



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
 Video and Audio VHF Transmitter Training

ชื่อนักศึกษา 1. นายนพรัตน์ อ่อนยิ่ง รหัสประจำตัว 43035600
 2. นายณัฐวัฒน์ วรณอนุสรณ์ รหัสประจำตัว 43035601
 3. นายภาคภูมิ พลธร รหัสประจำตัว 43035603

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ยัวร์วิทย์ สมหา

คณะกรรมการสอบปริญญาโท		ลายมือชื่อ
1. ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม		
2. อาจารย์ยัวร์วิทย์ สมหา		
3. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ		
4. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์		
5. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์		

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.317 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



ภาควิชาฯรับรองแล้ว
 ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 11 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545



<BT4401132>

ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ

VIDEO AND AUDIO VHF TRANSMITTER TRAINING



นายพนรัตน์ อ่อนยิ่ง
นายฉัฐวัฒน์ วรรณอนุสรณ์
นายภาคภูมิ พลธร

ปพ.
ท 194 พ
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 43187
วัน, เดือน, ปี 12 6 ก.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 4

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ

Video and Audio VHF Transmitter Training

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวงจรมอดูเลตเชิงขนาด, วงจรมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรกำเนิดสัญญาณ, วงจรรวมสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณ
2. เพื่อออกแบบวงจรสำหรับชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
3. เพื่อสร้างชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
4. เพื่อวัดและทดสอบชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
5. เพื่อนำชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ ไปใช้ในการศึกษา
วิชาการระบบสื่อสารแอนะล็อก สาขาวิชาโทรคมนาคม แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง หลักสูตรช่างอุตสาหกรรม กรมอาชีวศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เรื่องการมอดูเลตเชิงขนาด, การมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรกำเนิดสัญญาณและ
วงจรรวมสัญญาณ
2. ได้วงจรสำหรับชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟช่อง 2 ความถี่
48 เมกะเฮิรตซ์
3. ได้ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
4. ได้ผลการวัดและทดสอบชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
5. ได้ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ ที่สามารถนำไปใช้ใน
การศึกษา วิชาการระบบสื่อสารแอนะล็อกในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงหลักสูตร
ช่างอุตสาหกรรม กรมอาชีวศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ
นักศึกษา	นายนพรัตน์ อ่อนยิ่ง นายณัฐวัฒน์ วรรณอนุสรณ์ นายภาคภูมิ พลธร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วรวิทย์ สมหา
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการศึกษาและการสร้างชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ โดยเป็นชุดฝึกเพื่อศึกษาหลักการของเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ ในการสร้างชุดฝึกได้แบ่งออกเป็น 5 ภาคการทำงานคือ ภาคแรกเป็นการมอดูเลตเชิงความถี่ ภาคที่สองเป็นภาควงจรรวมสัญญาณ ภาคที่สามเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ ภาคที่สี่เป็นการมอดูเลตเชิงขนาด และภาคสุดท้ายเป็นวงจรขยายสัญญาณ

จากการที่ได้สร้างชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟนี้ทำให้ได้ชุดฝึกเครื่องส่งซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนในห้องทดลองเพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

II

Thesis Title	Video and Audio VHF Transmitter Training
Students	Mr.Nopparat Onying Mr.Nattawat Wanna-anusorn Mr.Bhakhbum Phonthon
Advisor	Mr.Peerawut Suwanjan
Co-Advisor	Mr.Worawit Somha
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Telecommunication Engineering
Academic Year	2001

ABSTRACT

This thesis presents the Project of study and construction of VHF video and audio set that is for studying the principles of VHF video and audio. The construction is comprised of 5 part as follows: frequency modulation, Summing, Oscillator, Amplitudes Modulation and RF Amplifier.

The VHF video and audio project brings about the set that can be used in the laboratory so that the experiment can be done effectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ความร่วมมือจากสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ที่ร่วมกันทำงาน ขอบขอบคุณอาจารย์พระวุฒิ สุวรรณจันทร์ และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมทั้งยังให้ คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและ เอื้อเพื่อสถานที่ในการค้นคว้าหาข้อมูล สุดท้ายที่ควรจะระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา และมารดาที่เป็นผู้ให้ การสนับสนุนทางการศึกษา ด้านการเงินและเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมาตั้งแต่อดีตจนถึง ปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรทัศน์	4
2.2.1 ช่องสัญญาณและความถี่โทรทัศน์	4
2.2.2 การส่งสัญญาณภาพในระบบโทรทัศน์	6
2.2.3 การส่งสัญญาณเสียงในระบบโทรทัศน์	9
2.3 การมอดูเลต	10
2.3.1 การมอดูเลตเชิงขนาด	10
2.3.2 การมอดูเลตเชิงความถี่	15
2.4 วงจรรวมสัญญาณ	18
2.4.1 การผสมสัญญาณไฟกระแสดตรงกับกระแสลับเข้าด้วยกัน	18
2.5 วงจรขยายสัญญาณ	19
2.5.1 แรงดันไฟตรง	20
2.5.2 หน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัว	20
2.5.3 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณอาร์เอฟ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ	21
2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณคริสตอล	23
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	27
3.1 กล่าวนำ	27
3.2 ขั้นตอนการทำงาน	27
3.2.1 การมอดูเลตเชิงความถี่	28
3.2.2 วงจรรวมสัญญาณ	30
3.2.3 วงจรกำเนิดสัญญาณ	31
3.2.4 การมอดูเลตเชิงขนาด	37
3.2.5 วงจรขยายสัญญาณ	39
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	42
4.1 กล่าวนำ	42
4.2 การทดลองการมอดูเลตเชิงความถี่	42
4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	42
4.2.2 ผลการทดลอง	44
4.3 การทดลองวงจรรวมสัญญาณ	45
4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	45
4.3.2 ผลการทดลอง	48
4.4 การทดลองวงจรมอดูเลตเชิงความถี่	49
4.4.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	49
4.4.2 ผลการทดลอง	50
4.5 การทดลองวงจรขยายสัญญาณ	52
4.5.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	52
4.5.2 ผลการทดลอง	53
4.6 การทดลองวงจรมอดูเลตเชิงขนาด	53
4.6.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.6.2 ผลการทดลอง	54
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	55
5.1 บทสรุป	55
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	56
5.3 แนวทางการพัฒนา	57
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	58
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	62
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	65
ภาคผนวก ง ใบงานการทดลอง	71
ภาคผนวก จ เฉลยใบงานการทดลอง	113
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	153
บรรณานุกรม	193
ประวัติผู้แต่ง	194

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความถี่ใช้งานของโทรศัพท์มือถือวีไอเอฟ

5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของแถบความถี่สถานีโทรทัศน์ช่อง 2 ที่ใช้ในระบบโทรทัศน์	5
รูปที่ 2.2 ความถี่ของสัญญาณส่องสว่างและสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี	6
รูปที่ 2.3 แบบคัวิตซ์เบื้องต้นของสัญญาณ	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณที่ใช้ทางด้านเครื่องส่ง	7
รูปที่ 2.5 ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณภาพที่ใช้ทางเครื่องรับโทรทัศน์	8
รูปที่ 2.6 ลักษณะของความถี่กับขนาดสัญญาณภาพสำหรับโทรทัศน์สีระบบ PAL	8
รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้านเสียง	9
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่สูงสุดต่ำกว่า w	10
รูปที่ 2.9 รูปร่างของสัญญาณเบสแบนด์และสัญญาณเอเอ็ม	11
รูปที่ 2.10 สัญญาณเอเอ็มที่มีมอดูเลชันอินเด็กต่ำกว่าและสูงกว่า 1	12
รูปที่ 2.11 การแปรผันทางความถี่ของคลื่นพาห้โดยสัญญาณเสียง	15
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นเอฟเอ็มที่เกิดจากสัญญาณมีขนาดต่างๆ กัน	17
รูปที่ 2.13 วงจรรวมสัญญาณ	18
รูปที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณเครื่องรับเอฟเอ็มช่วงความถี่ 88 – 108 เมกะเฮิรตซ์	19
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณอาร์เอฟจากอินพุตของสายอากาศไปยังวงจรรวมสัญญาณ	21
รูปที่ 2.16 ระบบป้อนกลับเชิงเส้นแบบบวก	22
รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของคริสตอล	23
รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อเปิดวงรอบส่วนป้อนกลับ	24
รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลที่แปลงเป็น R_{eq} เพื่อหา $Z_L(j\omega)$	25
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียง ย่านความถี่วีเอชเอฟ	27
รูปที่ 3.2 วงจรมอดูเลตเชิงความถี่ที่ออกแบบ	29
รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลตเชิงความถี่ที่ใช้งานจริง	29
รูปที่ 3.4 วงจรรวมสัญญาณที่ออกแบบ	30
รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณคริสตอลที่ออกแบบ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณ	36
รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ออกแบบและใช้งาน	36
รูปที่ 3.8 วงจรมอดูเลตเชิงขนาดที่ออกแบบ	38
รูปที่ 3.9 วงจรสมมูลทางเอซึของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด	39
รูปที่ 3.10 วงจรไบอัสทางค้ำดิซี	39
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบ	41
รูปที่ 4.1 ส่วนของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่	42
รูปที่ 4.2 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์	43
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรมอดูเลตเชิงความถี่	44
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้จากจุดที่ 6 เมื่อใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด	44
รูปที่ 4.5 ส่วนของวงจรรวมสัญญาณ	45
รูปที่ 4.6 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณภาพ	46
รูปที่ 4.7 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 10 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณเสียง	46
รูปที่ 4.8 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพมาตรฐาน	47
รูปที่ 4.9 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณเสียง	47
รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกันของคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 10 กิโลเฮิร์ตซ์	48
รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกันของสัญญาณภาพมาตรฐาน กับสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์	48
รูปที่ 4.12 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณ	49
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณ	50
รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วัดได้จากจุดที่ 1 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ	50
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่วัดได้จากจุดที่ 2 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ	51
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่วัดได้จากจุดที่ 3 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ	51
รูปที่ 4.17 ส่วนของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.18 สัญลักษณ์เอาต์พุตที่ได้จากการมอดูเลตเชิงขนาดของสัญญาณ ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์กับสัญญาณขนาด 1 เมกะเฮิร์ตซ์	52
รูปที่ 4.19 ส่วนของวงจรถยายสัญญาณ	53
รูปที่ 4.20 สัญลักษณ์เอาต์พุตของวงจรถยายสัญญาณ	54
รูปที่ ก.1 ตัวเครื่องชุดฝึกภาคการมอดูเลตเชิงความถี่	59
รูปที่ ก.2 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรรวมสัญญาณ	59
รูปที่ ก.3 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรกำเนิดสัญญาณ	60
รูปที่ ก.4 ตัวเครื่องชุดฝึกภาคการมอดูเลตเชิงขนาด	60
รูปที่ ก.5 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรถยายสัญญาณ	61
รูปที่ ข.1 ลายวงจรของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่	63
รูปที่ ข.2 ลายวงจรของวงจรรวมสัญญาณ	63
รูปที่ ข.3 ลายวงจรของวงจรถยายสัญญาณ	63
รูปที่ ข.4 ลายวงจรของวงจรกำเนิดสัญญาณ	64
รูปที่ ข.5 ลายวงจรของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันเทคโนโลยีในโลกได้พัฒนาไปเร็วมาก การติดต่อสื่อสารก็พัฒนาไปมากเช่นกันซึ่งจะเห็นได้ว่าการสื่อสารในปัจจุบันมีความสะดวกสบายมาก ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดในโลกหรือแม้ว่าจะอยู่คนละซีกโลกก็สามารถติดต่อสื่อสารได้แค่เพียงกดปุ่มไม่กี่ปุ่มก็สามารถติดต่อกันได้แล้ว การที่การสื่อสารพัฒนามาได้จนถึงขณะนี้นั้นก็มาจากมนุษย์เรานั้นเองที่คิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีทางด้าน การสื่อสารให้รวดเร็ว สะดวกสบายขึ้น

