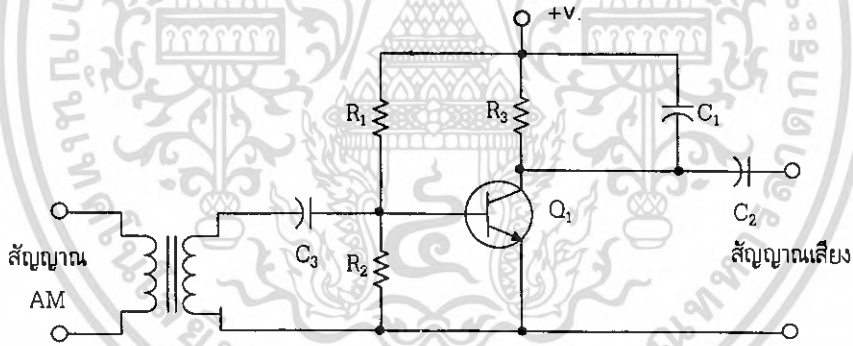
1. วงจรดีเทคที่ใช้ไดโอด วงจรดีเทคสัญญาณทางแอมพลิจูดที่นิยมมากที่สุด คือ วงจรดีเทคซึ่งไดโอดเพราะเป็นวงจรที่ง่าย และใช้ในเครื่องรับ AM ทุกชนิด จากวงจรรูปที่ 2.17 ในตอนแรกสมมุติให้  $S_1$  เปิดวงจร ไดโอดจะนำกระแสเฉพาะในช่วงเวลาที่คลื่น AM เป็นบวกเท่านั้นทำให้เกิดพัลส์บวกคร่อม  $R_1$  ในช่วงเวลาที่คลื่น AM เป็นลบไดโอดก็จะไม่นำกระแส เมื่อ  $S_1$  ปิดวงจร  $C_1$  จะต่อขนานกับ  $R_1$  โดย  $C_1$  จะถูกประจุด้วยพัลส์บวกของคลื่น AM ทันที และในช่วงเวลาที่  $D_1$  ไม่นำกระแส (พัลส์ลบเข้ามา)  $C_1$  จะคายประจุ ให้แก่  $R_1$  เนื่องจากค่าคงตัวของเวลา  $R_1, C_1$  นั้นสั้นจึงทำให้  $C_1$  มีแรงดันตกคร่อมน้อยเอาต์พุตจึงปรากฏที่ลักษณะกรอบสัญญาณ AM ส่วนบนมีความพลิ้ว (Ripple) ปะปนอยู่เล็กน้อยซึ่งโดยปกติความถี่คลื่นพาห้จะสูงกว่าความถี่ของกรอบคลื่นอยู่แล้ว ดังนั้นความพลิ้วจึงแทบจะมองไม่เห็น



รูปที่ 2.17 การตีเทคสัญญาณทางแอมพลิฟายด์ด้วยไดโอด

เอาต์พุตที่ได้จากการตีเทคจะมีแรงดันไฟตรงปนมาด้วย ดังนั้นจึงต้องต่อเอาต์พุตผ่าน  $C_2$  เพื่อทำหน้าที่กั้นแรงดันไฟตรงไว้

2. วงจรตีเทคที่ใช้ทรานซิสเตอร์ ในการใช้งานบางครั้งเราจำเป็นต้องขยายสัญญาณซึ่งตีเทคออกมา ดังนั้นเราอาจใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตีเทค โดยจัดไบอัสให้เป็นวงจรขยายคลาสบี



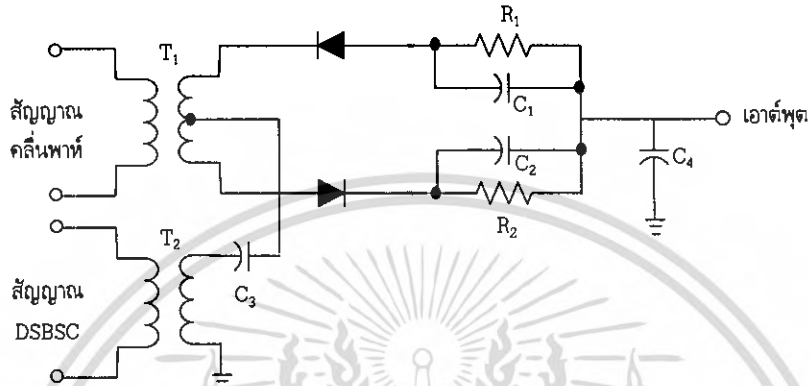
รูปที่ 2.18 วงจรตีเทคคลื่นสัญญาณทางแอมพลิฟายด์ด้วยทรานซิสเตอร์

ในรูปที่ 2.18  $Q_1$  ไบอัสด้วย  $R_1$  กับ  $R_2$  ให้ทำงานในคลาสบี โดยตัวต้านทาน  $R_3$  เป็นโหลด  $C_1$  เป็นตัวกรองสัญญาณคลื่นพาร์ออก และสัญญาณเสียงผ่าน  $C_2$  ออกไปเป็นเอาต์พุต

ส่วนการตีเทคสัญญาณทางแอมพลิฟายด์แบบรวมกันนี้ได้เป็น

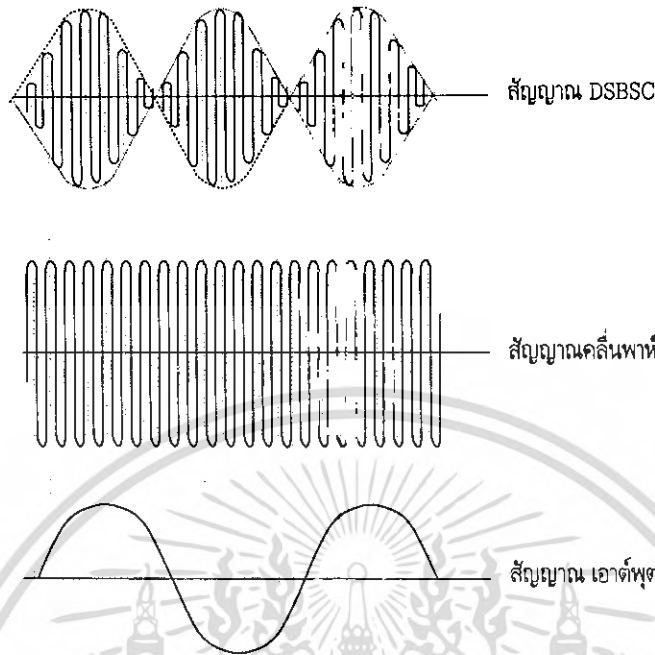
1. วงจรซิงโครนัสตีเทคเตอร์ (Synchronous Detector) กรณีของสัญญาณ AM แบบแถบข้างคู่ไร้คลื่นพาร์ (DSBSC) กรอบของสัญญาณไม่ใช่สัญญาณที่นำมามอดูเลต ดังนั้นในการตีเทคสัญญาณจะต้องใช้การตีเทคแบบพิเศษ

รูปที่ 2.19 ประกอบด้วยไดโอดคู่มิอินพุตเข้ามา 2 ทาง ทางหนึ่งมาจากคลื่นพาห์ซึ่งต้องผลิตขึ้นเองที่เครื่องรับ โดยความถี่ของคลื่นพาห์ที่เครื่องรับไม่จำเป็นต้องเท่ากับความถี่คลื่นพาห์ที่เครื่องส่ง แต่เฟสจะต้องตรงกันระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งตลอดเวลา



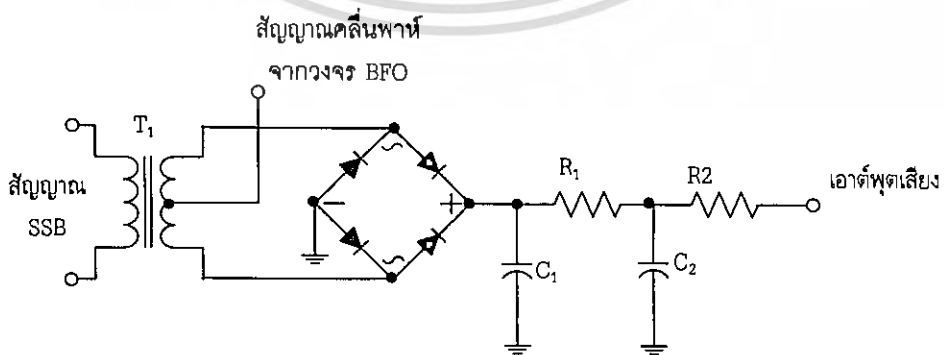
รูปที่ 2.19 วงจรซิงโครไนส์เทคเตอร์

ในรูปที่ 2.19 สัญญาณคลื่นพาห์จะบังคับให้ไดโอด  $D_1$  กับ  $D_2$  ทำงานปิด, เปิด เหมือนกับสวิตช์ กล่าวคือ เมื่อคลื่นพาห์เป็นลบที่ขั้วบนของหม้อแปลง  $T_1$  และเป็นบวกที่ขั้วล่าง  $D_1$  กับ  $D_2$  จะนำกระแสแต่กระแสยังคงไม่ผ่าน  $C_4$  เพราะกระแสทั้งหมดจะวนเวียนอยู่ในวงรูป  $D_1$  กับ  $D_2$  และ  $T_1$  สถานะนี้เป็นสภาวะสมดุลย์ (มีแต่คลื่นพาห์) เมื่อสัญญาณคลื่นพาห์กลับขั้ว  $D_1$  กับ  $D_2$  ก็จะถูกไบอัสกลับทางกระแสจึงไม่ไหลการต่อขนานกันระหว่าง  $R_2$ ,  $C_2$  ทำหน้าที่เป็นโหนดให้แก่ไดโอด และบังคับให้ไดโอดนำกระแสเฉพาะคลื่นแคบๆ ของคลื่นพาห์ทั้งไปสัญญาณที่เข้ามาอดูเลตควรมีระดับสัญญาณต่ำ เพื่อมิให้ไดโอด กับ  $D_1$ ,  $D_2$  ไบอัสตรง ฉะนั้นช่วงเวลาที่สัญญาณเข้ามาอดูเลตสามารถผ่านไปยัง  $C_4$  และมีเอาต์พุตก็คือช่วงเวลาที่คลื่นพาห์เป็นไบอัสตรงให้ไดโอด คือ คลื่นพาห์จะเสมือนสุมตัวอย่างสัญญาณที่เข้ามาอดูเลตออกไปยังเอาต์พุต (รูปที่ 2.20) สังเกตว่าคลื่นพาห์จะสุมตัวอย่างสัญญาณค่าบวกของสัญญาณ DSB ในช่วงคลื่นที่เป็นบวกของคลื่นที่เป็นบวกของคลื่นพาห์ และสุมตัวอย่างค่าลบของสัญญาณ DSB ในช่วงที่คลื่นเป็นลบของคลื่นพาห์ ผลที่ได้จึงเป็นสัญญาณที่เข้ามาอดูเลตจะเห็นว่าถ้ารูปสัญญาณคลื่นพาห์ในรูปที่ 2.20 มีเฟสผิดพลาดตรงตำแหน่งที่สุมตัวอย่างก็จะเลื่อนไปทำให้ได้ค่าสัญญาณที่ผิดพลาด ด้วยเหตุนี้สัญญาณคลื่นพาห์ที่กำเนิดขึ้นใหม่จึงต้องมีเฟสตรงกับเฟสของคลื่นพาห์ที่เครื่องส่งพอดี ซึ่งเป็นข้อเสียของระบบ AM แบบ SBSC เพราะเครื่องรับต้องใช้วงจรที่ซับซ้อนในการควบคุมเฟส และความถี่ให้ถูกต้อง



รูปที่ 2.20 รูปคลื่นในวงจรซิงโครนัสดีเทคเตอร์

2. โพรดักต์ดีเทคเตอร์ (Product Detector) ในการดีเทคสัญญาณ AM แบบ SSB ต้องทำการผลิตคลื่นพาห้ขึ้นใหม่แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ วงจรดีเทคสัญญาณ SSB อาจนำไดโอดมาต่อเป็นมอดูเลเตอร์ได้ดูลย์ โดยมีสัญญาณคลื่นพาห้ที่สร้างขึ้นจากวงจรบีทเฟรเควนซ์ออสซิลเลเตอร์ (Beat Frequency Oscillator : BFO) บ้อนให้ที่จุดกึ่งกลางของหม้อแปลง ส่วนสัญญาณ SSB บ้อนเข้าที่ขดทุติยภูมิสัญญาณทั้งสองผสมกันคร่อมไดโอดต่างๆ ถ้าคลื่นพาห้มีความถี่ผิดพลาดไปจากคลื่นพาห้เดิมที่เครื่องส่งไม่เกิน 50 เฮิรตซ์ โดยวงจร  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  และ  $C_2$  เป็นวงจรกรองความถี่สูงทิ้งไป ยอมให้เฉพาะสัญญาณเสียงผ่านไป



รูปที่ 2.21 วงจรโพรดักต์ดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

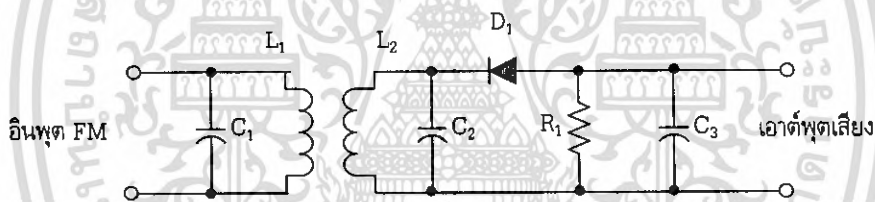
คลื่นพาร์สร้างขึ้นใหม่สำหรับการดีเทคสัญญาณ SSB ไม่จำเป็นต้องมีความถี่ที่เที่ยงตรงเหมือนกับการดีเทคสัญญาณ DSB ยอมให้เกิดความผิดพลาดความถี่ที่ผิดพลาดได้ไม่เกิน 50 เฮิรตซ์ ของความถี่เดิม ดังนั้น เครื่องรับจึงไม่ต้องใช้วงจรซ้อนมาก ซึ่งเป็นเหตุสำคัญระบบ SSB ได้รับความนิยมมากกว่าระบบ DSB

#### 2.4.2 การดีมอดูเลตทางความถี่

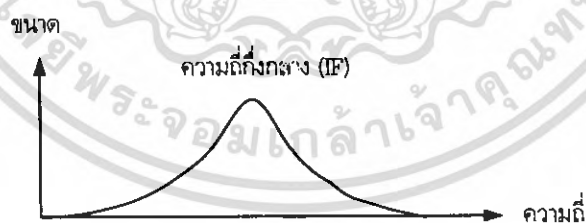
การดีมอดูเลตทางความถี่ จะใช้วงจรต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สโลปดีเทคเตอร์ (Slope Detector) วงจรสโลปดีเทคเตอร์ในรูปที่ 2.22 (ก) เป็นวงจรซึ่งใช้ดีเทคสัญญาณทางความถี่ที่ง่ายที่สุด โดยใช้วงจรเรโซแนนซ์ 2 ชุด คือ  $L_1, C_1$  กับ  $L_2, C_2$  จนให้ตอบสนองเป็นลักษณะเส้นโค้งตามรูปที่ 2.22 (ข) ซึ่งการจูนของเส้นโค้งไม่ได้จูนความถี่กลางไว้ที่ยอดของเส้นโค้ง แต่ความถี่กลางจะอยู่ในส่วนลาด (Slope) ของเส้นโค้ง

ในรูปที่ 2.22 เมื่อความถี่ของสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency : IF) มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามความถี่ การดีเทควิธีนี้เสมือนเปลี่ยนสัญญาณ FM ให้เป็นสัญญาณ AM ก่อนแล้วจึงดีเทคสัญญาณ AM ด้วยการดีเทคซึ่งใช้ไดโอดธรรมดา



ก) วงจรสโลปดีเทคเตอร์



ข) เส้นโค้งผลตอบสนองความถี่

รูปที่ 2.22 วงจรสโลปดีเทคเตอร์ และผลตอบสนองความถี่ของวงจร

เมื่อความถี่ของสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency : IF) มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามความถี่ การดีเทควิธีนี้เสมือนเปลี่ยนสัญญาณ FM ให้เป็นสัญญาณ AM ก่อนแล้วจึงดีเทคสัญญาณ AM ด้วยการดีเทคซึ่งใช้ไดโอดธรรมดา

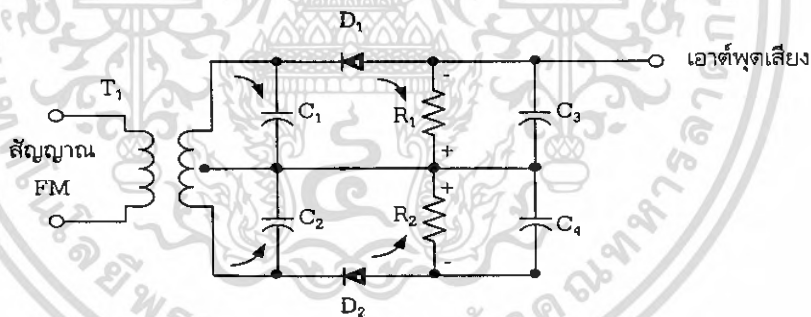
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการตีเทคแบบนี้ จะต้องพิจารณาเส้นโค้งผลตอบสนองความถี่ของวงจรรายย IF ก่อนหน้าสโโลปตีเทคเตอร์ด้วย โดยปกติการจูนเบี่ยงไปจากความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้อัตราการขยายภาควัดรับทำงานไม่เต็มที่ (เพราะไม่จูนที่ยอด) และเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของส่วนลาดของเส้นโค้งในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ FM เป็น AM จึงทำให้วงจรรชนิดนี้ไม่นิยม

2. ดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน (Double - Tuned Detector) วงจรดีเทคเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยวงจรรจูน 2 ชุด เช่นกัน ดังรูปที่ 2.23 ขดทุติยภูมิของหม้อแปลง  $T_1$  จะแยกเป็น 2 ชุด ชุดที่อยู่เหนือจุดกึ่งกลางจะจูนกับ  $C_1$  ให้ความถี่เรโซแนนซ์สูงกว่าความถี่ IF เล็กน้อย ส่วนชุดที่อยู่ใต้จุดกึ่งกลางจะจูนกับ  $C_2$  ให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต่ำกว่าความถี่ IF เล็กน้อย

ถ้าสัญญาณ IF มีความถี่สูงกว่าความถี่กลาง สัญญาณจะเข้าไปใกล้ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรจูนชุดบน ฉะนั้นสัญญาณในวงจรรจูนชุดบนจะมีค่ามาก ไดโอด  $D_1$  ก็จะนำกระแสมากกว่า และจะทำให้แรงดันคร่อม  $R_1$  ที่เป็นลบมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตกคร่อม  $R_2$  ซึ่งเป็นบวก

เมื่อคลื่นพาที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่กลางสัญญาณจะเข้าไปใกล้ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรจูนชุดล่าง ไดโอด  $D_2$  จะรับสัญญาณมากกว่า  $D_1$ ,  $D_2$  จึงนำกระแสมากกว่า  $D_1$  ทำให้แรงดันคร่อม  $R_2$  เป็นบวกเมื่อเทียบกับกันมีค่ามากกว่าแรงดันคร่อม  $R_1$  ผลลัพธ์จึงได้แรงดันคาบว



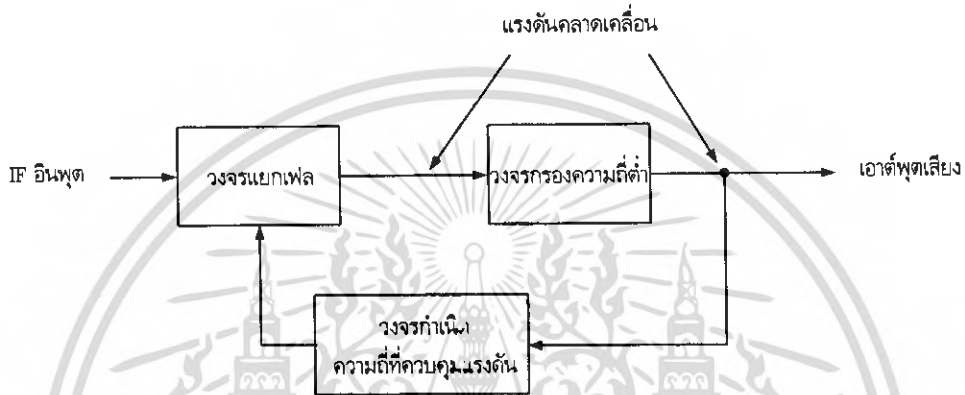
รูปที่ 2.23 ดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน

ข้อเสียของวงจรรนี้ คือ การจูนวงจรรเรโซแนนซ์ทั้งสองชุดจะต้องสัมพันธ์กัน และต้องเที่ยงตรงถ้าหากวงจรรจูนชุดใดชุดหนึ่งมีความผิดพลาดไปเพียงเล็กน้อย สัญญาณเสียงจะผิดเพี้ยนไปมากทำให้การปรับจูนทำได้ยาก

3. วงจรมอดูเลตชนิดเฟสล็อกกลุ๊ป สามารถใช้วงจรรเฟสล็อกกลุ๊ป (Phase Lock Loop : PLL) ในการมอดูเลตสัญญาณ FM ได้ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งวงจรร PLL นี้จะเป็นวงจรรวม (Integrated Circuit C) ซึ่งประกอบด้วย เฟสดีเทคเตอร์, วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter: LPF), วงจรรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator : VCO) โดยวงจรร VCO จะออสซิลเลตที่ความถี่อินพุต IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวงจรเฟสดีเทคเตอร์ ทำหน้าที่เปรียบเทียบความถี่สัญญาณอินพุตกับสัญญาณจาก VCO ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแรงดันที่ความถี่ของ VCO คลาดเคลื่อนไปจากความถี่อินพุต เรียกว่า แรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage) ซึ่งแรงดันนี้มีค่าเป็นสัดส่วนกับผลต่างของความถี่อินพุตกับความถี่ของ VCO แรงดันนี้จะถูกกรองโดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งนิยมเรียกว่า ลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) ซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของวงจรเฟสล็อกถูบ เช่น ช่วงความถี่ที่ลูปจะล็อกรวมทั้งช่วงเวลาที่ลูปใช้ในการล็อกความถี่กับอินพุต เป็นต้น

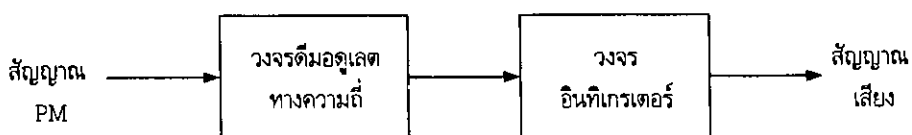


รูปที่ 2.24 แผนผังวงจรเฟสล็อกถูบ

แรงดันคลาดเคลื่อนหลังจากการกรองความถี่ด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแล้ว จะนำไปควบคุมความถี่ของ VCO เช่น เมื่อความถี่ของอินพุตเปลี่ยนแปลงไปทางบวก (สูงขึ้น) แรงคลาดเคลื่อนจะบังคับ VCO ให้ออสซิลเลตที่ความถี่สูงเพิ่มตามความถี่อินพุต เพื่อล็อกความถี่อินพุตเมื่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเป็นสัญญาณ FM โดย VCO จะพยายามเปลี่ยนความถี่ตามการเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางของสัญญาณ FM ฉะนั้น แรงดันคลาดเคลื่อนจะเป็นสัญญาณที่นำมามอดูเลต (หลังจากเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตกับ VCO แล้ว)

### 2.4.3 การดีมอดูเลตสัญญาณทางเฟส

การดีมอดูเลตสัญญาณทางเฟส จะใช้วงจรระบบเดียวกันกับการดีมอดูเลตสัญญาณทางความถี่ แต่ต้องนำสัญญาณที่ได้จากการดีมอดูเลตโดยวงจรมอดูเลตสัญญาณทางความถี่มาผ่านวงจรมอดูเลตเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.25 ซึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณข่าวสารเดิม



รูปที่ 2.25 การดีมอดูเลตสัญญาณทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

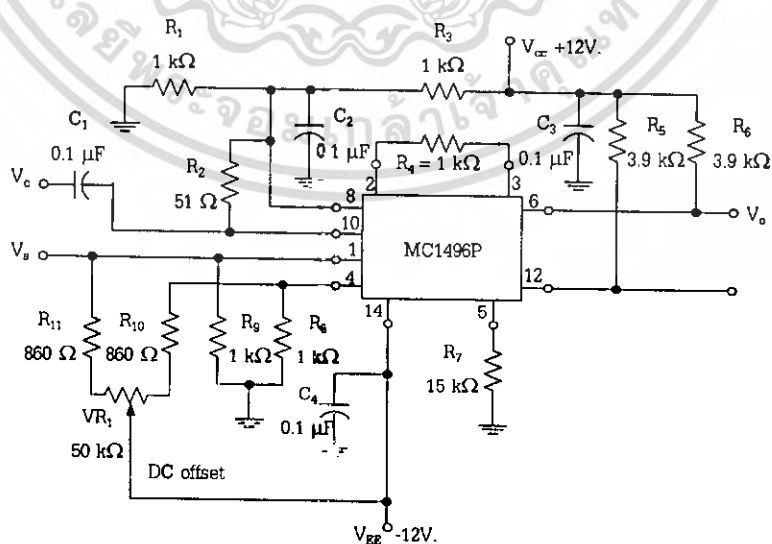
### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

#### 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบและการสร้างชุดทดลองระบบการสื่อสารแอนะล็อก ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดทดลอง และใบงานการทดลอง ซึ่งในส่วนของชุดทดลองจะประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ เช่น วงจรมอดูเลต วงจรปรับเปลี่ยนระดับ วงจรขยายอัตราขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ วงจรกรองผ่านความถี่สูง วงจรขยายเสียงรวมและวงจรถีเทคเตอร์ ในส่วนของใบงานการทดลองแบ่งเป็นใบงาน 10 ใบงาน ซึ่งในเนื้อหาของปริิญาณิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของชุดทดลอง โดยประกอบไปด้วยหลักการการออกแบบวงจร ขั้นตอนการออกแบบชุดทดลอง และส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญในการออกแบบจะอยู่ในภาคผนวก

#### 3.2 การออกแบบและการสร้างวงจรมอดูเลตแบบสมมูล

ไอซี MC 1496 เป็นวงจรมอดูเลตแบบสมมูล ซึ่งจะออกแบบเป็นวงจรกรองความถี่ได้หลายแบบ ซึ่งได้แก่ วงจรทวีความถี่ (Multiplier) วงจรมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) วงจรมอดูเลตทางแอมพลิจูดแบบสัญญาณแถบข้างไร้คลื่นพาห้ (Double Sideband Suppress Carrier) หรือเป็นวงจรแยกสัญญาณ (Detector)



รูปที่ 3.1 วงจรมอดูเลตแบบสมมูล

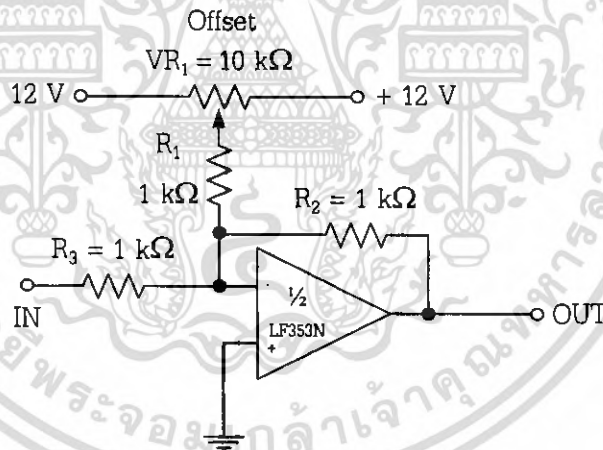
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วงจรมอดูเลตแบบสมดุลง 2 วงจร ซึ่งวงจรมอดูเลตแบบสมดุลงทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณระหว่างคลื่นพาร์กกับสัญญาณข้อมูลโดยใช้ไอซี MC1496 ในการออกแบบวงจรซึ่งรายละเอียดของไอซีเบอร์ MC1496 อยู่ในภาคผนวก จ โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -12 โวลต์

### 3.3 การออกแบบและการสร้างวงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน

วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกนประกอบด้วย วงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส ซึ่งขาอินพุตทั้ง 2 จะถูกเชื่อมต่อกับโครงสร้างของเกนที่ตั้งไว้ การปรับเปลี่ยนระดับทำได้โดยการต่ออินพุตที่โครงสร้างของตัวปรับระดับกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ ดังรูปที่ 3.2

ประโยชน์ของวงจร คือ ปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มอดูเลตให้เอาต์พุตมีความสมดุล ในการปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าเป็นศูนย์และไม่เป็นศูนย์ในเฟสล็อกkup ซึ่งการมอดูเลตแบบสมดุลงที่ใช้ดีเฟสเทคเตอร์ต้องขับเคลื่อนแรงดันออสซิลเลเตอร์ที่จุดปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่าไม่เป็นศูนย์จะต้องมีไฟฟ้ากระแสตรง ( $V_{dc}$ ) เหมือนกับ VCO ทำให้เกิดภาพนิ่ง

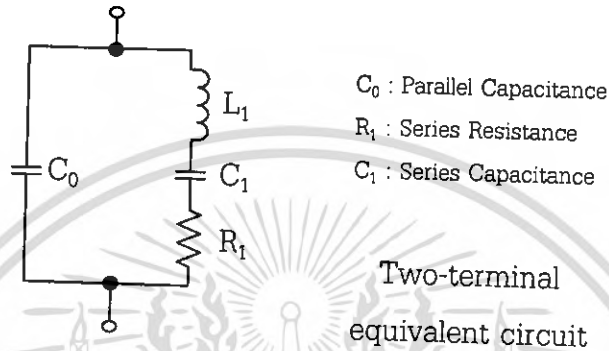


รูปที่ 3.2 วงจรปรับแปรระดับเกน

### 3.4 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์

วงจรกรองความถี่ที่ยอมให้ความถี่กลางในย่าน 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้ามาต่ำกว่าหรือสูงกว่าย่านที่กำหนดไว้จะผ่านวงจรไปไม่ได้ สามารถสร้างวงจรกรองย่านความถี่กลางในย่าน 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้โดยการนำวงจรกรองความถี่ต่ำมาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ทำให้สามารถกำหนดในย่านที่ผ่านได้ย่านหนึ่ง จากคุณสมบัติทั้งสองหรืออาจใช้วงจรเรโซแนนต์ทั้งแบบขนานกับแบบอันดับต่อร่วมกันก็ได้

การจัดวงจรให้เป็นวงจรกรองย่านความถี่ผ่านทำได้โดยการกำหนดค่าการตอบสนองความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์ทั้งแบบอันดับและแบบขนานให้ตรงกัน คุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานถ้าความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าตอบสนองความถี่ของวงจรความถี่จะถูกบายพาสลงกราวด์ไม่ออกเอาต์พุต ถ้าความถี่ที่ป้อนตรงกับความถี่เรโซแนนซ์จะมีค้ำยกัณฑ์การอมวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานสูงสุดจึงมีสัญญาณออกเอาต์พุตสูงสุด



รูปที่ 3.3 วงจรกรองความถี่

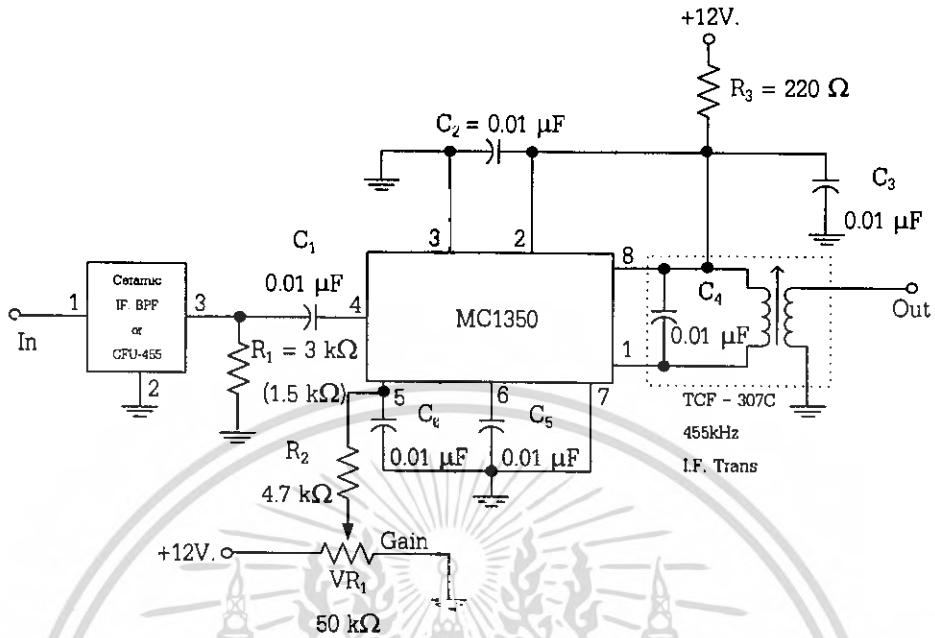
คุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบอันดับ ความถี่ที่ป้อนเข้ามาต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะผ่านวงจรได้ยาก ส่วนความถี่เรโซแนนซ์ที่ป้อนเข้ามา วงจรจะมีค่าความต้านทานต่ำต่อความถี่นี้ความถี่จึงผ่านออกเอาต์พุตได้มาก เมื่อปรับค่าการตอบสนองความถี่ที่ตรงกันทั้งเรโซแนนซ์อันดับและขนานทำให้สามารถกำหนดย่านผ่านของความถี่ได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 3.3

### 3.5 การออกแบบและสร้างวงจรกรองอัตรการขยายสูงที่ความถี่กลาง 455กิโลเฮิร์ตซ์

ในเครื่องรับวิทยุโดยทั่วไปแล้วจะมีตัวกรองอัตรการขยายความถี่กลาง เพื่อนำสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) ที่ได้เปลี่ยนแปลงความถี่กลางให้ขึ้นไปยังระดับแอมพลิฟิเคชันที่เหมาะสม เพื่อการติดต่อดูเลตอัตรการขยายของเครื่องขยายความถี่และสามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณให้เหมาะสม โดยปกติการควบคุมอัตรการขยายสามารถทำได้โดยการให้ตัวควบคุมอัตรการขยายอัตโนมัติแบบป้อนกลับ

จางวงจรขยายที่มีอัตรการขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 3.4 นั้น อินพุตต่อกับเครื่องขยายโดยผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ ที่ความถี่ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่วนเอาต์พุตของเครื่องขยายถูกเชื่อมต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้า (Tuned Transformer)

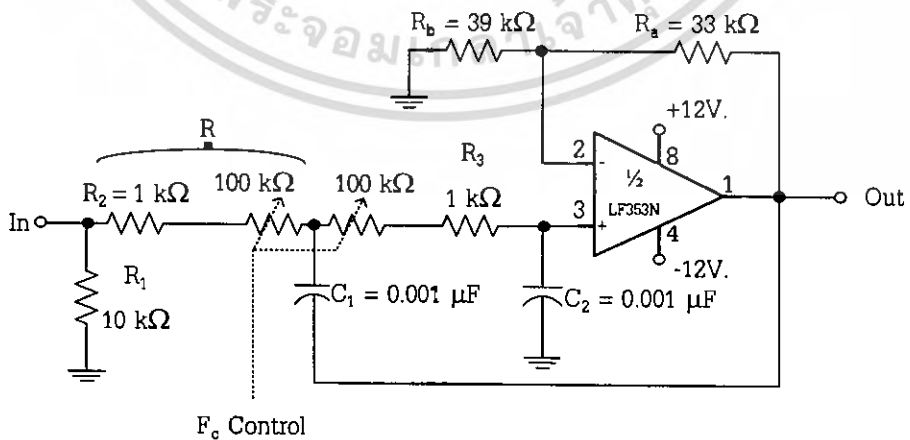
วงจขยายที่มีอัตรการขยายสูงที่ความถี่กลาง จะถูกใช้ในการทดลอง เรื่องของเครื่องรับวิทยุเพื่อยอมให้มีการรับสถานีกระจายเสียง AM ในท้องถิ่น



รูปที่ 3.4 วงจรขยายอัตรายายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

### 3.6 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แสดงในรูป 3.5 โดยใช้โอปแอมป์เบอร์ LF353N 1 ตัว ส่วนตัวต้านทานค่า 39 กิโลโอห์ม และ 33 กิโลโอห์ม เป็นตัวกำหนดลักษณะการกระเพื่อมอัตรายายของตัวกรอง ซึ่งในชุดของตัวต้านทานแต่ละชุดประกอบด้วย ตัวต้านทานแบบปรับค่าไม่ได้ 1 กิโลโอห์ม และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม ใช้ในการปรับความถี่คัตออฟของตัวกรอง

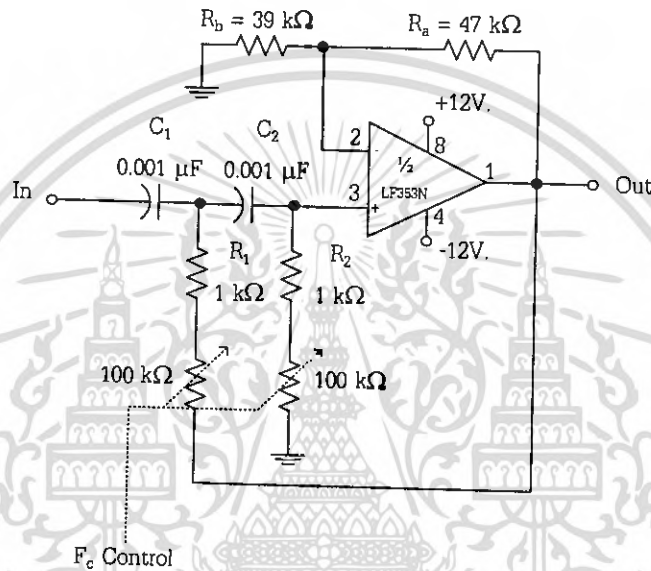


รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การออกแบบและการสร้างวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

การออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่าน แสดงในรูป 3.6 โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353N 1 ตัว ส่วนตัวต้านทานค่า 39 กิโลโอห์ม และ 47 กิโลโอห์ม เป็นตัวกำหนดลักษณะการกระเพื่อมอัตราขยายของตัวกรองซึ่งในชุดของตัวต้านทานแต่ละชุดประกอบด้วย ตัวต้านทานแบบปรับค่าไม่ได้ 1 กิโลโอห์ม และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม ใช้ในการปรับความถี่คัตออฟของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

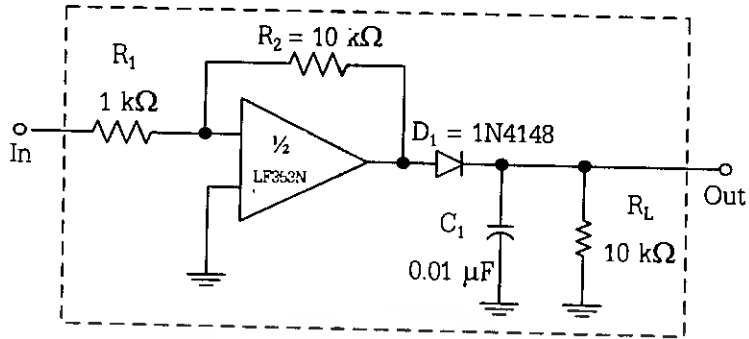


รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

### 3.8 วงจรดีเทคเตอร์

วงจรดีเทคเตอร์จะทำการขยายสัญญาณแบบกลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LM353N อัตราการขยายสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าของ R1 และ R2 เมื่อทำการขยายสัญญาณแล้วดีเทคเตอร์สัญญาณด้วยไดโอดเบอร์ 1N4148 และกรองสัญญาณด้วยวงจร RC เพื่อเป็นตัวบ่งชี้สัญญาณที่ไม่ต้องการลงกราวด์เหลือแต่ค่าสัญญาณที่ดีเทคเตอร์ได้แสดงในรูปที่ 3.7

ส่วนมากในการทดลองระบบการสื่อสารนี้วงจรนี้ใช้สำหรับการดีเทคเตอร์รบกวนคลื่นของสัญญาณประเภทมอดูเลตทางแอมพลิจูดและมอดูเลตทางความถี่



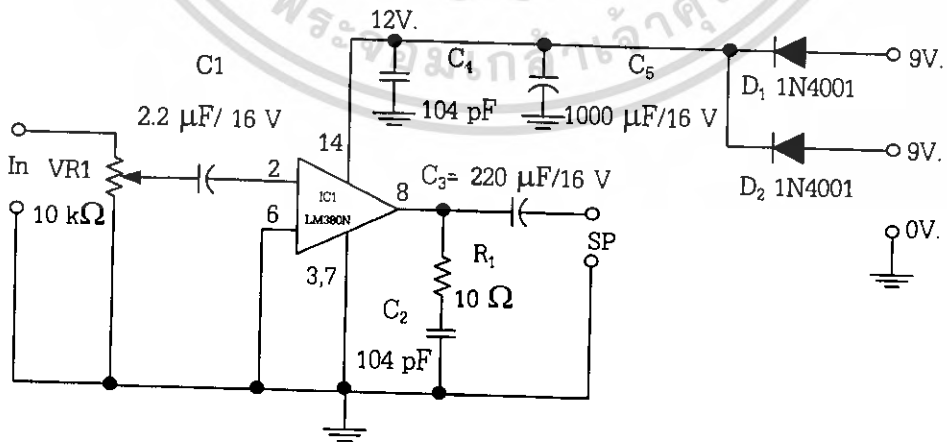
รูปที่ 3.7 วงจรดีเทคเตอร์

### 3.9 การออกแบบวงจรขยายเสียงพร้อมลำโพง

ส่วนนี้ประกอบด้วยวงจรขยายเสียงพร้อมกับตัวควบคุมเสียงอินพุตและเอาต์พุตที่ต่อเชื่อมกับลำโพง การจัดรวมลำโพงเครื่องขยายเสียงก็เพื่อฟังรูปแบบคลื่นที่ถูก ดิมอดูเลตหลายรูปแบบ

วงจขยายเสียงนี้ ใช้ไอซีเบอร์ LM380N ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ทำงานด้วยอัตราขยาย 36 เดซิเบล ใช้ไฟขับพลายได้ตั้งแต่ 10 - 12 โวลต์ ไอซีตัวนี้มีข้อดีที่มีวงจควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ร้อนเกินไปกรณีนี้เอาต์พุตเกิดลัดวงจร ขา 3, 4, 5 และ 10, 11, 12 ต่อลงกราวด์

วงจนี้ใช้อุปกรณ์เพียงเล็กน้อยมีส่วนประกอบคือใช้ตัวเก็บประจุเพียง 5 ตัวและตัวต้านทาน 2 ตัว จึงเป็นวงจที่ประหยัดและสร้างง่าย การออกแบบจะต่อขา 6 ของ LM 380N ซึ่งเป็นขั้วอินเวอร์ตติงลงกราวด์ ส่วนสัญญาณผ่าน C1 ค่า 2.2 μF/16V เข้าขา 2 ซึ่งเป็นขั้วอินเวอร์ตติง เอาต์พุตที่ได้จะออกขา 8 จะมีตัวต้านทาน 10 โอห์มต่ออนุกรมกับ C2 ค่า 104 pF ลงกราวด์

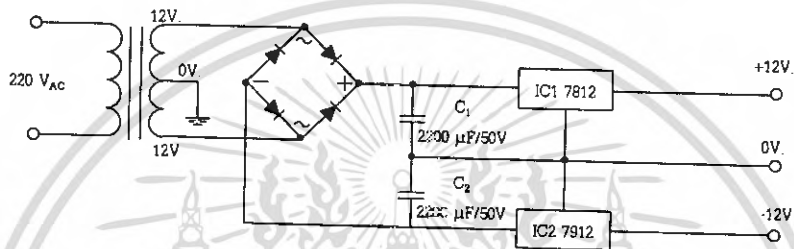


รูปที่ 3.8 วงจรขยายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10 การออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนการออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ เริ่มต้นจากหม้อแปลงไฟฟ้าด้านไฟฟ้าออกขนาดแรงดันไฟฟ้า 12-0-12 โวลต์ ส่งไปยังวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเพื่อจากออกไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วผ่านตัวเก็บประจุซึ่งจะทำการกรองกระแสไฟฟ้าให้มีความเรียบขึ้น เพื่อป้อนเข้าไปที่ไอซีเบอร์ LM7812 กับเบอร์ LM7912 ก็จะได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกมาเป็น +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ แล้วนำไปป้อนให้แก่วงจร



รูปที่ 3.9 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า

### 3.11 การสร้างกล่องชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

ส่วนด้านหน้าของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกประกอบด้วย วงจรคูณ วงจรรวมสัญญาณ วงจรยกระดับ วงจรขยายโอ-เอฟ วงจรกรองความถี่ วงจรขยายเสียง วงจรกรองความถี่โอ-เอฟ วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า และลำโพง

### 3.12 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

การสร้างแบบประเมินคุณภาพสำหรับการประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
2. กำหนดหัวข้อและสร้างแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก โดยแบ่งการประเมิน ได้แก่ ใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก โดยใช้แบบการประเมินมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ในการให้คะแนน โดยมีสูตรและเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

2.1 ระดับความคิดเห็น 5 ระดับ

ระดับ 5 หมายถึง ระดับคุณภาพดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ระดับคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับ 3 หมายถึง ระดับคุณภาพปานกลาง  
 ระดับ 2 หมายถึง ระดับคุณภาพพอใช้  
 ระดับ 1 หมายถึง ระดับคุณภาพควรปรับปรุง
- 2.2 เกณฑ์การประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
- 4.50-5.00 หมายถึง ระดับคุณภาพดีมาก  
 3.50-4.49 หมายถึง ระดับคุณภาพดี  
 2.50-3.49 หมายถึง ระดับคุณภาพปานกลาง  
 1.50-2.49 หมายถึง ระดับคุณภาพพอใช้  
 1.00-1.49 หมายถึง ระดับคุณภาพควรปรับปรุง
3. นำแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกที่ได้ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมตรวจสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ
4. ให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมิน
5. นำแบบประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก ที่ผ่านการประเมินแล้วมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการจะต้องมีค่าเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่ามีความพอใช้ แต่ถ้าผลการประเมินต่ำกว่า 3.50 จะต้องทำการแก้ไขในส่วนที่บกพร่องเพื่อให้มีคุณภาพที่เหมาะสม

### 3.13 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์หาคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก สามารถทำได้จากสูตรการหาค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{N} \quad (3.1)$$

เมื่อ	$\bar{x}$	หมายถึง ค่าเฉลี่ย
	$\sum x$	หมายถึง ผลรวมของคะแนน
	$X$	หมายถึง คะแนนที่ได้
	$N$	หมายถึง จำนวนข้อมูล

2. การวิเคราะห์หาคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก สามารถทำได้จากสูตรการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (3.2)$$

- เมื่อ S.D. หมายถึง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 $\sum X$  หมายถึง ผลรวมค่าเฉลี่ย  
 $\sum X^2$  หมายถึง ผลรวมของกำลังสอง  
 N หมายถึง ผู้ทรงคุณวุฒิ

#### ขั้นตอนการประเมิน

นำใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมาประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยมีรายนามผู้ทรงคุณวุฒิดังนี้

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. รศ.วิสุทธิ์ สุนทรนภวงศ์   | อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม |
| 2. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ      | อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม |
| 3. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ | อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม |

### 3.14 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

การที่ใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก ได้มีการทดสอบหาคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยผู้จัดทำได้นำแบบประเมินให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมิน ซึ่งลักษณะของแบบประเมินและผลการประเมินคุณภาพของเนื้อหาใบงานแสดงในภาคผนวก ข

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของชุดทดลองระบบการสื่อสารแอนะล็อก ไม่ว่าจะเป็นแผงวงจรต่างๆ เช่น วงจรมอดูเลตแบบสมมูลวงจรปรับเปลี่ยนระดับ วงจรขยายอัตราขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ วงจรกรองผ่านความถี่สูง วงจรขยายเสียงรวม และวงจรดีเทคเตอร์กรอปคลื่น ซึ่งจะเป็นการทดลองแผงวงจรต่างๆ

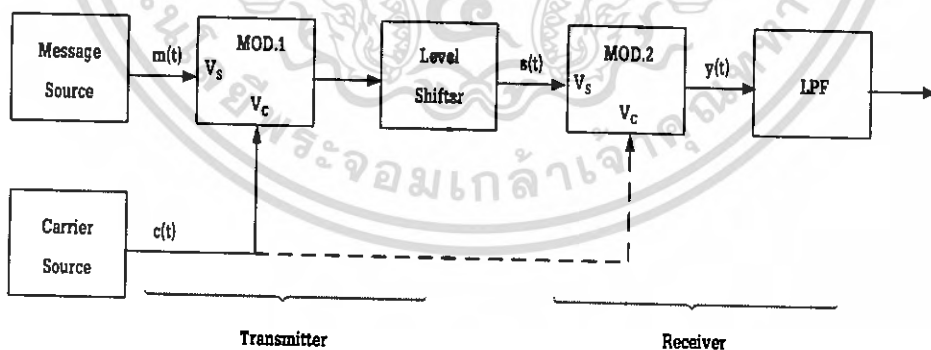
#### 4.2 การทดลองการทำงานของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

หน้าที่หลักของชุดทดลองระบบการสื่อสารแอนะล็อกคือ อุปกรณ์ช่วยในการเรียนการสอน ที่สามารถให้ได้ง่ายทำความเข้าใจได้ง่าย สามารถศึกษาข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณแบบแอนะล็อกที่สามารถใช้งานได้จริง

##### 4.2.1 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร Multiplier

###### 4.2.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 DSB Modulator

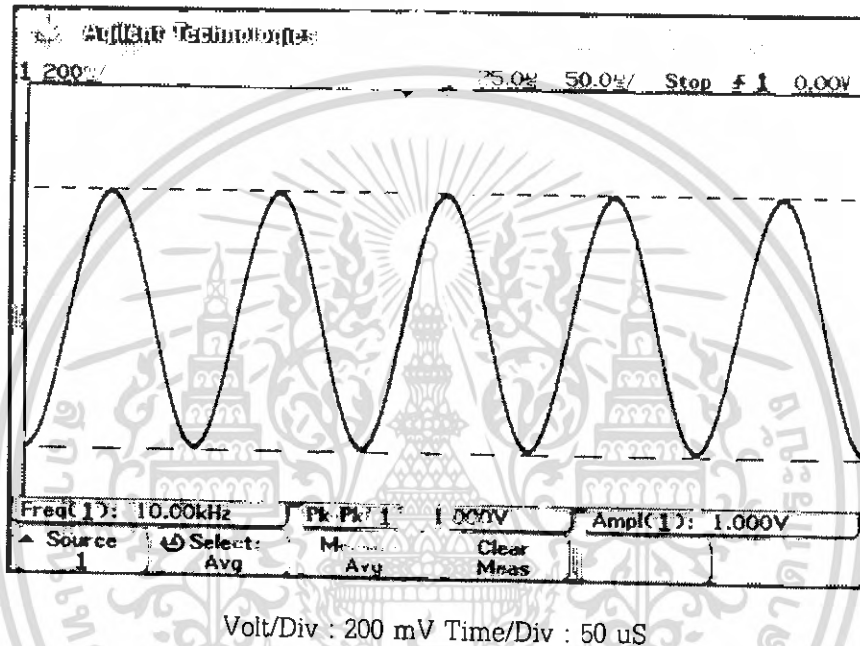
2. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร และความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ แล้วใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

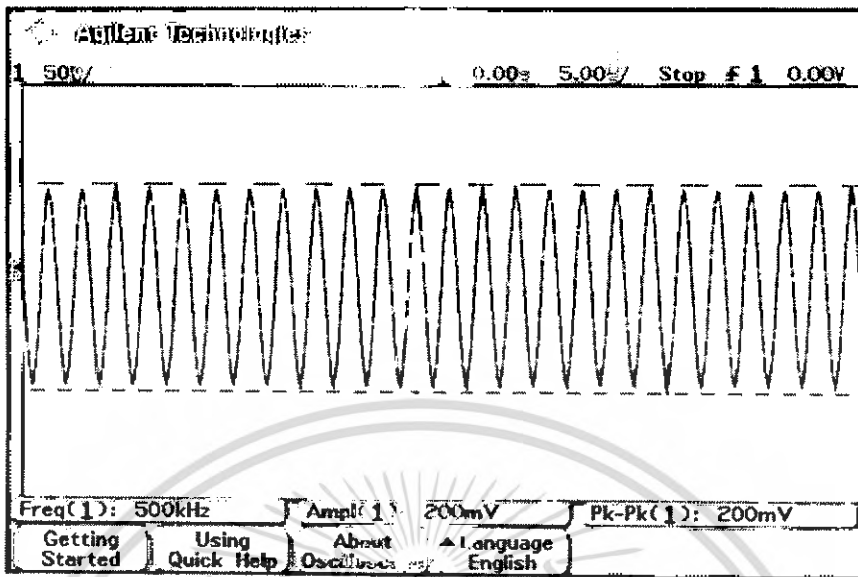
ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณอินพุต ของภาค Multiplier ได้ผลการทดลองใน รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier และมีดัชนีการมอดูเลตที่มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต 50 % และ 100 % ได้ผลการทดลองใน รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ

#### 4.2.1.2 ผลการทดลอง

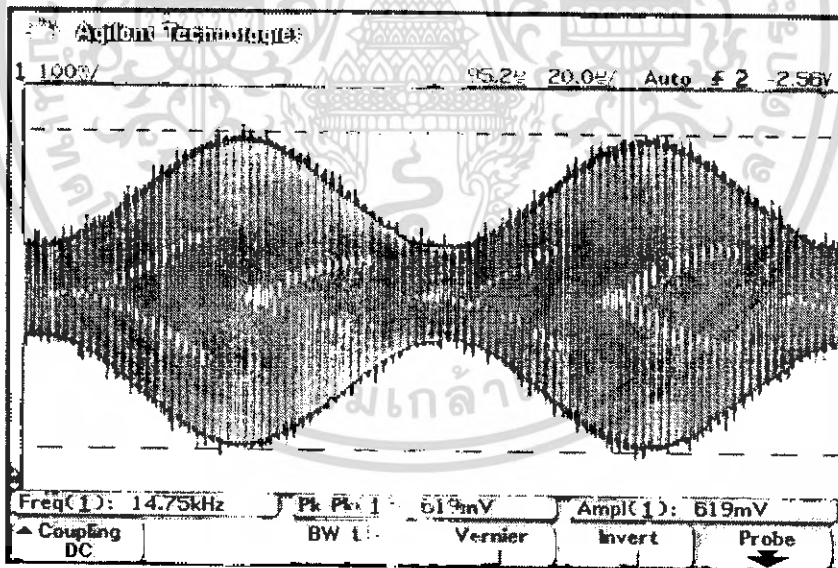


รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุตสัญญาณขาออส



Volt/Div : 50 mV Time/Div : 5 uS

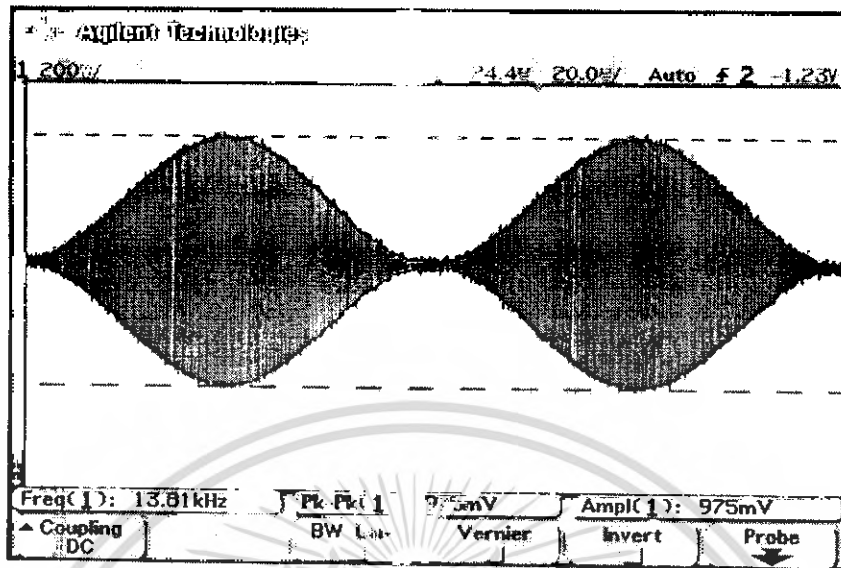
รูปที่ 4.3 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาร์



Volt/Div : 1 mV Time/Div : 20 uS

รูปที่ 4.4 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div : 200 mV Time/Div : 20 uS

รูปที่ 4.5 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 100 %

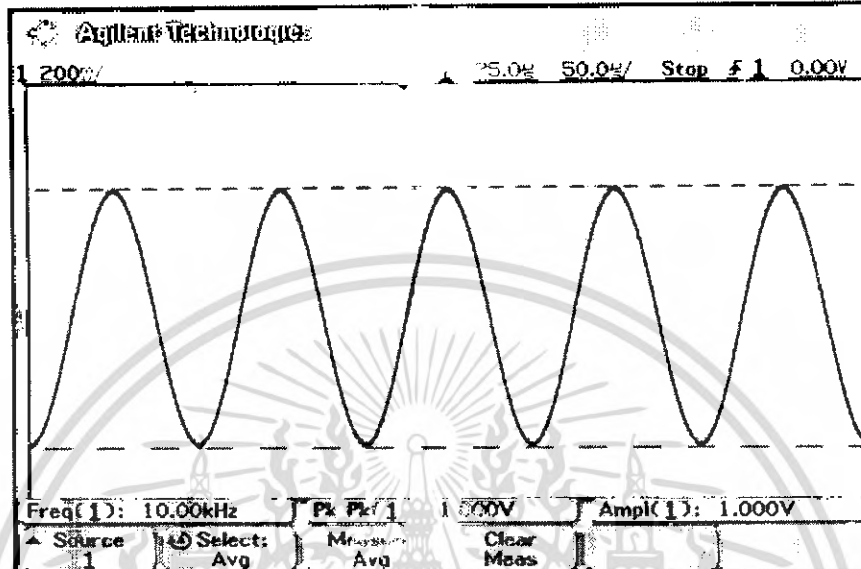
#### 4.2.2 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร Level Shifter

##### 4.2.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 4.1
2. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p เป็นสัญญาณขาเข้า และป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาร์ป้อนเข้าวงจร Multiplier 1 แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณอินพุต ของภาค Multiplier.1 ได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 ตามลำดับ
3. ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ วัดที่จุดเอาต์พุต ของภาค Multiplier 1 ได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.8
4. ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้ต่ำสุดแล้ว วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Level Shifter บันทึกผลการทดลองลงใน รูปที่ 4.9
5. ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้สูงสุดแล้ว วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Level Shifter บันทึกผลการทดลองลงใน รูปที่ 4.10

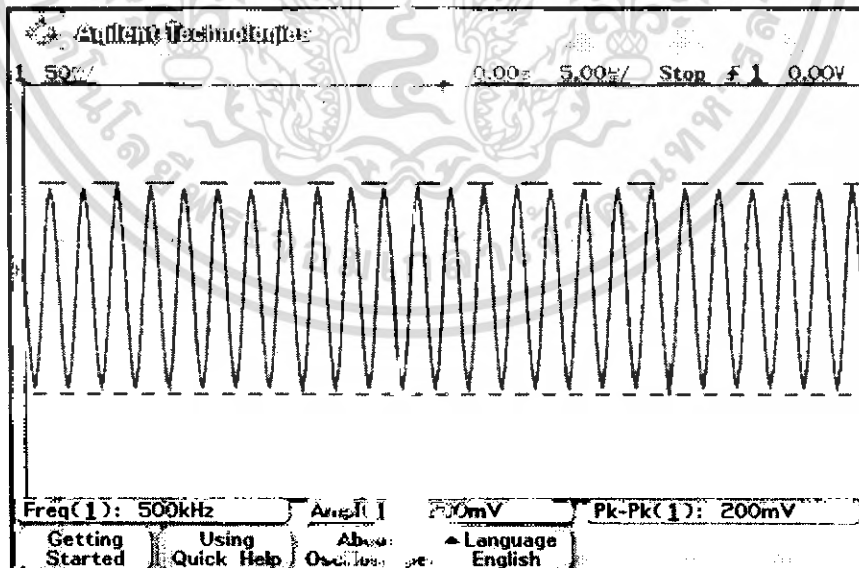
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2.2 ผลการทดลอง



Volt/Div : 200 mV Time/Div : 50  $\mu$ S

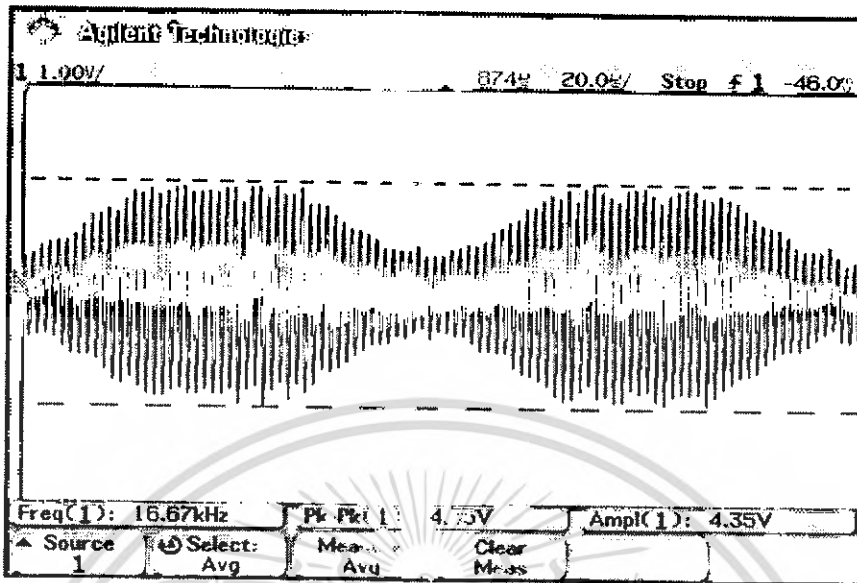
รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตสัญญาณขาวสาร



Volt/Div : 50 mV Time/Div : 5  $\mu$ S

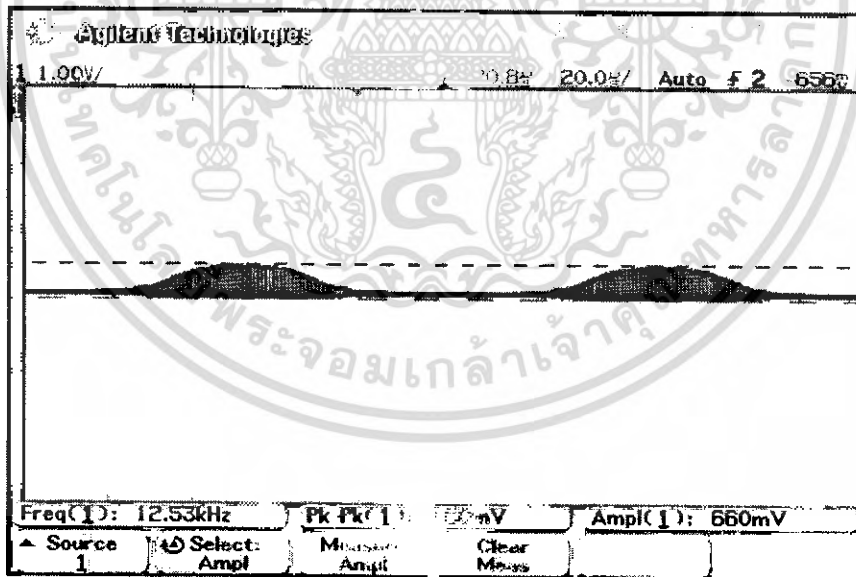
รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div : 1 V Time/Div : 20 uS

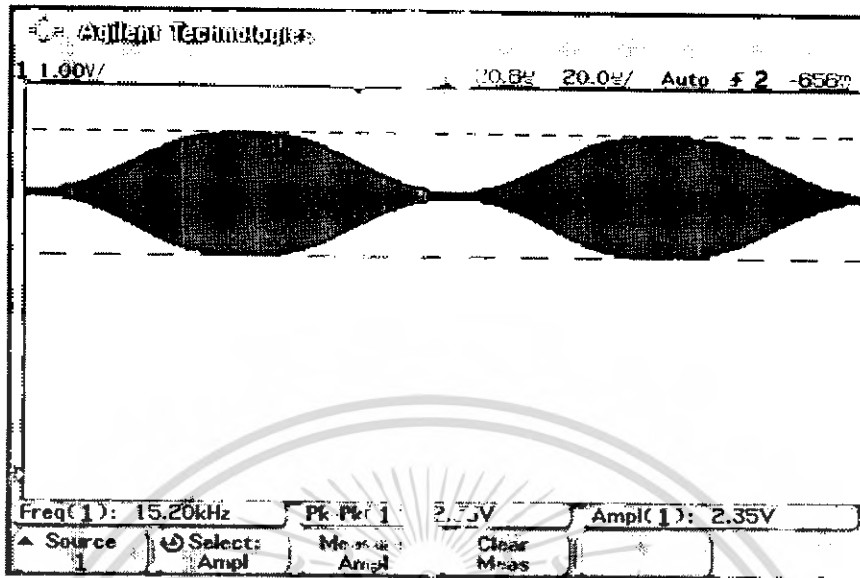
รูปที่ 4.8 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier 1



Volt/Div : 1 V Time/Div : 20 uS

รูปที่ 4.9 ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div : 1 V Time/Div : 20 uS

รูปที่ 4.10 ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้สูงสุด

#### 4.2.3 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร Low pass filter

##### 4.2.3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. คำนวณค่าความถี่คัตออฟของวงจร Low pass filter เมื่อปรับ VR เท่ากับ  $0 \Omega$  จะได้ค่าความถี่คัตออฟที่ความถี่ 159.155 kHz อัตราขยายของวงจรเท่ากับ 1.846 เท่า

จากสูตร 
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

แทนค่าในสูตร 
$$f_c = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^3)(0.001 \times 10^6)}$$

$$f_c = 159.155 \text{ kHz}$$

จากสูตร 
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$A = 1 + \frac{33 \text{ k}\Omega}{39 \text{ k}\Omega}$$

$$A = 1.846$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ตั้งแต่ 1 kHz ถึง 500 kHz แอมพลิจูด 2 Vp-p เข้าอินพุตของวงจร Low pass filter แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรเพื่อหาค่าความถี่คัตออฟจากวงจรจริง ซึ่งเมื่อทำการป้อนความถี่จนถึงค่าความถี่คัตออฟแล้วจะได้ค่าความถี่คัตออฟและแรงดันเอาต์พุตคือ แอมพลิจูดที่มีเอาต์พุตลดลง 3 dB ตามรูปที่ 4.11

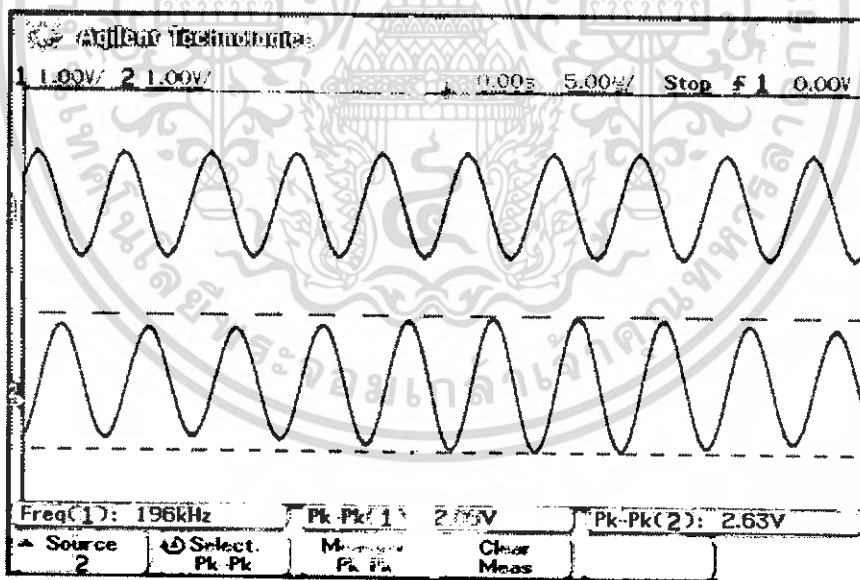
3. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของวงจรเท่ากับ 10.37 เปอร์เซ็นต์

4. คำนวณค่าความถี่คัตออฟเมื่อปรับ VR เท่ากับ 100 kHz จะได้ค่าความถี่คัตออฟที่ความถี่ 1.576 kHz และอัตราขยายของวงจรเท่ากับ 1.846 เท่า

5. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 200 kHz แอมพลิจูด 2 Vp-p เข้าอินพุตของวงจร Low pass filter แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรเพื่อหาค่าความถี่คัตออฟจากวงจรจริง ซึ่งเมื่อทำการป้อนความถี่จนถึงค่าความถี่คัตออฟแล้วจะได้ค่าความถี่คัตออฟและแรงดันเอาต์พุตคือ แอมพลิจูดที่มีเอาต์พุตลดลง 3 dB ดังรูปที่ 4.12

6. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของวงจรเท่ากับ 5.23 เปอร์เซ็นต์

#### 4.2.3.2 ผลการทดลอง



CH 1 Volt/Div = 1 V

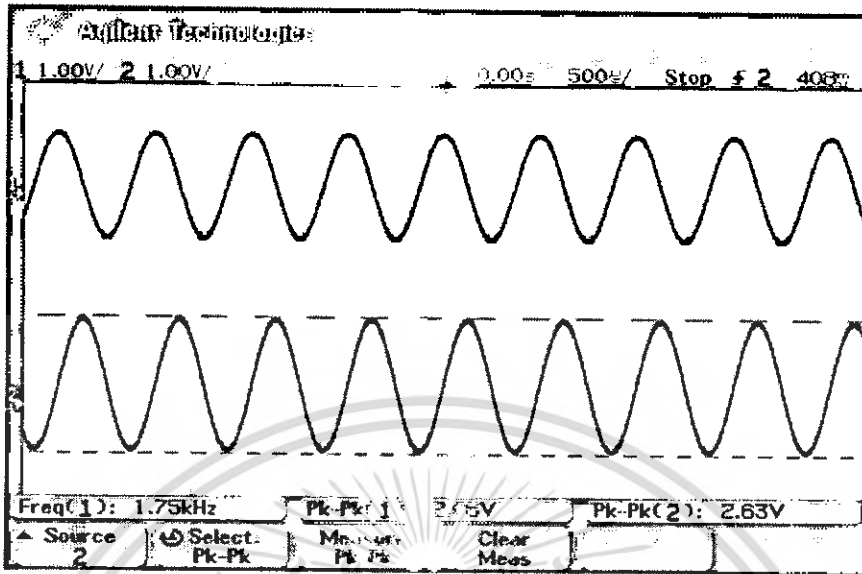
Time/Div = 5 μs

CH 2 Volt/Div = 2 V

Time/Div = 5 μs

รูปที่ 4.11 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ Low pass filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH 1 Volt/Div = 1 V

Time/Div = 500 µs

CH 2 Volt/Div = 1 V

Time/Div = 500 µs

รูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ Low pass filter

#### 4.2.4 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร High pass filter

##### 4.2.4.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. คำนวณค่าความถี่คัตออฟของวงจร High pass filter เมื่อปรับ VR เท่ากับ  $0 \Omega$  ได้ค่าความถี่คัตออฟที่ความถี่ 159.155 kHz อัตราขยายของวงจรเท่ากับ 2.2 เท่า

จากสูตร 
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

แทนค่าในสูตร 
$$f_c = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^3)(0.001 \times 10^6)}$$

$$f_c = 159.155 \text{ kHz}$$

จากสูตร 
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

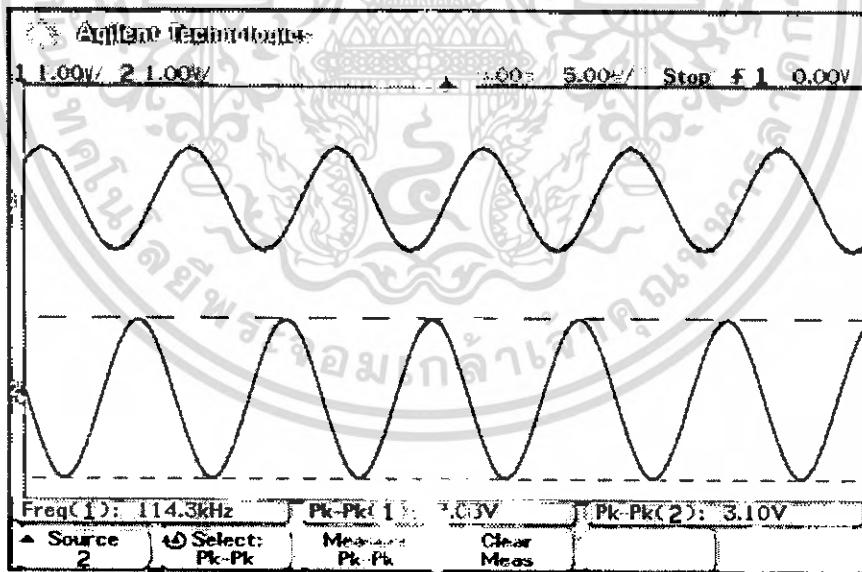
$$A = 1 + \frac{47 \text{ k}\Omega}{39 \text{ k}\Omega}$$

$$A = 2.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ตั้งแต่ 1 kHz ถึง 500 kHz แอมพลิจูด 2 Vp-p เข้าอินพุตของวงจร High pass filter แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรเพื่อหาค่าความถี่คัตออฟจากวงจรจริงได้ค่าความถี่คัตออฟและแรงดันเอาต์พุตเมื่อป้อนความถี่จนถึงค่าความถี่คัตออฟคือ แอมพลิจูดที่เอาต์พุตลดลง 3 dB ตามรูปที่ 4.13
3. คำนวณหาค่าความคาดเคลื่อนของวงจรเท่ากับ 16.4 เปอร์เซ็นต์
4. คำนวณหาค่าความถี่คัตออฟเมื่อปรับ VR เท่ากับ 100 kHz ได้ค่าความถี่คัตออฟที่ความถี่ 1.576 kHz และอัตราขยายของวงจรเท่ากับ 2.2 เท่า
5. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 200 kHz แอมพลิจูด 2 Vp-p เข้าอินพุตของวงจร Low pass filter แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรเพื่อหาค่าความถี่คัตออฟจากวงจรจริงได้ค่าความถี่คัตออฟและแรงดันเอาต์พุตเมื่อป้อนความถี่จนถึงค่าความถี่คัตออฟคือ แอมพลิจูดที่เอาต์พุตลดลง 3 dB ตามรูปที่ 4.14
6. คำนวณหาค่าความคาดเคลื่อนของวงจรเท่ากับ 19.67 เปอร์เซ็นต์

4.2.4.2 ผลการทดลอง



CH 1 Volt/Div = 1 V

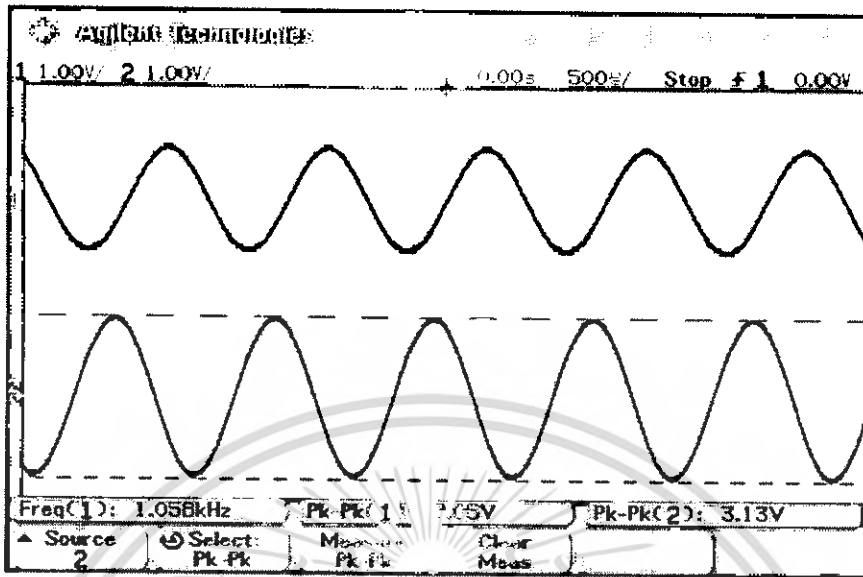
Time/Div = 5 µs

CH 2 Volt/Div = 1 V

Time/Div = 5 µs

รูปที่ 4.13 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ High pass filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



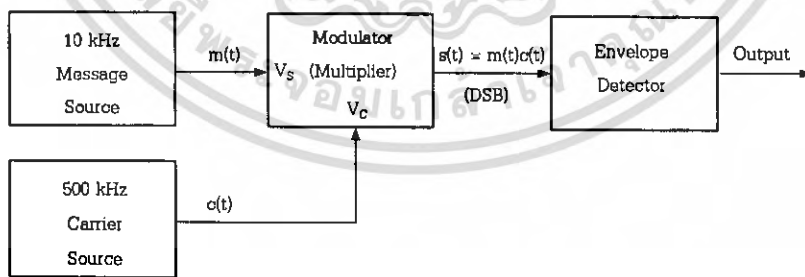
CH 1 Volt/Div = 1 V                      Time/Div = 500 µs  
 CH 2 Volt/Div = 1 V                      Time/Div = 500 µs

รูปที่ 4.14 รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ High pass filter

### 4.2.5 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร Envelope Detector

#### 4.2.5.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อกิจจรตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 Diode Envelope Detector for AM Signal

2. กำหนดให้ฟังก์ชันแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นไซน์เป็นสัญญาณข่าวสาร และป้อนสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นพาห์แล้วจึงใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ Output โดยปรับตั้งนิการมอดูเลตตามที

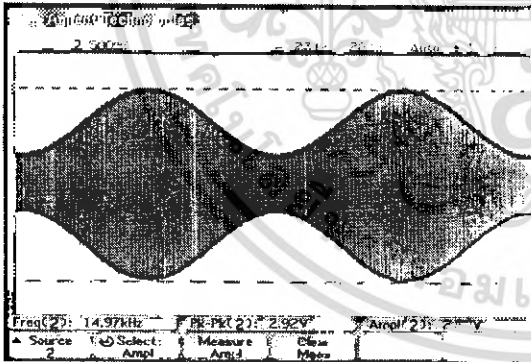
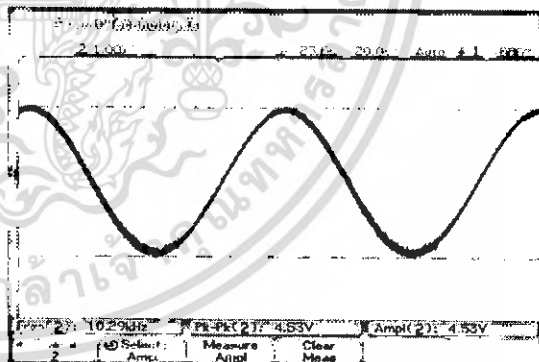
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดและภาค Envelope Detector โดยทำตามตารางที่มีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาห์ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.1

3. กำหนดให้ฟังก์ชันแอมพลิจูดของคลื่นพาห์เป็นสัญญาณซาวทาร์ และป้อนสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นพาห์แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ Output โดยปรับดัชนีการมอดูเลตตามที่กำหนดและภาค Envelope Detector โดยทำตามตารางที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า constant ตารางที่ AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้อมูลได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.2

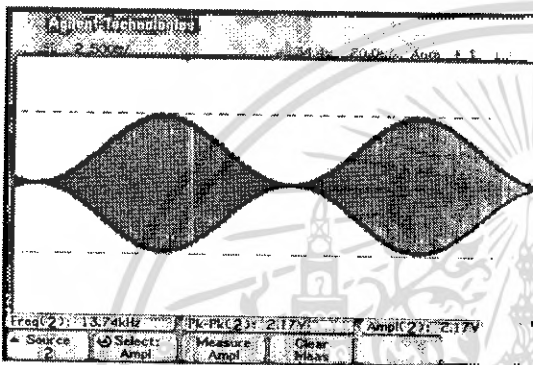
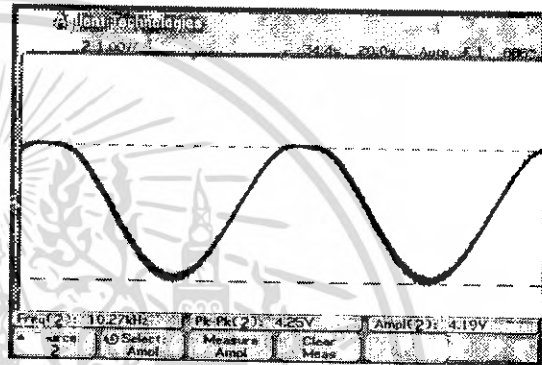
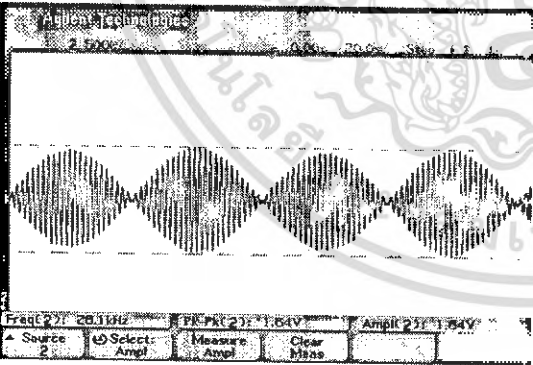
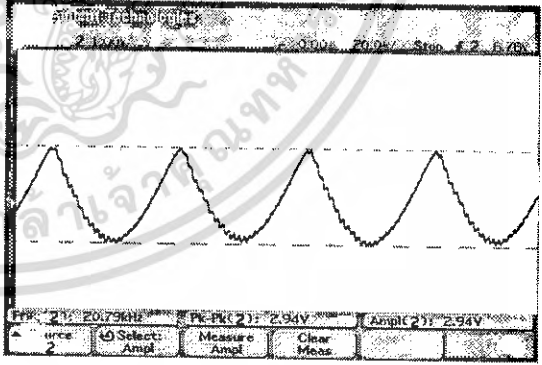
4.2.5.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ของคลื่นพาห์

รูปวาดของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปวาดของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
<p><math>c(t) = 4</math>, ดัชนีการมอดูเลต (<math>a</math>) = 0.5</p> 	<p><math>c(t) = 4</math></p> 

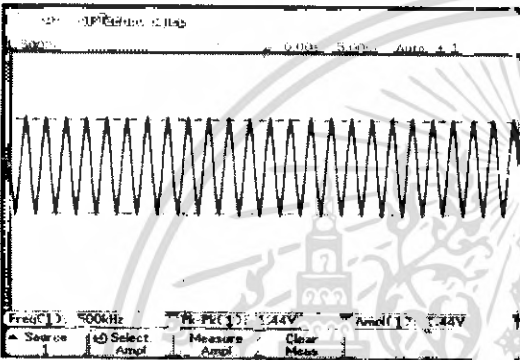
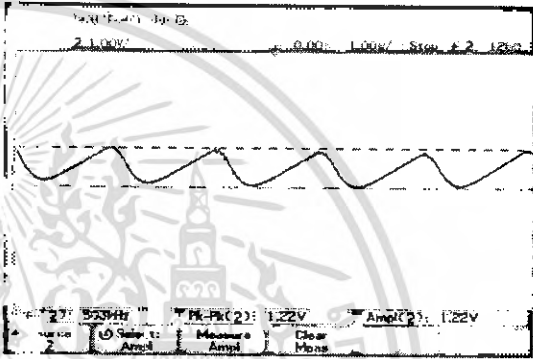
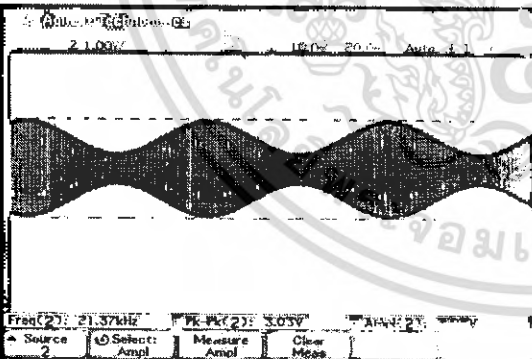
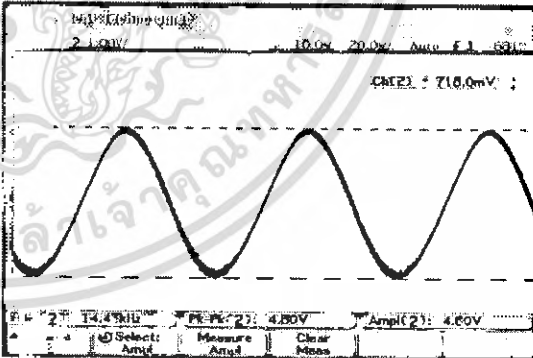
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ของคลื่นพาห้

รูปวาดของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปวาดของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
<p><math>c(t) = 2</math>, ดัชนีการมอดูเลต (<math>a</math>) = 1</p> 	<p><math>c(t) = 2</math></p> 
<p><math>c(t) = 0</math>, ดัชนีการมอดูเลต (<math>a</math>) = infinity</p> 	<p><math>c(t) = 0</math></p> 

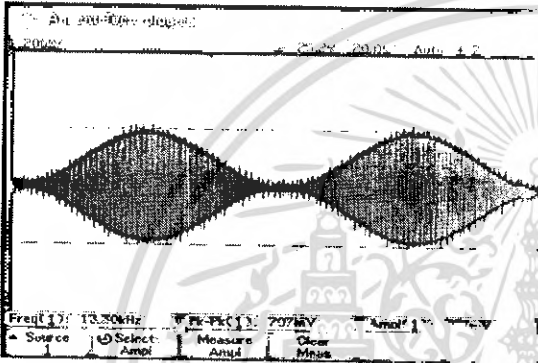
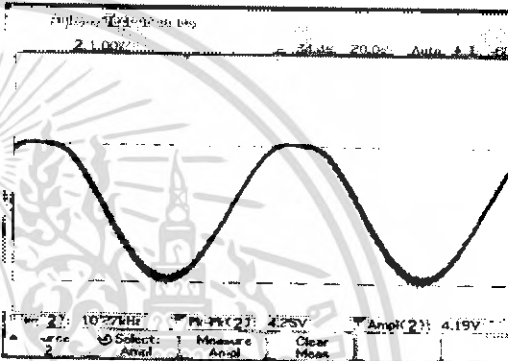
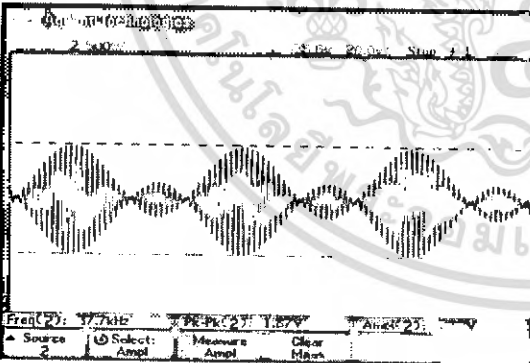
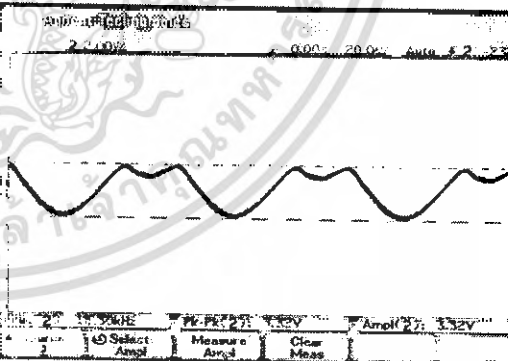
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้อมูล

รูปวาดของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปวาดของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
<p><math>m(t) = 0</math>, ดัชนีการมอดูเลต (a) = 0</p> 	<p><math>c(t) = 0</math></p> 
<p><math>m(t) = 0.5</math>, ดัชนีการมอดูเลต (a) = 0.5</p> 	<p><math>m(t) = 0.5</math></p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้อมูล

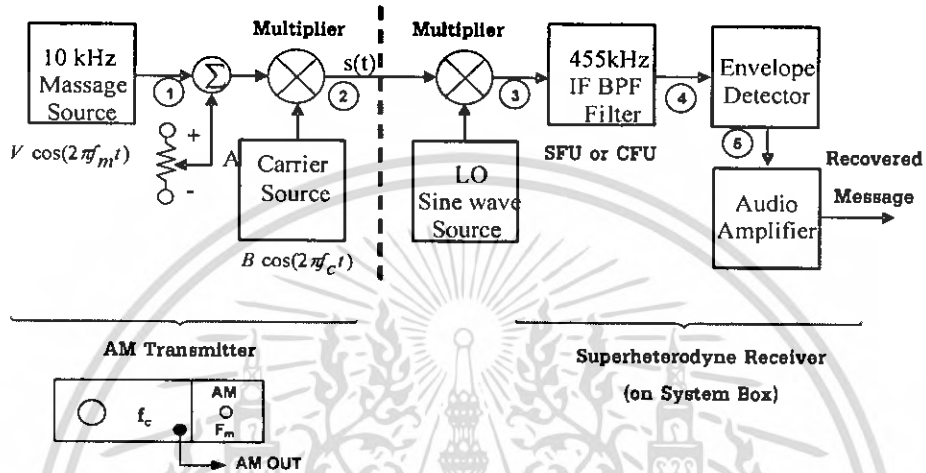
รูปร่างของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปร่างของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
<p><math>c(t) = 0.5</math>, ดัชนีการมอดูเลต (a) = 1</p> 	<p><math>c(t) = 1</math></p> 
<p><math>c(t) = 0</math>, ดัชนีการมอดูเลต (a) = 2</p> 	<p><math>c(t) = 2</math></p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.6 การทดลองและผลของการทดลองของวงจร 455 kHz I.F

### 4.2.6.1 ลำดับขั้นการทดลอง

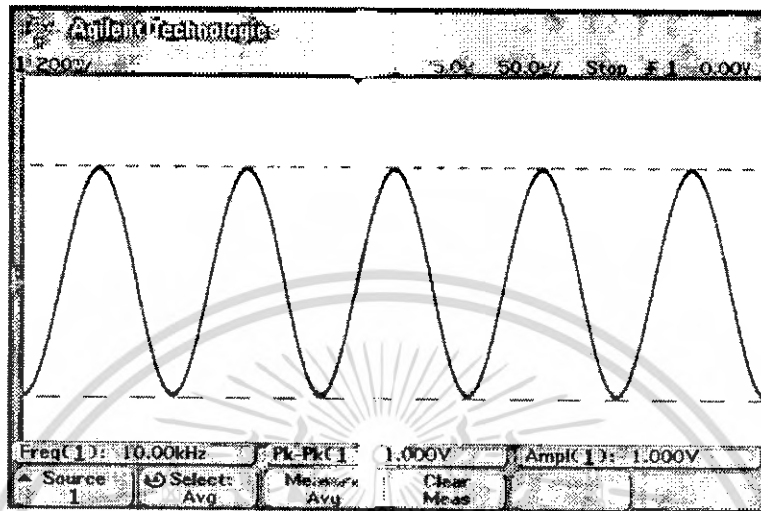
1. ต่อดังตามรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 วงจรเครื่องรับวิทยุแบบ ซุปเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne)

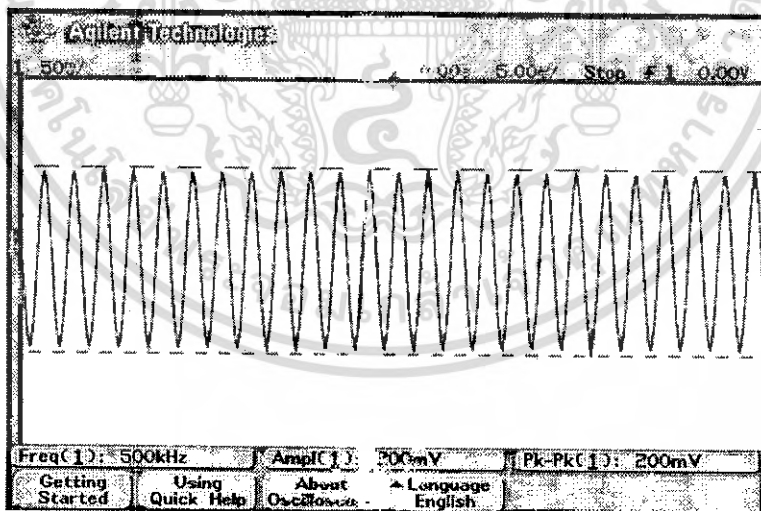
2. กำหนดให้ฟังก์ชันแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นไซน์ที่จุด 1 ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสารและป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห้แล้ว จึงบันทึกผลการทดลองในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ
3. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด 2 โดยปรับเบรคเก้นต์การมอดูเลตที่ 50 % และบันทึกผลการทดลอง ในรูปที่ 4.19
4. ป้อนความถี่ 955 kHz แอมพลิจูด 500 mVp-p เป็นสัญญาณ LO แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูป คลื่นสัญญาณบันทึกผลการทดลองในรูปที่ 4.20
5. วัดสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier ที่จุดที่ 3 บันทึกผลการทดลองในรูปที่ 4.21
6. แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณที่จุด 4 บันทึกผลการทดลองในรูปที่ 4.22

## 4.2.6.2 ผลการทดลอง



Volt/Div = 200 mV Time/Div = 10 uS

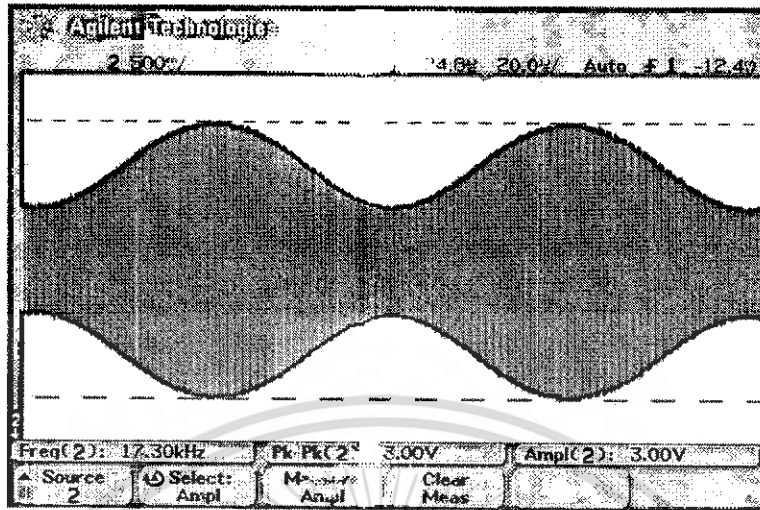
รูปที่ 4.17 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p ที่จุด 1



Volt/Div = 50 mV Time/Div = 5 uS

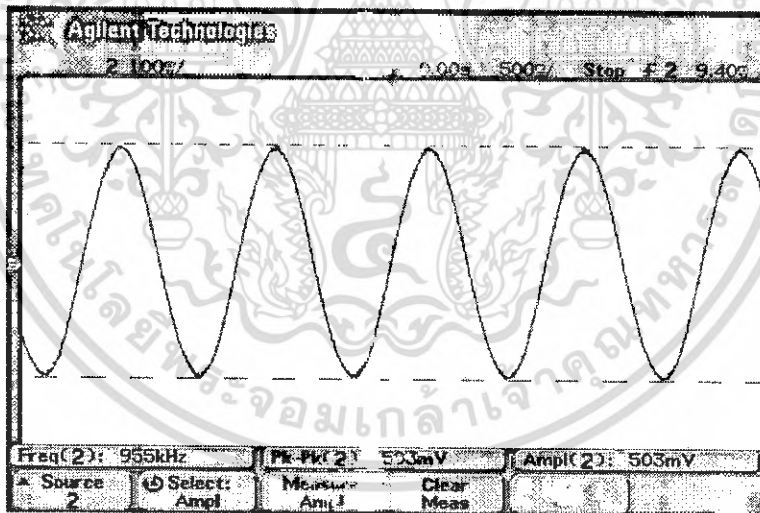
รูปที่ 4.18 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = 200 mV Time/Div = 50  $\mu$ s

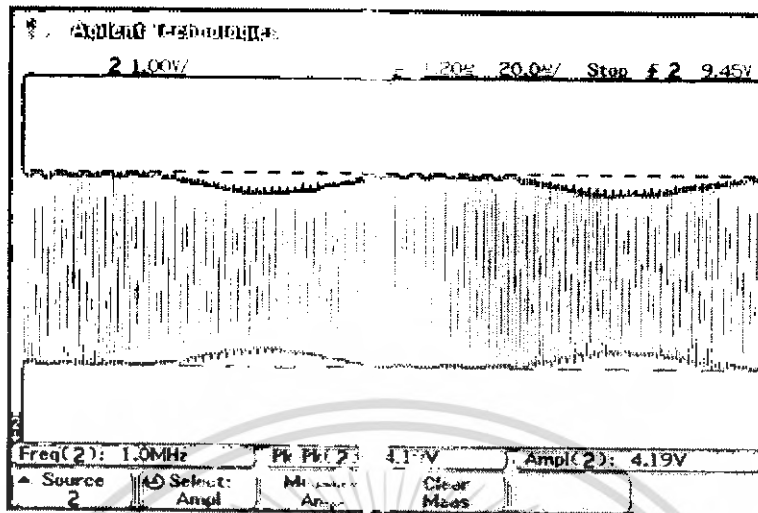
รูปที่ 4.19 วัดสัญญาณแอดด์พุทที่จุด 2 โดยปรับเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 50 %



Volt/Div = 100 mV Time/Div = 500 ns

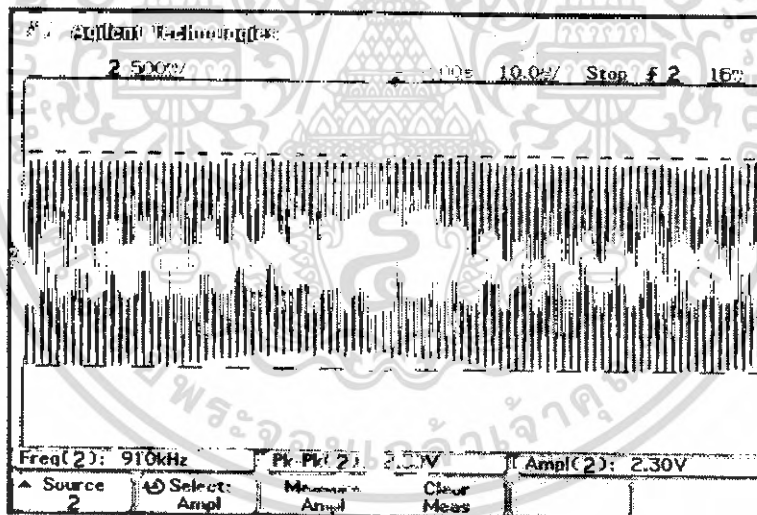
รูปที่ 4.20 ป้อนความถี่ 955 kHz แอมพลิจูด 500 mVp-p เป็นสัญญาณ LO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = 1 V Time/Div = 20  $\mu$ S

รูปที่ 4.21 รูปคลื่นสัญญาณสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 3



Volt/Div = 500 mV Time/Div 10  $\mu$ S

รูปที่ 4.22 รูปคลื่นสัญญาณสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.7 การทดลอง และผลของการทดลองของวงจร Audio Amplifier

### 4.2.7.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อกับรูปที่ 4.23 โดยใช้ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 20 kHz ทางด้านอินพุตของภาค Audio Amplifier แล้วฟังเสียงที่ได้



รูปที่ 4.23 ป้อนสัญญาณทางด้านอินพุตของภาค Audio Amplifier

### 4.2.7.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 20 kHz เสียงที่ได้ยินช่วงความถี่ 50 Hz ถึง 3 kHz จะได้ยินเสียงเหมือนเสียงโทนเสียงโทรศัพท์ คือ จะมีโทนต่ำ และจากความถี่ตั้งแต่ 4 kHz ถึง 20 kHz จะได้ยินเสียงเหมือนเสียงนกหวีดคือเสียงจะมีโทนแหลมมาก

## 4.3 ผลการประเมินใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ

การประเมินคุณภาพของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกของผู้ทรงคุณวุฒิใบงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.47 แสดงว่าใบงานการทดลองมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ส่วนด้านของชุดฝึกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.57 แสดงว่าชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีคุณภาพอยู่ในระดับดีซึ่งผลการประเมินคุณภาพของใบงานและชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกจากผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงในภาคผนวก ซ

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกเป็นชุดฝึกที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ชุดทดลองและใบงานการทดลอง ซึ่งในส่วนของชุดทดลองจะประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ เช่น วงจรมอดูเลต, วงจรปรับเปลี่ยนระดับ, วงจรขยายอัตราขยายสูงที่ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์, วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ วงจรกรองผ่านความถี่สูง, วงจรดีเทคเตอร์ และวงจรขยายเสียง

ในส่วนของใบงานการทดลองแบ่งเป็นใบงาน 10 ใบงานเช่น หลักการสื่อสารเบื้องต้นและชนิดของสัญญาณ ดับเบิลไซด์แบนด์ การส่งดับเบิลไซด์แบนด์ การดีเทคเตอร์ เครื่องรับวิทยุซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ ดิมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชัน และมอดูเลตทางความถี่ เป็นต้น

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการจัดทำโครงการชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ไอซีบางตัวหาซื้อได้ยากไม่มีขายตามท้องตลาด เช่น MC 1350

**วิธีการแก้ไข** ไอซีที่ใช้งานต้องทำการสั่งซื้อจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกไม่พร้อม

**วิธีการแก้ไข** ต้องขี้มอุปกรณ์ในการทดลองต่างๆ จากอาจารย์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และคณะวิศวกรรม

3. ความล่าช้าในการออกแบบวงจรเนื่องจากชุดทดลองระบบสื่อสารแอนะล็อกนี้มีหลายวงจรและที่สำคัญคือ ไม่มีพื้นฐานในการใช้โปรแกรมออกแบบวงจร

**วิธีการแก้ไข** จึงต้องใช้เวลาในการเรียนรู้โปรแกรมการออกแบบวงจร

4. สัญญาณแอสซิงโครนัสมีสัญญาณรบกวนมาก

**วิธีการแก้ไข** ต่อสายกราวด์ของวงจรลงกล่อง

5. อุปกรณ์ที่ใช้งานมีค่าผิดพลาดสูงและสัญญาณรบกวนสูง

**วิธีการแก้ไข** ทำการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความผิดพลาดต่ำและใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1 ไมโครฟารัดพร้อมที่แหล่งจ่ายของไอซีทุกตัว

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาให้โบบงานมีความหลากหลายมากขึ้น กล่าวคือออกแบบและพัฒนาให้โบบงานมีรายละเอียดมากขึ้น รวมไปถึงการเพิ่มจำนวนของโบบงานให้มากกว่าเดิม
2. พัฒนาการให้มีชุดเครื่องกำเนิดสัญญาณภายในชุดฝักการสื่อสารแอนะล็อก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

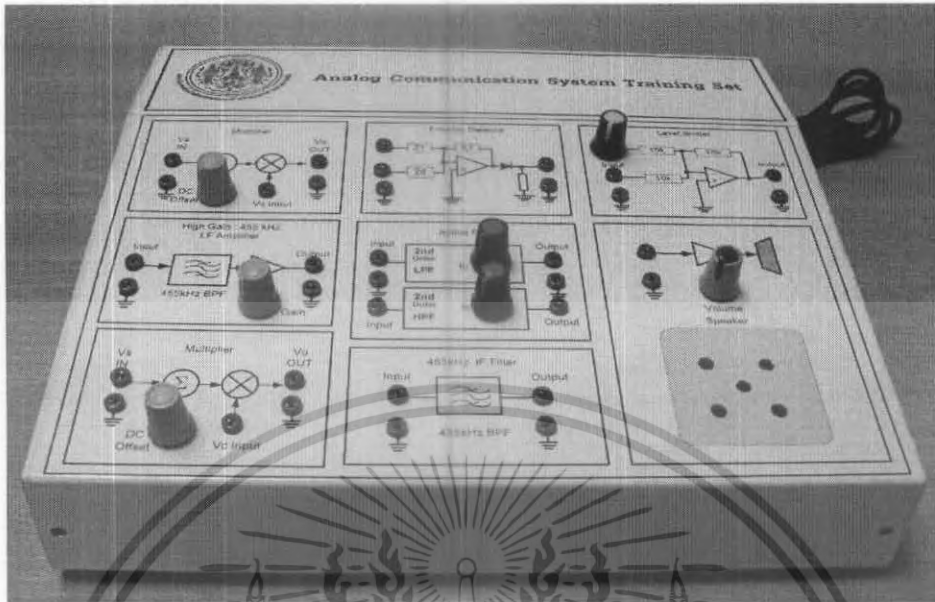
## บรรณานุกรม

- ประพันธ์ พิพัฒน์สุข และคณะ. 2545. **เครื่องรับวิทยุ**. กรุงเทพฯ: เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์.
- พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2546. **ทฤษฎีเครื่องรับวิทยุ**. กรุงเทพฯ: เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์.
- ศรัณย์ รินคำ และคณะ. 2540. "ชุดทดลองระบบสื่อสารแอนะล็อก." ปรินิพนธ์นิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อนันต์ พงศ์ประยูร. 2546. **พัลส์เทคนิค**. สงขลา: วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่.
- Mark A.Wickert, et.al 2000. "EE 4670 Cmmunication Systems Laboratory Experiments  
Manual" CO 80933-7150.

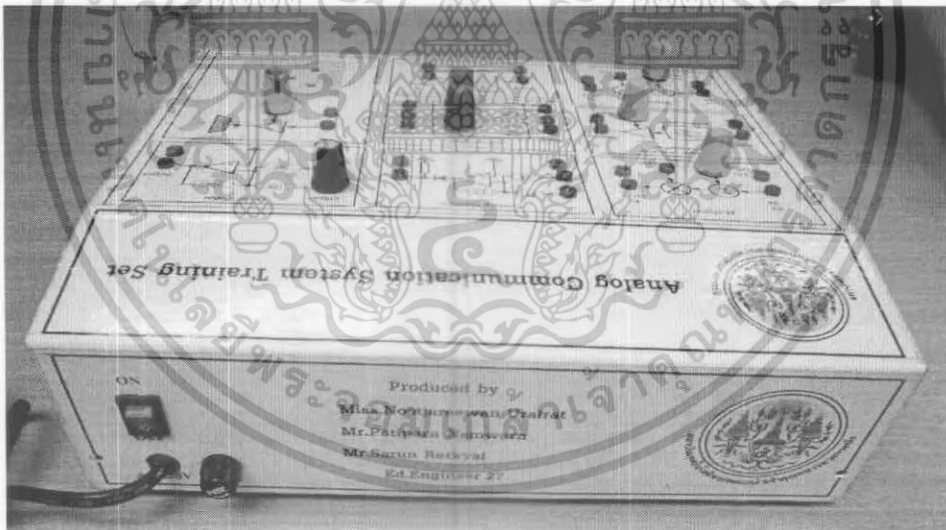




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

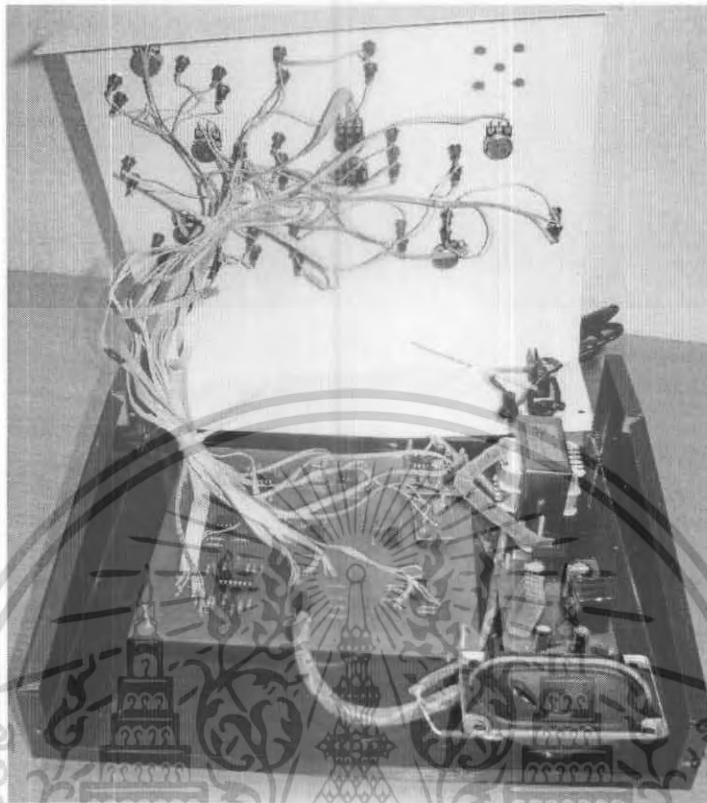


รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก

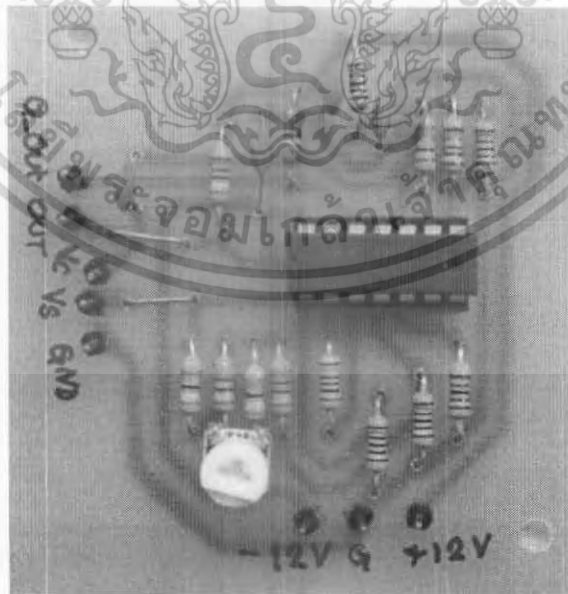


รูปที่ ก.2 ด้านหลังของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

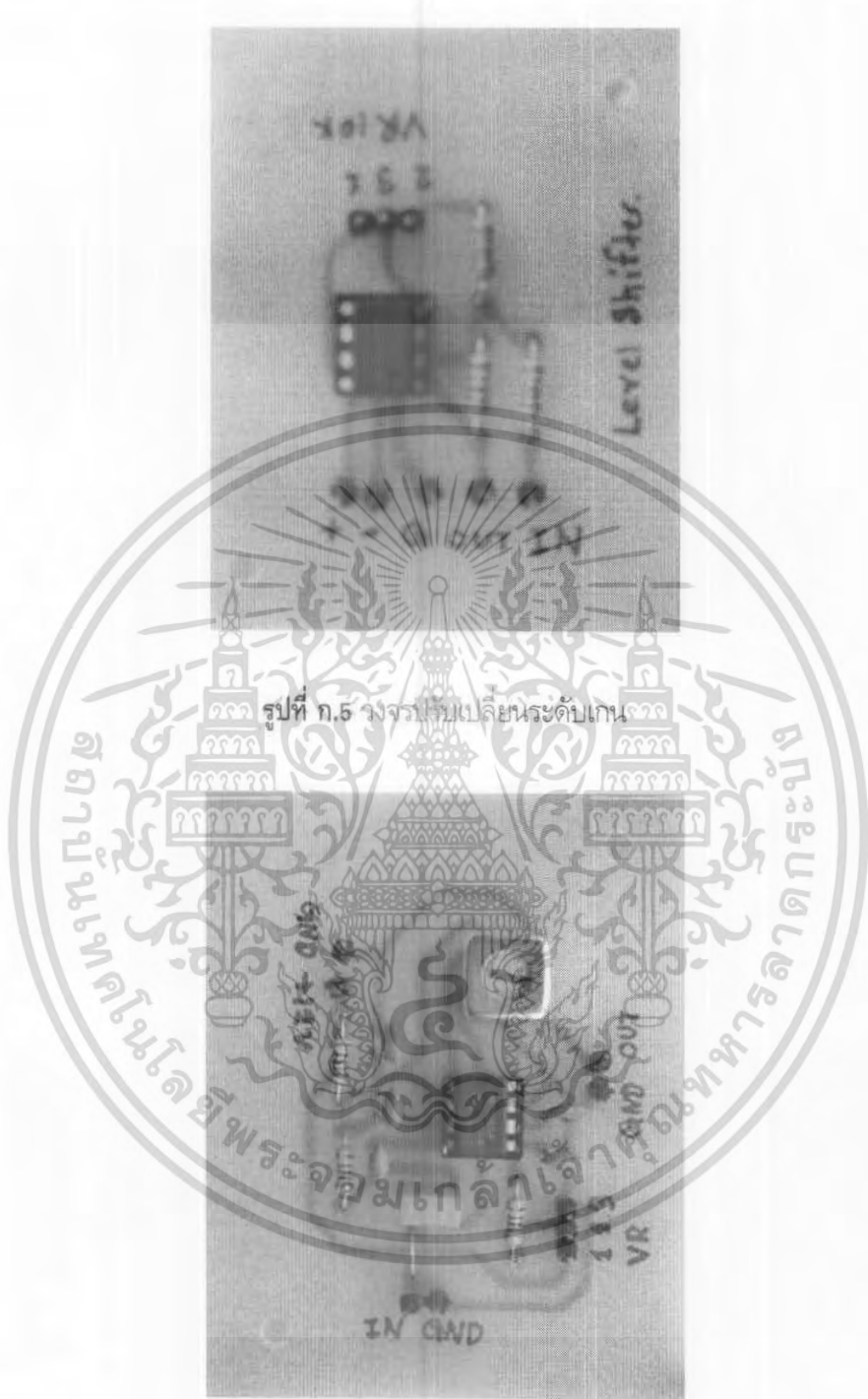


รูปที่ ก.3 ด้านในของชุดฝึกระบบสื่อสารแอนะล็อก



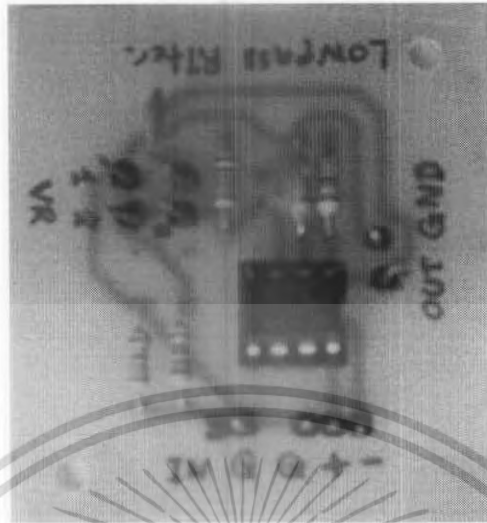
รูปที่ ก.4 วงจรมอดูเลตแบบสมดุลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

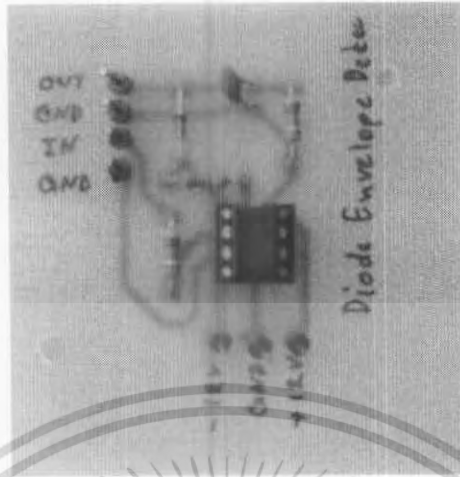


รูปที่ ก.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

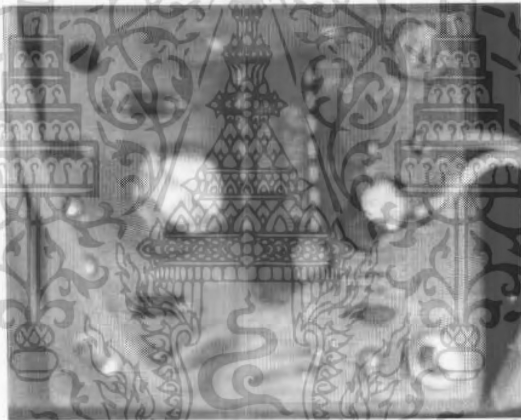


รูปที่ ก.8 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

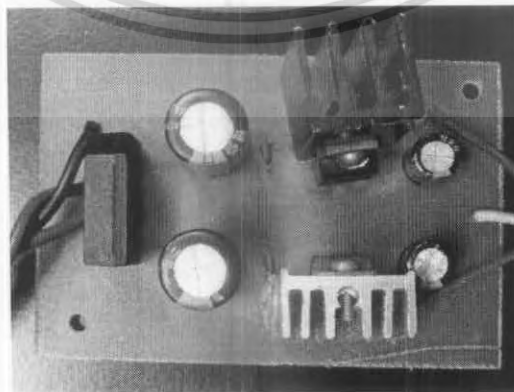
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 วงจรดีโอดเอนโวลเปอ



รูปที่ ก.10 วงจรขยายเสียง



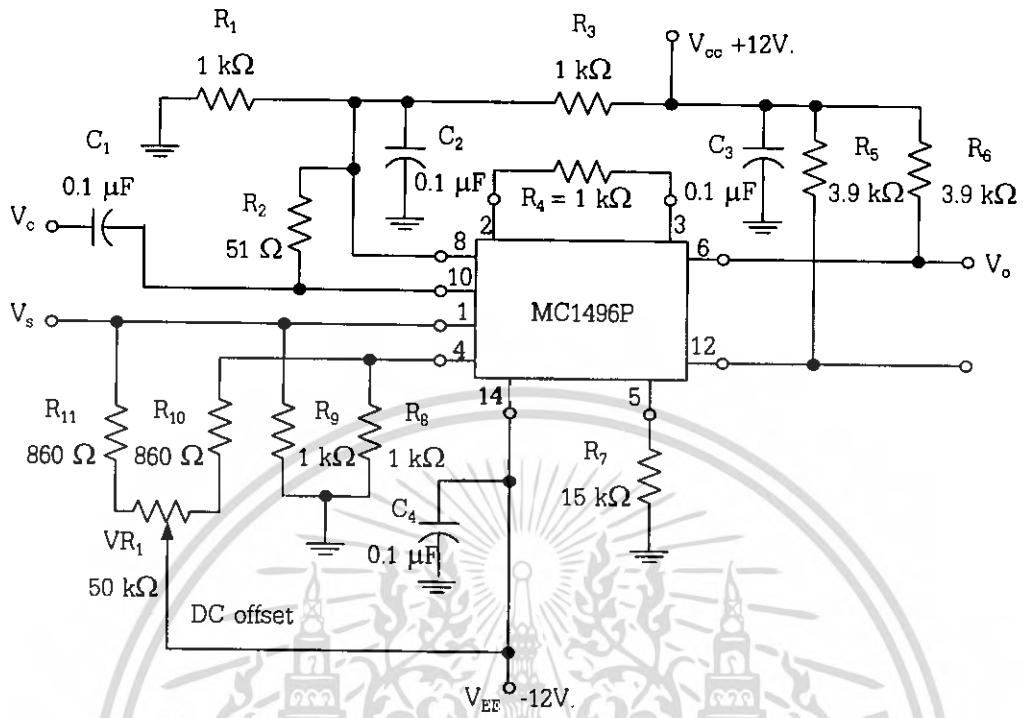
รูปที่ ก.11 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

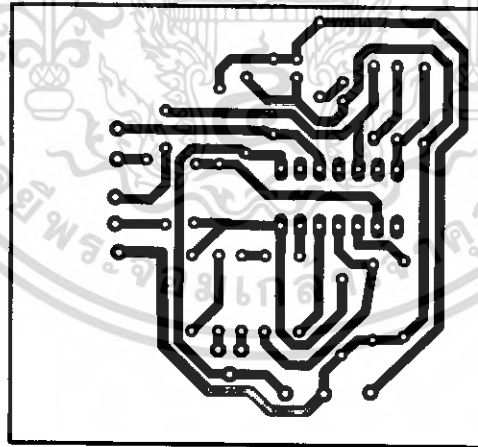


**ภาคผนวก ข**  
**วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

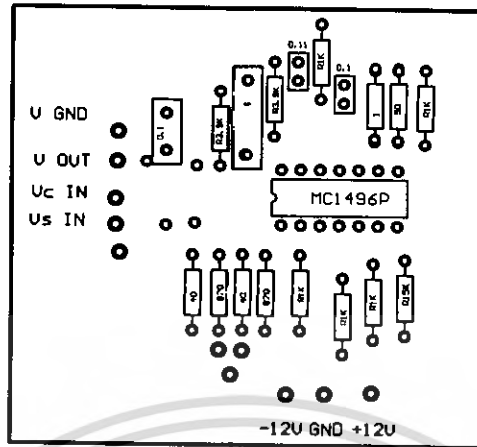


รูปที่ ข.1 วงจรมอดูเลตแบบสมมูล

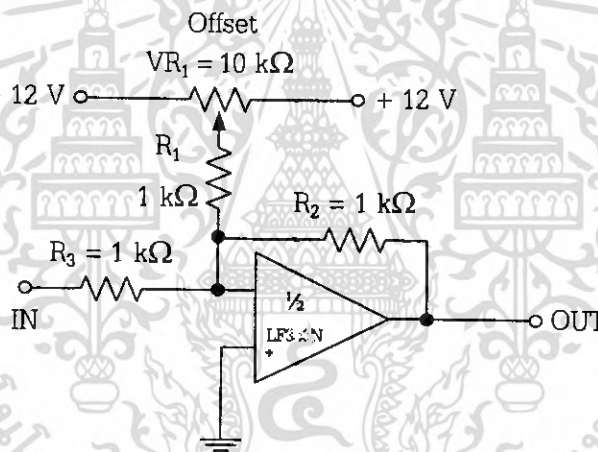


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรมอดูเลตแบบสมมูล

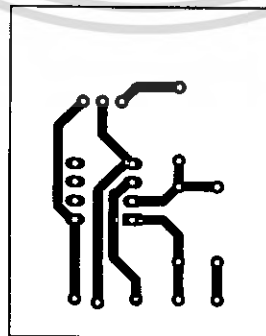
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมอดูเลตแบบสมดุล

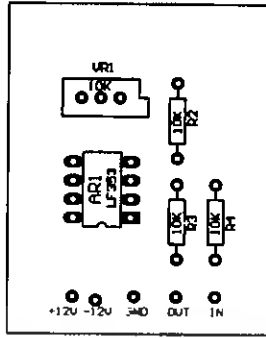


รูปที่ ข.4 วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน

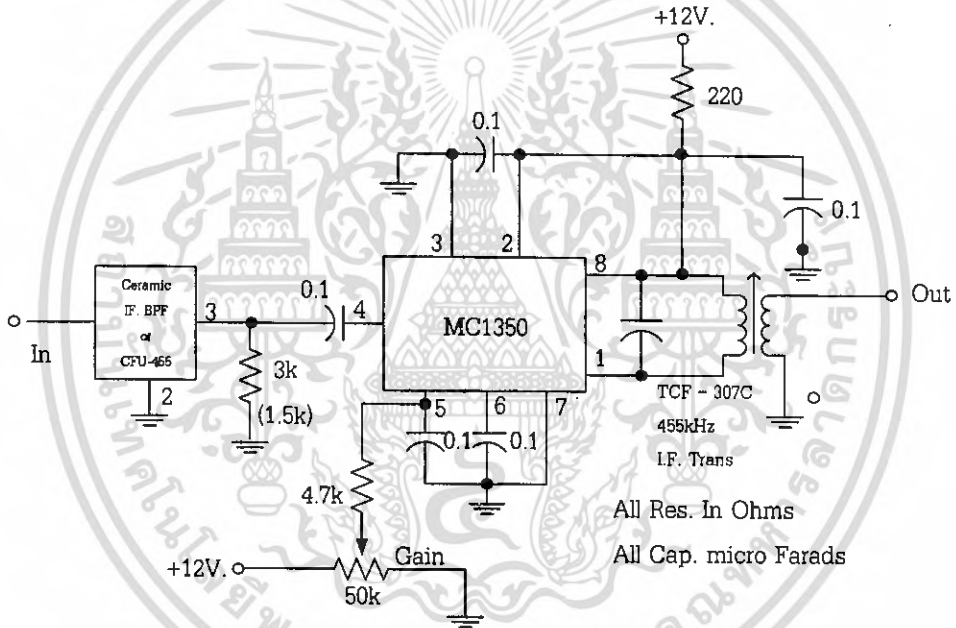


รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรถับเปลี่ยนระดับเกน

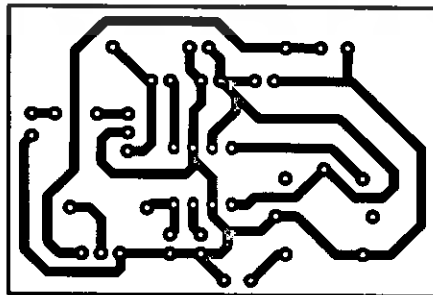
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน

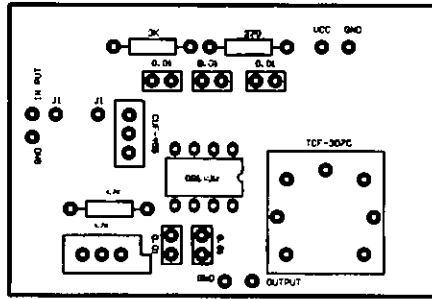


รูปที่ ข.7 วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

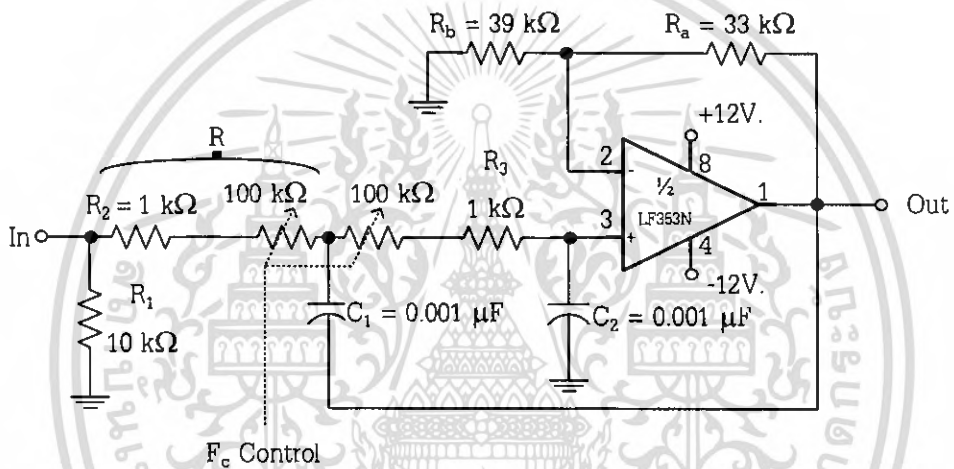


รูปที่ ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

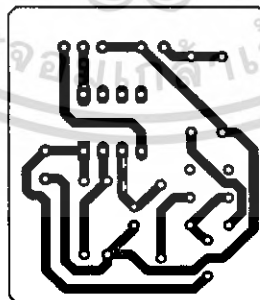
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