การสื่อสารนั้นแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบดิจิทัลและระบบแอนะล็อก การสื่อสารระบบดิจิทัลนั้นพัฒนามาจากระบบแอนะล็อกและยังเป็นระบบที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นการพัฒนาระบบการสื่อสารในประเทศนั้นควรที่จะพัฒนาตั้งแต่ระดับพื้นฐานขึ้นมา

พื้นฐานในการพัฒนาระบบการสื่อสารก็คือการศึกษา การศึกษาจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและขาดเสียไม่ได้ การศึกษาจะพัฒนาไปมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ สิ่ง หลายๆ อย่าง เช่น สื่อ การเรียนการสอน สื่อการเรียนการสอนนั้นจะต้องมีเพียงพอ มีคุณภาพและครอบคลุมในเนื้อหาวิชานั้นๆ ด้วย หลักสูตรต้องปรับปรุงเสมอและครอบคลุม เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญของการศึกษา ถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งก็สามารถทำให้คุณภาพในการศึกษาลดลงไม่มีประสิทธิภาพตามที่คาดหวังไว้

การศึกษาจึงเป็นการพัฒนาระดับพื้นฐาน เพื่อที่จะสามารถศึกษาในระดับที่สูงขึ้นมาได้ การศึกษาในสาขานี้จึงต้องใช้สื่อการสอน เครื่องมือหรือชุดฝึกมากและทันต่อเทคโนโลยี แต่ในประสบการณ์ที่พบคือชุดฝึกที่ใช้ในการเรียนการสอนยังมีน้อยมาก ซึ่งชุดฝึกในวิชาการศึกษาระบบแอนะล็อกระดับ ปวส. ยังขาด ที่มีอยู่นั้นก็ชำรุดมาก หรือบางแห่งไม่มีชุดฝึกเลย ทางสถานศึกษาจึงจำเป็นต้องสั่งซื้อ ซึ่งชุดฝึกในวิชาการระบบสื่อสารแอนะล็อกนั้นมีราคาสูงมากและต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ จึงมีปัญหาทางด้านงบประมาณที่จะจัดซื้อ ซึ่งสถานศึกษาบางแห่งมีงบประมาณไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถสั่งซื้อชุดฝึกวิชาการระบบสื่อสารแอนะล็อกได้ ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำจึงเล็งเห็นปัญหาและต้องการสร้างชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ

1.2 จิตความสามารถของโรงงาน

- 1) สามารถใช้เป็นชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยาระบบสื่อสารแอนะล็อก ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง หลักสูตรช่างอุตสาหกรรม กรมอาชีวศึกษาได้
- 2) แบ่งภาคการทำงานออกเป็น 5 ภาคคือ ภาคการมอดูเลตเชิงขนาด, ภาคการมอดูเลตเชิงความถี่, ภาคกำเนิดสัญญาณ, ภาครวมสัญญาณและภาคขยายสัญญาณ
- 3) มีใบงานประกอบการทดลอง 5 ใบงานคือ การมอดูเลตเชิงขนาด, การมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรกำเนิดสัญญาณ, วงจรรวมสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณ
- 4) ภาคการมอดูเลตเชิงขนาดมีจุดทดสอบ 3 จุด
- 5) ภาคการมอดูเลตเชิงความถี่มีจุดทดสอบ 5 จุด
- 6) ภาควงจรกำเนิดสัญญาณมีจุดทดสอบ 4 จุด
- 7) ภาควงจรรวมสัญญาณมีจุดทดสอบ 3 จุด
- 8) ภาควงจรขยายสัญญาณมีจุดทดสอบ 3 จุด
- 9) สามารถเลือกค่าอุปกรณ์ได้ในจุดสำคัญต่างๆ ของวงจรเพื่อใช้ในการศึกษาในใบงานนั้นๆ
- 10) สามารถถอดแยกแต่ละภาคการทำงานออกจากกันได้แบ่งเป็นแต่ละใบงานและสามารถประกอบเป็นเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟช่อง 2 ความถี่ 48 เมกะเฮิรตซ์ได้
- 11) ใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟช่อง 2 ความถี่ 48 เมกะเฮิรตซ์ ระยะในการส่งสัญญาณไม่ต่ำกว่า 10 เมตร

1.3 เงื่อนไขโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการทำชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ โดยกล่าวถึงเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรทัศน์, การมอดูเลตเชิงขนาด, การมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรรวมสัญญาณ, วงจรขยายสัญญาณและวงจรกำเนิดสัญญาณ

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง จะกล่าวถึงวงจรที่นำมาใช้งาน คือ วงจรมอดูเลตเชิงขนาด, วงจรมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรรวมสัญญาณ, วงจรขยายสัญญาณและวงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลของการทดลอง วงจรมอดูเลตเชิงขนาด, วงจรมอดูเลตเชิงความถี่, วงจรรวมสัญญาณ, วงจรขยายสัญญาณและวงจรกำเนิดสัญญาณ

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและการพัฒนา กล่าวถึงขั้นตอนการสรุปผลในการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไขปัญหาและแนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง ใบงานการทดลอง

ภาคผนวก จ เฉลยใบงานการทดลอง

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในการทำโครงการนี้จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการเสียก่อนซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

- 1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรทัศน์
- 2) การมอดูเลต
- 3) วงจรรวมสัญญาณ
- 4) วงจรขยายสัญญาณ
- 5) วงจรกำเนิดสัญญาณ

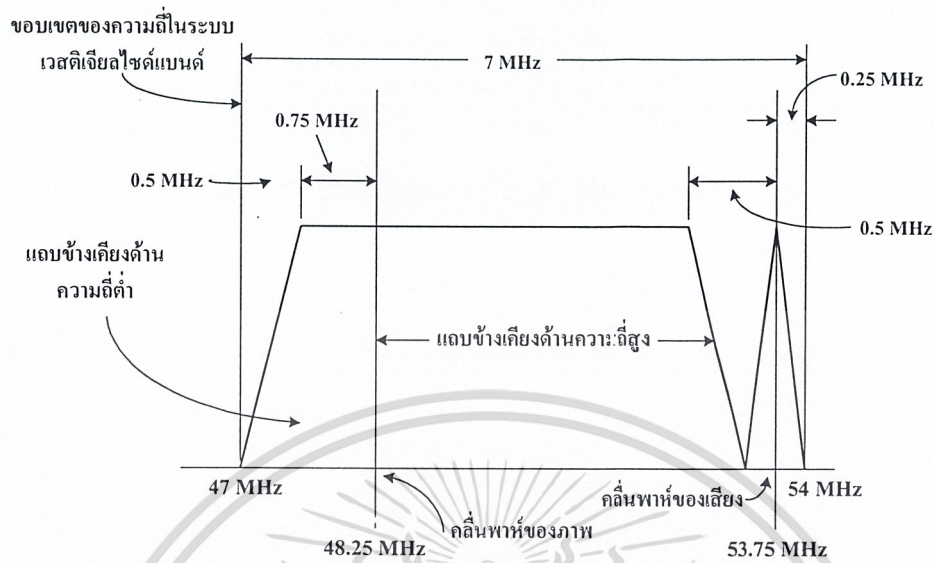
ทฤษฎีที่กล่าวมานี้จะมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรทัศน์

2.2.1 ช่องสัญญาณและความถี่โทรทัศน์

ลักษณะทั่วไปของเครื่องรับโทรทัศน์นั้น จะรับสัญญาณคลื่นโทรทัศน์ที่ถูกส่งมาจากสถานีส่งคลื่น เรียกว่าคลื่นอาร์เอฟ (Radio Frequency) โดยแต่ละสถานีส่งจะทำการส่งคลื่นอาร์เอฟออกอากาศในลักษณะที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่แถบความถี่ที่ใช้ทำการส่ง ซึ่งเป็นคนละแถบความถี่ โดยแต่ละความถี่จะถูกกำหนดให้ใช้แถบความถี่ได้จำกัดคือ ช่องสถานีละ 7 เมกะเฮิร์ตซ์

แถบความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณได้ถูกกำหนดเอาไว้คือ ช่องละ 7 เมกะเฮิร์ตซ์นี้ ภายในแถบความถี่ใช้งานดังกล่าว จะประกอบไปด้วยความถี่ของคลื่นพาห้ของภาพโดยกำหนดไว้ให้อยู่ห่างจากแถบความถี่ด้านต่ำเข้ามา 1.25 เมกะเฮิร์ตซ์ และความถี่ของคลื่นพาห้เสียงถูกกำหนดให้อยู่ห่างจากแถบความถี่ด้านสูงถัดเข้ามา 0.25 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นย่านความถี่ระหว่างคลื่นพาห้ของภาพและคลื่นพาห้ของเสียงของแต่ละช่องสถานีจะอยู่ห่างกัน 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์โดยมาตรฐานดังในรูปที่ 2.1 ส่วนแถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์แต่ละช่องสัญญาณก็เป็นไปตามตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของแถบความถี่สถานีโทรทัศน์ช่อง 2 ที่ใช้ในระบบโทรทัศน์

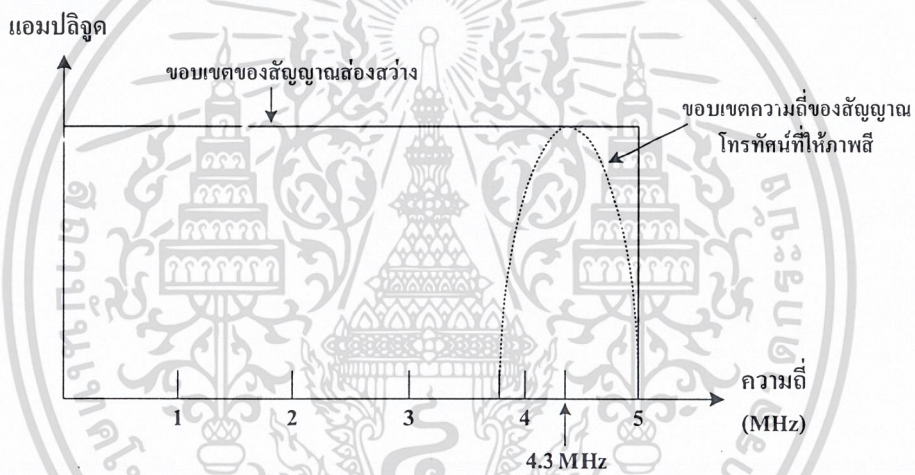
ตารางที่ 2.1 ความถี่ใช้งานของโทรทัศน์ย่านความถี่วีเอชเอฟ

ช่อง (วีเอชเอฟ)	ขอบเขตของความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	คลื่นพาห้ของภาพ (เมกะเฮิรตซ์)	คลื่นพาห้ของเสียง (เมกะเฮิรตซ์)
2	47 – 54	48.25	53.75
3	54 – 61	55.25	60.75
4	61 – 68	62.25	67.75
5	174 – 181	175.25	180.75
6	181 – 188	182.25	187.75
7	188 – 195	189.25	194.75
8	195 – 202	196.25	201.75
9	202 – 209	203.25	208.75
10	209 – 216	210.25	215.75
11	216 – 223	217.25	222.75
12	223 – 230	224.25	229.75

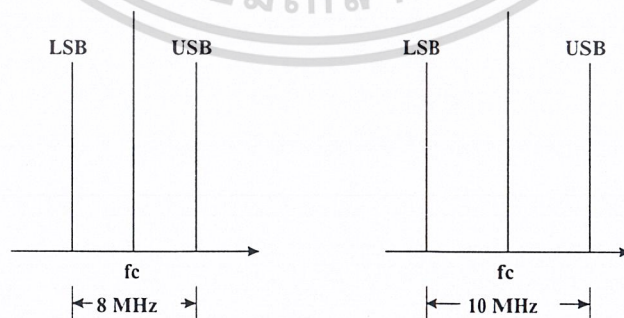
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การส่งสัญญาณภาพในระบบโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ขาวดำหรือสัญญาณสองสว่าง กับสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสีที่เครื่องส่งโทรทัศน์สีนำออกอากาศ นิยมใช้การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation (AM)) สำหรับสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำและสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสีโดยปกติการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบนี้สัญญาณที่ออกอากาศอาจเลือกให้อยู่ในลักษณะของไซด์แบนด์ข้างเดียว (Single Sideband) หรือไซด์แบนด์สองข้าง (Double Sideband) แต่เนื่องจากสัญญาณโทรทัศน์มีความถี่ของสัญญาณภาพกว้างขวางมาก ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 การส่งในลักษณะของไซด์แบนด์เดียวจึงไม่เหมาะ และการส่งผ่านในลักษณะของไซด์แบนด์สองข้าง



รูปที่ 2.2 ความถี่ของสัญญาณสองสว่างและสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี



(ก) แบนด์วิดธ์ขนาด 8 เมกะเฮิร์ตซ์

(จ) แบนด์วิดธ์ขนาด 10 เมกะเฮิร์ตซ์

รูปที่ 2.3 แบนด์วิดธ์เบื้องต้นของสัญญาณ

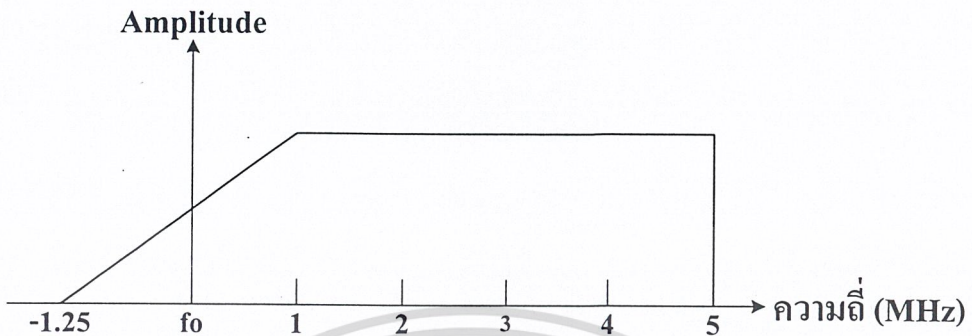
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งแบบเอเอ็มธรรมดาจากรูปที่ 2.3 จะพบว่าแบนด์วิดท์กว้างมาก ทำให้ย่านความถี่วีเอชเอฟส่งคลื่นสถานีโทรทัศน์ได้น้อยช่อง ดังนั้นวิธีการของระบบเอเอ็มที่เรียกว่าระบบเวสติเจิลไซด์แบนด์ จึงถูกหยิบยกมาใช้งาน วิธีการนี้จะใช้ไซด์แบนด์ที่แตกต่างกันออกไปจากระบบเอเอ็มธรรมดา จะพบว่าจะเกิดความถี่ข้างเคียงคือโลเวอร์ไซด์แบนด์ กับอัพเปอร์ไซด์แบนด์ ซึ่งไซด์แบนด์รวมทั้งหมดหากรวมเป็นสัญญาณภาพก็ยังคงได้เท่ากับ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ หากจะลดแบนด์วิดท์ลง สามารถทำได้โดยการมอดูเลชันแบบเอาไซด์แบนด์ออกข้างเดียวหรือระบบซิงเกิลไซด์แบนด์ ซึ่งระบบนี้จะทำการกดคลื่นพาห้ทิ้ง ดังนั้นการดีโค้ดเดอร์หรือดีมอดูเลตในเครื่องรับจะมีความซับซ้อนมากขึ้น อันอาจจะไม่สะดวกในการสร้างวงจรและนอกจากนั้นวิธีการมอดูเลต หรือการดีเทคเตอร์จะต้องสร้างความถี่คลื่นพาห้ขึ้นมานั่นเอง เหมือนวิทยุทหารในวงการทหาร เมื่อเป็นเช่นนี้เราจะใช้ดีเทคเตอร์สัญญาณภาพด้วยวิธีง่ายๆ ได้อย่างไร ข้อมูลภาพเป็นข้อมูลบรอดคาสต์จึงมิใช่ข้อมูลทางราชการแต่อย่างใด จึงมีการนำระบบเวสติเจิลไซด์แบนด์ ดังแสดงกรรมวิธีไว้ในรูปที่ 2.4 วิธีการนี้ ขอมให้อัพเปอร์ไซด์แบนด์ออกไปได้เต็มที่ ในขณะที่โลเวอร์ไซด์แบนด์ออกได้เพียงเล็กน้อย นั่นหมายความว่าวิธีการนี้มีได้กดคลื่นพาห้ทิ้งเหมือนระบบไซด์แบนด์ทั่วไป จึงทำให้วงจรดีเทคเตอร์ในภาครับสามารถดีเทคเตอร์ได้ด้วยวงจรธรรมดา



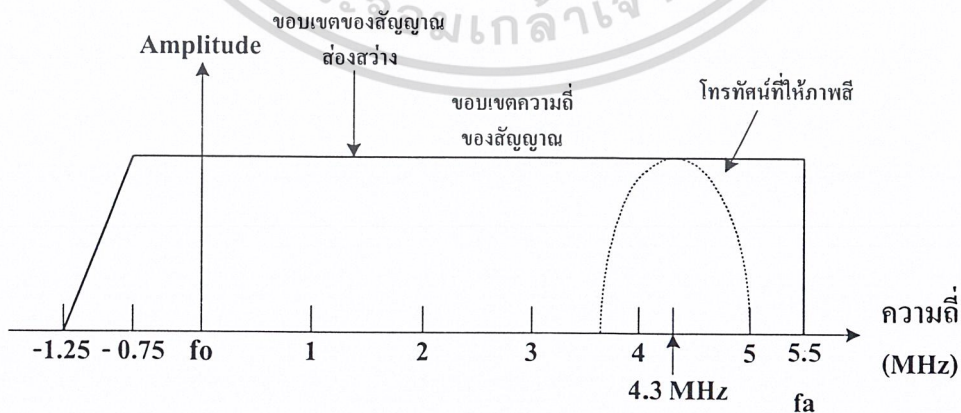
รูปที่ 2.4 ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณที่ใช้ทางด้านเครื่องส่ง

ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณที่ใช้ทางด้านเครื่องส่งโทรทัศน์ จะเห็นได้ว่า เครื่องส่งจะส่งไซด์แบนด์ด้านสูงเต็มที่ แต่จะส่งไซด์แบนด์ด้านต่ำเพียงบางส่วนไม่เกิน 1.25 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณภาพที่ใช้ทางเครื่องรับโทรทัศน์

ลักษณะของความถี่กับขนาดของสัญญาณภาพที่ใช้ทางด้านเครื่องรับโทรทัศน์จะเห็นว่าระหว่างความถี่ 1.25 เมกะเฮิร์ตซ์ จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเริ่มจากศูนย์ไปหาค่าสูงสุด และหลังจากนั้นก็จะมีค่าคงที่ รูปที่ 2.6 เป็นรูปแสดงถึงลักษณะความถี่กับขนาดของสัญญาณ (Frequency Amplitude Characteristics) ในโทรทัศน์สีระบบ PAL ซึ่งมีความถี่ของคลื่นพาห้ด้านภาพจะอยู่ห่างจากความถี่ของคลื่นพาห้ด้านเสียงประมาณ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ คลื่นพาห้ด้านภาพจะอยู่สูงกว่าขอบล่างสุดของช่องโทรทัศน์ 1.25 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนคลื่น พาห้ด้านเสียงจะอยู่ต่ำกว่าขอบบนสุดของช่องโทรทัศน์ 0.25 เมกะเฮิร์ตซ์ รวมความกว้างของช่องโทรทัศน์ในระบบนี้จะมีประมาณ 7 เมกะเฮิร์ตซ์

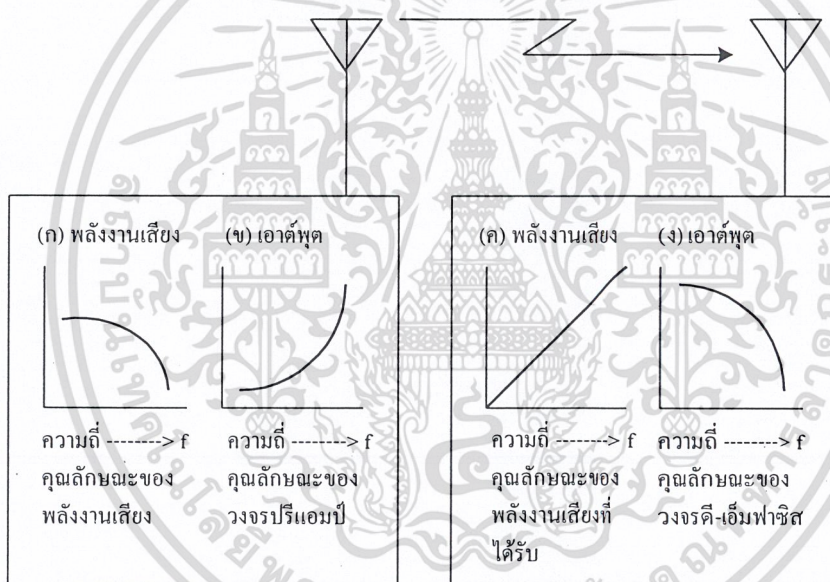


รูปที่ 2.6 ลักษณะของความถี่กับขนาดสัญญาณภาพสำหรับโทรทัศน์สีระบบ PAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การส่งสัญญาณเสียงในระบบโทรทัศน์

สัญญาณเสียงของโทรทัศน์สีที่นำออกอากาศ จะใช้ระบบมอดูเลตความถี่โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนความถี่ได้สูงสุดได้ไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีค่าคงตัวของเวลาในวงจรถรี - เอ็มฟาซิส หรือวงจรถรี - เอ็มฟาซิส ทางด้านการรับจะช่วยทำให้คุณลักษณะของเสียงที่เครื่องรับโทรทัศน์ได้รับฟังได้ดีขึ้น ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยรูปที่ 2.7 (ก) เป็นคุณลักษณะของพลังงานเสียงที่ส่งไปให้ เครื่องรับกับความถี่ของเสียง รูปที่ 2.7 (ข) เป็นคุณลักษณะของวงจรถรี - เอ็มฟาซิส ทางด้านเครื่องส่งโทรทัศน์ ซึ่งช่วยยกระดับพลังงานเสียงที่มีความถี่สูงๆ รูปที่ 2.7 (ค) เป็นพลังงานเสียงที่เครื่องรับโทรทัศน์รับได้ ซึ่งมีการยกระดับพลังงาน



รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณ โทรทัศน์ด้านเสียง

เสียงมีความถี่สูงขึ้นไปเรื่อยๆ อันไม่เป็นไปตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรถรี - เอ็มฟาซิส ซึ่งมีคุณลักษณะตามรูปที่ 2.7 (ง) ให้ช่วยยกระดับพลังงานเสียงที่มีความถี่สูง เพื่อให้เสียงที่เครื่องรับโทรทัศน์ได้มีลักษณะปกติ การใช้วงจรถรี - เอ็มฟาซิสทางด้านเครื่องส่ง และวงจรถรี - เอ็มฟาซิส ทางด้านเครื่องรับโทรทัศน์จะช่วยลดสัญญาณรบกวน (Noise) จากสัญญาณอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี

2.3 การมอดูเลต (Modulation)

ในการส่งสัญญาณเสียงหรือสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Signal) อื่นๆ ไปให้เครื่องรับ โดยตรงนั้นย่อมไม่ได้ผล เพราะสัญญาณดังกล่าวมีความถี่ต่ำไม่สามารถเดินทางไกลๆ ได้ และมีสเปกตรัมของความถี่อยู่ในย่านที่แตกต่างไปจากความถี่ช่องการสื่อสารที่มีอยู่ ดังนั้นย่อมมีความจำเป็นที่ต้องเคลื่อนย้ายย่านความถี่ของสัญญาณเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ของช่องสื่อสาร เพื่อที่จะได้สามารถส่งสัญญาณนั้นผ่านช่องสื่อสารไปได้ วิธีการที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายย่านความถี่ของสัญญาณเสียงนั้น ต้องอาศัยคลื่นพาห์ (Carrier) เป็นพาหะนำสัญญาณเหล่านั้นไปยังปลายทาง เราเรียกหลักการที่ผสมคลื่นพาห์ที่มีความถี่สูงกับคลื่นไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณเสียงแล้วส่งสัญญาณออกไปว่า การมอดูเลต (Modulation)

2.3.1 การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

1) รูปร่างของสัญญาณแอมพลิทูด

โดยทั่วไปสัญญาณแอนะล็อกเบสแบนด์ที่ทำการส่งนั้นจะมีความถี่สูงสุดที่มีค่าจำกัด เช่น สัญญาณเสียงที่หูคนเราฟังได้อาจจะสูงเพียง 15 กิโลเฮิร์ตซ์ และถ้าเป็นสัญญาณเสียงที่คนเราพูดกันโดยทั่วไปก็มักจะมีค่าไม่เกิน 4 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นต้น เมื่อเป็นเช่นนี้ถ้าเราให้ความถี่สูงสุดของสัญญาณเบสแบนด์เป็น w เฮิร์ตซ์ เมื่อเขียนสเปกตรัมของสัญญาณนั้นแบบแสดงความถี่ด้านบวกด้านเดียว และแบบแสดงความถี่ทั้งสองด้านจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

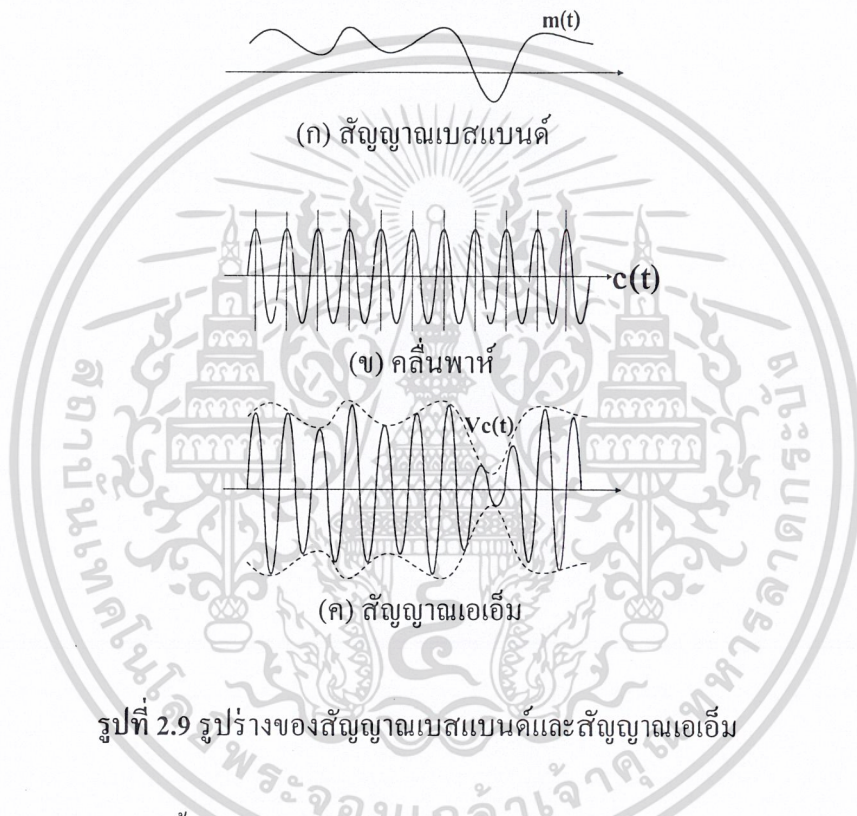


(ก) ความถี่ด้านบวกด้านเดียว

(ข) ความถี่ทั้งสองด้าน

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่สูงสุดต่ำกว่า w

ในกรณีที่แสดงความถี่สองด้านนั้นสเปกตรัมทางด้านบวกและด้านลบจะสมมาตรกัน และมีขนาดเป็น $1/2$ ของสเปกตรัมที่แสดงความถี่บวกด้านเดียว การมอดูเลตเชิงขนาดที่ใช้ในวิทยุเอเอ็ม โดยทั่วไปนั้นจะเป็นการสร้างสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 กล่าวคือเหมือนกับนำสัญญาณเบสแบนด์ไปขี่อยู่บนสัญญาณคลื่นพาห์ทำให้ยอดคลื่นของคลื่นพาห์หรือเอนเวลโลป (Envelop) เปลี่ยนไปตามสัญญาณเบสแบนด์นั้น



ในสภาพดังกล่าวนี้เราสามารถตีเทคสัญญาณเบสแบนด์กลับมาได้โดยใช้วงจรดีเทคเตอร์แบบง่าย ๆ ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้วิทยุเอเอ็มถูกนำมาใช้งานก่อน การตีเทคยอดคลื่นของคลื่นพาห์ที่เราเรียกว่า เอนเวลโลปดีเทคชัน (Envelop Detection) ซึ่งเป็นวิธีตีเทคสัญญาณเอเอ็มวิธีหนึ่ง สัญญาณเอเอ็มที่มีรูปร่างดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 เมื่อเขียนเป็นฟังก์ชันของเวลาจะเป็นดังนี้

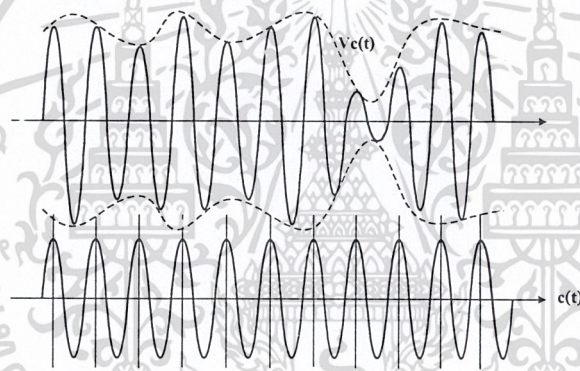
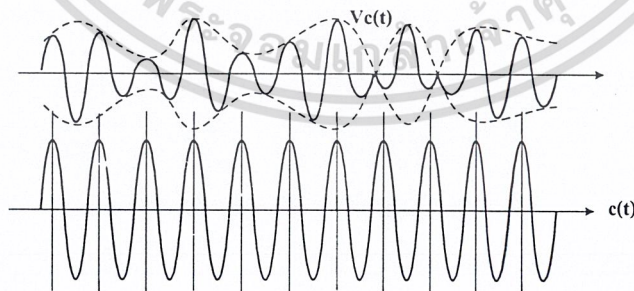
$$v_c(t) = \{A_c + v(t)\} \cos \omega_c t \quad (2.1)$$

โดย $A_c \cos \omega_c t$ เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ และ $v(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์ การแสดงค่าสัญญาณตามสมการ (2.1) นี้ถึงแม้จะเข้าใจง่ายเพราะแสดงอย่างตรงไปตรงมา แต่จะไม่ให้ความสะดวกในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_c(t) = A_c \{1 + m(t)\} \cos \omega_c t \quad (2.2)$$

โดยที่ $m(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่ถูกนอร์มอลไลซ์ไว้ด้วยค่า A_c และ $m(t)$ จะถูกเรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ซึ่งจะเป็นตัวชี้บ่งว่าสัญญาณคลื่นพาห้ถูกทำให้มีการเปลี่ยนระดับไปอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติคำว่า ดัชนีการมอดูเลตมักจะหมายถึงค่า $m(t)$ ที่มีขนาดสูงสุดและสัญญาณเอเอ็มที่สามารถดีเทคด้วยวิธีเอนวีโลปดีเทคชันจะต้องมี $|m(t)| < 1$ เสมอ ถ้า $m(t)$ มีค่าสูงกว่า 1 ก็จะทำให้เกิดการกลับเฟสตรงที่ $m(t) = -1$ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งวงจรดีเทคเอนเวลโลปจะไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางเฟสได้ จึงดีเทคเอนเวลโลปทางด้านบวกอยู่เสมอ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถดีเทคสัญญาณเบสแบนด์เดิมกลับมา

(ก) $|m(t)| < 1$ (ข) $|m(t)| > 1$

รูปที่ 2.10 สัญญาณเอเอ็มที่มีดัชนีการมอดูเลตต่ำกว่าและสูงกว่า 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่งในกรณีที่ $m(t)$ เป็นสัญญาณคลื่นไซน์ จะมีการนิยามเปอร์เซ็นต์ของมอดูเลชันในรูปแบบต่อไปนี้

$$m_a = \frac{\frac{(v_{\max} - v_{\min})}{2}}{\frac{(v_{\max} + v_{\min})}{2}} \times 100\% \quad (2.3)$$

2) การวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเอเอ็ม

สัญญาณเอเอ็มที่มีรูปร่างตามสมการ (2.1) หรือสมการ (2.2) นี้ ถ้าพิจารณาให้ดีจะเห็นว่าประกอบด้วย 2 เทอมด้วยกันคือ เทอมที่หนึ่งเป็นสัญญาณคลื่นพาห้ส่วนๆ ที่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงอะไร กับเทอมที่สองซึ่งเป็นผลคูณของสัญญาณเบสแบนด์กับสัญญาณคลื่นพาห้ เมื่อเป็นเช่นนี้เราจะสามารถทำฟูเรียร์ทรานสฟอร์มเพื่อหาสเปกตรัมของสัญญาณ คือ ถ้าให้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของ $m(t)$ เป็น $M(f)$ เราจะได้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของสมการ (2.2) ออกมาในรูปต่อไปนี้

$$V_c(f) = \frac{A_c}{2} \{ \delta(f + f_c) + \delta(f - f_c) \} + \frac{A_c}{2} \{ M(f + f_c) + M(f - f_c) \} \quad (2.4)$$

เมื่อนำสมการ (2.4) นี้ไปเขียนรูปของสเปกตรัมจะได้ผลตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2. สิ่งที่น่าสังเกตคือสเปกตรัมของสัญญาณเอเอ็มที่ได้นี้จะมีสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์โอบสเปกตรัมคลื่นพาห้ อย่างสมมาตรซ้ายขวา และเนื่องจากกรณีต่างๆ ไป ความถี่คลื่นพาห้จะสูงกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเบสแบนด์มากคือ $f_c \gg w$ เพราะฉะนั้นแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอเอ็มก็จะกลายเป็น $2W$ ในขณะที่สัญญาณเบสแบนด์ที่แบนด์วิดท์เป็น w ลักษณะดังกล่าวนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นลักษณะที่ใช้แบนด์วิดท์ มากเกินความจำเป็นเพราะข่าวสารจากสัญญาณเบสแบนด์นั้นมีอยู่อย่างครบถ้วนแล้วในไซด์แบนด์ด้านบน (Upper Sideband) หรือไซด์แบนด์ด้านล่าง (Lower Sideband) เพียงด้านเดียว เพราะฉะนั้นสัญญาณเอเอ็มจึงเป็นสัญญาณที่มีประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ต่ำ

ในลำดับต่อไปเราจะพิจารณากำลังเฉลี่ยของสัญญาณเอเอ็มจากสมการ (2.2) เราสามารถหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอเอ็มได้ดังนี้คือ

$$P_{AM} = \langle v_c^2(t) \rangle \\ = \frac{A_c^2}{2} \langle 1 + 2m(t) + m^2(t) \rangle + \frac{A_c^2}{2} \langle [1 + m(t)]^2 \cos 2\omega_c t \rangle$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{A_c^2}{2} [1 + 2 \langle m(t) \rangle + \langle m^2(t) \rangle] \quad (2.5)$$

เพราะว่า $\langle \cos 2\omega_c t \rangle = 0$ และ $m(t)$ เป็นสัญญาณแรนดัมที่มี $w \ll f_c$ และถ้าเราให้สัญญาณเบสแบนด์ไม่มีส่วนประกอบกระแสตรงอยู่ ซึ่งจะเป็นจริงในกรณีของสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ อีกหลายแบบจะได้ $\langle m(t) \rangle = 0$ สมการ (2.5) ก็จะเขียนได้เป็น

$$P_{AM} = \frac{A_c^2}{2} + \frac{A_c^2}{2} \langle m^2(t) \rangle \quad (2.6)$$

เทอมที่หนึ่งในสมการ (2.6) นี้จะเห็นได้ชัดว่าเป็นกำลังของคลื่นพาห้ ส่วนเทอมที่สองนั้นเป็นกำลังสัญญาณส่วนที่เหลือเป็นกำลังของไซด์แบนด์ด้านบนและไซด์แบนด์ด้านล่างรวมกัน และเนื่องจากไซด์แบนด์ด้านบนและด้านล่างมีความสมมาตรกันทุกประการ กำลังสัญญาณที่อยู่ในไซด์แบนด์ด้านบนและด้านล่างก็จะมีขนาดเท่ากันด้วย ดังนั้นถ้าเราให้ P_c และ P_{sb} แสดงกำลังของคลื่นพาห้และกำลังของสัญญาณที่อยู่ในไซด์แบนด์ด้านเดียว สมการ (2.6) จะเขียนได้ดังนี้

$$P_{AM} = P_c + 2P_{sb} \quad (2.7)$$

โดยที่

$$P_{sb} = \frac{A_c^2}{4} \langle m^2(t) \rangle = \frac{P_c}{2} \langle m^2(t) \rangle \quad (2.8)$$