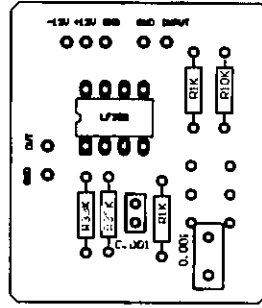


รูปที่ ข.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

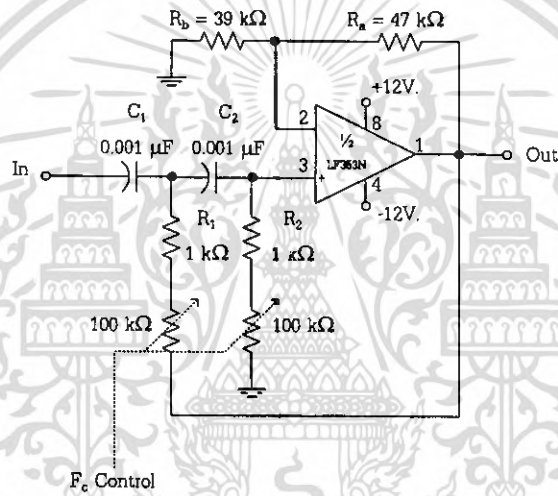


รูปที่ ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

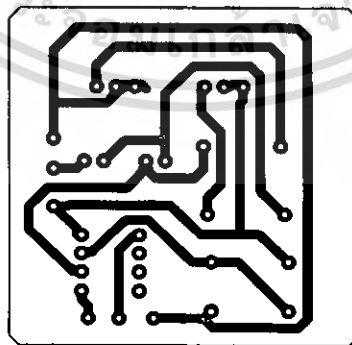
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

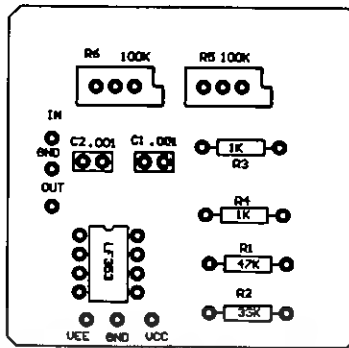


รูปที่ ข.13 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

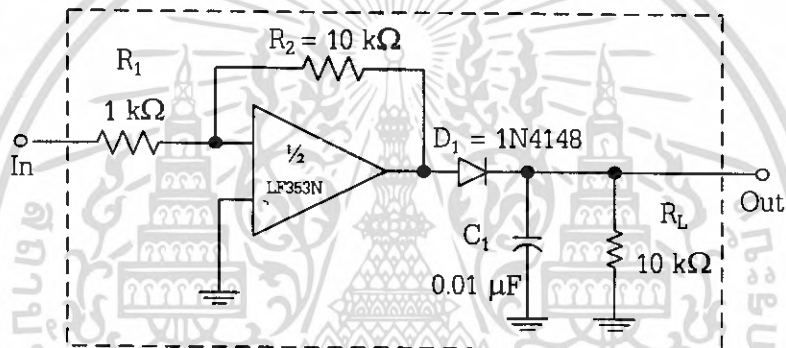


รูปที่ ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

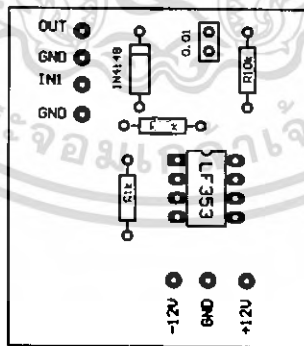
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

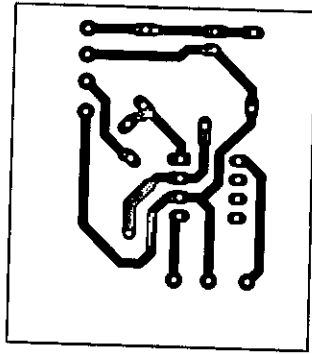


รูปที่ ข.16 วงจรดีเทคเตอร์

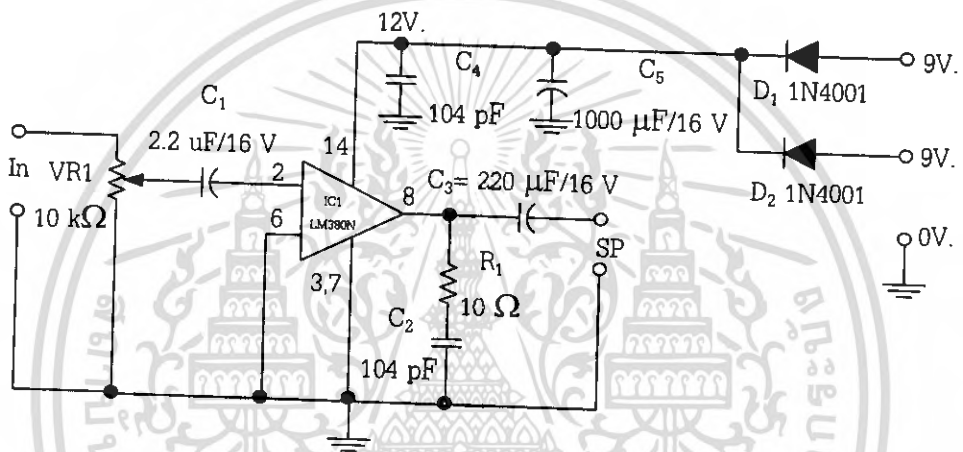


รูปที่ ข.17 แผ่นวงจรพิมพ์ วงจรดีเทคเตอร์

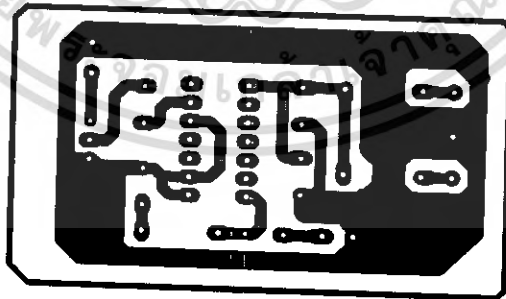
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



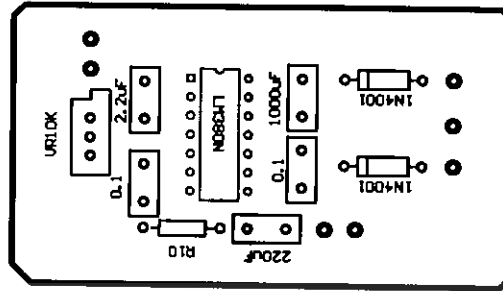
รูปที่ ข.18 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ วงจรดีเทคเตอร์



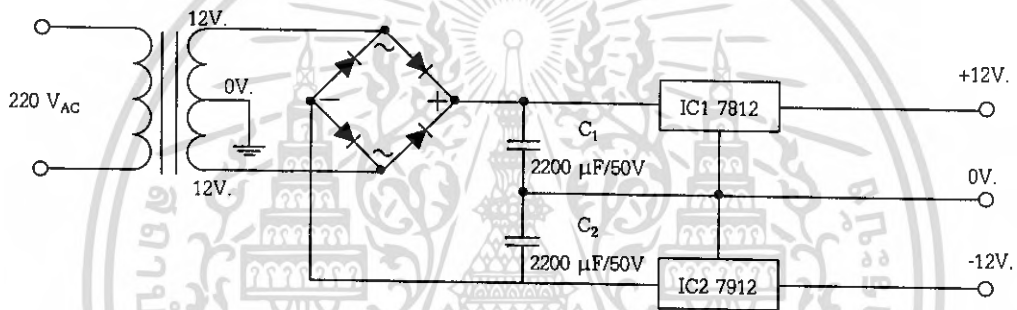
รูปที่ ข.19 รูปวงจรขยายเสียง



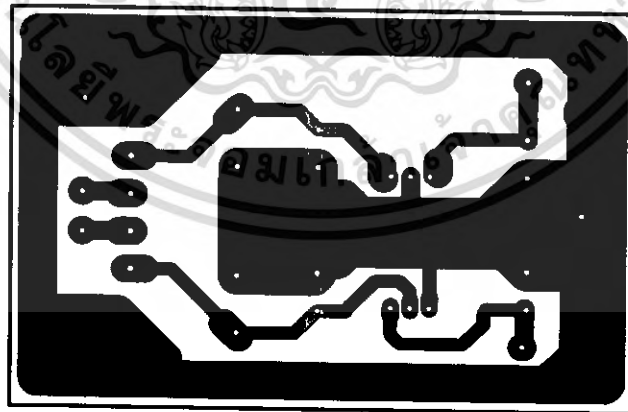
รูปที่ ข.20 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายเสียง



รูปที่ ข.21 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายเสียง

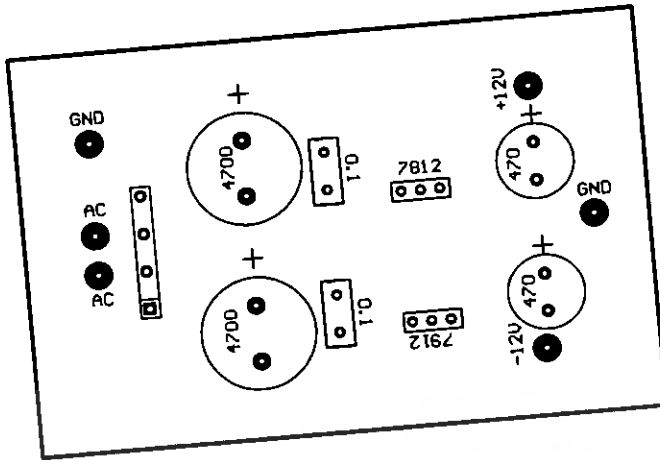


รูปที่ ข.22 วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ ข.23 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.24 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบสมดุล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	MC1496P	2 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F เซรามิก	6 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	3.9 k $\Omega$	4 ตัว
R2	1 k $\Omega$	10 ตัว
R3	15 k $\Omega$	2 ตัว
R4	51 $\Omega$	2 ตัว
R5	860 $\Omega$	4 ตัว
VR1	50 k $\Omega$	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	14 ขา	2 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรปรับเปลี่ยนระดับเกน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	LF353N	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	10 k $\Omega$	3 ตัว
VR1	10 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	MC1496P	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายอัตราขยายความถี่กลาง 455 กิโลเฮิรตซ์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F เซรามิก	6 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	220 $\Omega$	1 ตัว
R2	4.7 k $\Omega$	1 ตัว
R3	3 k $\Omega$	1 ตัว
VR1	50 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Ceramic	I.F BPF SFU-455	1 ตัว
I.F.Trans	TCF-307C	1 ตัว
Socket IC	14 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรกรองความถี่ต่ำ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	LF353N	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.001 $\mu$ F เซรามิก	2 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R <sub>a</sub>	33 k $\Omega$	1 ตัว
R <sub>b</sub>	39 k $\Omega$	1 ตัว
R1	1 k $\Omega$	2 ตัว
R2	10 k $\Omega$	1 ตัว
VR1	100 k $\Omega$	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรรองความถี่สูง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	LF353N	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.001 $\mu$ F เซรามิก	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R <sub>a</sub>	47 k $\Omega$	1 ตัว
R <sub>b</sub>	39 k $\Omega$	1 ตัว
R1	1 k $\Omega$	2 ตัว
VR	100 k $\Omega$	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรดีเทคเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LF353N	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.001 $\mu$ F เซรามิก	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R <sub>a</sub>	47 k $\Omega$	1 ตัว
R <sub>b</sub>	39 k $\Omega$	1 ตัว
R1	1 k $\Omega$	2 ตัว
ไดโอด		
D1	1N4148	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคขยายเสียง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC	LM380N	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	10 $\Omega$	1 ตัว
VR1	10 k $\Omega$	
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F	2 ตัว
C2	2.2 $\mu$ F /16 V.	1 ตัว
C3	1000 $\mu$ F /16 V.	1 ตัว
<b>ไดโอด</b>		
D1	1N4001	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	14 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.8 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	7812	1 ตัว
IC2	7912	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	2200 $\mu$ F / 50 V.	2 ตัว
<b>ไดโอดบริดจ์</b>		
D1	MIC RS 601	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
ฟิวส์	14 ขา	1 ตัว
หม้อแปลง	$\pm$ 12 V	1 ตัว
สวิตช์	220 V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
รายละเอียดของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Monolithic IF Amplifier

The MC1350 is an integrated circuit featuring wide range AGC for use as an IF amplifier in radio and TV over an operating temperature range of 0° to +75°C.

- Power Gain: 50 dB Typ at 45 MHz  
50 dB Typ at 58 MHz
- AGC Range: 60 dB Min, DC to 45 MHz
- Nearly Constant Input & Output Admittance over the Entire AGC Range
- $\gamma_{21}$  Constant (-3.0 dB) to 90 MHz
- Low Reverse Transfer Admittance:  $<< 1.0 \mu\text{mho Typ}$
- 12 V Operation, Single-Polarity Power Supply

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

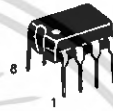
Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	$V^+$	+18	Vdc
Output Supply Voltage	$V_1, V_8$	+18	Vdc
AGC Supply Voltage	$V_{AGC}$	$V^+$	Vdc
Differential Input Voltage	$V_{in}$	5.0	Vdc
Power Dissipation (Package Limitation)	$P_D$	625	mW
Plastic Package		5.0	mW/°C
Derate above 25°C			
Operating Temperature Range	$T_A$	0 to +75	°C

Order this document by MC1350/D

## MC1350

### IF AMPLIFIER

#### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626

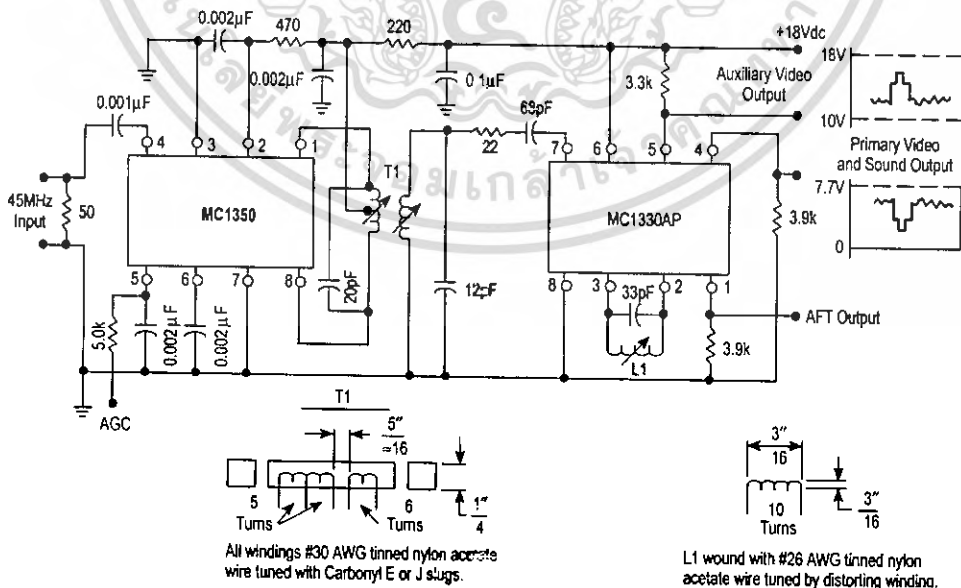
D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC1350P	$T_A = 0^\circ \text{ to } +75^\circ\text{C}$	Plastic DIP
MC1350D		SO-8

Figure 1. Typical MC1350 Video IF Amplifier and MC1330 Low-Level Video Detector Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1350

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V^+ = +12$  Vdc,  $T_A = +25^\circ$ C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
AGC Range, 45 MHz (5.0 V to 7.0 V) (Figure 1)		60	68	-	dB
Power Gain (Pin 5 grounded via a 5.1 k $\Omega$ resistor) f = 58 MHz, BW = 4.5 MHz See Figure 6(a) f = 45 MHz, BW = 4.5 MHz See Figure 6(a), (b) f = 10.7 MHz, BW = 350 kHz See Figure 7 f = 455 kHz, BW = 20 kHz	$A_p$	- 46 - -	48 50 58 62	- - - -	dB
Maximum Differential Voltage Swing 0 dB AGC -30 dB AGC	$V_O$	- -	20 8.0	- -	$V_{pp}$
Output Stage Current (Pins 1 and 8)	$I_1 + I_8$	-	5.6	-	mA
Total Supply Current (Pins 1, 2 and 8)	$I_S$	-	14	17	mAdc
Power Dissipation	$P_D$	-	168	204	mW

DESIGN PARAMETERS, Typical Values ( $V^+ = +12$  Vdc,  $T_A = +25^\circ$ C, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Frequency				Unit
		455 kHz	10.7 MHz	45 MHz	58 MHz	
Single-Ended Input Admittance	$g_{11}$ $b_{11}$	0.31 0.022	0.36 0.50	0.39 2.30	0.5 2.75	mmho
Input Admittance Variations with AGC (0 dB to 60 dB)	$\Delta g_{11}$ $\Delta b_{11}$	- -	- -	60 0	- -	$\mu$ mho
Differential Output Admittance	$g_{22}$ $b_{22}$	4.0 3.0	4.4 110	30 390	60 510	$\mu$ mho
Output Admittance Variations with AGC (0 dB to 60 dB)	$\Delta g_{22}$ $\Delta b_{22}$	- -	- -	4.0 90	- -	$\mu$ mho
Reverse Transfer Admittance (Magnitude)	$ y_{12} $	<< 1.0	<< 1.0	<< 1.0	<< 1.0	$\mu$ mho
Forward Transfer Admittance Magnitude Angle (0 dB AGC) Angle (-30 dB AGC)	$ y_{21} $ $\angle y_{21}$ $\angle y_{21}$	160 -5.0 -3.0	160 -20 -18	200 -80 -69	180 -105 -90	mmho Degrees Degrees
Single-Ended Input Capacitance	$C_{in}$	7.2	7.2	7.4	7.6	pF
Differential Output Capacitance	$C_O$	1.2	1.2	1.3	1.6	pF

Figure 2. Typical Gain Reduction

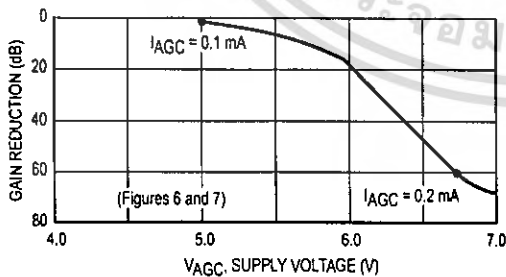
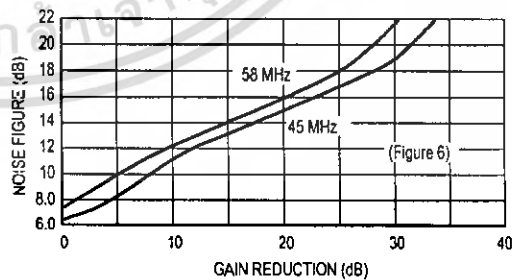


Figure 3. Noise Figure versus Gain Reduction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1350

GENERAL OPERATING INFORMATION

The input amplifiers (Q1 and Q2) operate at constant emitter currents so that input impedance remains independent of AGC action. Input signals may be applied single-ended or differentially (for ac) with identical results. Terminals 4 and 6 may be driven from a transformer, but a dc path from either terminal to ground is not permitted.

AGC action occurs as a result of an increasing voltage on the base of Q4 and Q5 causing these transistors to conduct more heavily thereby shunting signal current from the interstage amplifiers Q3 and Q6. The output amplifiers are supplied from an active current source to maintain constant quiescent bias thereby holding output admittance nearly constant. Collector voltage for the output amplifier must be supplied through a center-tapped tuning coil to Pins 1 and 8. The 12 V supply ( $V^+$ ) at Pin 2 may be used for this purpose, but output admittance remains more nearly constant if a separate 15 V supply ( $V^+ +$ ) is used, because the base voltage on the output amplifier varies with AGC bias.

Figure 4. Circuit Schematic

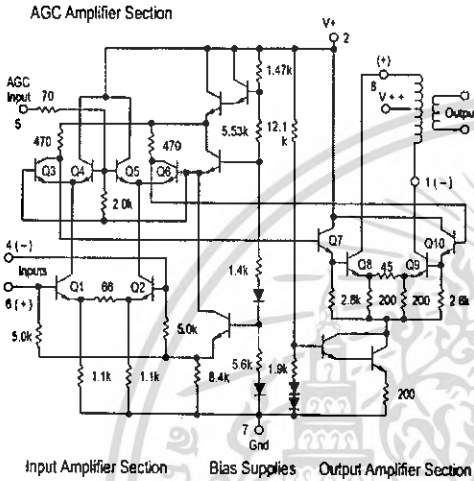


Figure 5. Frequency Response Curve (45 MHz and 58 MHz)

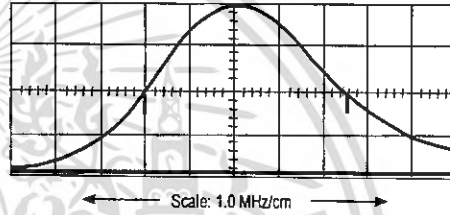
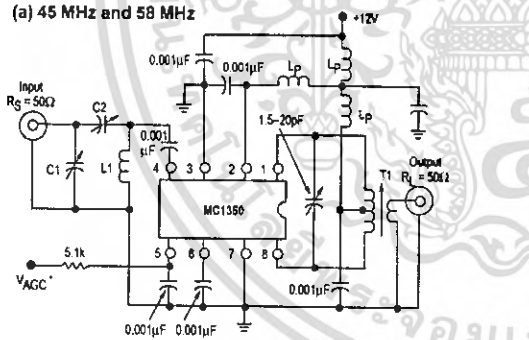
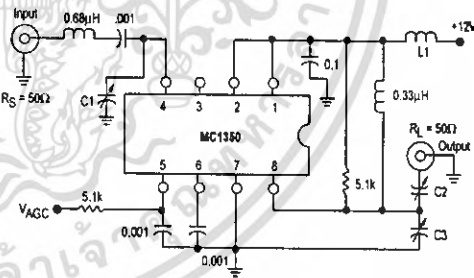


Figure 6. Power Gain, AGC and Noise Figure Test Circuits

(a) 45 MHz and 58 MHz



(b) Alternate 45 MHz



\*Connect to ground for maximum power gain test.  
All power supply chokes ( $L_p$ ), are self-resonant at input frequency.  $L_p \geq 2Z_0 \Omega$ .  
See Figure 5 for Frequency Response Curve.

$L1$  @ 45 MHz = 7 1/4 Turns on a 1/4" coil form  
@ 58 MHz = 6 Turns on a 1/4" coil form  
 $T1$  Primary Winding = 18 Turns on a 1/4" coil form, center-tapped, #25 AWG  
Secondary Winding = 2 Turns centered over Primary Winding @ 45 MHz  
= 1 Turn @ 58 MHz  
Slug = Carbonyl E or J

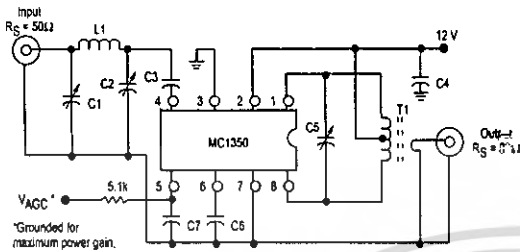
	Ferrite Core	
$L1$	14 Turns 28 S.W.G.	
$C1$	5-25 pF	
$C2$	5-25 pF	
$C3$	5-25 pF	

	45 MHz		58 MHz	
$L1$	0.4 $\mu$ H	$Q \geq 100$	0.3 $\mu$ H	$Q \geq 100$
$T1$	1.3 $\mu$ H to 3.4 $\mu$ H	$Q \geq 100 @ 2.0 \mu$ H	1.2 $\mu$ H to 3.8 $\mu$ H	$Q \geq 100 @ 2.0 \mu$ H
$C1$	50 pF to 160 pF		8.0 pF to 60 pF	
$C2$	8.0 pF to 60 pF		3.0 pF to 35 pF	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1350

Figure 7. Power Gain and AGC Test Circuit (455 kHz and 10.7 MHz)



Component	Frequency	
	455 kHz	10.7 MHz
C1	-	80-450 pF
C2	-	5.0-80 pF
C3	0.05 μF	0.001 μF
C4	0.05 μF	0.05 μF
C5	0.001 μF	36 pF
C8	0.05 μF	0.05 μF
C7	0.05 μF	0.05 μF
L1	-	4.6 μF
T1	Note 1	Note 2

NOTES: 1 Primary: 120 μH (center-tapped)  
 $Q_U = 140$  at 455 kHz  
 Primary: Secondary turns ratio  $\approx 13$   
 2 Primary: 8.0 μH  
 Primary winding = 24 turns #36 AWG  
 (close-wound on 1/4" dia. form)  
 Core = Carbonyl E or J  
 Secondary winding = 1-1/2 turns #36 AWG, 1/4" dia.  
 (wound over center-tap)

Figure 8. Single-Ended Input Admittance

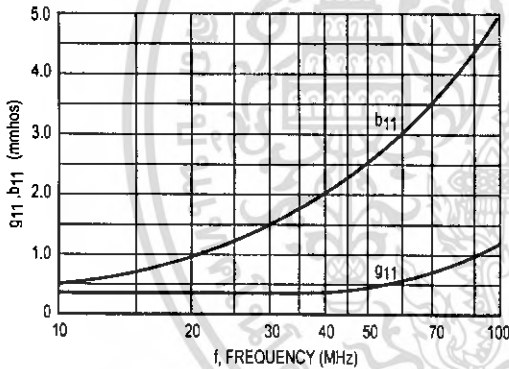


Figure 9. Forward Transfer Admittance

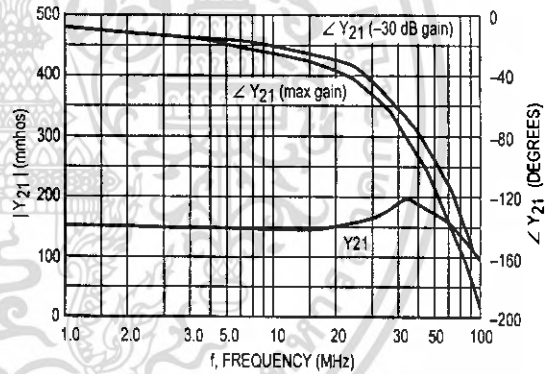


Figure 10. Differential Output Admittance

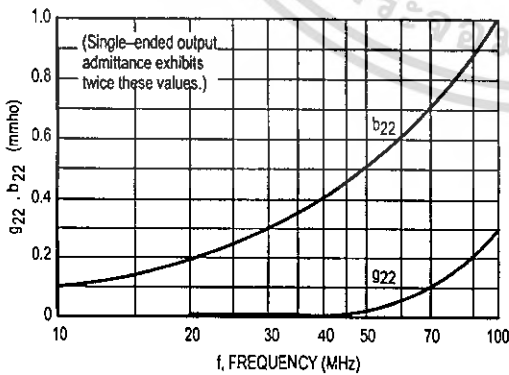
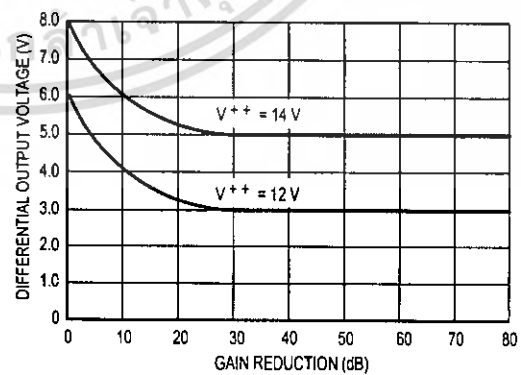


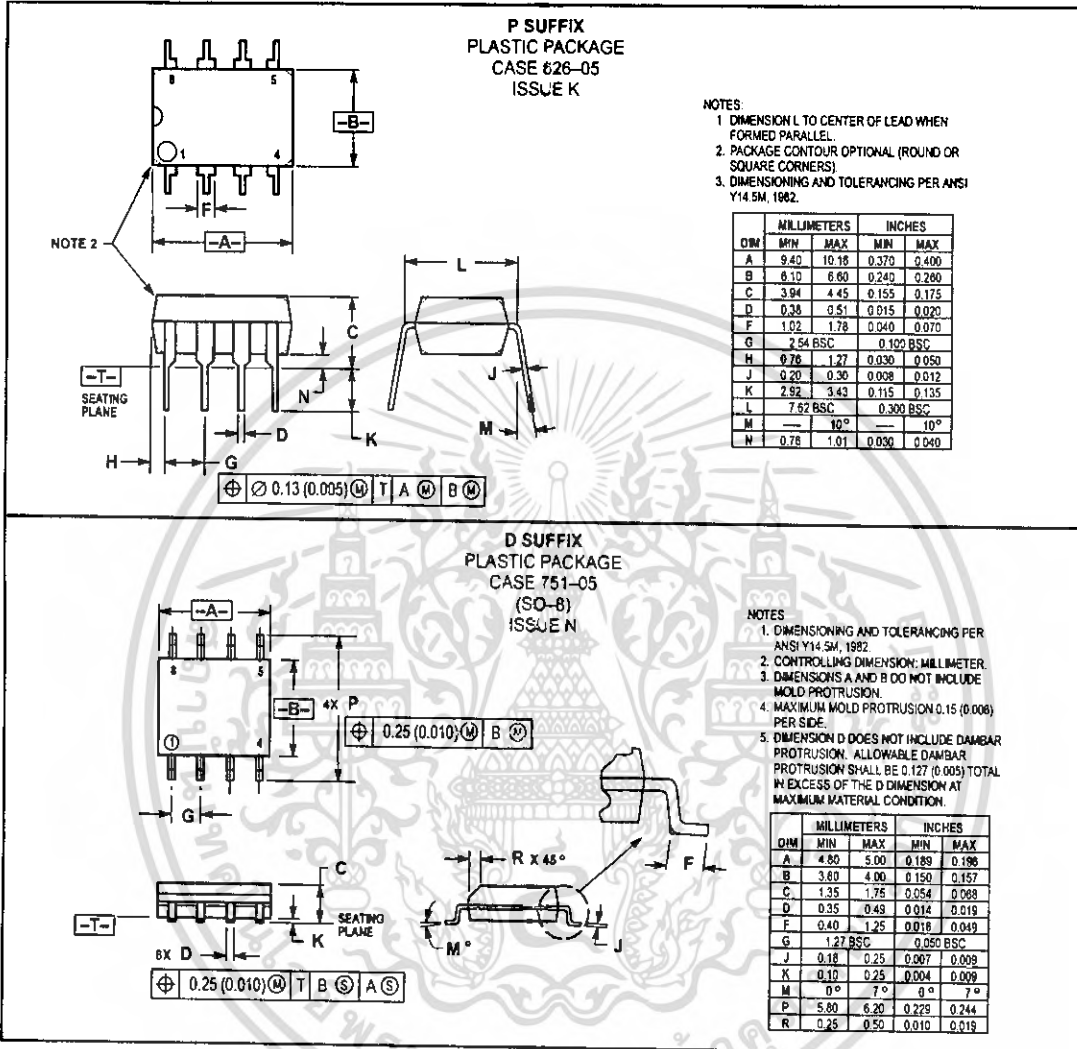
Figure 11. Differential Output Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1350

OUTLINE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by MC1496/D

# MC1496, B

## BALANCED MODULATORS/DEMODULATORS

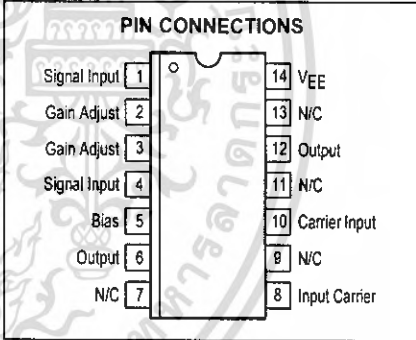
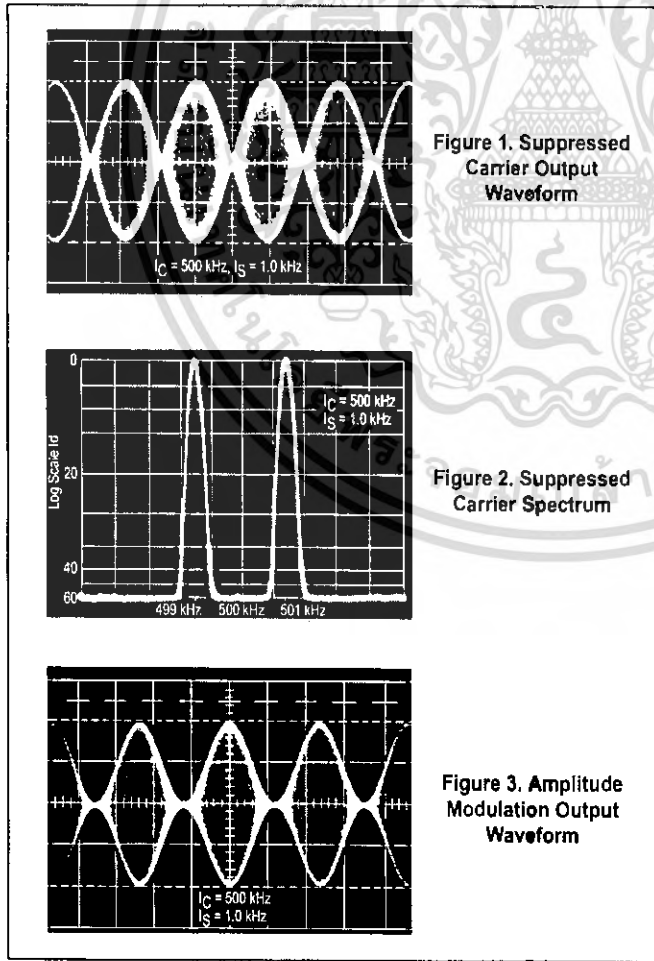
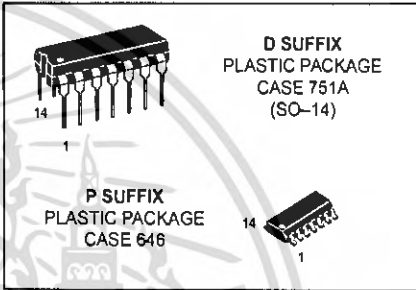
### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

## Balanced Modulators/ Demodulators

These devices were designed for use where the output voltage is a product of an input voltage (signal) and a switching function (carrier). Typical applications include suppressed carrier and amplitude modulation, synchronous detection, FM detection, phase detection, and chopper applications. See Motorola Application Note AN531 for additional design information.

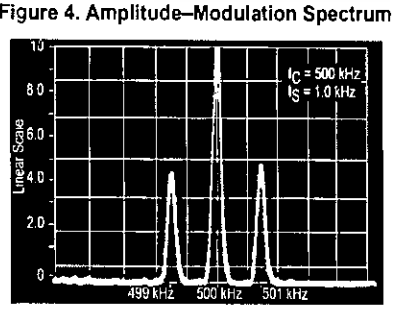
- Excellent Carrier Suppression -65 dB typ @ 0.5 MHz  
-50 dB typ @ 10 MHz
- Adjustable Gain and Signal Handling
- Balanced Inputs and Outputs
- High Common Mode Rejection -85 dB typical

This device contains 8 active transistors.



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC1496D	$T_A = 0^\circ\text{C to } +70^\circ\text{C}$	SO-14
MC1496P		Plastic DIP
MC1496BP	$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	Plastic OIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MC1496, B

MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V <sub>6</sub> – V <sub>8</sub> , V <sub>10</sub> – V <sub>1</sub> , V <sub>12</sub> – V <sub>8</sub> , V <sub>12</sub> – V <sub>10</sub> , V <sub>8</sub> – V <sub>4</sub> , V <sub>8</sub> – V <sub>1</sub> , V <sub>10</sub> – V <sub>4</sub> , V <sub>6</sub> – V <sub>10</sub> , V <sub>2</sub> – V <sub>5</sub> , V <sub>3</sub> – V <sub>5</sub> )	ΔV	30	Vdc
Differential Input Signal	V <sub>8</sub> – V <sub>10</sub> V <sub>4</sub> – V <sub>1</sub>	+5.0 ±(5 + 15R <sub>e</sub> )	Vdc
Maximum Bias Current	I <sub>S</sub>	10	mA
Thermal Resistance, Junction-to-Air Plastic Dual In-Line Package	R <sub>θJA</sub>	100	°C/W
Operating Temperature Range	T <sub>A</sub>	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	–85 to +150	°C

NOTE: ESD data available upon request.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 12 Vdc, V<sub>EE</sub> = –9.0 Vdc, I<sub>S</sub> = 1.0 mAdc, R<sub>L</sub> = 3.9 kΩ, R<sub>e</sub> = 1.0 kΩ, T<sub>A</sub> = T<sub>low</sub> to T<sub>high</sub>, all input and output characteristics are single-ended, unless otherwise noted.)

Characteristic	Fig.	Note	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Carrier Feedthrough V <sub>C</sub> = 60 mVrms sine wave and offset adjusted to zero V <sub>C</sub> = 300 mVpp square wave: offset adjusted to zero offset not adjusted	5	1	V <sub>CFT</sub>	–	40 140	–	μVrms mVrms
Carrier Suppression f <sub>S</sub> = 10 kHz, 300 mVrms f <sub>C</sub> = 500 kHz, 60 mVrms sine wave f <sub>C</sub> = 10 MHz, 60 mVrms sine wave	5	2	V <sub>CS</sub>	40 –	65 50	–	dB k
Transadmittance Bandwidth (Magnitude) (R <sub>L</sub> = 50 Ω) Carrier Input Port, V <sub>C</sub> = 60 mVrms sine wave f <sub>S</sub> = 1.0 kHz, 300 mVrms sine wave Signal Input Port, V <sub>S</sub> = 300 mVrms sine wave  V <sub>C</sub>   = 0.5 Vdc	8	8	BW <sub>3dB</sub>	–	300 80	–	MHz
Signal Gain (V <sub>S</sub> = 100 mVrms, f = 1.0 kHz;  V <sub>C</sub>   = 0.5 Vdc)	10	3	A <sub>VS</sub>	2.5	3.5	–	V/V
Single-Ended Input Impedance, Signal Port, f = 5.0 MHz Parallel Input Resistance Parallel Input Capacitance	6	–	r <sub>ip</sub> c <sub>ip</sub>	–	200 2.0	–	kΩ pF
Single-Ended Output Impedance, f = 10 MHz Parallel Output Resistance Parallel Output Capacitance	6	–	r <sub>op</sub> c <sub>oo</sub>	–	40 5.0	–	kΩ pF
Input Bias Current $I_{bS} = \frac{I_1 + I_4}{2}$ ; $I_{bC} = \frac{I_8 + I_{10}}{2}$	7	–	I <sub>bS</sub> I <sub>bC</sub>	–	12 12	30 30	μA
Input Offset Current I <sub>ioS</sub> = I <sub>1</sub> –I <sub>4</sub> ; I <sub>ioC</sub> = I <sub>8</sub> –I <sub>10</sub>	7	–	I <sub>ioS</sub>    I <sub>ioC</sub>	–	0.7 0.7	7.0 7.0	μA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current (T <sub>A</sub> = –55°C to +125°C)	7	–	TC <sub>Iio</sub>	–	2.0	–	nA/°C
Output Offset Current (I <sub>6</sub> –I <sub>9</sub> )	7	–	I <sub>oo</sub>	–	14	80	μA
Average Temperature Coefficient of Output Offset Current (T <sub>A</sub> = –55°C to +125°C)	7	–	TC <sub>Ioo</sub>	–	90	–	nA/°C
Common-Mode Input Swing, Signal Port, f <sub>S</sub> = 1.0 kHz	9	4	CMV	–	5.0	–	Vpp
Common-Mode Gain, Signal Port, f <sub>S</sub> = 1.0 kHz,  V <sub>C</sub>   = 0.5 Vdc	9	–	ACM	–	–85	–	dB
Common-Mode Quiescent Output Voltage (Pin 6 or Pin 9)	10	–	V <sub>out</sub>	–	6.0	–	Vpp
Differential Output Voltage Swing Capability	10	–	V <sub>out</sub>	–	8.0	–	Vpp
Power Supply Current I <sub>6</sub> + I <sub>12</sub> I <sub>14</sub>	7	6	I <sub>CC</sub> I <sub>EE</sub>	–	2.0 3.0	4.0 5.0	mAdc
DC Power Dissipation	7	5	P <sub>D</sub>	–	33	–	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MC1496, B

## GENERAL OPERATING INFORMATION

**Carrier Feedthrough**

Carrier feedthrough is defined as the output voltage at carrier frequency with only the carrier applied (signal voltage = 0).

Carrier null is achieved by balancing the currents in the differential amplifier by means of a bias trim potentiometer (R1 of Figure 5).

**Carrier Suppression**

Carrier suppression is defined as the ratio of each sideband output to carrier output for the carrier and signal voltage levels specified.

Carrier suppression is very dependent on carrier input level, as shown in Figure 22. A low value of the carrier does not fully switch the upper switching devices, and results in lower signal gain, hence lower carrier suppression. A higher than optimum carrier level results in unnecessary device and circuit carrier feedthrough, which again degenerates the suppression figure. The MC1496 has been characterized with a 60 mVrms sinewave carrier input signal. This level provides optimum carrier suppression at carrier frequencies in the vicinity of 500 kHz, and is generally recommended for balanced modulator applications.

Carrier feedthrough is independent of signal level,  $V_S$ . Thus carrier suppression can be maximized by operating with large signal levels. However, a linear operating mode must be maintained in the signal-input transistor pair – or harmonics of the modulating signal will be generated and appear in the device output as spurious sidebands of the suppressed carrier. This requirement places an upper limit on input-signal amplitude (see Figure 20). Note also that an optimum carrier level is recommended in Figure 22 for good carrier suppression and minimum spurious sideband generation.

At higher frequencies circuit layout is very important in order to minimize carrier feedthrough. Shielding may be necessary in order to prevent capacitive coupling between the carrier input leads and the output leads.

**Signal Gain and Maximum Input Level**

Signal gain (single-ended) at low frequencies is defined as the voltage gain,

$$A_{VS} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{R_L}{R_e + 2r_e} \quad \text{where } r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_5(\text{mA})}$$

A constant dc potential is applied to the carrier input terminals to fully switch two of the upper transistors "on" and two transistors "off" ( $V_C = 0.5 \text{ Vdc}$ ). This in effect forms a cascode differential amplifier.

Linear operation requires that the signal input be below a critical value determined by  $R_E$  and the bias current  $I_5$ .

$$V_S \leq I_5 R_E \text{ (Volts peak)}$$

Note that in the test circuit of Figure 10,  $V_S$  corresponds to a maximum value of 1.0 V peak.

**Common Mode Swing**

The common-mode swing is the voltage which may be applied to both bases of the signal differential amplifier, without saturating the current sources or without saturating the differential amplifier itself by swinging it into the upper

switching devices. This swing is variable depending on the particular circuit and biasing conditions chosen.

**Power Dissipation**

Power dissipation,  $P_D$ , within the integrated circuit package should be calculated as the summation of the voltage-current products at each port, i.e. assuming  $V_{12} = V_6$ ,  $I_5 = I_6 = I_{12}$  and ignoring base current,  $P_D = 2 I_5 (V_6 - V_{14}) + I_5 (V_5 - V_{14})$  where subscripts refer to pin numbers.

**Design Equations**

The following is a partial list of design equations needed to operate the circuit with other supply voltages and input conditions.

**A. Operating Current**

The internal bias currents are set by the conditions at Pin 5. Assume:

$$I_5 = I_6 = I_{12}, \\ I_B < I_C \text{ for all transistors}$$

then:

$$R_5 = \frac{V - \phi}{I_5} - 500 \Omega \quad \text{where: } R_5 \text{ is the resistor between Pin 5 and ground}$$

$$\phi = 0.75 \text{ at } T_A = +25^\circ\text{C}$$

The MC1496 has been characterized for the condition  $I_5 = 1.0 \text{ mA}$  and is the generally recommended value.

**B. Common-Mode Quiescent Output Voltage**

$$V_6 = V_{12} = V_+ - I_5 R_L$$

**Biasing**

The MC1496 requires three dc bias voltage levels which must be set externally. Guidelines for setting up these three levels include maintaining at least 2.0 V collector-base bias on all transistors while not exceeding the voltages given in the absolute maximum rating table;

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_6, V_{12}) - (V_8, V_{10})] \geq 2 \text{ Vdc}$$

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_8, V_{10}) - (V_1, V_4)] \geq 2.7 \text{ Vdc}$$

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_1, V_4) - (V_5)] \geq 2.7 \text{ Vdc}$$

The foregoing conditions are based on the following approximations:

$$V_6 = V_{12}, V_8 = V_{10}, V_1 = V_4$$

Bias currents flowing into Pins 1, 4, 8 and 10 are transistor base currents and can normally be neglected if external bias dividers are designed to carry 1.0 mA or more.

**Transadmittance Bandwidth**

Carrier transadmittance bandwidth is the 3.0 dB bandwidth of the device forward transadmittance as defined by:

$$\gamma_{21C} = \frac{i_o \text{ (each sideband)}}{v_s \text{ (signal)}} \Big|_{V_o = 0}$$

Signal transadmittance bandwidth is the 3.0 dB bandwidth of the device forward transadmittance as defined by:

$$\gamma_{21S} = \frac{i_o \text{ (signal)}}{v_s \text{ (signal)}} \Big|_{V_c = 0.5 \text{ Vdc}, V_o = 0}$$

## MC1496, B

### Coupling and Bypass Capacitors

Capacitors C1 and C2 (Figure 5) should be selected for a reactance of less than  $5.0 \Omega$  at the carrier frequency.

### Output Signal

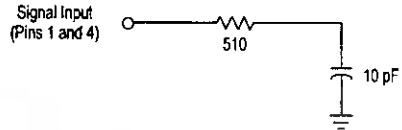
The output signal is taken from Pins 6 and 12 either balanced or single-ended. Figure 11 shows the output levels of each of the two output sidebands resulting from variations in both the carrier and modulating signal inputs with a single-ended output connection.

### Negative Supply

$V_{EE}$  should be dc only. The insertion of an RF choke in series with  $V_{EE}$  can enhance the stability of the internal current sources.

### Signal Port Stability

Under certain values of driving source impedance, oscillation may occur. In this event, an RC suppression network should be connected directly to each input using short leads. This will reduce the Q of the source-tuned circuits that cause the oscillation.



An alternate method for low-frequency applications is to insert a  $1.0 \text{ k}\Omega$  resistor in series with the input (Pins 1, 4). In this case input current drift may cause serious degradation of carrier suppression.

## TEST CIRCUITS

Figure 5. Carrier Rejection and Suppression

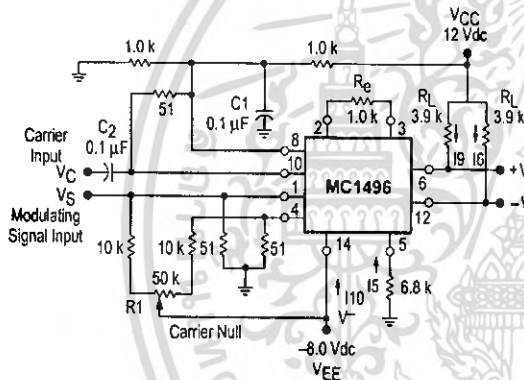
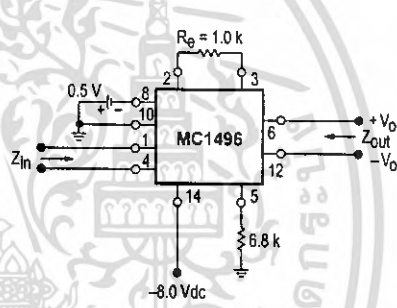


Figure 6. Input-Output Impedance



NOTE: Shielding of input and output leads may be needed to properly perform these tests.

Figure 7. Bias and Offset Currents

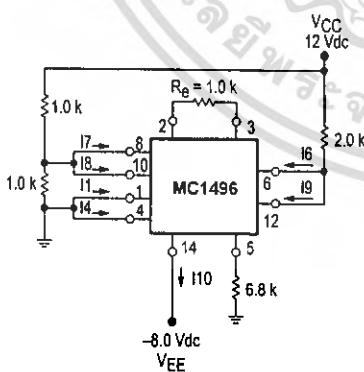
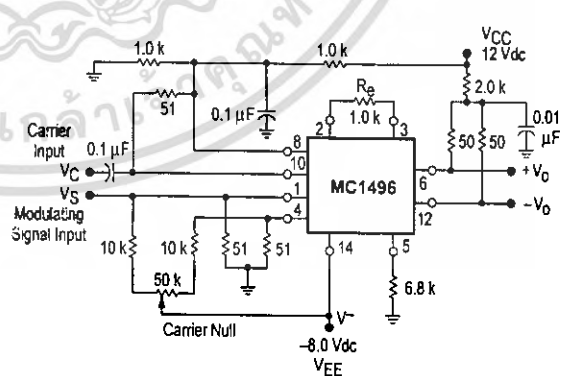
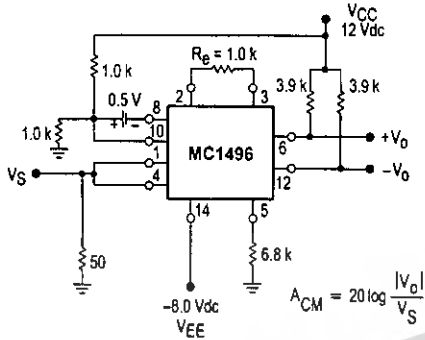


Figure 8. Transconductance Bandwidth



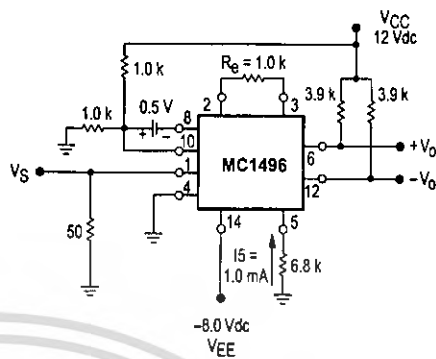
MC1496, B

Figure 9. Common Mode Gain



$$A_{CM} = 20 \log \frac{|V_o|}{V_S}$$

Figure 10. Signal Gain and Output Swing



TYPICAL CHARACTERISTICS

Typical characteristics were obtained with circuit shown in Figure 5,  $f_C = 500$  kHz (sine wave),  $V_C = 60$  mVrms,  $f_S = 1.0$  kHz,  $V_S = 300$  mVrms,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.

Figure 11. Sideband Output versus Carrier Levels

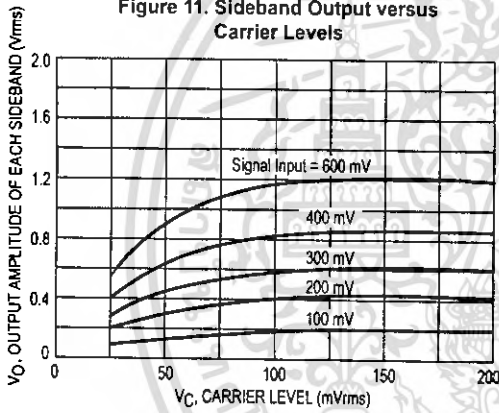


Figure 12. Signal-Port Parallel-Equivalent Input Resistance versus Frequency

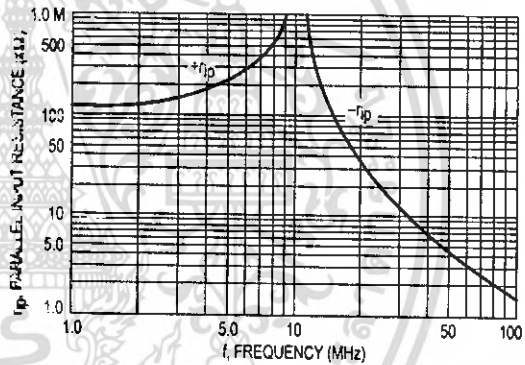


Figure 13. Signal-Port Parallel-Equivalent Input Capacitance versus Frequency

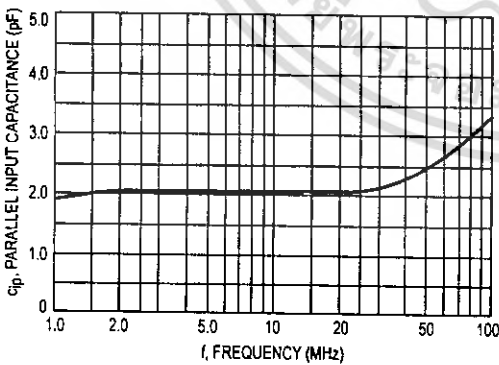
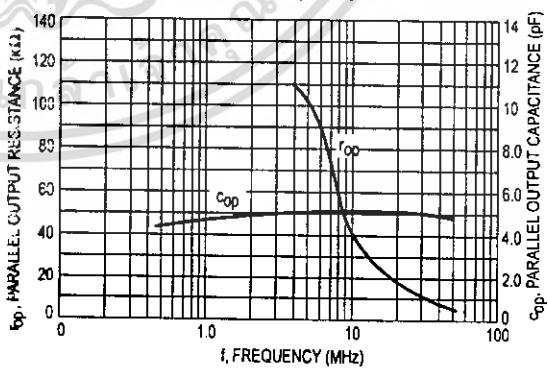


Figure 14. Single-Ended Output Impedance versus Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, B

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typical characteristics were obtained with circuit shown in Figure 5,  $f_C = 500$  kHz (sine wave),  $V_C = 60$  mVrms,  $f_S = 1.0$  kHz,  $V_S = 300$  mVrms,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.

Figure 15. Sideband and Signal Port Transmittance versus Frequency

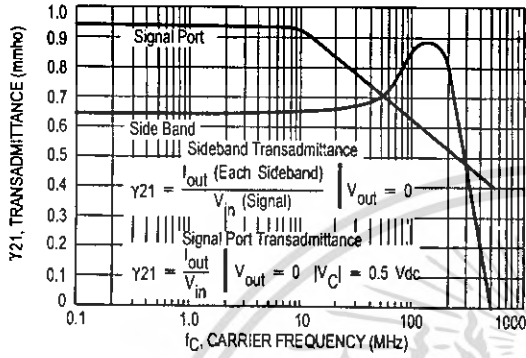


Figure 16. Carrier Suppression versus Temperature

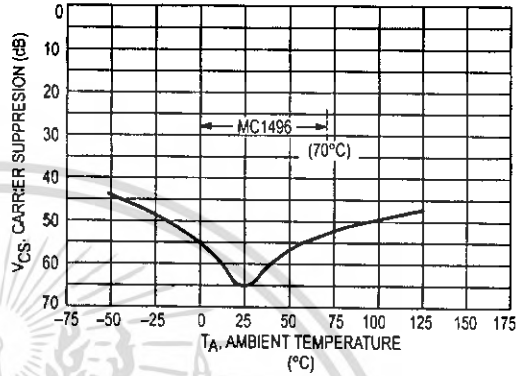


Figure 17. Signal-Port Frequency Response

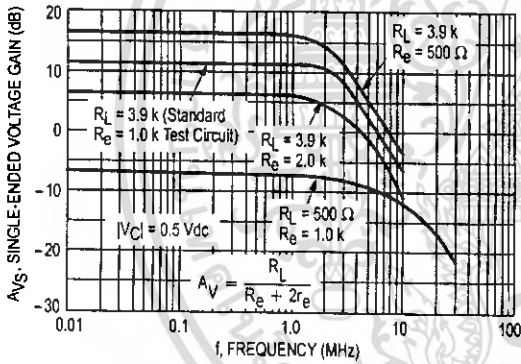


Figure 18. Carrier Suppression versus Frequency

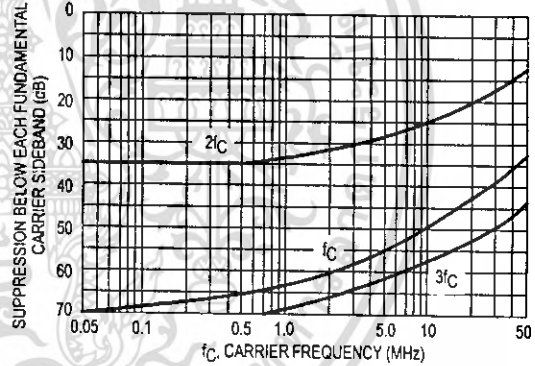


Figure 19. Carrier Feedthrough versus Frequency

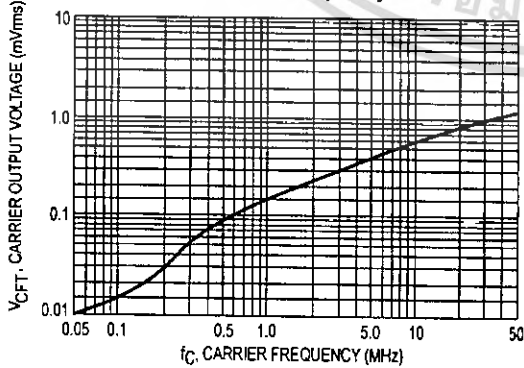
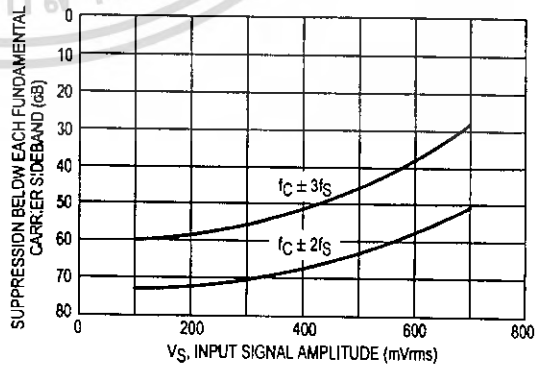


Figure 20. Sideband Harmonic Suppression versus Input Signal Level



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, B

Figure 21. Suppression of Carrier Harmonic Sidebands versus Carrier Frequency

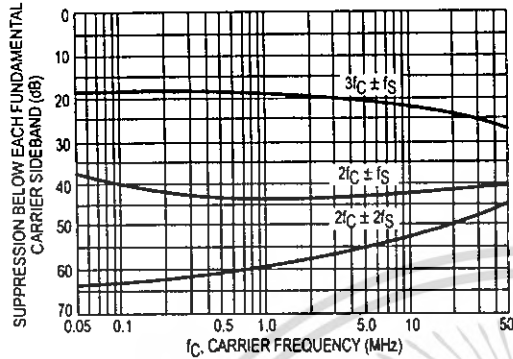
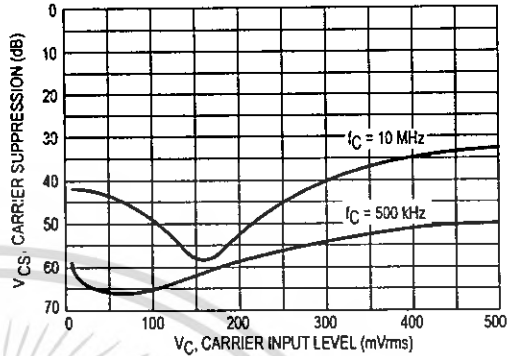


Figure 22. Carrier Suppression versus Carrier Input Level



OPERATIONS INFORMATION

The MC1496, a monolithic balanced modulator circuit, is shown in Figure 23.

This circuit consists of an upper quad differential amplifier driven by a standard differential amplifier with dual current sources. The output collectors are cross-coupled so that full-wave balanced multiplication of the two input voltages occurs. That is, the output signal is a constant times the product of the two input signals.

Mathematical analysis of linear ac signal multiplication indicates that the output spectrum will consist of only the sum and difference of the two input frequencies. Thus, the device may be used as a balanced modulator, doubly balanced mixer, product detector, frequency doubler, and other applications requiring these particular output signal characteristics.

The lower differential amplifier has its emitters connected to the package pins so that an external emitter resistance may be used. Also, external load resistors are employed at the device output.

Signal Levels

The upper quad differential amplifier may be operated either in a linear or a saturated mode. The lower differential amplifier is operated in a linear mode for most applications.

For low-level operation at both input ports, the output signal will contain sum and difference frequency components

and have an amplitude which is a function of the product of the input signal amplitudes.

For high-level operation at the carrier input port and linear operation at the modulating signal port, the output signal will contain sum and difference frequency components of the modulating signal frequency and the fundamental and odd harmonics of the carrier frequency. The output amplitude will be a constant times the modulating signal amplitude. Any amplitude variations in the carrier signal will not appear in the output.

The linear signal handling capabilities of a differential amplifier are well defined. With no emitter degeneration, the maximum input voltage for linear operation is approximately 25 mV peak. Since the upper differential amplifier has its emitters internally connected, this voltage applies to the carrier input port for all conditions.

Since the lower differential amplifier has provisions for an external emitter resistance, its linear signal handling range may be adjusted by the user. The maximum input voltage for linear operation may be approximated from the following expression:

$$V = (15) (R_E) \text{ volts peak.}$$

This expression may be used to compute the minimum value of  $R_E$  for a given input voltage amplitude.

Figure 23. Circuit Schematic

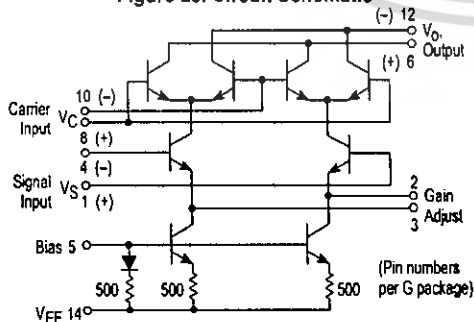
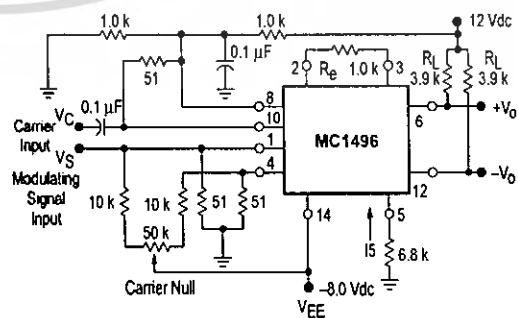


Figure 24. Typical Modulator Circuit



## MC1496, B

Figure 25. Voltage Gain and Output Frequencies

Carrier Input Signal ( $V_C$ )	Approximate Voltage Gain	Output Signal Frequency(s)
Low-level dc	$\frac{R_L V_C}{2(R_E + 2r_e) \left(\frac{KT}{q}\right)}$	$f_M$
High-level dc	$\frac{R_L}{R_E + 2r_e}$	$f_M$
Low-level ac	$\frac{R_L V_C (\text{rms})}{2\sqrt{2} \left(\frac{KT}{q}\right) (R_E + 2r_e)}$	$f_C \pm f_M$
High-level ac	$\frac{0.637 R_L}{R_E + 2r_e}$	$f_C \pm f_M, 3f_C \pm f_M, 5f_C \pm f_M, \dots$

- NOTES: 1. Low-level Modulating Signal,  $V_M$ , assumed in all cases.  $V_C$  is Carrier Input Voltage.  
 2. When the output signal contains multiple frequencies, the gain expression given is for the output amplitude of each of the two desired outputs,  $f_C + f_M$  and  $f_C - f_M$ .  
 3. All gain expressions are for a single-ended output. For a differential output connection, multiply each expression by two.  
 4.  $R_L$  = Load resistance.  
 5.  $R_E$  = Emitter resistance between Pins 2 and 3.  
 6.  $r_e$  = Transistor dynamic emitter resistance, at 25°C:  

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E (\text{mA})}$$
  
 7.  $K$  = Boltzmann's Constant,  $T$  = temperature in degrees Kelvin,  $q$  = the charge on an electron.  

$$\frac{KT}{q} = 26 \text{ mV at room temperature}$$

The gain from the modulating signal input port to the output is the MC1496 gain parameter which is most often of interest to the designer. This gain has significance only when the lower differential amplifier is operated in a linear mode, but this includes most applications of the device.

As previously mentioned, the upper quad differential amplifier may be operated either in a linear or a saturated mode. Approximate gain expressions have been developed for the MC1496 for a low-level modulating signal input and the following carrier input conditions:

- 1) Low-level dc
- 2) High-level dc
- 3) Low-level ac
- 4) High-level ac

These gains are summarized in Figure 25, along with the frequency components contained in the output signal.

#### APPLICATIONS INFORMATION

Double sideband suppressed carrier modulation is the basic application of the MC1496. The suggested circuit for this application is shown on the front page of this data sheet.

In some applications, it may be necessary to operate the MC1496 with a single dc supply voltage instead of dual supplies. Figure 26 shows a balanced modulator designed for operation with a single 12 Vdc supply. Performance of this circuit is similar to that of the dual supply modulator.

#### AM Modulator

The circuit shown in Figure 27 may be used as an amplitude modulator with a minor modification.

All that is required to shift from suppressed carrier to AM operation is to adjust the carrier null potentiometer for the proper amount of carrier insertion in the output signal.

However, the suppressed carrier null circuitry as shown in Figure 27 does not have sufficient adjustment range. Therefore, the modulator may be modified for AM operation by changing two resistor values in the null circuit as shown in Figure 28.

#### Product Detector

The MC1496 makes an excellent SSB product detector (see Figure 29).

This product detector has a sensitivity of 3.0 microvolts and a dynamic range of 90 dB when operating at an intermediate frequency of 9.0 MHz.

The detector is broadband for the entire high frequency range. For operation at very low intermediate frequencies down to 50 kHz the 0.1  $\mu\text{F}$  capacitors on Pins 8 and 10 should be increased to 1.0  $\mu\text{F}$ . Also, the output filter at Pin 12 can be tailored to a specific intermediate frequency and audio amplifier input impedance.

As in all applications of the MC1496, the emitter resistance between Pins 2 and 3 may be increased or decreased to adjust circuit gain, sensitivity, and dynamic range.

This circuit may also be used as an AM detector by introducing carrier signal at the carrier input and an AM signal at the SSB input.

The carrier signal may be derived from the intermediate frequency signal or generated locally. The carrier signal may be introduced with or without modulation, provided its level is sufficiently high to saturate the upper quad differential

MC1496, B

amplifier. If the carrier signal is modulated, a 300 mVrms input level is recommended.

Doubly Balanced Mixer

The MC1496 may be used as a doubly balanced mixer with either broadband or tuned narrow band input and output networks.

The local oscillator signal is introduced at the carrier input port with a recommended amplitude of 100 mVrms.

Figure 30 shows a mixer with a broadband input and a tuned output.

Frequency Doubler

The MC1496 will operate as a frequency doubler by introducing the same frequency at both input ports.

Figures 31 and 32 show a broadband frequency doubler and a tuned output very high frequency (VHF) doubler, respectively.

Phase Detection and FM Detection

The MC1496 will function as a phase detector. High-level input signals are introduced at both inputs. When both inputs are at the same frequency the MC1496 will deliver an output which is a function of the phase difference between the two input signals.

An FM detector may be constructed by using the phase detector principle. A tuned circuit is added at one of the inputs to cause the two input signals to vary in phase as a function of frequency. The MC1496 will then provide an output which is a function of the input signal frequency.

TYPICAL APPLICATIONS

Figure 26. Balanced Modulator (12 Vdc Single Supply)

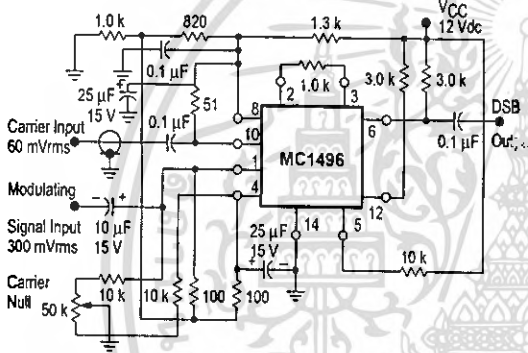


Figure 27. Balanced Modulator-Demodulator

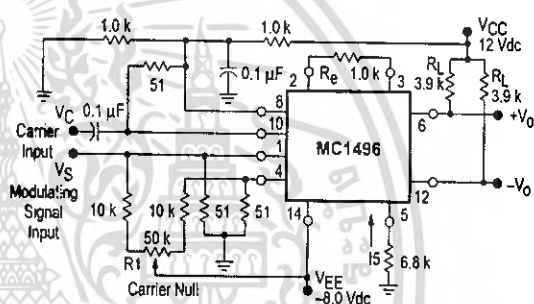


Figure 28. AM Modulator Circuit

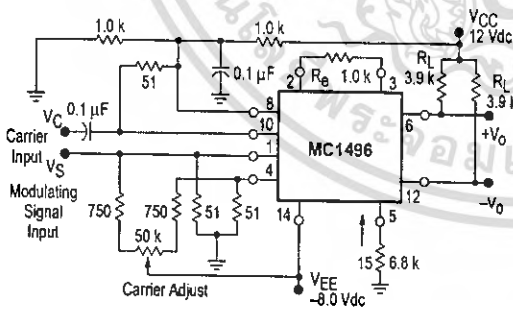
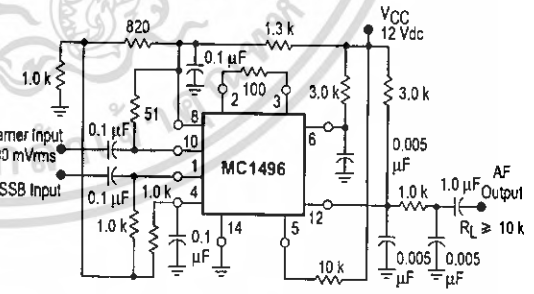


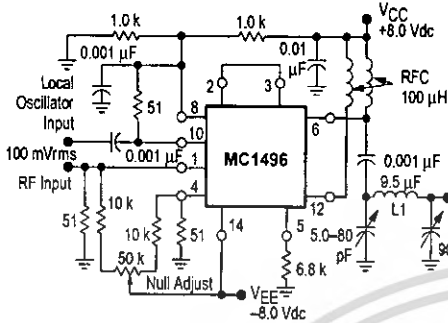
Figure 29. Product Detector (12 Vdc Single Supply)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, B

Figure 30. Doubly Balanced Mixer  
(Broadband Inputs, 9.0 MHz Tuned Output)



L1 = 44 Turns AWG No. 28 Enamelled Wire, Wound on Micrometals Type 44-6 Toroid Core.

Figure 31. Low-Frequency Doubler

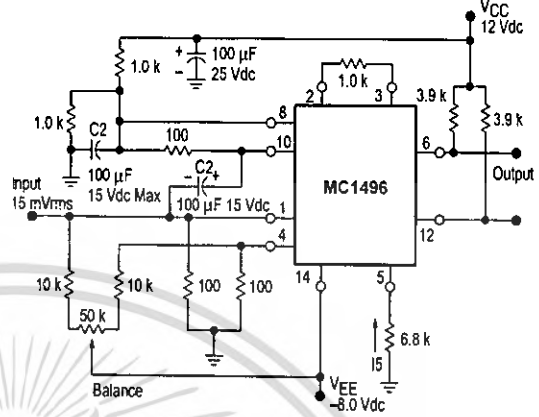
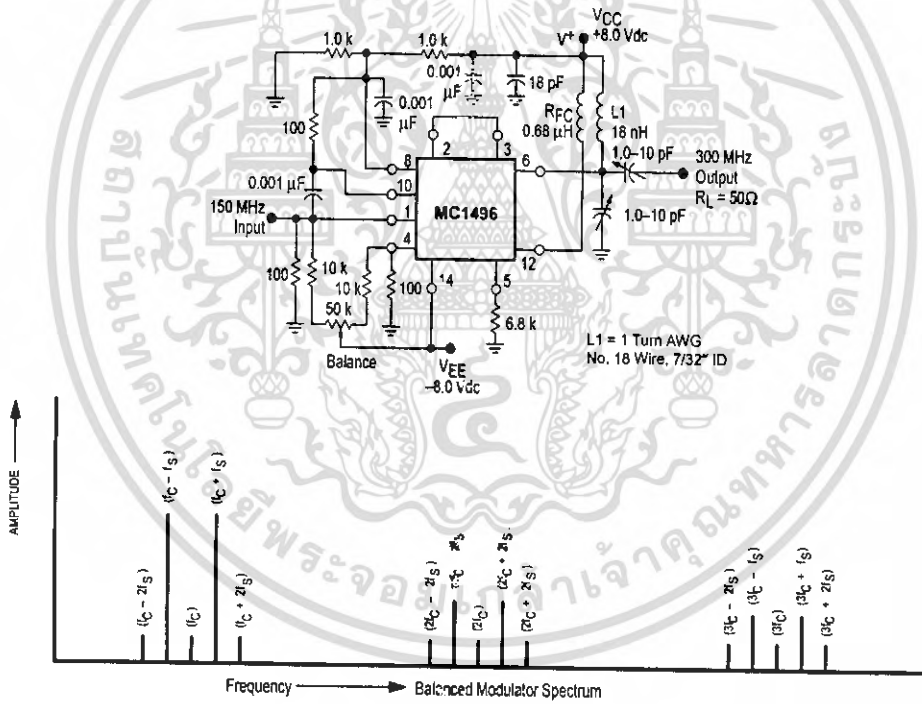


Figure 32. 150 to 300 MHz Doubler



L1 = 1 Turn AWG No. 18 Wire, 7/32" ID

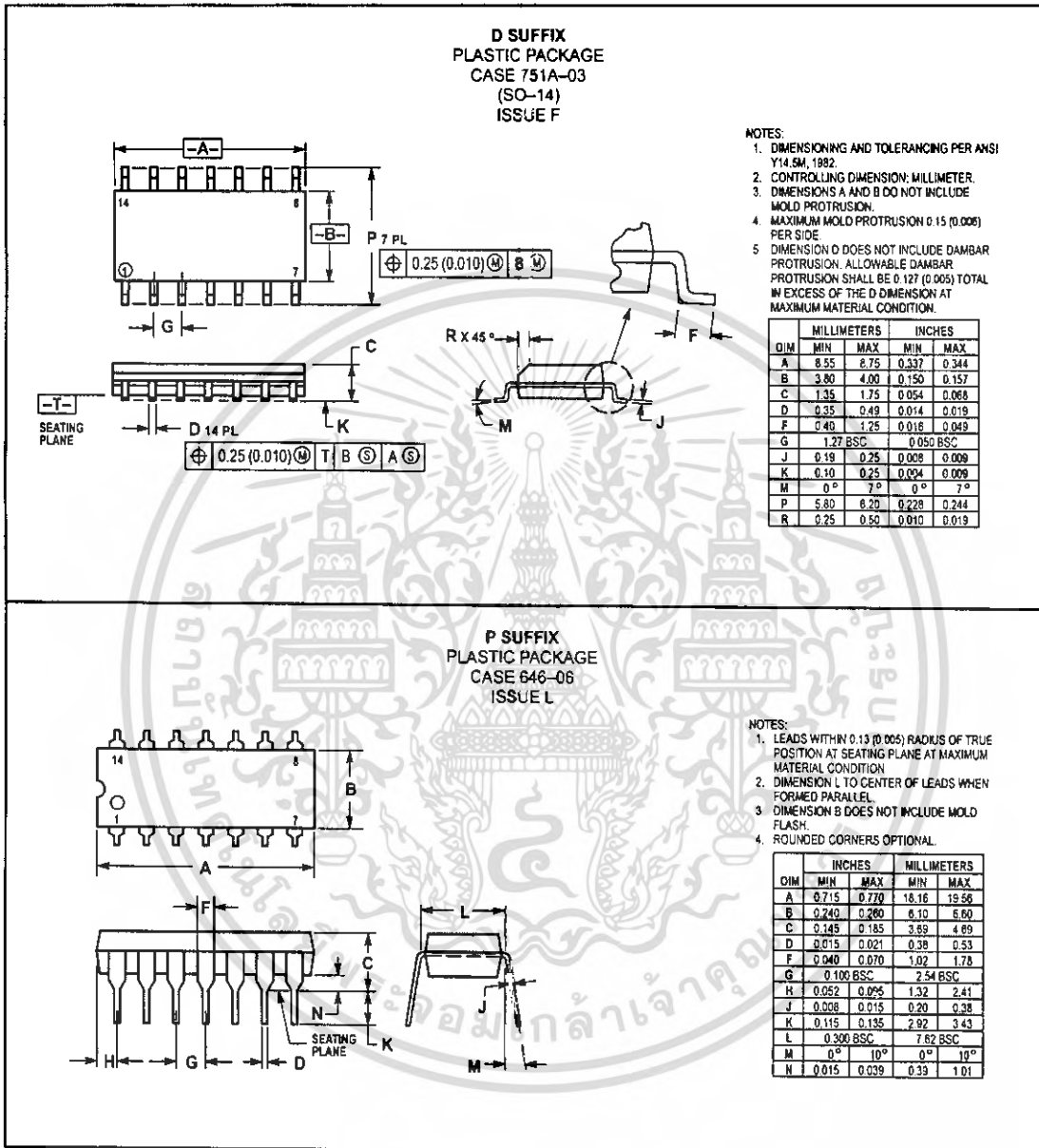
DEFINITIONS

$f_C$	Carrier Fundamental	$f_C \pm n f_S$	Fundamental Carrier Sideband Harmonics
$f_S$	Modulating Signal	$n f_C$	Carrier Harmonics
$f_C \pm f_S$	Fundamental Carrier Sidebands	$n f_C \pm n f_S$	Carrier Harmonic Sidebands

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, B

OUTLINE DIMENSIONS

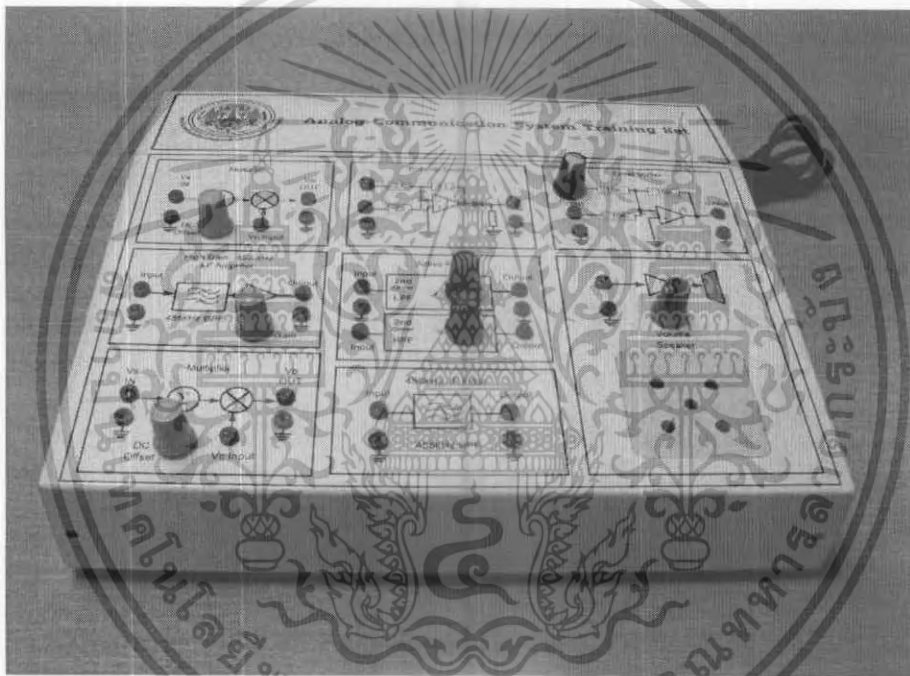




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน

## ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

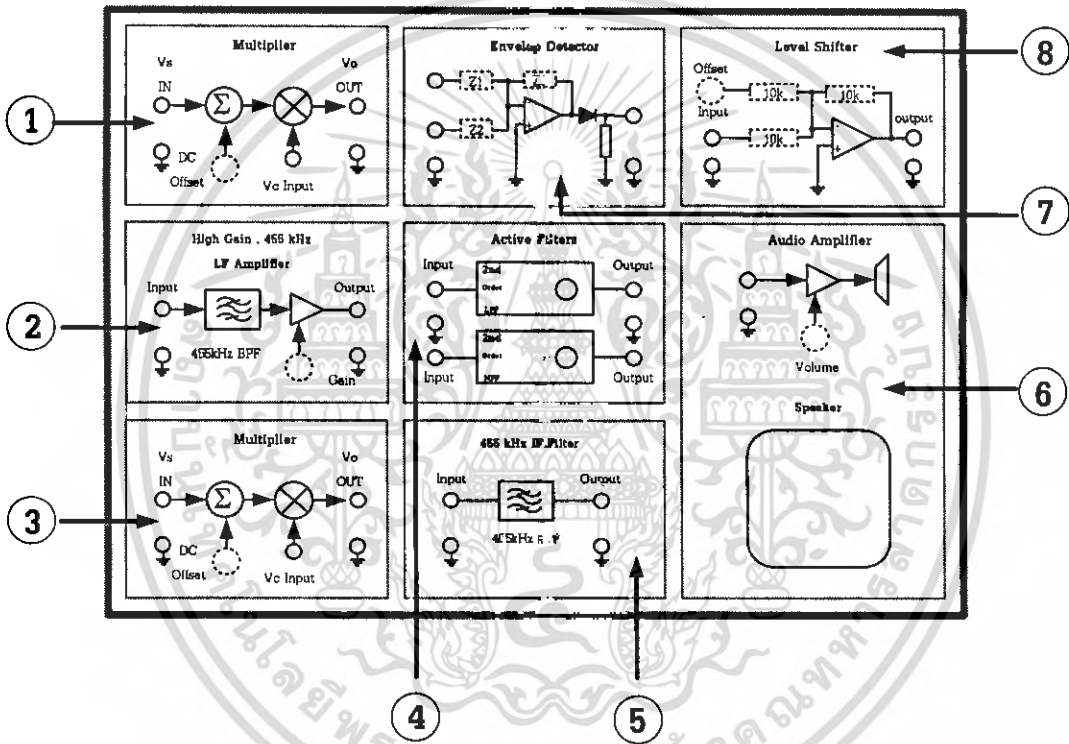
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

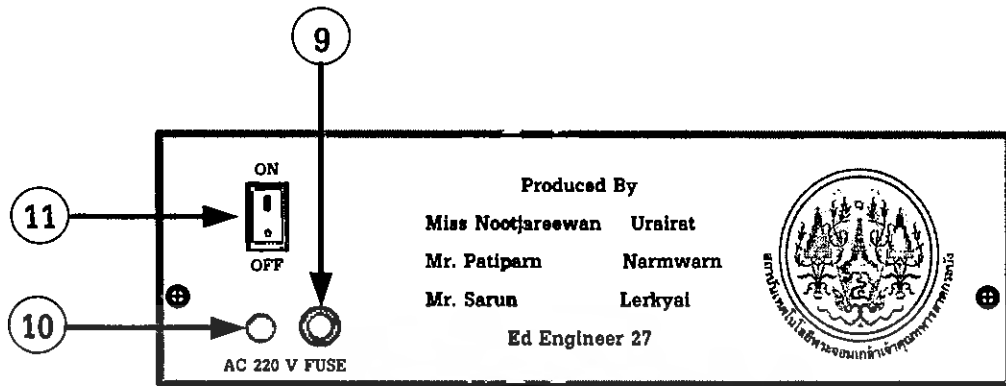
1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานชุดทดลองระบบการสื่อสารแอนะล็อก ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อการใช้บริการที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นกับชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก (ด้านหน้า)



รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก (ด้านหลัง)

จากรูปที่ จ.1 และ จ.2

1. Multiplier
2. High Gain 455 kHz I.F
3. Multiplier
4. Active Filter
5. 455 kHz I.F. Filter
6. Audio Amplifier with Speaker Output
7. Summing Amplifier/Envelope Detector
8. Filter Level Shifter
9. Switch
10. AC 220V
11. Fuse

### 3. การติดตั้งและใช้งาน

- 3.1 เปลี่ยนปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ (หมายเลข 10)
- 3.2 เปิดสวิตช์การทำงานของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก (หมายเลข 9)
- 3.3 ต้องจรรยาบรรณทดลองของชุดต่างๆ
- 3.4 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

#### หมายเหตุ

หากทำการทดลองในภาคต่างๆไม่ได้ให้ตรวจเช็คเครื่องมือว่าใช้ได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก ท่านสามารถตรวจสอบแนวทางแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางนี้

ตารางที่ จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
หากเมื่อทำการทดลองแล้วมีสัญญาณรบกวน	เนื่องการอุปกรณ์ไม่ได้มาตรฐาน
สัญญาณที่เอาร์ตพุทไม่ตรงกับทฤษฎี	เนื่องการอุปกรณ์เสื่อมคุณภาพ สายขาดหรือหลุด

#### 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

##### 5.1 การดูแลรักษา

1. เช็ดทำความสะอาดชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำลายเพราะอาจทำให้เครื่องเป็นรอยเสียหาย
2. ตรวจสอบขั้วต่อสายไฟของวงจรภายในเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ
3. ควรมีการซ่อมบำรุงตัวเครื่องเป็นระยะเพื่อป้องกันและลดอัตราการเสื่อมสภาพของตัวชุดทดลองระบบการสื่อสารแอนะล็อกเพื่อให้การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

##### 5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานก่อนการใช้ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก
2. ควรวางตัวเครื่องใกล้กับ ออสซิลโลสโคป และฟังก์ชันเจนเพื่อความสะดวกในการใช้งาน
3. ไม่ควรนำโทรศัพท์วางใกล้กับชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกเพราะจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน
4. การเคลื่อนย้ายควรรวมมัดระวังอย่าให้มีกระแทกเพื่อป้องกันความเสียหายของชุดฝึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703, 6076

ที่ ศท 0524.04(5)/ ๖47

วันที่ 25 เมษายน 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน

เรียน อาจารย์ประเสริฐ เคนพันก่อ

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เกื้อหนุนต่อการจัดทำโครงการการร่างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการ “ขงฝึกกระบวนการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

- |                   |          |                       |
|-------------------|----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนงรีวรรณ | อุไรระณี | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ      | นามวัน   | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายศรัณย์      | ฤกษ์ใหญ่ | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ราชวี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703, 6076

ที่ ศธ 0524.04(5)/๔๒๗

วันที่ 25 เมษายน 2550

เรื่อง ขอยกย่องเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน

เรียน อาจารย์อมรรักษ์ ชัยชนะ

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจก. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์ขอยกย่องเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการ “ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

- |                   |           |                       |
|-------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนงรีวรรณ | อุไรรัตน์ | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ      | นามวัน    | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายศรัณย์      | ฤกษ์ใหญ่  | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ รัตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703, 6076

ที่ ศธ 0524.04(5)/ ๕๒๕

วันที่ 25 เมษายน 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน

เรียน รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาสื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการ “ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษา เสนอการจัดทำดังนี้

- |                    |           |                       |
|--------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนุจรีวรรณ | อุไรรัตน์ | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ       | นามวัน    | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายศรัณย์       | ฤกษ์ใหญ่  | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์ โทร. 3703, 6076

ที่ ศธ 0524.04(5)/ ๖๖๘ วันที่ 25 เมษายน 2550


เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

เรียน อาจารย์ประเสริฐ เกนหันค้อ

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เชิญเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการเรื่อง “ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

- |                     |           |                       |
|---------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนุจรวิวรรณ | อุไรรัตน์ | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ        | นาม นัน   | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายสรณชัย        | ฤกษ์ใหญ่  | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

  
 (รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ รัตวี)  
 หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703, 6076

ที่ ศช 0524.04(5)/347

วันที่ 25 เมษายน 2550

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

เรียน อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการเรื่อง “ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

- |                     |           |                       |
|---------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนุจรวิวรรณ | อุไรรัตน์ | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ        | นาม วัน   | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายศรัณย์        | ฤกษ์ใหญ่  | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ภาตรี)  
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703, 6076

ที่ ศธ 0524.04(ส)/347

วันที่ 25 เมษายน 2550

เรื่อง ขอบเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพเพื่อการเรียนการสอน

เรียน รศ.วิสุทธิ สุนทรภณกพงศ์

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจจธ. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพเพื่อการเรียนการสอน ในหัวข้อโครงการเรื่อง “ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก” ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาคำเนินการวัดทำดังนี้

- |                    |           |                       |
|--------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นางสาวนุจิรพรรณ | อุไรรัตน์ | รหัสประจำตัว 48035275 |
| 2. นายปฏิภาณ       | นาม วัน   | รหัสประจำตัว 48035276 |
| 3. นายศรัณย์       | ฤกษ์ใหญ่  | รหัสประจำตัว 48035295 |

จึงเรียนมาเพื่อ โปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ชาติรี)  
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบประเมินคุณภาพใบงานการทดลอง

แบบประเมินคุณภาพชุดนี้เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับ  
ใบงานการทดลองเรื่อง หลักการสื่อสารเบื้องต้น และชนิดของสัญญาณ

### คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพใบงานการทดลองเรื่อง หลักการสื่อสารเบื้องต้นและชนิดของสัญญาณ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะอื่นๆ

### การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง **ระดับคุณภาพ** เพียงช่องเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยกำหนดเกณฑ์การเลือกไว้ 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ	5	หมายถึง	ระดับคุณภาพดีมาก
ระดับ	4	หมายถึง	ระดับคุณภาพดี
ระดับ	3	หมายถึง	ระดับคุณภาพปานกลาง
ระดับ	2	หมายถึง	ระดับคุณภาพพอใช้
ระดับ	1	หมายถึง	ระดับคุณภาพควรปรับปรุง

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ โดยลำดับหัวข้อตามระดับความสำคัญ

ตารางที่ ข.1 แบบประเมินคุณภาพของใบงานการทดลอง

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองเรื่อง.....