และเนื่องจาก $|m(t)| \leq 1$ เสมอ ดังนั้น $\langle m^2(t) \rangle \leq 1$ เสมอด้วย และส่งผลให้ $P_{sb} \leq P_c/2$ เสมอ เมื่อแทนเงื่อนไขดังกล่าวนี้ลงในสมการ (2.7) จะได้ผลดังนี้

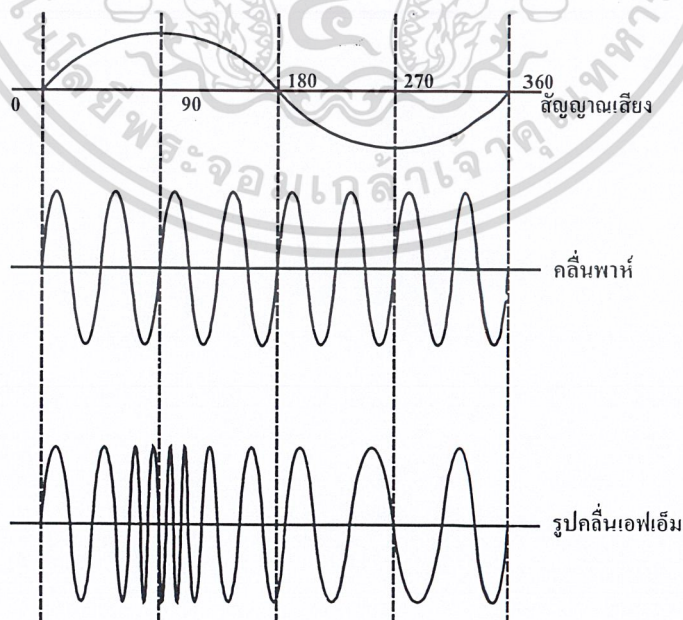
$$\begin{aligned} P_c &= P_{AM} - 2P_{sb} \geq P_{AM} - P_c \\ \therefore P_c &\geq \frac{1}{2} P_{AM} \\ \text{และ} \quad P_{sb} &\leq \frac{1}{4} P_{AM} \end{aligned} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้นี้จะสรุปได้ว่า กำลังเฉลี่ยกว่าครึ่งหนึ่งของสัญญาณเอเอ็มจะเป็นกำลังของสัญญาณคลื่นพาห้ซึ่งไม่มีข่าวสารอยู่ และกำลังของสัญญาณที่มีข่าวสารอยู่จะมีไม่ถึง 1/4 ของกำลังเฉลี่ย การใช้กำลังส่งในลักษณะที่กล่าวมานี้ก็จัดได้ว่าไม่มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับการใช้แบนด์วิดท์ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามการที่ระบบวิทยุกระจายเสียงเอเอ็มยังคงใช้สัญญาณที่ไม่สู้มีประสิทธิภาพนี้อยู่ก็เพราะว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเสียงไม่กว้างนัก และกำลังส่งที่เกินความจำเป็นนี้ไม่ค่อยเป็นปัญหา เพราะตัวสถานีกระจายคลื่นมักจะตั้งอยู่ในที่ที่มีกำลังไฟฟ้าให้ใช้ได้อย่างเต็มที่ แต่สำหรับกรณีที่มีข้อจำกัดเรื่องกำลังไฟฟ้า เช่น ในระบบรับส่งวิทยุที่ต้องมีการเคลื่อนย้ายและใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพวกแบตเตอรี่ เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ประสิทธิภาพของกำลังส่งก็จะกลายเป็นปัจจัยสำคัญไป และการมอดูเลตเชิงความถี่ก็จะไม่เหมาะกับงานประเภทนี้

2.3.2 การมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

ลักษณะของคลื่นเอฟเอ็ม การมอดูเลตเชิงความถี่และกรรมวิธีการรวมหรือฝากสัญญาณเข้ากับคลื่นพาห้ อีกวิธีหนึ่งในลักษณะที่ความถี่ของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตทั้งนี้ขนาดของคลื่นพาห้ยังคงที่ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของคลื่นพาห้ก่อนและหลังสัญญาณคลื่นถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณที่เป็นคลื่นรูปไซน์ รูปที่แสดงนี้เป็นเพียงตัวอย่างให้เข้าใจง่าย ในทางปฏิบัติความถี่ของคลื่นพาห้กับสัญญาณจะต่างกันมากกว่าที่แสดงไว้รวมทั้งสัญญาณปกติและเป็นคลื่นเชิงซ้อน แต่ผลที่ได้ก็เหมือนกับสัญญาณรูปไซน์



รูปที่ 2.11 การแปรผันทางความถี่ของคลื่นพาห้โดยสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงมอดูเลชัน ณ เวลาใดๆ ก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาห้จะขึ้นโดยตรงกับขนาดของสัญญาณในช่วงเริ่มต้นวัฏจักรของสัญญาณขนาดหรือแรงดัน เป็นผลให้คลื่นพาห้มีความถี่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ขณะสัญญาณมีขนาดเข้าใกล้ช่วงสูกทางบวก (Positive Peak) ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากและจะมากที่สุด ณ จุด 90 องศา และที่จุด 180 องศาขนาดของสัญญาณกลับคืนสู่ศูนย์โวลท์ ช่วงนี้ความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะเลื่อนกลับเข้าสู่ความถี่เดิม เหมือนกับตอนที่ไม่มีสัญญาณเข้ามามอดูเลต ถัดมาสัญญาณเข้าสู่ช่วง 270 องศาขนาดจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งแต่จะไปนทิศทางลบ จึงทำให้ความถี่ของคลื่นพาห้เริ่มเปลี่ยนไปในทางลบซึ่งหมายถึงความถี่ต่ำลงและต่ำที่สุด ณ จุด 270 องศา

ในทางปฏิบัติจะไม่คำนึงว่า ในครึ่งวัฏจักรบวกของคลื่นรูปไซน์ของสัญญาณจะเป็นผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาห้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจุดสำคัญอยู่ที่ว่า ความถี่ของคลื่นพาห้จะเปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงทางขนาดของสัญญาณ ทั้งหมดนี้พอสรุปได้ว่า

1) ความถี่ของคลื่นพาห้เปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอนตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันของสัญญาณตลอดเวลา นั่นคือ ในช่วงครึ่งวัฏจักรแรกของสัญญาณความถี่ของคลื่นพาห้จะสูงขึ้นและในช่วงครึ่งวัฏจักรหลังมีทิศทางตรงข้ามความถี่จะต่ำลง

2) ความถี่ของคลื่นพาห้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อขนาดของสัญญาณเป็นศูนย์

3) ความถี่ของคลื่นพาห้เริ่มขึ้นสูงสุดและลดลงต่ำสุดขณะที่ขนาดของสัญญาณมีค่าสูงขึ้น

1) ผลการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณ

ในคลื่นเอฟเอ็มนั้นความถี่ของคลื่นพาห้ที่เปลี่ยนแปลง ไปจากความถี่เดิมหรือความถี่ศูนย์กลางไปเล็กน้อยเท่าไร เรียกว่าความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) โดยถูกกำหนดด้วยขนาดสูงสุดของสัญญาณ ถ้าขนาดสูงสุดเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เบี่ยงเบนก็จะเปลี่ยนตามไปด้วยรูปที่ 2.12 แสดงถึงผลที่เกิดในคลื่นเอฟเอ็มเมื่อขนาดของสัญญาณสูงขึ้น แต่ความถี่ของมันยังคงที่อยู่เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบจึงใช้รูปคลื่นของสัญญาณซ้อนอยู่บนรูปคลื่นเอฟเอ็มให้สังเกตความเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเมื่อสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นดังในรูปที่ 2.12 (ข) (เกิดขึ้นที่ขนาดสูงสุดของสัญญาณ)

ในระบบเอฟเอ็มความถี่ชั่วขณะของสัญญาณพาห้จะแปรไปตามความแรงของสัญญาณที่นำมามอดูเลตหรือเบี่ยงเบนความถี่ ซึ่งถ้าต้องการความละเอียดของสัญญาณความถี่สูงครบถ้วนแถบความถี่ก็ต้องกว้างขึ้น ในทางปฏิบัติจะใช้แถบความถี่เบี่ยงเบนกับค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่นำมามอดูเลตก็เพียงพอ

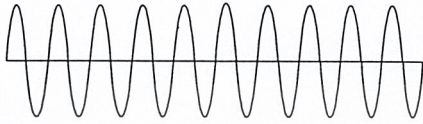
$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

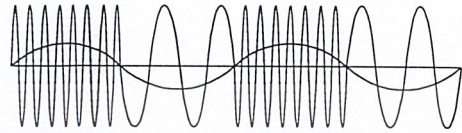
โดย m_f คือ ดัชนีการมอดูเลชัน (Modulation Index)

Δf คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของความถี่ที่ถูกมอดูเลตแล้ว หน่วย เฮิรตซ์

f_m คือ ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามามอดูเลต หน่วย เฮิรตซ์



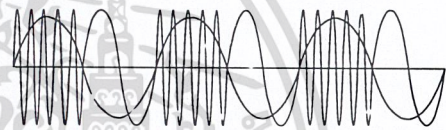
(ก) รูปคลื่นพาห้



(ข) รูปคลื่นเอฟเอ็มที่เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำ



(ค) รูปคลื่นพาห้



(ง) รูปคลื่นเอฟเอ็มที่เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณความถี่สูงกว่า

รูปที่ 2.12 รูปคลื่นเอฟเอ็มที่เกิดจากสัญญาณมีขนาดต่าง ๆ กัน

การที่จะส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ตามกฎ FCC กำหนดให้ความถี่คลื่นพาห้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุด ± 75 กิโลเฮิรตซ์ และความถี่ของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามาผสมคลื่นมีค่าสูงสุดได้ 15 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับภาคเสียงของโทรทัศน์มีค่าประมาณ 25 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนความถี่เบี่ยงเบนมีค่าสูงสุด ± 50 กิโลเฮิรตซ์