ใบงานการทดลองที่ .....		เรื่อง .....				
ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
1.	บอกวัตถุประสงค์ของการทดลองในใบงาน					
2.	ความถูกต้องของเนื้อหา					
3.	การทดลองมีการเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก					
4.	ความเหมาะสมของลำดับขั้นการทดลอง					
5.	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลอง					
6.	ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง					
7.	ความถูกต้องของรูปและตาราง					
8.	ความชัดเจนเหมาะสมของขนาดตัวอักษร รูปภาพและตาราง					
9.	ความเหมาะสมของรูปแบบใบงาน					
10.	ความสะดวกในการบันทึกค่าต่างๆ					
11.	การทดลองในใบงานดึงดูดความสนใจในการทดลอง					
12.	สามารถนำความรู้ไปใช้งานที่ซับซ้อนขึ้นได้					

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

( ..... )

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกกระบวนการสื่อสารแอนะล็อก

แบบประเมินคุณภาพชุดนี้เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับ  
เรื่อง ชุดฝึกกระบวนการสื่อสารแอนะล็อก

### คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกกระบวนการสื่อสารแอนะล็อก

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะอื่นๆ

### การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง **ระดับคุณภาพ** เพียงช่องเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน  
โดยกำหนดเกณฑ์การเลือกไว้ 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ	5	หมายถึง	ระดับคุณภาพดีมาก
ระดับ	4	หมายถึง	ระดับคุณภาพดี
ระดับ	3	หมายถึง	ระดับคุณภาพปานกลาง
ระดับ	2	หมายถึง	ระดับคุณภาพพอใช้
ระดับ	1	หมายถึง	ระดับคุณภาพควรปรับปรุง

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ โดยลำดับหัวข้อตามระดับความสำคัญ

ตารางที่ ข.2 แบบประเมินคุณภาพของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก

เรื่อง ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก						
ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
1.	การออกแบบชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกเหมาะสม					
2.	ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีจุดเชื่อมอินพุต เอาต์พุต กราวด์ แบ่งแยกสีได้เหมาะสม					
3.	ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีจุดเชื่อมต่อเพียงพอ					
4.	ความถูกต้องของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก					
5.	ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีความเรียบร้อยสวยงาม					
6.	ภาคแต่ละภาคสามารถสื่อความหมายและมีความสอดคล้องกับเนื้อหา					
7.	ขนาดของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีความเหมาะสม					
8.	รูปร่างของชุดฝึกของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก					

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ

( )

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.3 ผลการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองที่ 1-3 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน	ใบงานการทดลองที่ 1					ใบงานการทดลองที่ 2					ใบงานการทดลองที่ 3				
	ระดับความเหมาะสม			- $\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			- $\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			- $\bar{X}$	S.D.
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3		
1. บอกวัตถุประสงค์ของทดลองในใบงาน	5	5	3	4.33	1.15	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	5	4	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	4	5	4.67	0.58
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58
4. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58
5. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายบททดลอง	5	4	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58	4	4	4	4.33	0.58
7. ความถูกต้องของรูปแบบตาราง	5	5	4	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58	4	4	5	4.33	0.58
8. ความชัดเจนและเหมาะสมของขนาดตัวอักษรรูปภาพแลตาราง	5	4	4	4.33	0.58	4	5	4	4.33	0.58	4	5	4	4.33	0.58
9. ความเหมาะสมของรูปแบบใบงาน	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00
10. ความเหมาะสมในการบันทึกค่าต่างๆ	4	5	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58
11. การทดลองในใบงานดึงดูดความสนใจ	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	5	5	4	4.67	0.58
12. ความสามารถนำความรู้ไปใช้งานที่ซับซ้อนขึ้นได้	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00
เฉลี่ยรวม				4.33	0.48				4.38	0.43				4.41	0.48

ตารางที่ ๓.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองที่ 4-6 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน	ใบงานการทดลองที่ 4					ใบงานการทดลองที่ 5					ใบงานการทดลองที่ 6				
	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3		
1. บอกวัตถุประสงค์ของการทดลองใบงาน	5	5	4	4.67	0.58	5	5	3	4.33	1.15	5	5	4	4.67	0.58
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	5	4	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58
4. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58
5. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58	5	5	4	4.67	0.58
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายภาคทดลอง	4	5	5	4.67	0.58	4	5	3	4.00	1.00	5	5	4	4.67	0.58
7. ความรู้ที่ผู้เรียนจะได้รับ	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	4	5	4	4.33	0.58
8. ความชัดเจนและเหมาะสมของขนาดตัวอักษรรูปภาพและตาราง	5	5	4	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58	4	4	4	4.00	0.00
9. ความเหมาะสมของรูปแบบใบงาน	4	5	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58	4	4	4	4.00	0.00
10. ความเหมาะสมในการบันทึกค่าต่างๆ	5	5	4	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58
11. การทดลองใบงานดึงดูดความสนใจ	4	4	4	4.00	0.00	4	5	4	4.33	0.58	4	4	4	4.00	0.00
12. ความสามารถนำความรู้ไปใช้งานที่ซับซ้อนขึ้นได้	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00
เฉลี่ยรวม				4.41	0.43				4.33	0.56				4.38	0.38

ตารางที่ ๑.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองที่ 7-9 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน	ใบงานการทดลองที่ 7					ใบงานการทดลองที่ 8					ใบงานการทดลองที่ 9				
	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม			$\bar{X}$	S.D.
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3			คนที่1	คนที่2	คนที่3		
1. บอกวัตถุประสงค์ของบททดลองในใบงาน	5	5	4	4.67	0.58	5	5	3	4.33	1.15	5	5	4	4.67	0.58
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	4	5	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4	5	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58
4. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4	5	4	4.33	0.58	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00
5. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นตอนการทดลอง	5	5	4	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58	4	5	4	4.33	0.58
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายบททดลอง	4	4	4	4.00	0.00	5	4	3	4.00	1.00	4	4	4	4.00	0.00
7. ความถูกต้องของรูปและตาราง	4	5	4	4.33	0.58	5	4	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58
8. ความชัดเจนและเหมาะสมของขนาดตัวอักษรรูปภาพและตาราง	4	5	4	4.33	0.58	4	4	4	4.00	0.00	5	5	4	4.67	0.47
9. ความเหมาะสมของรูปแบบใบงาน	4	5	5	4.67	0.58	4	5	4	4.33	0.58	5	5	4	4.67	0.58
10. ความเหมาะสมในการบันทึกค่าต่างๆ	5	5	4	4.67	0.58	5	4	4	4.33	0.58	4	5	4	4.33	0.58
11. การทดลองในใบงานดึงดูดความสนใจ	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00	4	4	4	4.00	0.00
12. ความสามารถความรู้ไปใช้งานที่ซับซ้อนขึ้นได้	4	5	3	4.00	1.00	4	4	5	4.33	0.58	4	4	5	4.33	0.58
เฉลี่ยรวม				4.38	0.51				4.22	0.51				4.36	0.43

ตารางที่ ๓.3 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองที่ 10 โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน	ใบงานการทดลองที่ 10				
	ระดับความเหมาะสม				
	คนที่1	คนที่2	คนที่3	$\bar{X}$	S.D.
1. บอกวัตถุประสงค์ของการทดลองใบงาน	5	5	3	4.33	1.15
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	4	4	4.33	0.58
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นการทดลอง	4	5	4	4.33	0.58
4. ความเหมาะสมของลำดับขั้นภาพทดลอง	5	4	4	4.33	0.58
5. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลอง	5	4	4	4.33	0.58
6. ความเหมาะสมของคำถามที่ภาควิชาทดลอง	4	4	4	4.00	0.00
7. ความถูกต้องของรูปและตาราง	5	5	4	4.67	0.58
8. ความชัดเจนและเหมาะสมของขนาดตัวอักษรภาพและตาราง	5	4	4	4.33	0.58
9. ความเหมาะสมของรูปแบบใบงาน	5	5	5	5.00	0.00
10. ความเหมาะสมในการบันทึกค่าต่างๆ	5	4	5	4.67	0.58
11. การทดลองใบงานดึงดูดความสนใจ	4	4	5	4.33	0.58
12. ความสามารถนำความรู้ไปใช้งานที่ข้ออื่นได้	4	4	5	4.33	0.58
เฉลี่ยรวม				4.41	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๔.4 ผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน	ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก				
	ระดับความเหมาะสม			$\bar{x}$	S.D.
	คนที่1	คนที่2	คนที่3		
1. การออกแบบชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีความเหมาะสมกับการทดลอง	5	5	4	4.67	0.58
2. เอกซ์พอร์ท กราวด์ แบ่งแยกกันได้เหมาะสม	5	5	4	4.67	0.58
3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีจุดเชื่อมต่อเพียงพอ	5	5	4	4.67	0.58
4. ความถูกต้องของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	5	4	4	4.33	0.58
5. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีความเรียบร้อยสวยงาม	4	5	4	4.33	0.58
6. ภาคแต่ละภาคสามารถสื่อความหมายและมีความสอดคล้องกับ เนื้อหา	5	4	4	4.33	0.58
7. ขนาดของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกมีความเหมาะสม	4	5	4	4.33	0.58
8. รูปร่างของชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก	4	5	4	4.33	0.58
เฉลี่ยรวม				4.45	0.57

ตารางที่ ๔.5 สรุปผลการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลองทั้ง 10 ใบงาน

ใบงานการทดลอง	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. Principles of Communication and Types of Signals	4.33	0.48	ดี
2. Doubled Side Band	4.38	0.43	ดี
3. Doubled Side Band Transmitters/Coherent Receiver	4.41	0.48	ดี
4. Doubled Side Band Transmitters/Coherent Receiver	4.41	0.43	ดี
5. Diode Envelope Detector for an AM Signal	4.33	0.56	ดี
6. AM Superheterodyne Receiver	4.38	0.38	ดี
7. Demodulation of Local AM Broadcast Stations	4.38	0.51	ดี
8. FM Modulation	4.22	0.51	ดี
9. FM Demodulation	4.36	0.43	ดี
10. Advance Frequency Modulation & Frequency Demodulation	4.41	0.52	ดี
เฉลี่ยรวม	4.36	0.47	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 สรุปผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อกทั้ง 8 รายการ

รายการที่ประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การออกแบบชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อกมีความเหมาะสมกับการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก
2. เอادتพูด กราวด์ แบ่งแยกสีได้เหมาะสม	4.67	0.58	ดีมาก
3. ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อกมีจุดเชื่อมต่อเพียงพอ	4.67	0.58	ดีมาก
4. ความถูกต้องของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก	4.33	0.58	ดี
5. ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อกมีความเรียบร้อยสวยงาม	4.33	0.58	ดี
6. ภาคแต่ละภาคสามารถสื่อความหมายและมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.33	0.58	ดี
7. ขนาดของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อกมีความเหมาะสม	4.33	0.58	ดี
8. รูปร่างของชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก	4.33	0.58	ดี
เฉลี่ยรวม	4.45	0.57	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ใบงานที่ 1

### หลักการสื่อสารเบื้องต้น และชนิดของสัญญาณ

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายรูปสัญญาณของรูปแบบการสื่อสารเบื้องต้นได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถเขียนรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ ของการสื่อสารเบื้องต้นได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถหาคาบเวลาและความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกอบรมการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

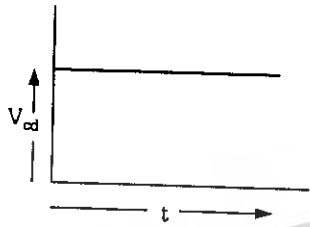
##### หลักการสื่อสารเบื้องต้น

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้นเป็นการสื่อความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสารโดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสารโดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แล้วก็ไประบบไปรษณีย์เป็นการส่งโทรเลข จนถึงปัจจุบันเป็นการส่งข่าวสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารโดยการพูดพัฒนามาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดาไปเป็นโทรศัพท์ และวิทยุวิวัฒนาการต่างๆ มักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารกันไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น

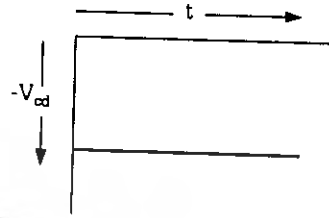
ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุช่วยให้เราติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าขยายให้คลื่นเสียง แล้วทำการผสมกับคลื่นพาห์ (คลื่นวิทยุ) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามหากเราส่งเสียงพูดไฟในรูปของคลื่นเสียง ซึ่งความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 20 เฮิรตซ์ - 20 กิโลเฮิรตซ์ สายอากาศส่งไปยังเครื่องรับ คลื่นที่รับได้จากสายอากาศรับจะถูกแปลงโดยเครื่องรับเพื่อให้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา

ชนิดของสัญญาณ

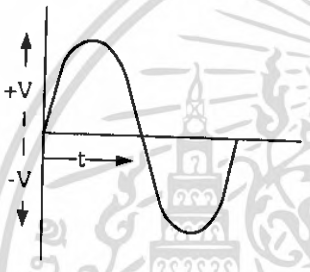
Repetitive waveform และ transients



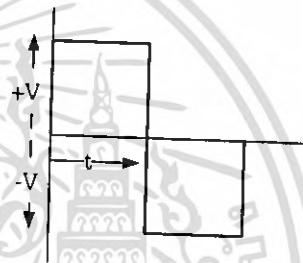
(ก) เป็นแรงดันค่าบวก dc เทียบกับเวลา



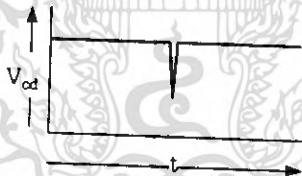
(ข) เป็นแรงดันค่าลบ dc เทียบกับเวลา



(ค) แรงดันไฟสลับจะเพิ่มหรือลดค่า เทียบกับเวลา



(ง) เป็นสัญญาณที่สลับกันระหว่างแรงดันคงที่ ด้านบวกและแรงดันคงที่ทางด้านลบ



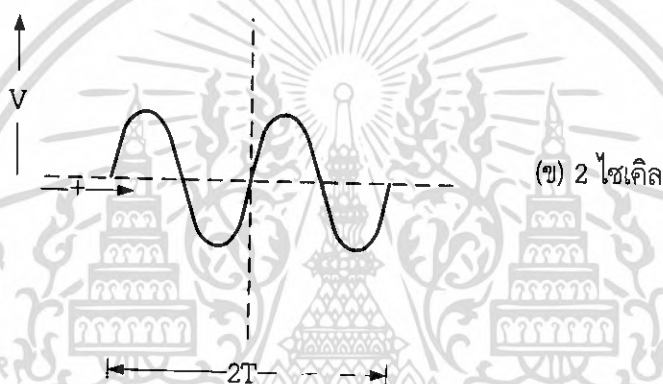
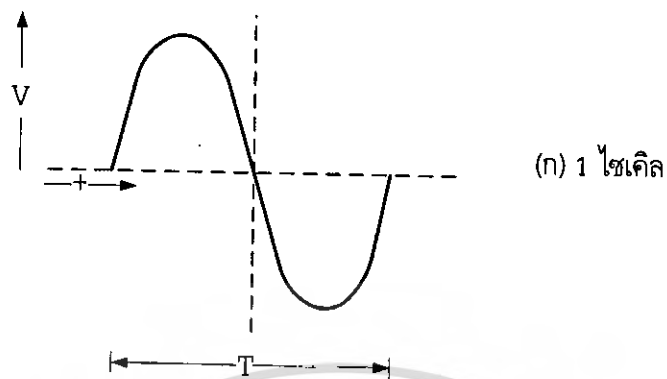
(จ) แรงดัน dc จะลดค่าแรงดันอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ แล้วกลับมาเป็นค่าปกติอีกครั้ง

รูปที่ 1.1 กราฟของแรงดัน (หรือกระแส) เทียบกับเวลา

เมื่อมี 2 ปริมาณสัมพันธ์กันเราอาจแสดงด้วยกราฟแทนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณใดๆ เทียบกับเวลา รูปที่ 1.1(ก) เป็นแรงดันค่าบวก dc เทียบกับเวลา รูปที่ 1.1(ข) เป็นแรงดันค่าลบ dc เทียบกับเวลา

ส่วนแรงดันไฟสลับจะเพิ่มหรือลดค่า เทียบกับเวลา สลับไปมาระหว่างค่าบวกกับค่าลบ รูปที่ 1.1 (ค) เป็นการพล็อตค่าแรงดันที่เวลาใด ๆ ของไฟสลับได้เรียกว่า รูปคลื่นของแรงดันจะเห็นว่าแรงดันเพิ่มทางบวกไปถึงค่าสูงสุดและลดลงจนเป็นศูนย์ และไปสู่ค่าลบสูงสุด แล้วกลับเป็นศูนย์อีก แล้วจึงเริ่มรอบใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 รูปคลื่นแสดงบนจอออสซิลโลสโคปด้วยจุดของแสง โดยแรงดัน  
ชั่วขณะอยู่ในแนวตั้ง ขณะที่แนวนอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา

คลื่นไซน์ คือรูปแรงดันที่ซ้ำๆ กัน และทุกๆ รอบจะเหมือนกันเราเรียกสัญญาณนี้ว่า repetitive waveform หรือ periodic waveform ถ้าแต่ละรอบของสัญญาณไม่เหมือนกันเรียกว่า a periodic waveform

รูปที่ 1.1(ง) เป็นสัญญาณที่สลับกันระหว่างแรงดันคงที่ด้านบวกและแรงดันคงที่ทางด้านลบ เรียกว่า rectangular wave ซึ่งเหมือนกับ sine wave คือมีเฟสลับที่เป็น repetitive waveform เช่นกัน

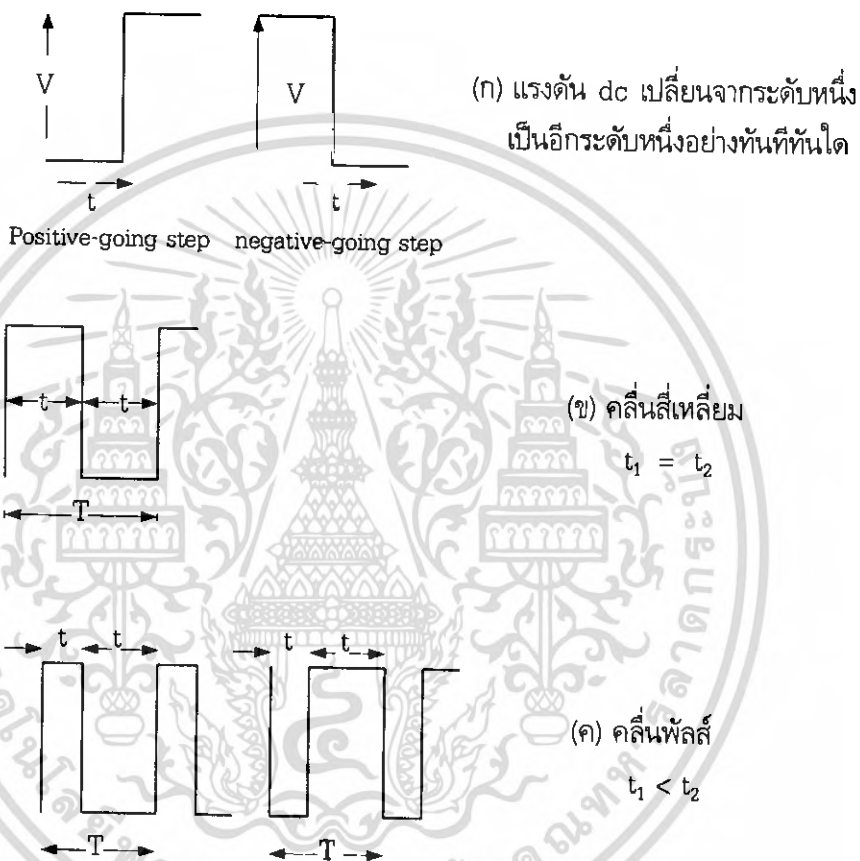
ในบางครั้งแรงดัน dc จะลดค่าแรงดันอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ แล้วกลับมาเป็นค่าปกติอีกครั้ง ดังรูปที่ 1.1(จ) ซึ่งอาจเกิดได้เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันให้กับ load รูปสัญญาณแบบ nonrepetitive waveform นี้ เรียกว่า transients

แสดงผลจากออสซิลโลสโคป ใช้งานกว้างขวางในการศึกษาสัญญาณไฟฟ้าโดยลำโพงทรานซ็อนกระทบกับฟลูออเรสเซนต์ เกิดเรืองแสงบนจอทำให้เกิดสัญญาณจอตงรูปที่ 1.2 และอาจมีการถ่ายภาพเพื่อบันทึกสัญญาณ transients ซึ่งเกิดในช่วงสั้นๆ ไปได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

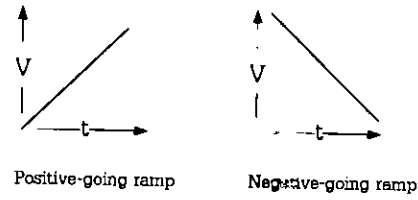
คลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อแรงดัน dc เปลี่ยนจากระดับหนึ่งเป็นอีกระดับหนึ่งอย่างทันทีทันใด การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า step change ซึ่งอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ดังรูปที่ 1.3(ก)

สัญญาณสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย step change แบบบวกตามด้วย step change แบบลบสลับกันไป ถ้าช่วงเวลาของระดับ upper dc คือ  $t_1$  เท่ากับ lower dc คือ  $t_2$  ดังรูปที่ 1.3(ข) เรียกว่า คลื่นพัลส์



รูปที่ 1.3 Rectangular ประกอบด้วยสัญญาณ step ขอบบวกและลบ เมื่อ  $t_1 = t_2$  เรียกว่า สแควร์เวฟ แต่ถ้า  $t_1$  ไม่เท่ากับ  $t_2$  จะเรียกว่าพัลส์

**Ramp** แรงดันซึ่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยอัตราคงที่เมื่อเทียบกับเวลา จะเป็นกราฟที่เรียกว่า positive และ negative ramp ดังรูปที่ 1.4(ก) และถ้ามี positive และ negative ramp สลับกันและซ้ำๆ กันหลายรอบ เราเรียกว่า Rectangular waveform ดังรูปที่ 1.4(ข) ถ้าอัตราเพิ่มหรือลดทางด้านบวกและด้านลบไม่เท่ากันเรียกว่า sawtooth waveform ดังรูปที่ 1.4(ค)



(ก) แรงดันซึ่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยอัตราคงที่เมื่อเทียบกับเวลา



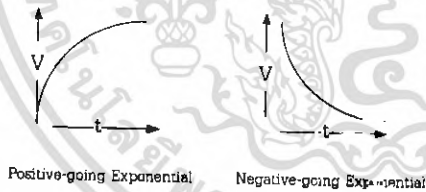
(ข) คลื่นสามเหลี่ยม



(ค) คลื่นฟันเลื่อย

รูปที่ 1.4 รูปคลื่นรูปสามเหลี่ยม (Triangular) ประกอบด้วย ramp บวกตามด้วย Ramp ลบ ถ้าความชันไม่เท่ากันเรียกสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth)

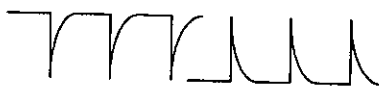
**Exponential** กราฟแรงดันเทียบกับเวลาแสดง ดังรูปที่ 1.5 และการที่ positive และ negative Exponential สลับกันไปเรื่อยๆ จะได้รูปที่ เรียกว่า Exponential waveform จะได้รูป spike waveform ดังรูปที่ 1.5 ซึ่งจะเห็นว่าถ้านำสัญญาณหลายรูปมาประกอบกันจะได้รูปสัญญาณแบบต่างๆ ดังที่ได้แสดงแล้ว



(ก) Exponential wave



(ข) Exponential and step combinations



(ค) Spike waveform

รูปที่ 1.5 รูปคลื่น Exponential เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบ Exponential แบบบวกตรงด้วยแบบตรงลบ และถ้าการเปลี่ยนแปลงแบบ Exponential เกิดต่อจาก step เราเรียกสัญญาณยอดแหลม (spike)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

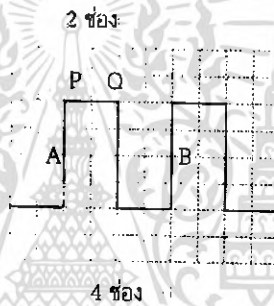
### การวัดเบื้องต้น

การวัดเบื้องต้นสำหรับออสซิลโลสโคป ได้แก่ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ คาบและความถี่ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำหรับการวัดปริมาณอื่นๆ ต่อไปแต่ในการทดลองนี้จะพูดถึงการวัดคาบเวลาและความถี่

การวัดคาบเวลา เราสามารถหาคาบหรือช่วงเวลาระหว่างสองจุดใด ๆ บนสัญญาณที่กำลังตรวจสอบได้ ดังนี้

1. ปรับสวิตช์เลือก TIME/DIV ไปอยู่ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมและสอดคล้องกับความถี่ของสัญญาณที่กำลัง

ตรวจสอบ โดยให้ช่วงระหว่างสองจุดที่ต้องการคือ P และ Q ดังแสดงในรูป 1.6



รูปที่ 1.6 การวัดคาบเวลา

2. นับจำนวนช่องระหว่างจุด P และ Q ช่วงเวลาระหว่างสองจุดใด ๆ หาได้จากสมการ  
ช่วงเวลาระหว่างสองจุด = ความไวทางแกนนอน x จำนวนช่องระหว่างสองจุด  
จากรูปคลื่นในรูปที่ 1.6 จุด P และ Q ห่างกัน 2 ช่อง ถ้าสวิตช์เลือก TIME/DIV ตั้งไว้ที่ 2 ms/div ดังนั้น  
ช่วงเวลาระหว่างจุด P และ Q

$$\begin{aligned} t &= 2 \text{ ms/div} \times 2 \text{ div} \\ &= 4 \text{ ms} \end{aligned}$$

3. อาศัยหลักการเดียวกันนี้ อาจหาคาบ (period) T ของรูปคลื่นได้  
เนื่องจากคาบ = ช่วงเวลาระหว่างสองจุดที่มีเฟสตรงกัน  
จากรูปคลื่นในรูปที่ 1.6 จุด A และ B มีเฟสตรงกัน

$$\begin{aligned} &= 2 \text{ ms/div} \times 4 \text{ div} \\ &= 8 \text{ ms} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความถี่ เราอาจวัดความถี่ของสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบได้ 2 วิธี

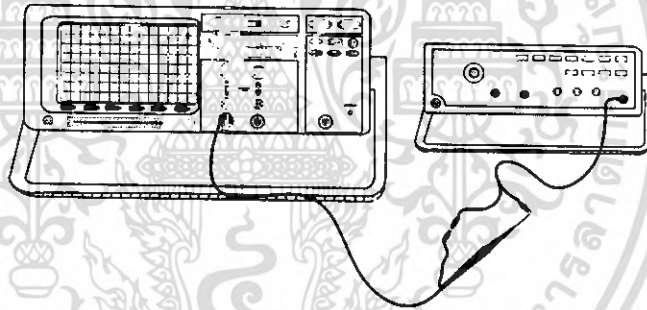
$$1. \text{ ทาความถี่จากความสัมพันธ์ } f = \frac{1}{T}$$

จากการวัดเวลา เราสามารถวัดคาบ (T) ของสัญญาณได้ ส่วนกลับของคาบ T คือความถี่ f ของสัญญาณ เช่น คาบของสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ  $T = 8\mu\text{s}$  ความถี่ f จะมีค่าดัง

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 \times 10^{-3} \text{ s}} = 125 \text{ Hz}$$

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อกับตามรูปที่ 1.7 เพื่อใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 1.7 วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

2. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้ เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.1
3. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.2
4. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นพัลส์ ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นพัลส์ ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.4

6. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นฟันเลื่อย ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.5

7. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นฟันเลื่อย ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 1.6

8. ต่อมารูปที่ 1.8 โดยใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณทางด้านอินพุตของภาค Audio Amplifier บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.7



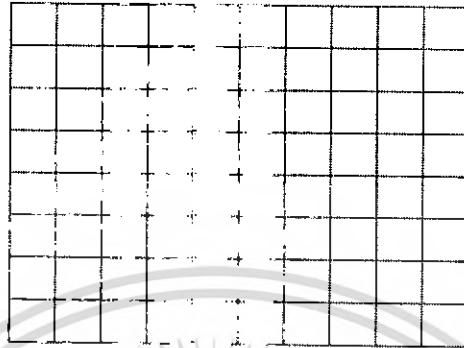
รูปที่ 1.8 ป้อนสัญญาณทางด้านอินพุตของภาค Audio Amplifier

### ผลการทดลอง

ตารางที่ 1.1 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p

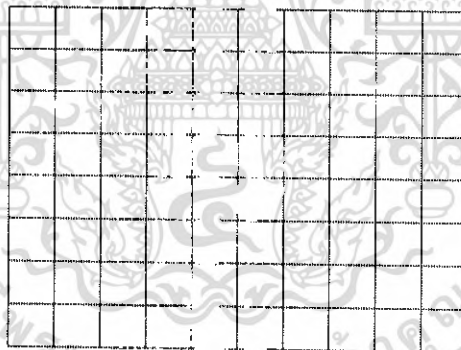

Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

ตารางที่ 1.2 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

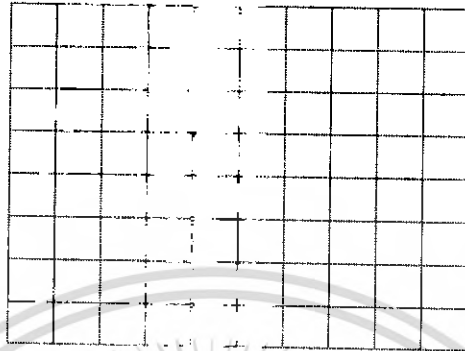
ตารางที่ 1.3 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นพัลส์ ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

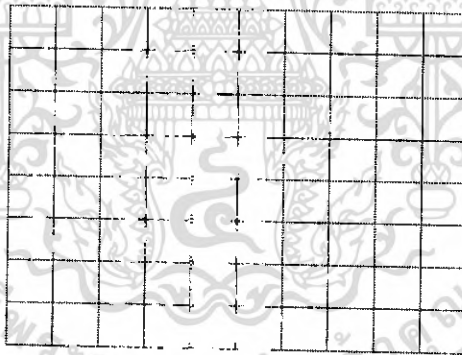
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นพัลส์ ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div = \_\_\_ Time/Div = \_\_\_

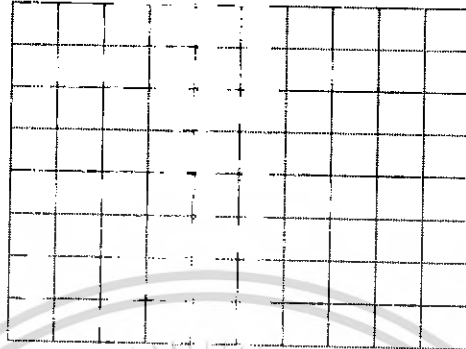
ตารางที่ 1.5 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นฟันเลื่อย ที่ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div = \_\_\_ Time/Div = \_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นฟันเลื่อย ที่ความถี่ 100 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

ตารางที่ 1.7 เสียงที่ได้ยินจากการทดลองเมื่อป้อนสัญญาณ

รูปคลื่น	ความถี่	เสียงที่ได้ยิน
คลื่นไซน์	500 Hz	
	600 Hz	
	5 KHz	
	10 KHz	
คลื่นสี่เหลี่ยม	100 Hz	
	700 Hz	
	5 KHz	
	200 KHz	
คลื่นสามเหลี่ยม	5 Hz	
	500 Hz	
	50 KHz	
	500 KHz	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

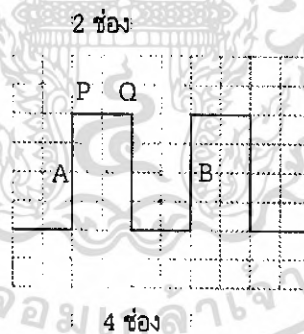
.....

.....

.....

## คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองชนิดของรูปสัญญาณในการสื่อสารเบื้องต้นมีอะไรบ้าง
  2. จงเขียนรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ ของการสื่อสารเบื้องต้น
  3. จงคำนวณหาคาบเวลาและความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณดังต่อไปนี้
- กำหนดให้ รูปคลื่น จุด P และ Q ห่างกัน 2 ช่อง ถ้าสวิตช์เลือก TIME/DIV ตั้งไว้ที่ 2 ms/div ดังนั้น ช่วงเวลาระหว่างจุด P และ Q



## ใบงานที่ 2

### Doubled side band

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการของ Doubled side band ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวาดรูปคลื่นสัญญาณของ Doubled side band ได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถคำนวณหาค่าแอมป์เพนธ์การผสมคลื่นแบบ AM ได้

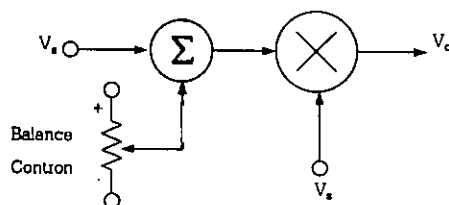
#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 2 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

การทดลองเรื่องสัญญาณแอนะล็อกระบบเชิงเส้น เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณจะทำการทดลอง ไปพร้อมๆ กับการดีมอดูเลต ซึ่งส่วนแรกของการทดลองนี้จะเป็นเรื่องของ การกระทำที่ให้นักศึกษามีความคุ้นเคยกับการทำงานของ ไอซี 1496 (มอดูเลตสัญญาณแบบสมดุลย์) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดฝึก การทำงานของชุดฝึก (Doubled Side Band : DSB) ที่สร้างขึ้นนี้จะเชื่อมโยงกับการผสมสัญญาณ และเรื่องของ การสร้างสัญญาณ AM Coherent Demodulation of DSB

ในการสร้างชุด ของการมอดูเลตและดีมอดูเลตของ DSB จะเน้นในเรื่องของฟังก์ชันการประมวลผลสัญญาณ การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของไอซี MC1496 (Balance Modulation) ซึ่งแสดงดังวงจรดังรูปที่ 2.1 ที่มีสัญญาณอินพุต หรือ ข่าวสารอินพุต (message :  $V_s$ ) และ ตัวพาอินพุต (carrier :  $V_c$ ) พร้อมด้วย ตัวควบคุมความสมดุลย์ (Balance Control) จะเป็นตัวแสดงถึงรูปแบบของการทำงาน เชิงคณิตศาสตร์ ในการรวมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถึงสัญญาณข้อมูลข่าวสาร



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของ Multiplier

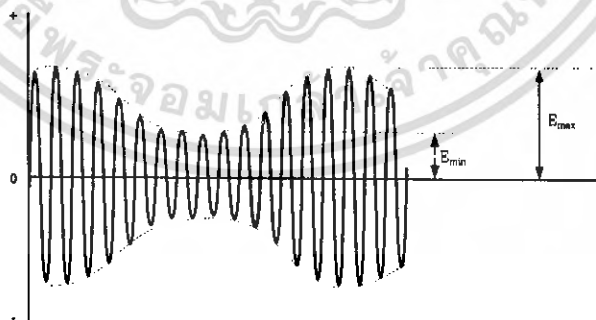
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากสัญญาณ  $V_s = m(t)$  ซึ่งจะรวมตัวเข้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ได้อาต์พุตออกมา จึงได้สมการ

$$\begin{aligned} V_o &= [A + V_s] V_c = [A + m(t)] V_c \\ &= [A + m(t)] (B \cos \omega_c t) \\ &= AB \cos \omega_c t + m(t) B \cos \omega_c t \end{aligned}$$

ในสมการ  $AB \cos \omega_c t$  แสดงถึงส่วนคลื่นพาห้ของความถี่ซึ่งเป็นสเปกตรัมของความถี่สำหรับการมอดูเลตรูปคลื่น เมื่อ A คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับจากชุดควบคุมความสมดุลย์ จะเห็นได้ว่าหากเราให้  $A = 0$  จะทำให้ส่วนของพาห้ของความถี่จะเป็น Balance out ในสถานะนี้จึงแสดงถึง สมการการมอดูเลตความถี่ (Carrier Modulation) หรือ DSB

จากการมอดูเลตนั้นจำเป็นจะต้องหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต เปอร์เซ็นต์ของการผสมคลื่นแบบ AM เป็นตัวบอกถึงระดับความแรงของการผสมคลื่นที่เกิดจากการนำคลื่นเสียงมาผสมกับคลื่นพาห้ ในระดับความแรงของการผสมแตกต่างกันไป โดยการคิดค่าระดับความแรงของการผสมคลื่นแบบ AM ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่บอกไว้จะแสดงให้เห็นว่าระดับความแรงของคลื่นเสียงที่นำมาผสมกับคลื่นพาห้มีค่ามากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับความแรงของคลื่นพาห้ ถ้าความแรงของคลื่นเสียงมีระดับต่ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM สูง ความสัมพันธ์ของคลื่นเสียงและคลื่นพาห้ดังกล่าวนี้เรียกว่าเปอร์เซ็นต์ของการผสมคลื่น (Percentage Modulation) หาได้จากการวัดระดับความแรงของคลื่น AM ที่ตำแหน่งต่ำสุด มาบวก ลบ และหารกัน คูณด้วยเลข 100 ซึ่งจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM ออกมา รูปแสดงตำแหน่งการวัดระดับความแรงของคลื่น AM ดังรูปที่ 2.2



**รูปที่ 2.2** การวัดตำแหน่งต่ำสุด ( $E_{\min}$ ) และตำแหน่งสูงสุด ( $E_{\max}$ ) ของคลื่น AM

จากรูปที่ 2.2 แสดงการวัดตำแหน่งต่ำสุด ( $E_{\min}$ ) และตำแหน่งสูงสุด ( $E_{\max}$ ) ของคลื่น AM นำค่าที่วัดได้นี้มาเข้าสู่สูตร คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM ทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดัชนีการผสมคลื่น (m)} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การผสมคลื่น (\%m)} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100$$

เมื่อ  $m$  = ดัชนีการผสมคลื่น AM ไม่มีหน่วย

$(E_{\max})$  = ระดับแรงดันวัดจากแกนศูนย์ถึงยอดสูงสุดตำแหน่งแรงสุด (หน่วย  $V_p$ )

$(E_{\min})$  = ระดับแรงดันวัดจากแกนศูนย์ถึงยอดสูงสุดตำแหน่งเบาสุด (หน่วย  $V_p$ )

ตัวอย่าง จากการวัดระดับความแรงของคลื่น AM ในรูปที่ วัดค่าได้  $E_{\max} = 30 V_p$  และ  $E_{\min} = 10 V_p$  จงหาเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM

วิธีทำ

$$(\%mod) = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100$$

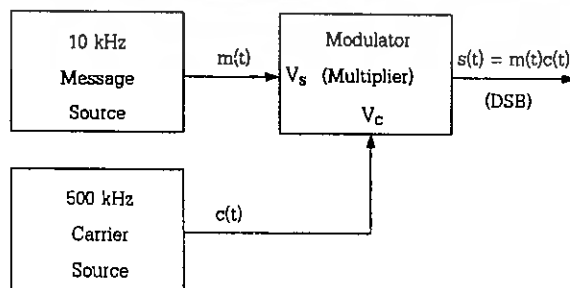
แทนค่า

$$(\%mod) = \frac{30 - 10}{30 + 10} \times 100 = \frac{20}{40} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM = 50% ตอบ

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อยวงจรตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 DSB Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ป้อนความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสารป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาร์ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณอินพุต ของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

3. ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier และมีแอมพลิจูดที่มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต 50 % และ 100 % แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ตามลำดับ

4. สังเกตประสิทธิภาพของการมอดูเลตโดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

(ก) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านต่ำสุด แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.5

(ข) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านกึ่งกลาง แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.6

(ค) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านสูงสุด แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.7

5. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณ triangle wave ป้อนความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร ส่วนฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาร์ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9 ตามลำดับ

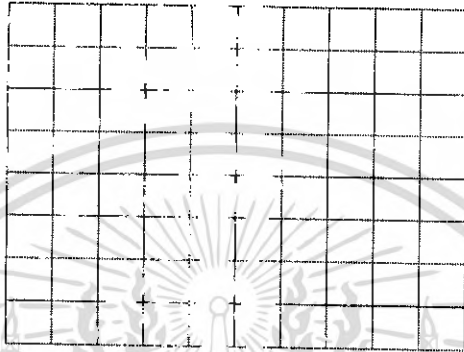
(ก) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านต่ำสุด แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.10

(ข) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านกึ่งกลาง แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.11

(ค) ปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านสูงสุด แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 2.12

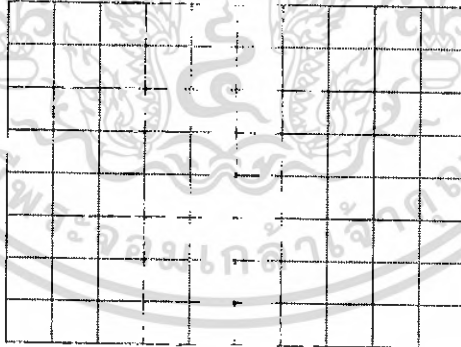
## ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.1 สัญญาณอินพุตสัญญาณขาวสาร



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

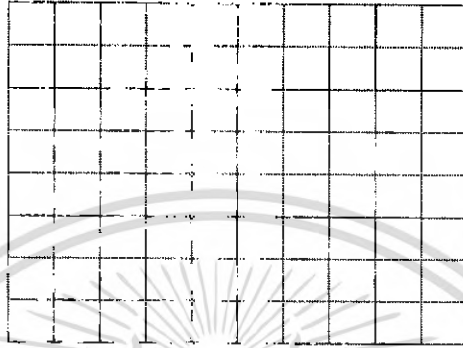
ตารางที่ 2.2 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาร์



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

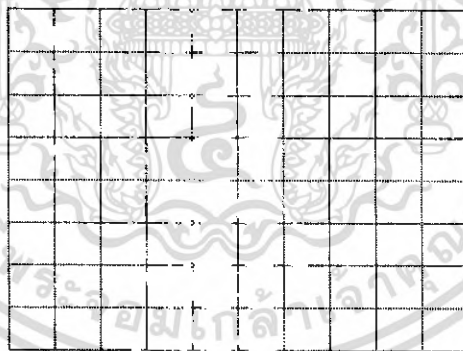
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 50 %



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

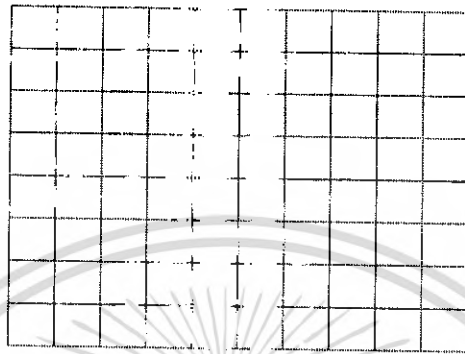
ตารางที่ 2.4 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier ที่มีดัชนีการมอดูเลต 100 %



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

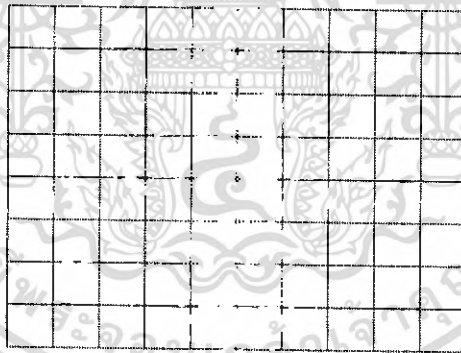
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านต่ำสุด



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

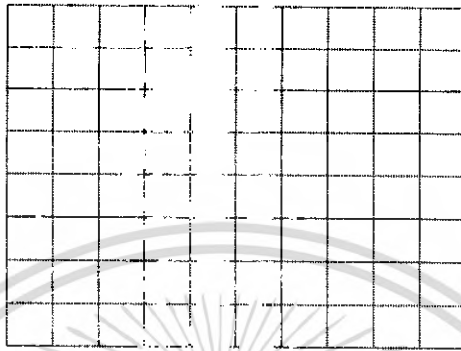
ตารางที่ 2.6 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านกึ่งกลาง



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

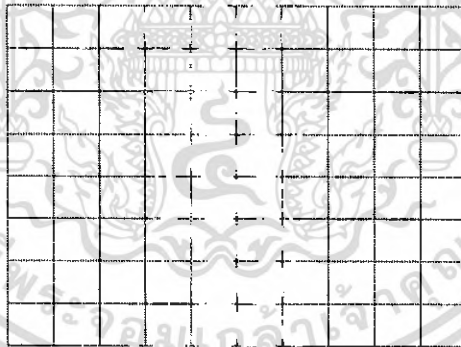
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านสูงสุด



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

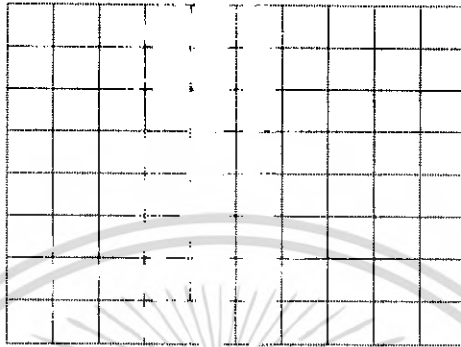
ตารางที่ 2.8 สัญญาณอินพุตสัญญาณข่าวสาร



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

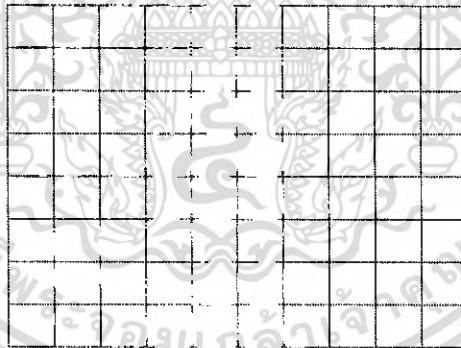
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาท



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

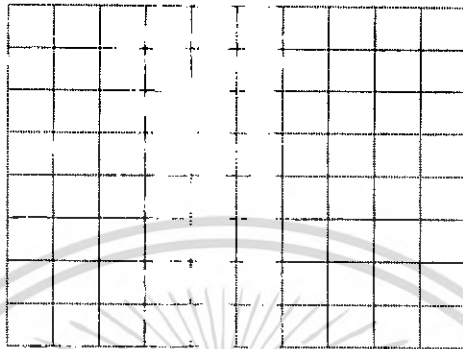
ตารางที่ 2.10 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านต่ำสุด



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

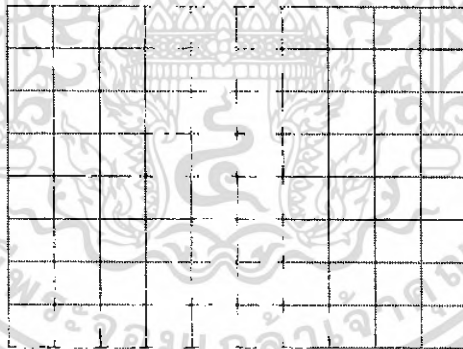
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านกึ่งกลาง



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

ตารางที่ 2.12 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier เมื่อปรับบาลานซ์คอนโทรลไปที่ย่านสูงสุด



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

**สรุปผลการทดลอง**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการของ Doubled side band
2. จงอธิบายความหมายของคำว่าโอเวอร์มอดูเลต ( Over modulation) พอสั่งเขป
3. จงอธิบายคำว่า 100 Modulation และอธิบายถึงวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ ของการ Modulation จาก ออสซิลโลสโคป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ใบงานที่ 3

### Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการ Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถต่อ Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver ได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 2 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

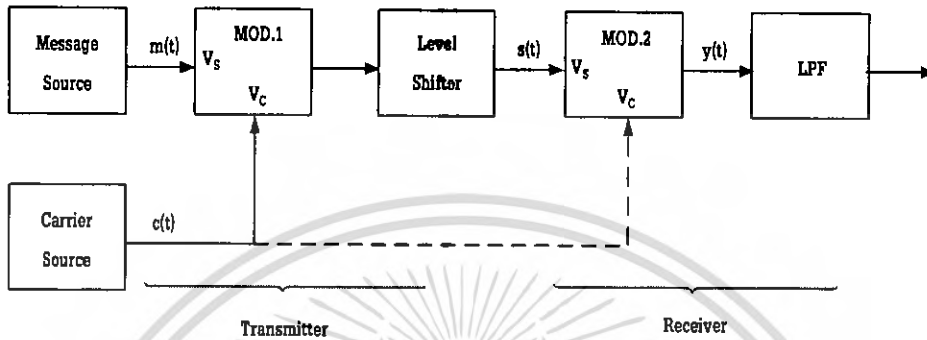
Doubled side band เป็นสัญญาณ AM ที่ใช้ในวิทยุกระจายเสียง จะส่งทั้งสอง side band รวมทั้งเฉพาะพาที่ไปด้วย เพื่อให้เครื่องรับง่ายแก่การนำสัญญาณเดิมกลับคืนมา สัญญาณที่มอดูเลตแบบ DSB นี้เขียนด้วยสมการ เป็นการมอดูเลตแบบ AM โดยที่

$$X_{DSB}(t) = X(t) \cos \omega_c t$$

ไม่ส่งสัญญาณพาที่ไปด้วยจึงมีแต่ส่วนที่เป็น side band กำลังทั้งหมดจึงอยู่ใน side band ประสิทธิภาพ 100% เป็นการประหยัดพลังงานในการส่งเนื่องจากกำลังที่ส่งไปถูกใช้ไปใน side band บรรจุข่าวสารอยู่ แต่การที่ไม่ส่งพาที่ไปด้วยทำให้ทางเครื่องรับมีความยุ่งยากในการรับอาจเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณโดยที่ กำลังสูญเสียในเครื่องส่งไม่มากนักก็จะเพิ่มความถี่ที่เหมือนพาที่ขนาดเล็กๆ ส่งไปด้วยเรียกว่า pilot carrier ทำให้เครื่องรับสามารถสร้างสัญญาณพาที่ขึ้นได้จาก pilot carrier นี้ เพื่อใช้ในการดีเทคสัญญาณ ทำให้เครื่องรับสร้างง่ายขึ้นและไม่เกิดการเพี้ยนของสัญญาณในขณะที่เครื่องส่งก็ประหยัดพลังงาน โดยที่ ประสิทธิภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อย

## ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังตามรูปที่ 3.1

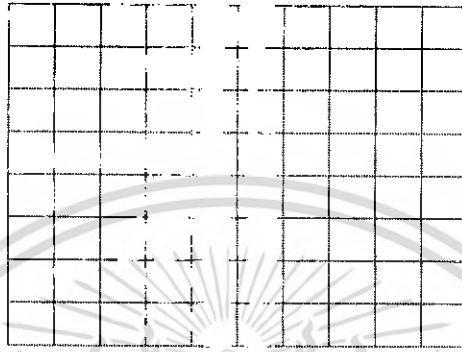


รูปที่ 3.1 Doubled side-band Transmitter

2. กำหนดให้ พิกัดขั้วแกนแอมพลิจูด บอดีสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสารความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห้ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณอินพุตของภาค Multiplier.1 แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2
3. ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ วัดที่จุดเอาต์พุต ของภาค Multiplier.1 แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.3
4. ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้ต่ำสุดแล้ว วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Level Shifter แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.4
5. ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้สูงสุดแล้ว วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Level Shifter แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.5
6. ใช้เครื่องออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier.2 แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.6
7. ใช้เครื่องออสซิลโลสโคป วัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Low pass filter แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 3.7

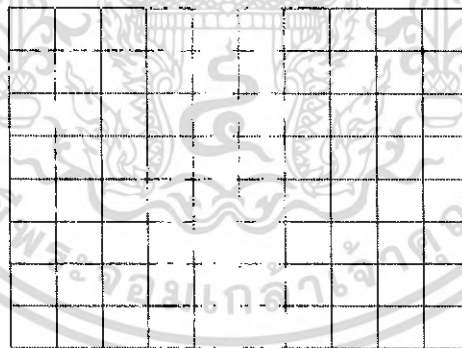
## ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สัญญาณอินพุตสัญญาณขาออก



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

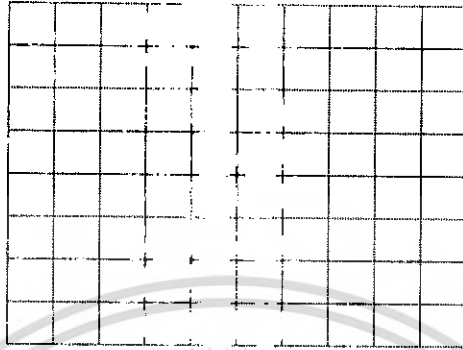
ตารางที่ 3.2 สัญญาณอินพุตสัญญาณคลื่นพาร์



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

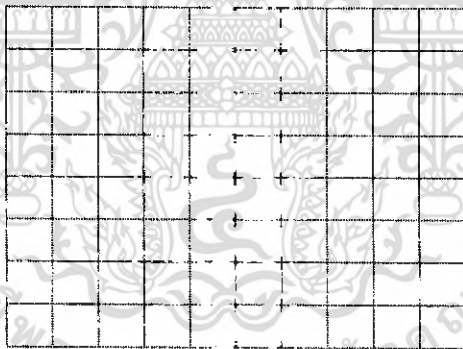
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Multiplier



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

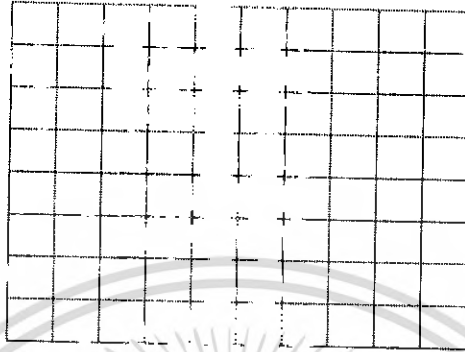
ตารางที่ 3.4 ทำการปรับ offset control ของภาค Level Shifter ให้ต่ำสุด



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

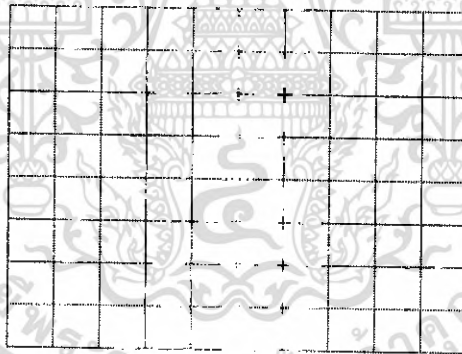
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter ให้สูงสุด



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

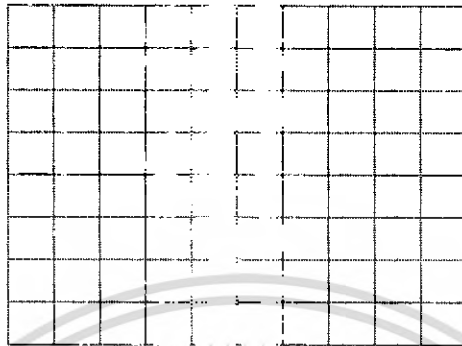
ตารางที่ 3.6 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของการมอดูเลตของภาค Multiplier.2



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของภาค Low pass filter



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

### สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการหลักการ Doubled side-band Transmitter มาพอเข้าใจ
2. ทำการปรับ Offset control ของภาค Level Shifter รูปสัญญาณจะเป็นอย่างไรอธิบายพอสังเขป

## ใบงานที่ 4

### Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการ Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถต่อ Doubled side band Transmitter / Coherent Receiver ได้
3. นักศึกษาสามารถบอกเสียงที่ได้ยินจากการป้อนสัญญาณได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 2 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

Doubled side band เป็นสัญญาณ AM ที่ใช้ในวิทยุกระจายเสียง จะส่งทั้งสอง side band รวมทั้งเฉพาะพาห์ไปด้วย เพื่อให้เครื่องรับง่ายแก่การนำสัญญาณเดิมกลับคืนมา

สัญญาณที่มอดูเลตแบบ DSB นี้เขียนด้วยสมการที่เป็นการมอดูเลตแบบ AM โดยที่

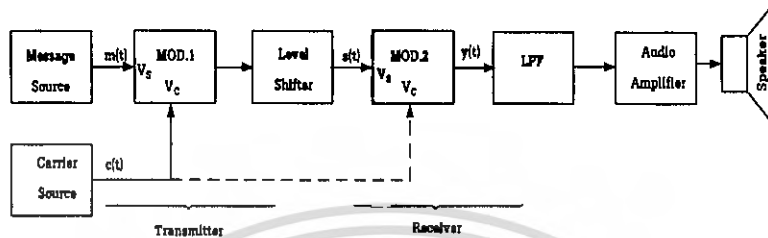
$$X_{DSB}(t) = X(t) \cos \omega_c t$$

ไม่ส่งสัญญาณพาห์ไปด้วยจึงมีแต่ส่วนที่เป็น side band กำลังทั้งหมดจึงอยู่ใน side band ประสิทธิภาพ 100% เป็นการประหยัดพลังงานในการส่งเนื่องจากกำลังที่ส่งไปถูกใช้ไปใน side band บรรจุข่าวสารอยู่ แต่การที่ไม่ส่งพาห์ไปด้วยทำให้ทางเครื่องรับมีความยุ่งยากในการรับอาจเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณโดยที่ กำลังสูญเสียในเครื่องส่งไม่มากนักก็จะเพิ่มความถี่ที่เหมือนพาห์ขนาดเล็กๆ ส่งไปด้วยเรียกว่า pilot carrier ทำให้เครื่องรับสามารถสร้างสัญญาณพาห์ขึ้นได้จาก pilot carrier นี้ เพื่อใช้ในการดีเทคสัญญาณ ทำให้เครื่องรับสร้างง่ายขึ้นและไม่เกิดการเพี้ยนของสัญญาณในขณะที่เครื่องส่งก็ประหยัดพลังงาน โดยที่ ประสิทธิภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลำดับขั้นตอนการทดลอง

### 1. ต่อดังตามรูปที่ 4.1

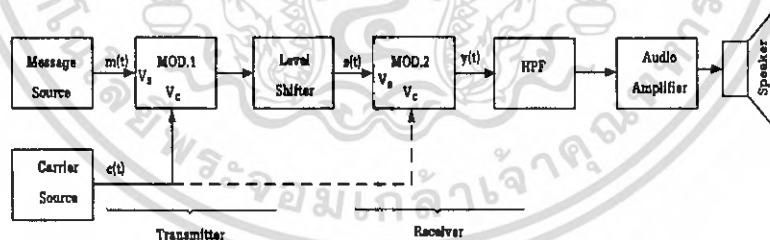


รูปที่ 4.1 Doubled side-band Transmitter / Coherent Receiver

2. กำหนดให้ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม คลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสารและป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห้ แล้วฟังเสียงที่ได้ยินจากลำโพง บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

3. ต่อดังตามรูปที่ 4.1 แต่ใช้สัญญาณเสียงเพลงเป็นข่าวสาร แล้วฟังเสียงที่ได้ยินจากลำโพง บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

### 4. ต่อดังตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Doubled side-band Transmitter / Coherent Receiver

5. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณ คลื่นไซน์, คลื่นสี่เหลี่ยม, โดยตัวที่ 1 ป้อนความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร ส่วนตัวที่ 2 ป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห้ แล้วฟังเสียงที่ได้ยินจากลำโพงบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

6. ต่อดังตามรูปที่ 4.2 แต่ใช้สัญญาณเสียงเพลงเป็นข่าวสาร แล้วฟังเสียงที่ได้ยินจากลำโพง บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 เสียงที่ได้ยินจากลำโพง

รูปคลื่น/สัญญาณเสียง	เสียงที่ได้ยิน
คลื่นไซน์	
คลื่นสี่เหลี่ยม	
คลื่นสามเหลี่ยม	
เพลง	

ตารางที่ 4.2 เสียงที่ได้ยินจากลำโพง

รูปคลื่น/สัญญาณเสียง	เสียงที่ได้ยิน
คลื่นไซน์	
คลื่นสี่เหลี่ยม	
คลื่นสามเหลี่ยม	
เพลง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการหลักการของ Doubled side-band Transmitter มาพอเข้าใจ
2. จากการทดลอง เมื่อป้อนสัญญาณที่แตกต่างกัน เสียงที่ได้ยินจะเป็นอย่างไร
3. จากการทดลอง สัญญาณเสียงที่ได้ยินเมื่อผ่านวงจร LPF และ HPF เป็นอย่างไร



## ใบงานที่ 5

### Diode Envelope Detector for an AM Signal

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการ Diode Envelope Detector for an AM Signal ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนรูปคลื่นสัญญาณหลักการ Diode Envelope Detector for AM Signal ได้

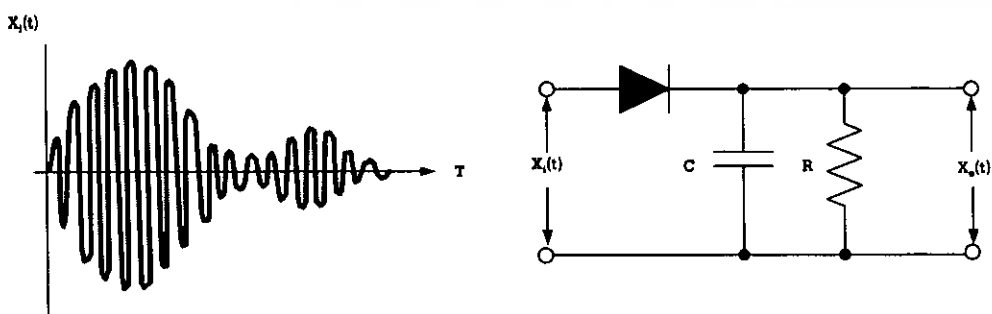
#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

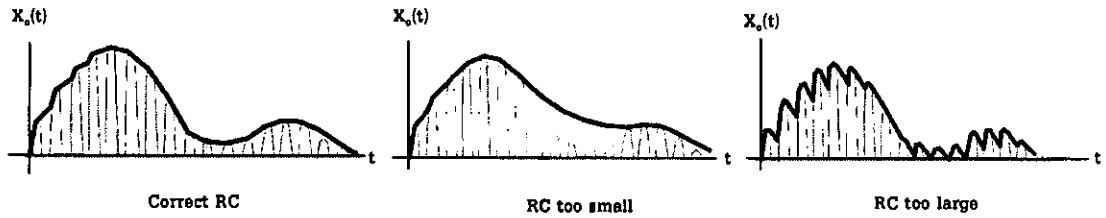
การดีมอดูเลตสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude demodulations) ขบวนการที่ได้สัญญาณเดิมกลับมาจากสัญญาณที่มอดูเลตขนาดนั้นทำได้ 2 แบบ คือ เอนวีลอปดีเทคชัน (envelope detection) และซิงโครนัสดีเทคชัน (synchronous detection)

เอนวีลอปดีเทคชัน เป็นการกรองเอาเอนวีลอปของสัญญาณ AM เป็นวิธีง่าย ๆ และสะดวก ในการสร้างวงจรมากดังแสดงในรูปที่ 5.1 สัญญาณที่มอดูเลตแล้วคือสัญญาณ RF เมื่อผ่านสัญญาณที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณ baseband โดยที่ RC ต้องมีค่าเหมาะสม การดีเทคสัญญาณแบบนี้ใช้ได้กับการมอดูเลตแบบที่ส่งพาหามาด้วยเท่านั้น คือ DSB-LC หรือสัญญาณ AM



รูปที่ 5.1 เอนวีลอปดีเทคเตอร์

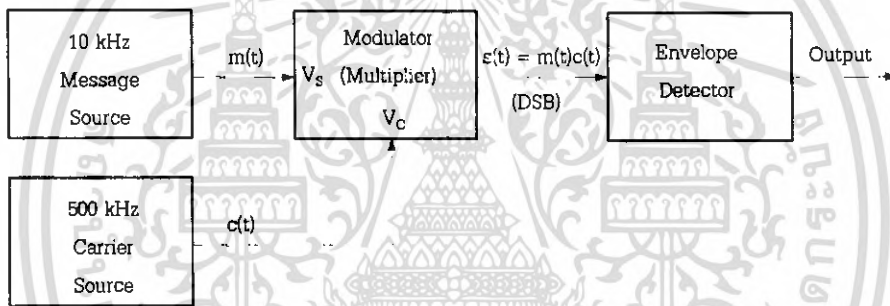
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 (ต่อ) เ็นวีลียูปดีเทคเตอร์

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต้องวงจรตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 Diode Envelope Detector for an AM Signal

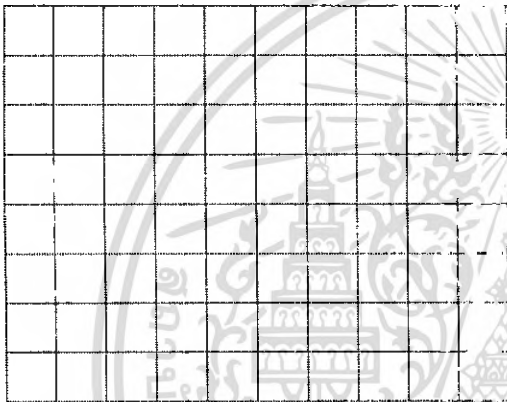
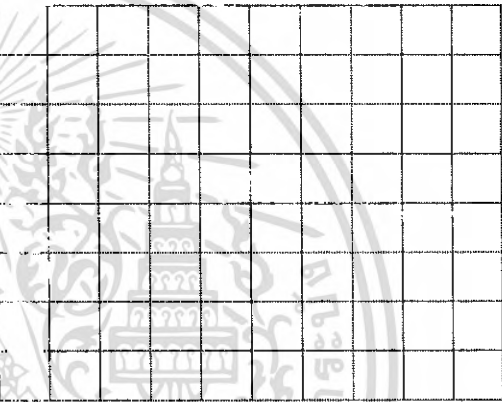
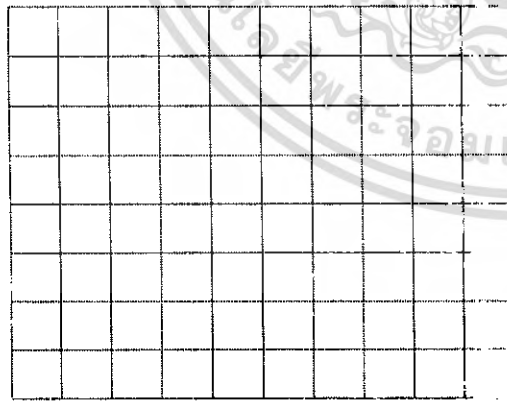
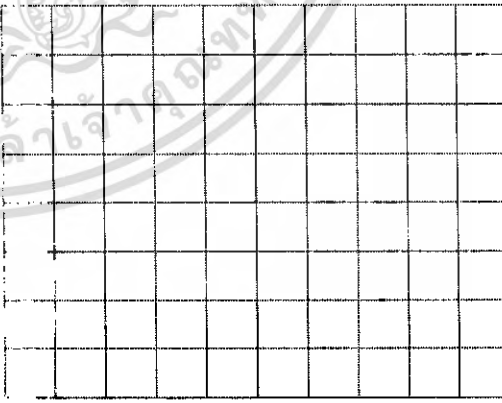
2. กำหนดให้ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ เป็นสัญญาณข่าวสาร ป้อนสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต โดยปรับตั้งนิการมอดตามที่กำหนดและภาค Envelope Detector โดยทำตามตารางที่มีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาห์ บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 5.1

3. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ เป็นสัญญาณข่าวสาร ป้อนสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต โดยปรับตั้งนิการมอดูเลตตามที่กำหนดและภาค Envelope Detector โดยทำตามตารางที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า constant ตารางที่AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดข่าวสาร บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

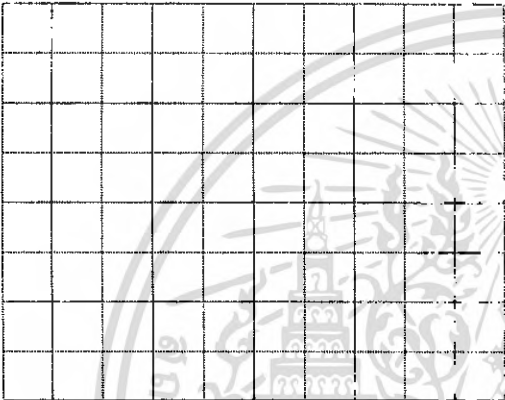
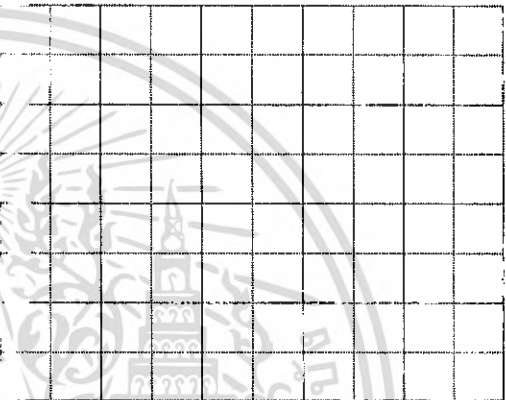
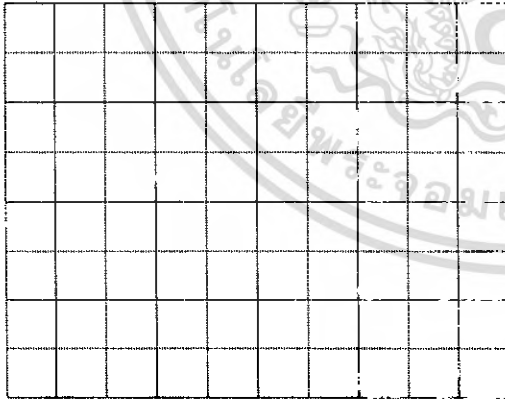
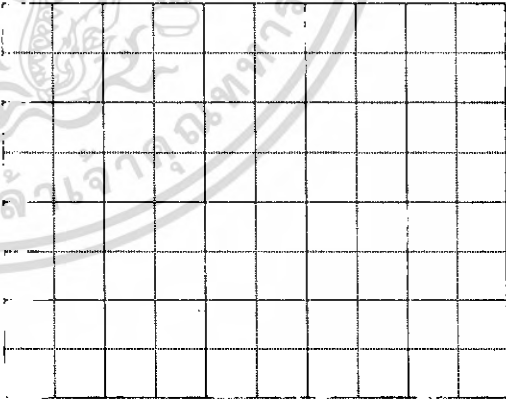
## ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของคลื่นพาห์

รูปร่างของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปร่างของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
$c(t) = 4$ , ดัชนีการมอดูเลต $(a) = 0.5$ 	$c(t) = 4$ 
$c(t) = 2$ , ดัชนีการมอดูเลต $(a) = 1$ 	$c(t) = 2$ 

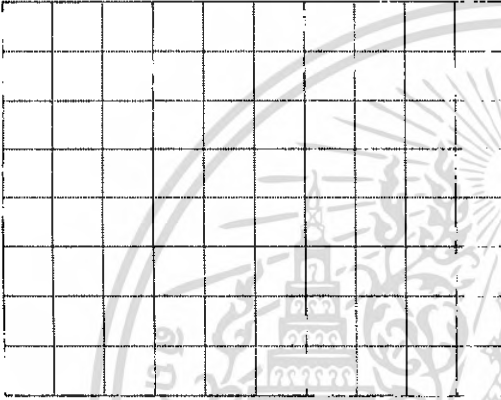
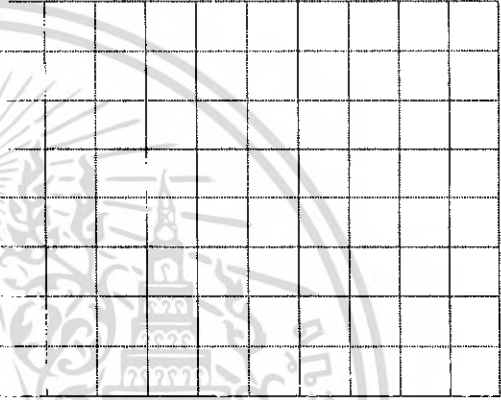
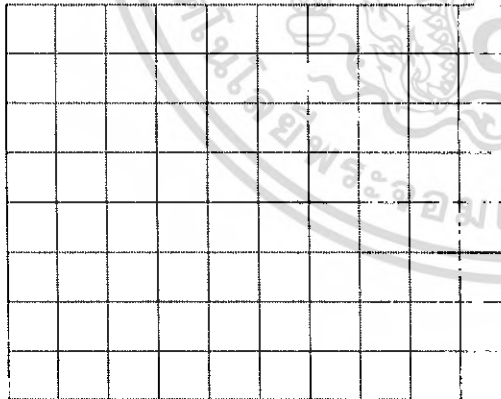
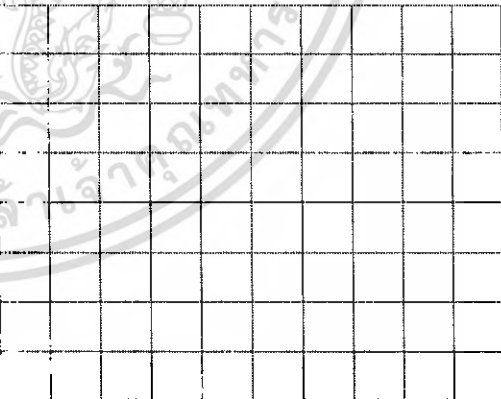
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของคลื่นพาห์

รูปร่างของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปร่างของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
<p><math>c(t) = 0.5</math>, ดัชนีการมอดูเลต <math>(a) = 4</math></p> 	<p><math>c(t) = 0.5</math></p> 
<p><math>c(t) = 0</math>, ดัชนีการมอดูเลต <math>(a) = \infty</math></p> 	<p><math>c(t) = 0</math></p> 

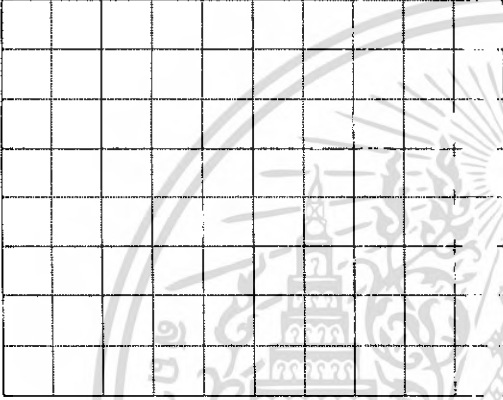
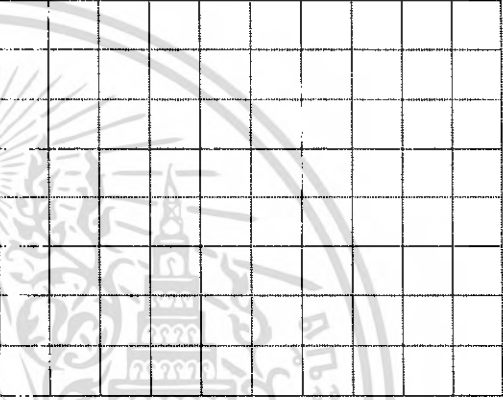
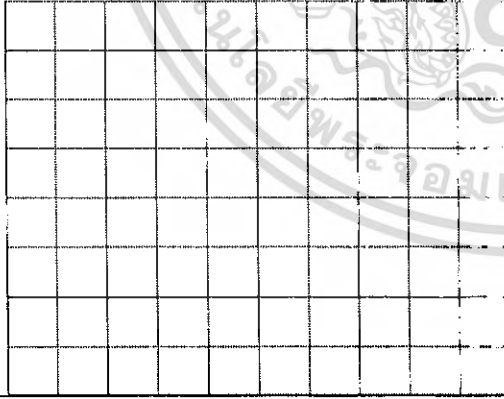
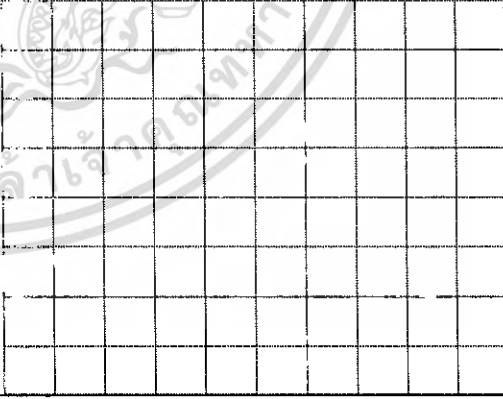
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดข่าวสาร

รูปวาดของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปวาดของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
$m(t) = 0$ , ดัชนีการมอดูเลต (a) = <u>0</u>  	$c(t) = 0$  
$m(t) = 0.5$ , ดัชนีการมอดูเลต (a) = <u>0.5</u>  	$c(t) = 0.5$  

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดข่าวสาร

รูปร่างของสัญญาณ AM เมื่อ constant ต่างๆ	รูปร่างของสัญญาณที่ detect ได้โดยใช้ Envelope Detector เมื่อ constant ต่างๆ
$c(t) = 0.5$ , ดัชนีการมอดูเลต (a) = 4 	$c(t) = 1$ 
$c(t) = 0$ , ดัชนีการมอดูเลต (a) = 2 	$c(t) = 2$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

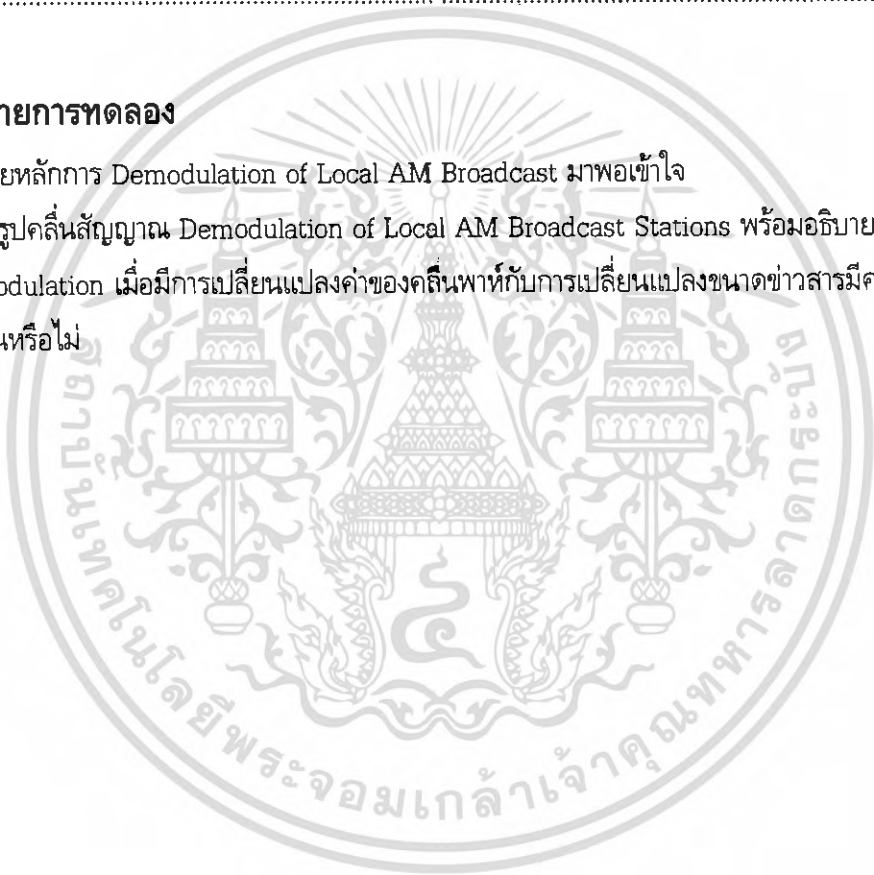
.....

.....

.....

## คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการ Demodulation of Local AM Broadcast มาพอเข้าใจ
2. จงเขียนรูปคลื่นสัญญาณ Demodulation of Local AM Broadcast Stations พร้อมอธิบาย
3. AM modulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของคลื่นพาห์กับการเปลี่ยนแปลงขนาดข่าวสารมีความแตกต่างกันหรือไม่



## ใบงานที่ 6

### AM Superheterodyne Receiver

#### วัตถุประสงค์

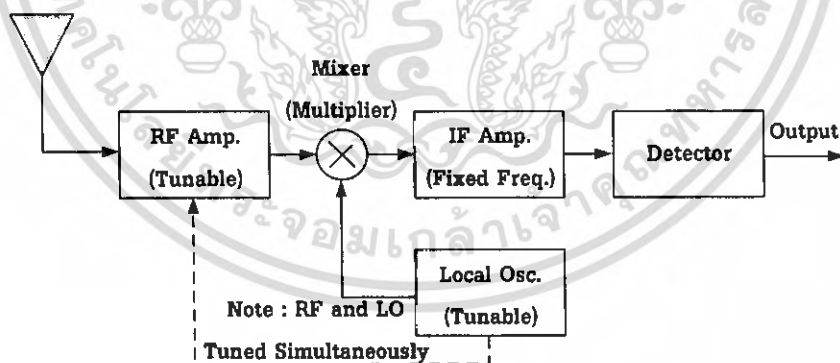
1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการของ AM Superheterodyne Receiver ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถต่อ AM Superheterodyne Receiver ได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์        | 3 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

จากแผนผังการทำงานเป็นพื้นฐานของชุดรับของ Super heterodyne ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนผังการทำงานพื้นฐานของเครื่องรับวิทยุแบบ Superheterodyne

สัญญาณอินพุตเข้ามาที่ชุด RF Amp เป็นวงจรถนุสัญญาณความถี่ออสซิลเลเตอร์ จะกำหนดให้เป็นค่าของความถี่ที่เข้ามาทางด้าน RF ให้มีระดับความเหมาะสมกับสภาพทางด้านเอาต์พุต หากชุดรับ RF คือความถี่ ( $f_c$ ) แล้วจะได้

$$f_{LO} = f_c + f_{IF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

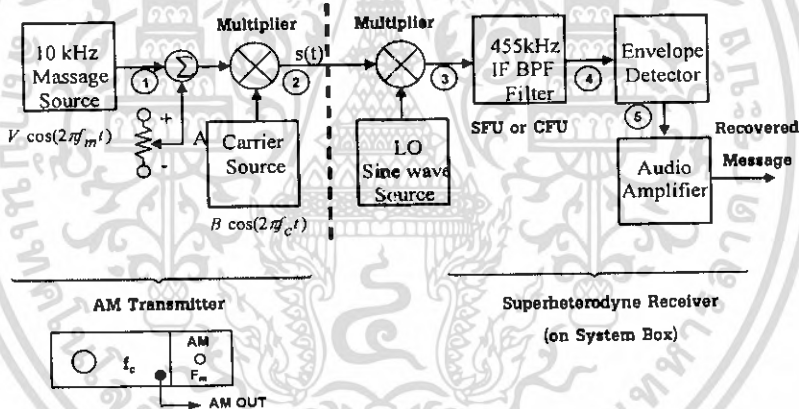
ที่  $f_{IF}$  คือ ค่าของความถี่ที่ได้จากชุดออสซิลเลเตอร์ที่อยู่เหนือกว่าความถี่ของคลื่นพาห์ ในส่วนใหญ่นั้นชุดรับสัญญาณ AM จะมี  $f_{IF} = 455 \text{ kHz}$  และ FM มี  $f_{IF} = 10.7 \text{ kHz}$

การรับชุดขยาย RF นั้นสามารถใช้วงจร LC ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของตัวเก็บประจุ และใช้ควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ ความถี่ออสซิลเลเตอร์อาจรับมาจากชุด synthesizer ซึ่งชุดขยาย RF สามารถที่จะใช้แรงดันที่ขับชุดออสซิลเลเตอร์ของความถี่ synthesizer นำมาควบคุมชุดขยาย RF ได้

### ลำดับขั้นการทดลอง

จำลองชุดรับของ Superheterodyne โดยการสร้างตามรูปที่ 6.2 ซึ่งแหล่งจ่ายคลื่นพาห์และแหล่งจ่ายรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 5 kHz

#### 1. ต่อดวงจรตามรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 วงจรเครื่องรับวิทยุแบบ Super heterodyne

2. กำหนดให้ฟังก์ชันแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นไซน์ที่จุด 1 ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร และป้อนความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 mVp-p เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ

3. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด 2 โดยปรับแอมพลิจูดการมอดูเลตที่ 50 % แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 6.3

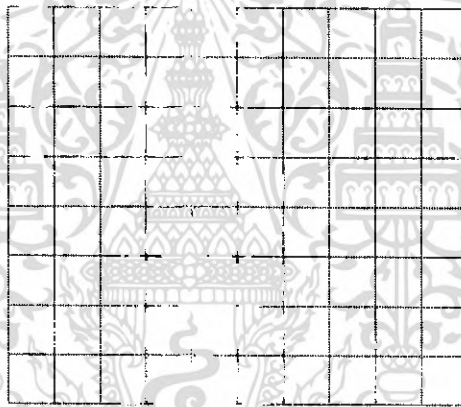
4. ป้อนความถี่ 955 kHz แอมพลิจูด 500 mVp-p เป็นสัญญาณ LO แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วัดสัญญาณเอาต์พุต ของภาค Multiplier ที่จุดที่ 3 แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 6.5
6. แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณที่จุด 4 และจุดที่ 5 แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ
7. เปลี่ยนจากสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 10 kHz เป็นการป้อนสัญญาณเสียงสังเกตุจากลำโพงว่าได้ยินเสียงหรือไม่อธิบายพอสังเขป บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 6.8

### ผลการทดลอง

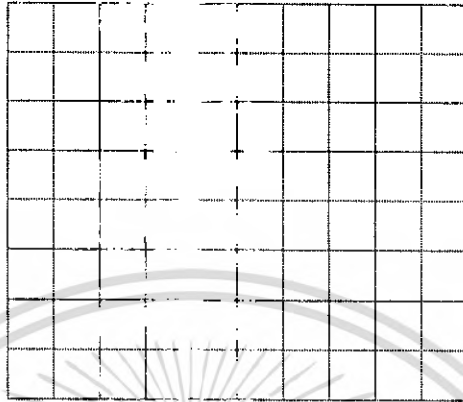
ตารางที่ 6.1 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ 10 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p ที่จุด 1



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

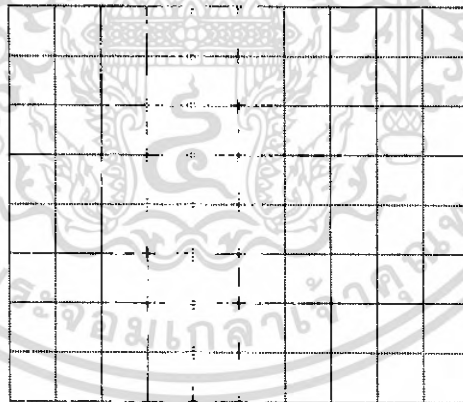
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 บ็อนสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ความถี่ 500 kHz แอมพลิจูด 200 Vp-p



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

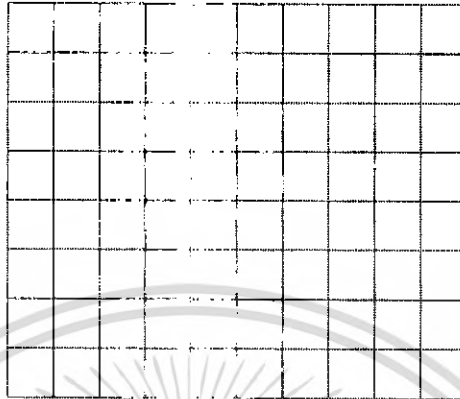
ตารางที่ 6.3 วัดสัญญาณแอมป์พุทที่จุด 2 โดยปรับปรับเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 50 %



Volt/Div : \_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_

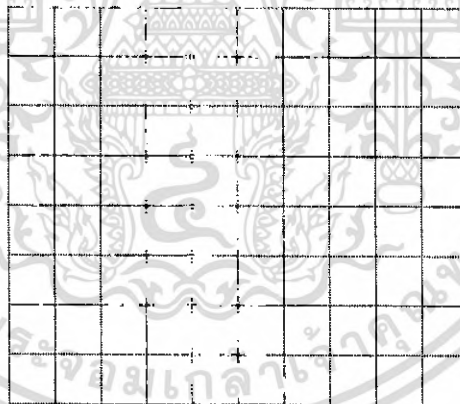
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ป้อนความถี่ 955 KHz แอมพลิจูด 500 mVp-p เป็นสัญญาณ LO



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

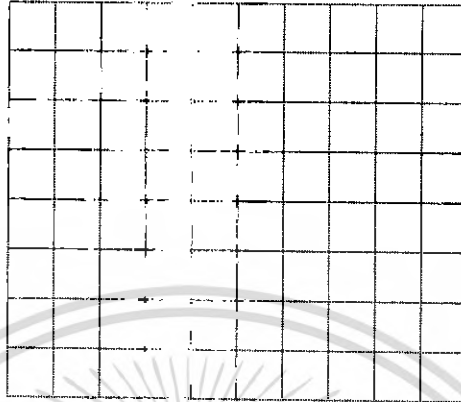
ตารางที่ 6.5 รูปคลื่นสัญญาณแอดด์พุด ที่จุด 2



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

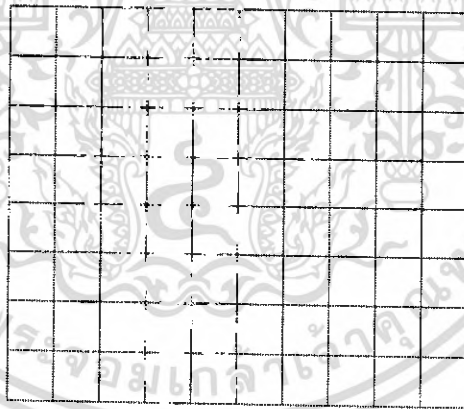
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 4



Volt/Div : \_\_\_\_\_ Time/Div : \_\_\_\_\_

ตารางที่ 6.7 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต ที่จุด 5



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 6.8 ป้อนสัญญาณเสียง

ชนิดของสัญญาณ	เสียงที่ได้ยิน	คุณภาพเสียง			
		ไม่ดี	พอใช้	ปานกลาง	ชัดเจน

## สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## คำถามท้ายการทดลอง

1. เครื่องรับวิทยุ AM ถือว่าเป็นเครื่องรับวิทยุแบบเบื้องต้นที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งาน ลักษณะเครื่องรับวิทยุ AM แบ่งออกได้เป็นกี่แบบ
2. จงบอกหลักการของเครื่องรับวิทยุ AM แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดนาม์
3. จงอธิบายหลักการทำงานภาคต่างๆของเครื่องรับวิทยุ AM แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดนาม์

## ใบงานที่ 7

### Demodulation of Local AM Broadcast Stations

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการ Demodulation of Local AM Broadcast Stations ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถเขียนรูปคลื่นสัญญาณหลักการ Demodulation of Local AM Broadcast Stations ได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

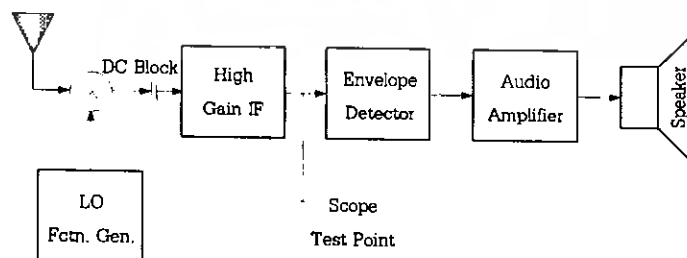
- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1. ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์         | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องออสซิลโลสโคป          | 1 เครื่อง |
| 3. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

เป็นการตีความดูเลขของ AM Broadcast Stations โดยใช้เกณฑ์การขยายสูงๆ เพื่อสร้างชุดรับของ Superheterodyne

#### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อกับจตามรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 AM Broadcast Super heterodyne Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับความถี่ฟังชั้นเจนเนอร์เรเตอร์เพื่อรับสถานีวิทยุ AM จาก 540 KHz ถึง 1600 KHz บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 7.1

### ผลการทดลอง

ตารางที่ 7.1 สถานีวิทยุ AM จาก 540 KHz ถึง 1600 KHz ที่สามารถรับได้

สถานี	ความถี่	รับสัญญาณได้	รับสัญญาณไม่ได้	สถานี	ความถี่	รับสัญญาณได้	รับสัญญาณไม่ได้
1.	540			31.	1080		
2.	558			32.	1098		
3.	576			33.	1116		
4.	594			34.	1134		
5.	612			35.	1152		
6.	630			36.	1170		
7.	648			37.	1188		
8.	666			38.	1206		
9.	684			39.	1224		
10.	702			40.	1242		
11.	720			41.	1260		
12.	738			42.	1278		
13.	756			43.	1296		
14.	774			44.	1314		
15.	792			45.	1332		
16.	810			46.	1350		
17.	828			47.	1368		
18.	846			48.	1386		
19.	864			49.	1404		
20.	882			50.	1422		
21.	900			51.	1440		
22.	918			52.	1458		
23.	936			53.	1476		
24.	954			54.	1494		
25.	972			55.	1512		
26.	990			56.	1530		
27.	1008			57.	1548		
28.	1026			58.	1566		
29.	1044			59.	1584		
30.	1062			60.	1602		

## สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการ Demodulation of Local AM Broadcast มาพอเข้าใจ
2. ย่านความถี่วิทยุ AM ของประเทศไทยอยู่ที่ความถี่เท่าไร
3. จากการทดลอง ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกกับได้กี่สถานี
4. จากการทดลอง สถานีอะไรที่รับได้ดีที่สุด



## ใบงานที่ 8

### Frequency Modulation

#### วัตถุประสงค์

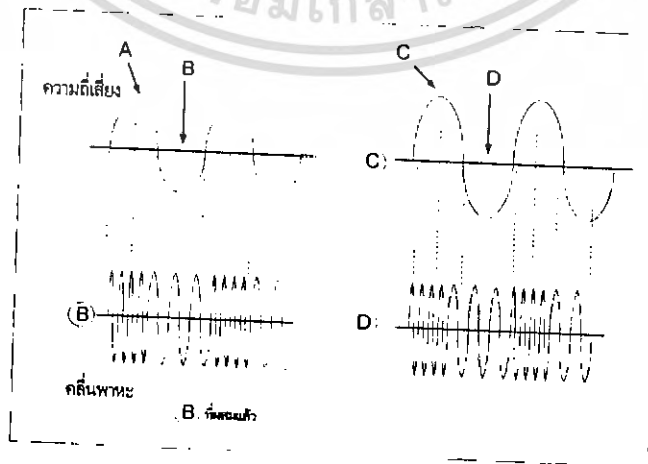
1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการมอดูเลตทางความถี่ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถปฏิบัติการมอดูเลตทางความถี่ได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถใช้ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. เครื่องออสซิลโลสโคป                   | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์          | 1 เครื่อง |
| 3. เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 | 1 เครื่อง |
| 4. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก          | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

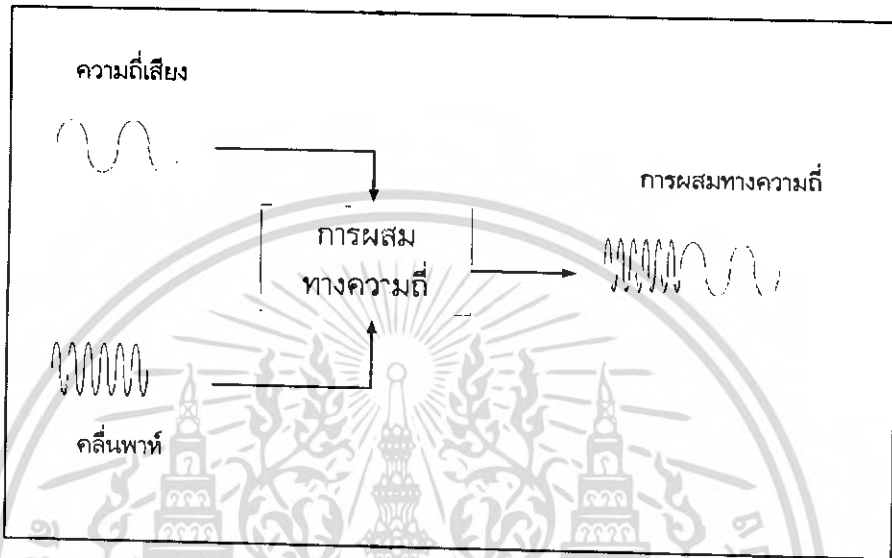
การผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation) การผสมคลื่นแบบ FM คือการผสมคลื่นที่สัญญาณเสียงไปควบคุมให้ความถี่พาห์เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ส่งเข้ามาควบคุม ความถี่คลื่นพาห์จะเพิ่มสูงขึ้นจากปกติ เมื่อมีสัญญาณช่วงบวกเข้ามาผสม และความถี่คลื่นพาห์จะลดต่ำลงจากปกติเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงลบเข้ามาผสม



รูปที่ 8.1 การผสมคลื่นเสียงเข้ากับคลื่นพาห์ในระบบ FM ที่มีสัญญาณเสียงมีความถี่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8.1 เป็นการแสดงหลักการผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาห้สัญญาณเสียงแรงเท่ากัน แต่ความถี่ต่างกัน รูป A, C, E สัญญาณเสียงมีความถี่ต่ำช่วงการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาห้จะกว้าง รูป B, D, F สัญญาณเสียงมีความถี่สูงช่วงการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาห้จะแคบ



รูปที่ 8.2 แผนผังการทำงานการผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation)

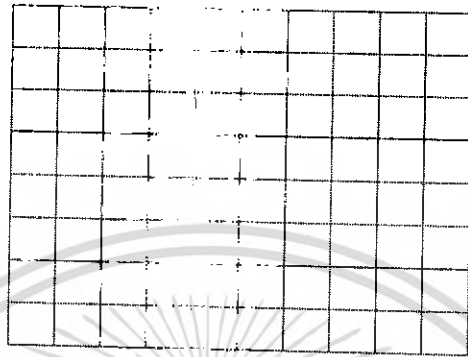
การผสมคลื่นแบบ FM ก็จะต้องมีอุปกรณ์ทำหน้าที่ผสมสัญญาณเข้าด้วยกัน คือ วงจรผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation) จะทำให้ความถี่คลื่นพาห้เปลี่ยนแปลงความสูงต่ำตามสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามา

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดให้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ 1 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 8.1
2. กำหนดให้ เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 ตั้งค่าความถี่สัญญาณพาห้ความถี่ 50 kHz แอมพลิจูด 1 V รูปสัญญาณคลื่นไซน์ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 8.2
3. ต่อสัญญาณข่าวสารเข้ากับเครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกรูปสัญญาณลงในตารางที่ 8.3

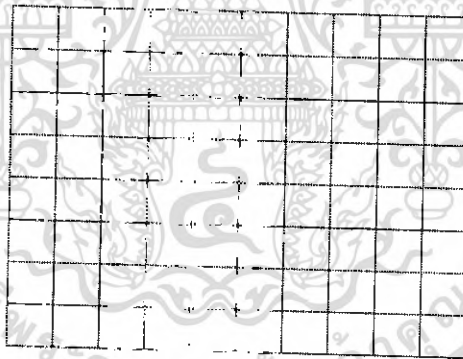
## ผลการทดลอง

ตารางที่ 8.1 รูปสัญญาณข่าวสารความถี่ 1 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

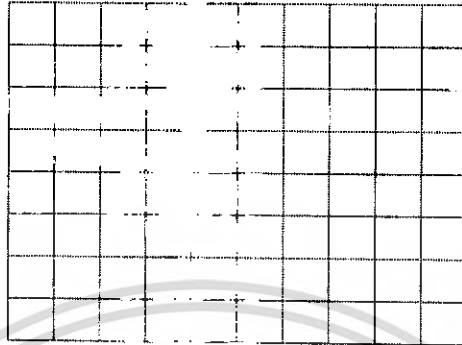
ตารางที่ 8.2 รูปสัญญาณคลื่นพริ้วความถี่ 50 kHz แอมพลิจูด 1 Vp-p



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 รูปสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

- 1.จงอธิบายความหมายของ การมอดูเลตทางความถี่
- 2.จงอธิบายรูปสัญญาณการมอดูเลตเมื่อปรับแรงดันของสัญญาณข้อมูลเพิ่มขึ้นจากเดิม
- 3.จงเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณระหว่าง การมอดูเลต แบบ AM กับ FM

## ใบงานที่ 9

### Frequency Demodulation

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายการตีความของสัญญาณความถี่ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถปฏิบัติการมอดูเลตทางความถี่ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกได้

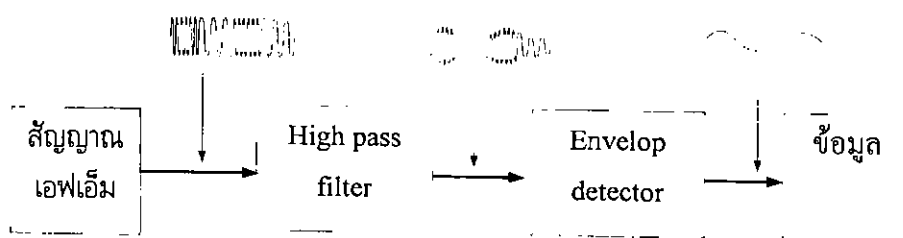
#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. เครื่องออสซิลโลสโคป                   | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์          | 1 เครื่อง |
| 3. เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 | 1 เครื่อง |
| 4. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก          | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

การตีความของสัญญาณความถี่ (Frequency Demodulation) เป็นการแยกสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณพาห้ที่ได้ทำการมอดูเลตมาในข้างต้น การตีความของสัญญาณสามารถทำได้หลายวิธีแล้วแต่การเลือกใช้วงจรเพื่อที่จะตีความของสัญญาณ

การมอดูเลตในใบงานนี้จะใช้วงจร High pass filter และวงจร Envelop detector ในการตีความของสัญญาณเอพเอ็มเพื่อที่จะทำการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณพาห้โดยในวงจร High pass filter จะให้ผ่านได้เฉพาะค่าความถี่ที่ตัดออฟชั่นไปที่จะสามารถผ่านวงจรนี้ได้ส่วนความถี่ต่ำจะไม่สามารถผ่านไปได้ ดังนั้นสัญญาณเอพเอ็มที่ผ่านวงจรนี้จะมีรูปสัญญาณคล้ายกับสัญญาณเอเอ็ม



รูปที่ 9.1 แผนผังการทำงานตีความของสัญญาณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

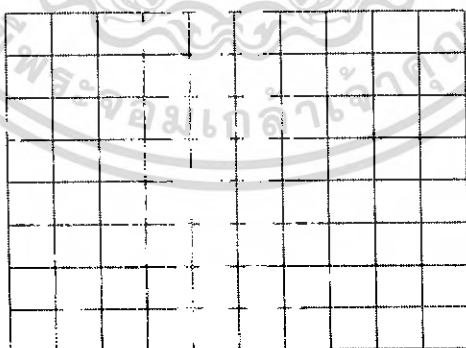
วงจร Envelop detector จะทำการดีเทกต์สัญญาณพาห์ออกให้เหลือเฉพาะข้อมูลที่ต้องการโดยในการดีเทคนั้นสัญญาณที่ได้จะเป็นส่วนขอบของสัญญาณที่ผ่านวงจร High pass filter มาส่วนความถี่พาห์ถูกบายพาสกราวด์

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดให้ ฟังก์ชันจันเนอเรเตอร์ บ้อนสัญญาณคลื่นไซน์ ความถี่ 1 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข่าวสาร แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกผลทดลองในตารางที่ 9.1
2. กำหนดให้ เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 ตั้งค่าความถี่สัญญาณพาห์ความถี่ 50 kHz แอมพลิจูด 1 V รูปสัญญาณคลื่นไซน์
3. ต่อสัญญาณข้อมูลเข้ากับเครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 9.2
4. ต่อสายสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 เข้ากับอินพุตของ High pass filter box แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 9.3
5. ต่อสายสัญญาณจากเอาต์พุตของ High pass filter box เข้ากับอินพุตของ Envelop detector box แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณ แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 9.4

### ผลการทดลอง

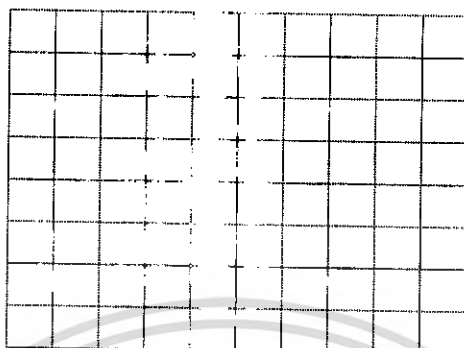
ตารางที่ 9.1 รูปสัญญาณข่าวสาร



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

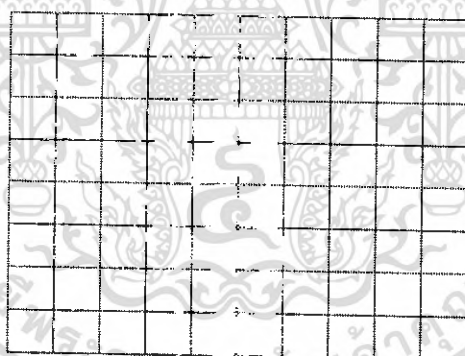
ตารางที่ 9.2 รูปสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

ตารางที่ 9.3 รูปสัญญาณมอดูเลตทางความถี่ที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

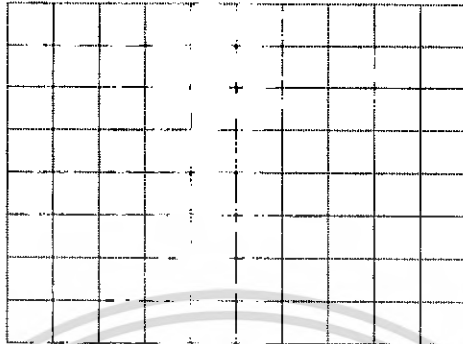


CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.4 รูปสัญญาณเมื่อดูเลตทางความถี่ที่ผ่านวงจรเอ็นวีลือปดีเทคเตอร์



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความหมายของการดีมอดูเลตทางความถี่
2. จงอธิบายรูปสัญญาณที่ผ่านวงจร High pass filter เมื่อทำการปรับค่าความถี่คัตออฟของวงจรเพิ่มขึ้นแล้วมีผลต่อสัญญาณข่าวสารที่ดีเทคเตอร์ได้หรือไม่

## ใบงานที่ 10

### Advance Frequency Modulation & Frequency Demodulation

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถประยุกต์การมอดูเลตและดีมอดูเลตทางความถี่กับสัญญาณรูปแบบต่างๆ ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถปฏิบัติการมอดูเลตและดีมอดูเลตทางความถี่กับสัญญาณรูปแบบต่างๆ ได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถใช้ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อกได้

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. เครื่องออสซิลโลสโคป                   | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์          | 1 เครื่อง |
| 3. เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 | 1 เครื่อง |
| 4. ชุดฝึกระบบการสื่อสารแอนะล็อก          | 1 ชุด     |

#### ทฤษฎีเบื้องต้น

การส่งข่าวสารข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุหน้าว่ามีบทบาท และมีความสำคัญในการใช้งานมากเพราะสามารถส่งข่าวสารข้อมูลไปได้เป็นระยะทางไกลมาก ในการผสมข้อมูลข่าวสารเข้ากับคลื่นพาห่นี้เป็นการนำข้อมูลข่าวสารเกาะติดไปกับคลื่นพาหะ การผสมข้อมูลข่าวสารเข้ากับคลื่นพาหะในระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุทำได้ 3 แบบด้วยกัน คือ AM, FM, PM การผสมคลื่นทางความถี่หรือแบบ FM คือ การนำข้อมูลข่าวสารไปผสมกับคลื่นพาหส์สัญญาณข้อมูลข่าวสารจะไปควบคุมให้คลื่นพาหส์มีความถี่พาหส์เปลี่ยนแปลงไปเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระดับสัญญาณข้อมูลข่าวสารช่วงบวกหรือช่วงลบ

แถบคลื่นความถี่ของการผสมคลื่นแบบ FM เป็นแถบคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นมาจากการนำข้อมูลข่าวสารผสมกับคลื่นพาหะแบบ FM เกิดความถี่พาหะใหม่ขึ้นเป็นจำนวนมากในรูปแถบความถี่ด้านข้างเป็นคู่ๆ กระจายออกไปห่างออกจากความถี่พาหส์เป็นลำดับ สามารถเขียนออกมาเป็นแถบคลื่นความถี่แบบ FM ได้ตามตารางเบสเซล ฟังก์ชัน ข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งวิทยุมี 2 ลักษณะ คือ ข้อมูลข่าวสารในรูปรหัสข้อมูลและข้อมูลข่าวสารในรูปสัญญาณ เครื่องส่งวิทยุที่ส่งข้อมูลข่าวสารออกไปมี 2 แบบ คือ แบบส่งคลื่นต่อเนื่องออกไป มักส่งในรูปรหัสต่างๆ เช่น รหัสมอร์ส ใช้งานในระบบวิทยุโทรเลข และแบบส่งคลื่นผสมออกไป เป็นหลักการของระบบวิทยุกระจายเสียงหรือระบบวิทยุสื่อสาร นำมาใช้งานในระบบวิทยุ AM ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FM ระบบวิทยุ PM ระบบวิทยุ FM สเตอริโอมีลติเพล็กซ์ระบบวิทยุ FM-SCA และระบบวิทยุสื่อสาร โทรทัศน์เป็นต้น

วิทยุกระจายเสียง FM ตามมาตรฐาน FCC มีความถี่อยู่ในช่วง 88 - 108 MHz ใช้แถบกว้าง (แบนด์วิดท์) แต่ละสถานี 200 kHz แบ่งออกเป็นแถบด้านข้าง (ไซด์แบนด์)  $\pm 75$  kHz และแถบป้องกัน (การ์ดแบนด์)  $\pm 25$  kHz แต่ละสถานีมีความถี่ใช้งาน 150 kHz และมีความถี่ป้องกันการรบกวนระหว่าง สถานี 50 kHz

การผสมคลื่นความถี่ระหว่างคลื่นเสียงกับคลื่นพาห์เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความถี่ผสมหลายความถี่ ออกมา ประกอบด้วยความถี่เสียง ( $f_m$ ) ความถี่พาหะ ( $f_c$ ) ความถี่ผลบวกของความถี่พาหะกับความถี่เสียง ( $f_c + f_m$ ) ความถี่ผลต่างของความถี่พาห์กับความถี่เสียง ( $f_c - f_m$ ) และความถี่ฮาร์โมนิก

การแยกคลื่นสัญญาณ คือขบวนการนำคลื่นผสมแบบ AM หรือแบบ FM มาทำการแยกเอาคลื่นเสียงออกจากคลื่นพาห์ เพื่อนำคลื่นเสียงนั้นไปใช้งานต่อไป การแยกคลื่นแบบ AM เป็นการตัดเอาสัญญาณคลื่น AM ออกไปซึ่งหนึ่งอาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบก็ได้ ใ้ผ่านภาคกรองความถี่กำจัดความถี่พาห์ออกไปให้เหลือเฉพาะคลื่นเสียง ส่วนการแยกคลื่นแบบ FM ต้องทำความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปของคลื่น FM ให้ได้ออกมาเป็นคลื่นเสียงโดยตรง โดยอาศัยเฟสสัญญาณของคลื่น FM ที่เปลี่ยนแปลงไปทำกลับออกมาให้เป็นคลื่นเสียง

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

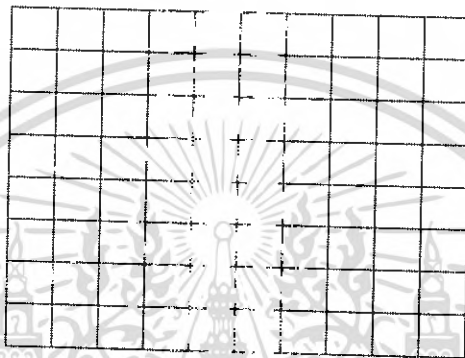
1. กำหนดให้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 kHz แอมพลิจูด 1Vp-p เป็นสัญญาณข้อมูลแล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.1
2. กำหนดให้ เครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 ตั้งค่าความถี่สัญญาณพาห์ความถี่ 50 kHz แอมพลิจูด 1 V รูปสัญญาณคลื่นไซน์ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.2
3. ต่อสัญญาณข้อมูลเข้ากับเครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.3
4. ต่อสายสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องมอดูเลตทางความถี่ รุ่น CFG-253 เข้ากับอินพุตของ High pass filter แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.4
5. ต่อสายสัญญาณจากเอาต์พุตของ High pass filter เข้ากับอินพุตของ Envelop detector box แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.5
6. ทำซ้ำจากข้อ 1 ถึงข้อ 5 อีกครั้งแต่เปลี่ยนรูปสัญญาณข้อมูลเป็นสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมแล้ว บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.6 - 10.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ป้อนสัญญาณเพลงแทนสัญญาณข้อมูลและต่อสัญญาณเอาต์พุตของ Envelop detector box เข้ากับ Audio amplifier จากนั้นฟังเสียงแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 10.11

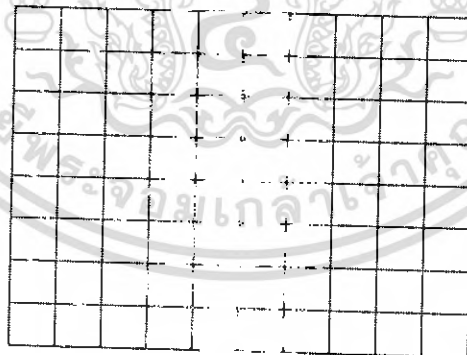
### ผลการทดลอง

ตารางที่ 10.1 รูปสัญญาณชั่วคราว



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

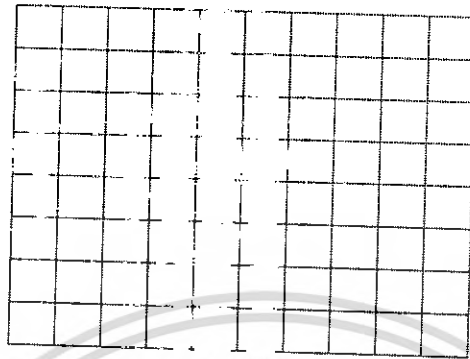
ตารางที่ 10.2 รูปสัญญาณคลื่นพาร์



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

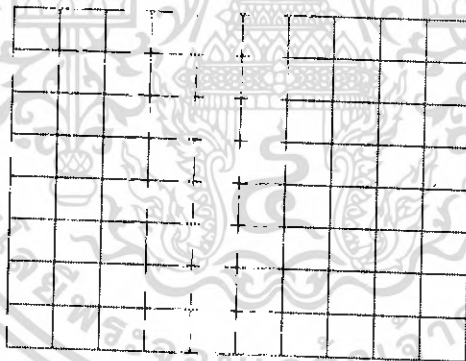
ตารางที่ 10.3 รูปสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

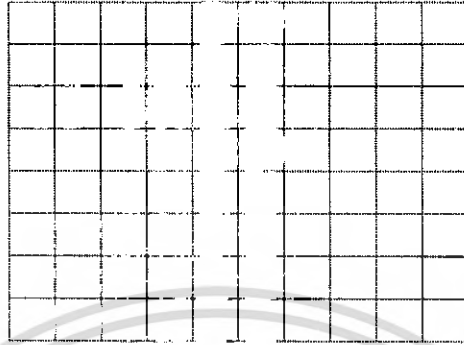
ตารางที่ 10.4 รูปสัญญาณเอฟเอ็มที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

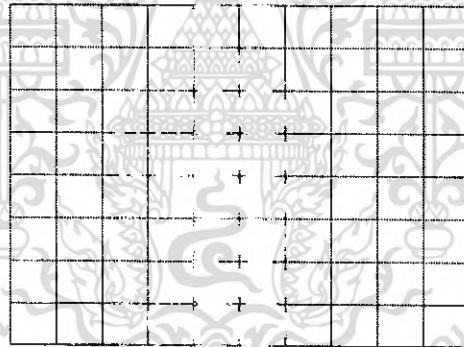
CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

ตารางที่ 10.5 รูปสัญญาณเอพเอ็มที่ผ่านวงจรเอนวีลีสอปดีเทคเตอร์



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

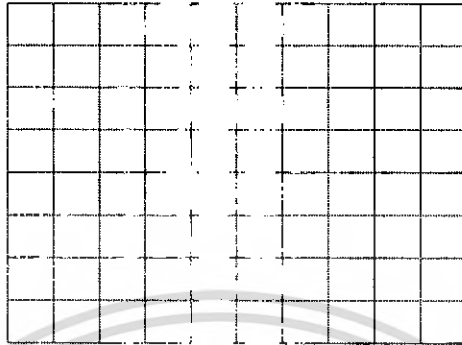
ตารางที่ 10.6 รูปสัญญาณข่าวสาร



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

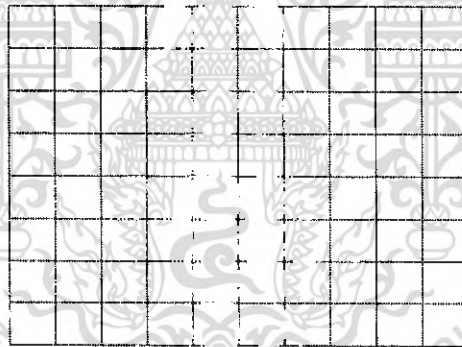
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10.7 รูปสัญญาณคลื่นพาร์



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

ตารางที่ 10.8 รูปสัญญาณมอดูเลตทางความถี่

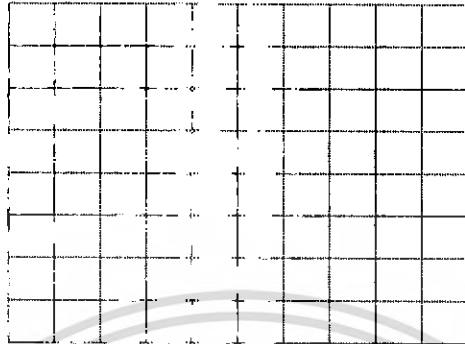


CH1 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

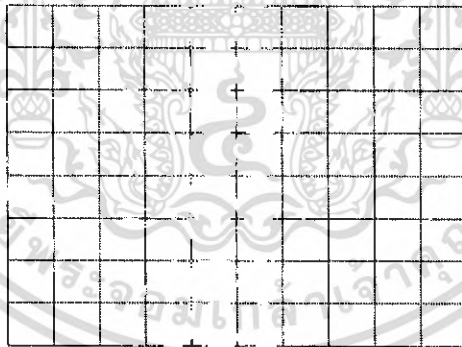
ตารางที่ 10.9 รูปสัญญาณแอมป์เอนิมที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

ตารางที่ 10.10 รูปสัญญาณแอมป์เอนิมที่ผ่านวงจรเอ็นวีลอปด์เทคเตอร์



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10.11 ลักษณะเสียงที่ได้ยินเมื่อป้อนสัญญาณแบบต่างๆ

ชนิดของสัญญาณ	เสียงที่ได้ยิน	คุณภาพเสียง			
		ไม่ดี	พอใช้	ปานกลาง	ชัดเจน

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การผสมข้อมูลสารเข้ากับคลื่นพาหะในระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุทำได้กี่แบบ อะไรบ้าง
2. ข้อมูลข่าวสารที่ส่งออกจากเครื่องส่งวิทยุมีกี่ลักษณะ อะไรบ้าง
3. แบนด์วิดธ์ของวิทยุกระจายเสียง FM ตามมาตรฐาน FCC แต่ละสถานีมีค่าเท่าไร
4. จงอธิบายความหมายและขบวนการแยกคลื่นสัญญาณ AM และ FM

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นางสาวนุจรีวรรณ อุไรรัตน์

วัน เดือน ปีเกิด

23 มีนาคม พ.ศ. 2527

ภูมิลำเนา

321/1 หมู่ 2 ตำบลฝาละมี อำเภอปากพะยูน  
จังหวัดพัทลุง 93120

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านควนพระศาครินทร์ จังหวัดพัทลุง

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนควนพระศาครินทร์ จังหวัดพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยการอาชีพบางแก้ว จังหวัดพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ทุนการศึกษา

ทุนงบประมาณประจำปีการศึกษา 2549

ความสนใจพิเศษ

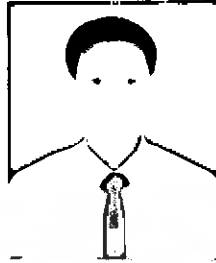
คอมพิวเตอร์เทคโนโลยี

คติพจน์

คิดดี ทำดี ย่อมดีกับตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายปฏิภาณ นามวัน	
วัน เดือน ปีเกิด	23 สิงหาคม พ.ศ. 2526	
ภูมิลำเนา	22 หมู่ 16 ตำบลดวนใหญ่ อำเภอวังหิน จังหวัดศรีสะเกษ 33270	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านดวนใหญ่	จังหวัดศรีสะเกษ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านดวนใหญ่	จังหวัดศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ	จังหวัดศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ	จังหวัดศรีสะเกษ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	
ความสนใจพิเศษ	คอมพิวเตอร์เทคโนโลยีและโทรคมนาคม	
คติพจน์	คนไม่มีชน คนไม่มีความรู้ ย่อมขึ้นสู่ที่สูงไม่ได้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายศรัณย์ ฤกษ์ใหญ่	
วัน เดือน ปีเกิด	22 มกราคม พ.ศ. 2527	
ภูมิลำเนา	12 หมู่ 4 ตำบลก้านเหลือง อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ 33120	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านชนวนลีแก้ว	จังหวัดศรีสะเกษ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกำแพง	จังหวัดศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยการอาชีพศรีสะเกษ	จังหวัดศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ	จังหวัดศรีสะเกษ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	
ความสนใจพิเศษ	คอมพิวเตอร์เทคโนโลยีและโทรคมนาคม	
คติพจน์	คนเขาต้องเผิงอาศัยกัน	คือตั้งปลาอาศัยน้ำ
	น้ำกะเผิงวังปลา	จึงส่องลอยนาน้ำ
	ทามอาศัยห้วย	จ้วควยอาศัยแอก
	ตาแฮกอาศัยไก่อัดม	จึงโดนตุ้มจากคอน
	คือตั้งคอนอาศัยไม้	นกใส่อาศัยใส่โคน
	คนกะอาศัยคน	เผิงกันโดยด้าม
	คามอาศัยหม้อ	หมอมมอาศัยส่อง
	ฆ้องอาศัยไม้ฆ้อง	ตีต้องจึงค่อยดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้