เมื่อเราได้ดัชนีการผสมคลื่น m_f มาแล้วเราสามารถหาค่าแบนด์วิดท์โดยประมาณ

$$B_w = 2(m_f + 1)f_m \quad (2.11)$$

โดย B_w คือ แบนด์วิดท์โดยประมาณ หน่วย เฮิรตซ์

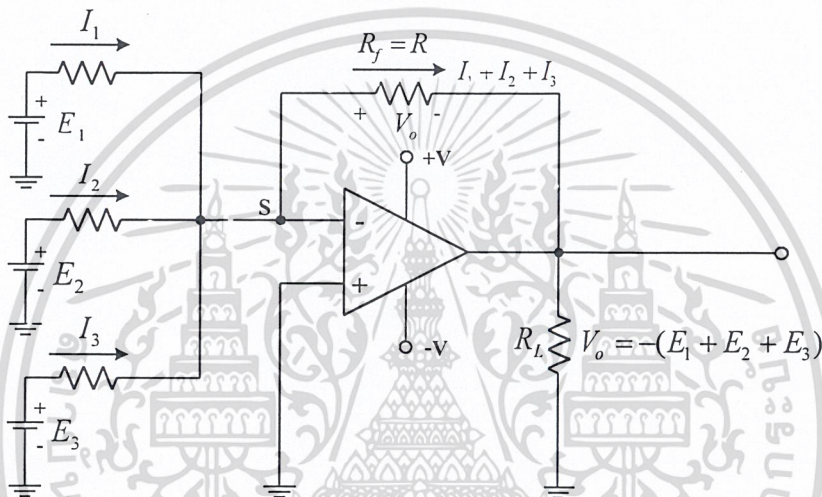
m_f คือ ดัชนีการมอดูเลต

f_m คือ ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลต หน่วย เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรรวมสัญญาณ (Summing)

ในวงจรรูปที่ 2.13 กระแสอินพุตทุกกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานป้อนกลับ R_f ไปทั้งหมด ดังนั้นกระแสแต่ละกระแสจึงไม่รบกวนกัน คือ I_1 , I_2 และ I_3 จะไม่มีผลต่อกัน เพราะเนื่องจากที่จุด S มีแรงดันเสมือนเป็นกราวด์ กระแสทุกกระแสจึงไหลมาที่จุดนี้เท่านั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือแหล่งจ่ายไฟทุกแหล่งไม่มีผลซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.13 วงจรรวมสัญญาณ

จากลักษณะของวงจรเช่นนี้จึงนำมาเพื่อใช้ในการผสมสัญญาณเสียงได้ โดยแทน E_1 , E_2 และ E_3 ด้วยไมโครโฟน สัญญาณไฟกระแสกลับจากไมโครโฟนทุกสัญญาณถ้าผสมกัน (บวกกัน) และสามารถผสมกันได้โดยทุกสัญญาณจะไม่กวนกัน ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การนำตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม มาต่อระหว่างไมโครโฟนและตัวต้านทานอินพุต นอกจากจะสามารถสร้างวงจรผสมเสียงได้แล้ว วงจรนี้ยังสามารถปรับตามความแรงของเสียง หรือสัญญาณจากไมโครโฟนแต่ละอันได้อีกด้วย

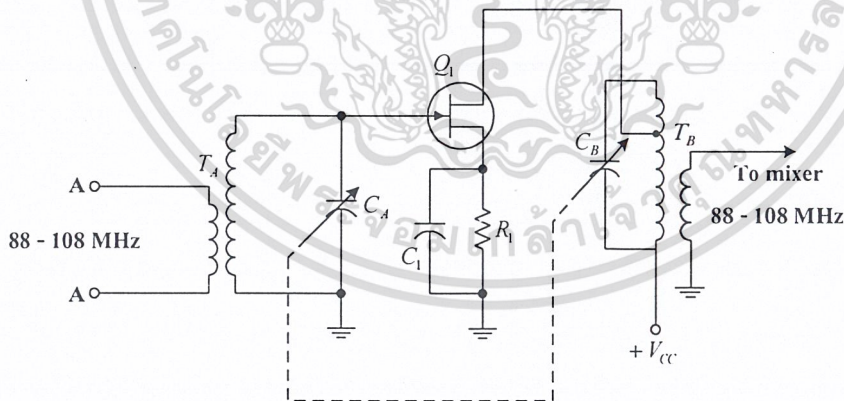
2.4.1 การผสมสัญญาณไฟกระแสตรงกับกระแสกลับเข้าด้วย

การใช้วงจรเพื่อผสมสัญญาณอาจใช้เพื่อผสมสัญญาณไฟกระแสตรงและสัญญาณไฟกระแสกลับก็ได้ ตัวอย่างเช่น สมมติว่าต้องการส่งสัญญาณเสียงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยใช้

แสงอินฟราเรด (Infrared Emitting Diode หรือ IRED) หรือแสง LED (Light – Emitting Diode) เริ่มแรกจำเป็นต้องไบอัสกระแสให้กับหลอดอินฟราเรดหรือ LED ด้วยไฟกระแสตรงก่อน จากนั้นถึงจะสามารถป้องกันสัญญาณเสียงซึ่งเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับเพื่อมอดูเลตสัญญาณให้ขึ้นไปจับบนสัญญาณไฟกระแสตรงอีกที (ถ้าไม่ป้องกันไฟกระแสตรงก่อน จะสามารถส่งสัญญาณที่เป็นบวกเท่านั้น สัญญาณในช่วงที่เป็นลบจะไม่สามารถส่งไปได้) ผลที่ได้คือ ความเข้มของสัญญาณแสงอินฟราเรดหรือแสงจาก LED จะแปรตรงกับสัญญาณเสียงได้อย่างถูกต้องทุกช่วงสัญญาณ

2.5 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรในรูปที่ 2.14 แสดงถึงวงจรขยายสัญญาณ ชนิดที่ใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจรเครื่องรับชนิดเอฟเอ็ม ซึ่งมีช่วงความถี่อยู่ระหว่าง 88 – 108 เมกะเฮิร์ตซ์ ในทางปฏิบัติเนื่องจากความแรงของสัญญาณอาร์เอฟ ที่ส่งมาจากสายอากาศนั้นค่อนข้างจะอ่อนมาก โดยเฉพาะความถี่ในย่านวีเอชเอฟ ดังนั้นภาควงจรขยายสัญญาณจะถูกใช้งานเพื่อขยายสัญญาณอาร์เอฟก่อนที่จะป้อนสัญญาณเข้าสู่วงจรภาคมิกเซอร์ต่อไป วงจรขยายสัญญาณช่วยให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อคลื่นรบกวนมีค่าสูงขึ้น ภาควงจรขยายสัญญาณอาจจะเรียกได้ในชื่อต่างๆ กัน เช่น วงจรพรีซีเร็กเตอร์ (Preselector) หรือ วงจรจูนเรดิโอเฟรเควนซีแอมป์ (Tuned Radio Frequency : TRF) เป็นต้น



รูปที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณเครื่องรับเอฟเอ็มช่วงความถี่ 88 – 108 เมกะเฮิร์ตซ์

ในอดีตก่อนที่วงจรซูเปอร์เฮเทอโรโรดายนซ์จะมีการคิดค้นนำมาใช้งาน เครื่องรับ TRF ได้ถูกนำมาใช้งานแล้วโดยการต่อวงจรแบบคาสเคด TRF เพื่อป้องกันสัญญาณสู่ภาคออกไดโอดเทคเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 2.14 Q_1 เป็นชนิดเอ็นแชนแนล JFET ซึ่งต้องการแรงดันที่ขาเดรนเป็นบวกและแรงดันที่ขาเกตเป็นลบสำหรับไบอัสกลับ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาเกตของ Q_1 เป็นสัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศซึ่งขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงสายอากาศ T_A จะถูกเซ็นเตอร์เท็ปเข้ากับเทอร์มินอล AA 2 เทอร์มินอลด้วยกัน จากนั้นเทอร์มินอลจะต่อเข้ากับสายส่งสัญญาณแบบทวินลีด (Twin – Lead Transmission Line) จากสายอากาศแบบไดโพล (Dipole Antenna) สำหรับแถบความถี่ 88 – 108 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนขดลวดทุติยภูมิจะถูกจูนโดย C_A เพื่อให้ได้แรงดันที่ความถี่สัญญาณอาร์เอฟที่ต้องการ

ที่วงจรเอาต์พุตสำหรับแตรอนิเล็กโทรด ขดลวดปฐมภูมิของ T_B จะถูกจูนให้ได้อัตราขยายสูงสุดโดยลดค่าอิมพีแดนซ์ Z_L ของวงจรเอาต์พุตลง ส่วนที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีการคัปเปิลสัญญาณอาร์เอฟที่ขยายสัญญาณแล้วไปยังวงจรมิกเซอร์ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ต่อกันอยู่แบบแก๊งคาปาซิเตอร์ร่วมกับวงจรโลคัลออสซิลเลเตอร์ (ซึ่งไม่ได้แสดงอยู่ ณ ที่นี้) ในวงจรขยายสัญญาณโดยทั่วๆ ไปเจเฟทและไอเจเฟทมักจะนิยมใช้กันมากทั้งนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแรงดันอินพุตที่ขาเกตได้ในช่วงกว้างซึ่งส่งผลให้เกิดการบิดเบือนของสัญญาณเนื่องจาก ครอสโมดูเลชัน (Cross Modulation) น้อยลงได้และจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของอุปกรณ์ 2 ชนิดนี้เฟทจะมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าทรานซิสเตอร์

2.5.1 แรงดันไฟตรง

แรงดันที่ขาเดรน (Drain Voltage) V_D จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ ผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_B เนื่องจากขดลวดจะมีแรงดันตกคร่อมน้อยมาก เพราะมีค่าความต้านทานต่ำ ดังนั้น V_D โดยปราศจากแรงดันตกคร่อม ณ จุดอื่นๆ เซลล์ไบอัส 1 โวลต์ ที่ขาซอร์สเกิดขึ้นจาก I_D ไหลผ่าน R_1 เนื่องจากขาเกตไม่มีกระแสไหลผ่าน ดังนั้นแรงดัน -1 โวลต์ จึงเกิดการวัดเทียบขาซอร์ส และเป็นแรงดันไบอัสย้อนกลับสำหรับ JFET

2.5.2 หน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัว

หน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรขยายสัญญาณสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

T_A เป็นหม้อแปลงสำหรับคัปปลิงสัญญาณอาร์เอฟที่ต่อมาจากสายอากาศ

T_B เป็นหม้อแปลงสำหรับคัปปลิงสัญญาณอาร์เอฟไปยังอินพุตของวงจรมิกเซอร์

C_A ตัวเก็บประจุจูนสัญญาณอาร์เอฟสำหรับอินพุตของสายอากาศ

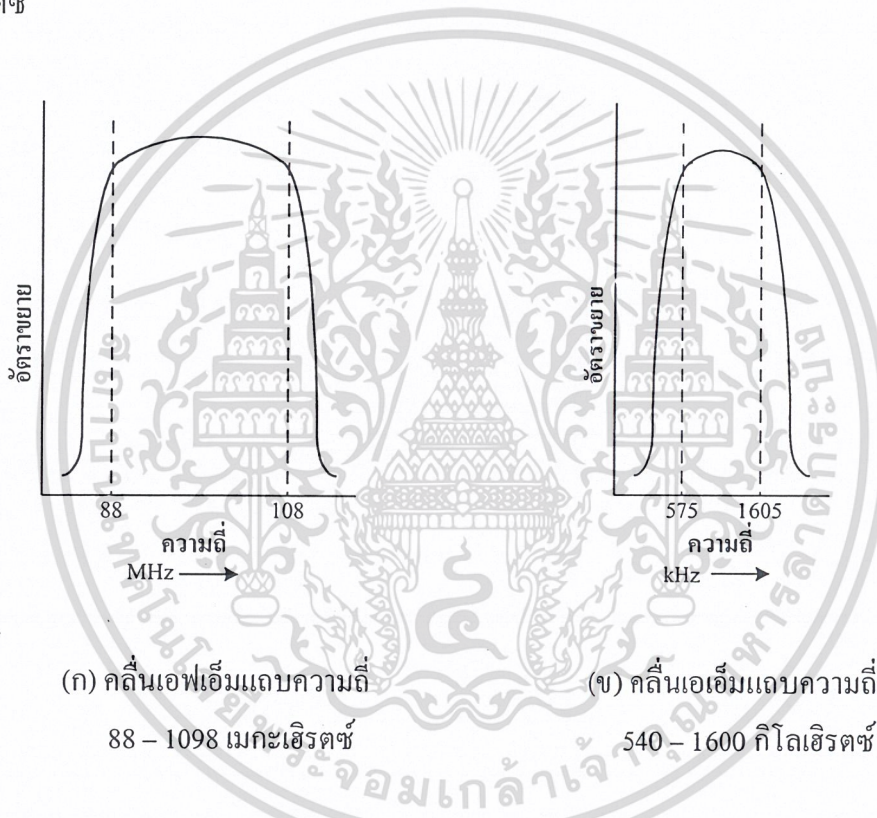
C_B ตัวเก็บประจุจูนสัญญาณอาร์เอฟสำหรับอินพุตของวงจรมิกเซอร์

R_1 ตัวต้านทานไบอัสขาซอร์ส

C_1 บายพาสคาปาซิเตอร์สำหรับ R_1

2.5.3 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณอาร์เอฟ

กราฟดังรูปที่ 2.15 แสดงถึงผลตอบสนองต่อสัญญาณอาร์เอฟซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราขยายอาร์เอฟสัมพันธ์จากอินพุตของสายอากาศไปยังวงจรมิกเซอร์โดยสัญญาณอาร์เอฟถูกแปลงไปเป็นสัญญาณไอเอฟในรูปที่ 2.15 (ก) แสดงถึงอัตราขยายอาร์เอฟในเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม ความถี่ในช่วง 88 – 108 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนในรูปที่ 2.15 (ข) แสดงถึงว่าวงจร RF มีอัตราขยายสัมพันธ์ที่ค่าคงที่ค่าเดียวเท่านั้น ตลอดย่านความถี่ในวงจรเครื่องรับวิทยุเอเอ็มความถี่ 575 – 1605 กิโลเฮิร์ตซ์



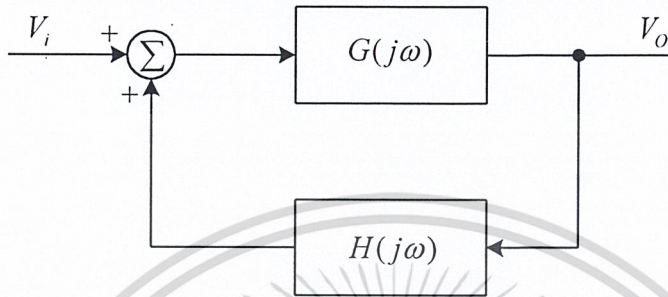
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณอาร์เอฟจากอินพุต
ของสายอากาศไปยังวงจรรวมสัญญาณ

2.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ

วงจรกำเนิดสัญญาณ คือ การเปลี่ยนแปลงไปมาของแรงดันหรือกระแสหว่างสูงสุดและต่ำสุดหรือกล่าวได้ว่า คือ วงจรกำเนิดสัญญาณนั่นเอง วงจรกำเนิดสัญญาณได้ถูกนำไปใช้ในระบบการรับและส่งของสัญญาณของเครื่องรับและเครื่องส่ง ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการรับและส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถ่ายสัญญาณอาจจะพิจารณาได้ว่าเป็นวงจรถ่ายที่ขาดเสถียรภาพโดยวงจรถ่ายให้เอาต์พุตอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะไม่มีอินพุต จากแผนผังการทำงานของระบบป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.16 ระบบป้อนกลับเชิงเส้นแบบบวก

จากรูปที่ 2.16 จะได้สมการของแรงดันเอาต์พุตว่า

$$V_o = \frac{V_i G(j\omega)}{1 - G(j\omega)H(j\omega)} \quad (2.12)$$

โดย $G(j\omega)$ คือ อัตราขยายวงรอบไปข้างหน้า (Forward Loop Gain)

$H(j\omega)$ คือ วงจรถ่ายป้อนกลับ (Feedback)

สำหรับวงจรถ่ายสัญญาณความถี่ V_o จะไม่เป็นศูนย์ถึงแม้ว่าจะไม่มี V_i ซึ่งเป็นเพราะอัตราขยายวงรอบหน้าเป็นอนันต์ (ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้) หรือถ้า

$$1 - G(j\omega)H(j\omega) = 0$$

ที่ความถี่ ω_c จะได้เงื่อนไขเสถียรภาพไนควิสต์ (Nyquist) ซึ่งก็คือเงื่อนไขของวงกลมการกำเนิดสัญญาณที่บางความถี่

$$G(j\omega)H(j\omega) = 1$$

นั่นคือจะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันวงรอบเปิด (Open Loop Transferfunction) มีขนาดเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|G(j\omega_0)H(j\omega_0)|=1 \quad (2.13)$$

และการเลื่อนเฟสของระบบเท่ากับ 0 องศา

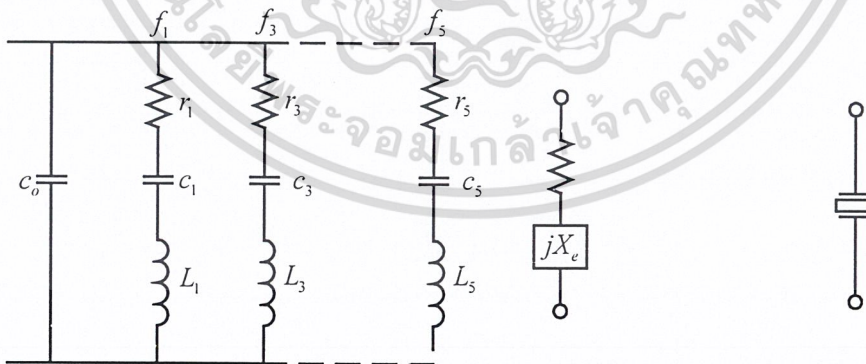
$$\arg G(j\omega_0)H(j\omega_0) = 0 \quad (2.14)$$

สำหรับการป้อนกลับแบบลบจะมีการเลื่อนเฟสของระบบเท่ากับ 180 องศา

$$\arg G(j\omega_0)H(j\omega_0) = 180 \quad (2.15)$$

วงจรถ่ายทอดสัญญาณคริสตอล

วงจรถ่ายทอดสัญญาณชนิดคริสตอลอาศัยการสั่นสะเทือนของผลึกคริสตอลที่ความถี่เฉพาะของแต่ละผลึก โดยขนาดกว้าง ยาวและหนาของผลึกจะเป็นตัวกำหนดความถี่ที่ผลิตออกมาซึ่งที่ความถี่ต่ำกว่า 20 เมกะเฮิร์ตซ์ คริสตอลจะสร้างควมถี่ที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental Mode) ส่วนความถี่ 20 – 60 เมกะเฮิร์ตซ์จะเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่สาม (Third Overtone Mode) และความถี่มีเสถียรภาพทางอุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น สำหรับคริสตอลมีวงจรถ่ายทอดรูปที่ 2.17



(ก) วงจรถ่ายทอด

(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 2.17 วงจรถ่ายทอดและสัญลักษณ์ของคริสตอล

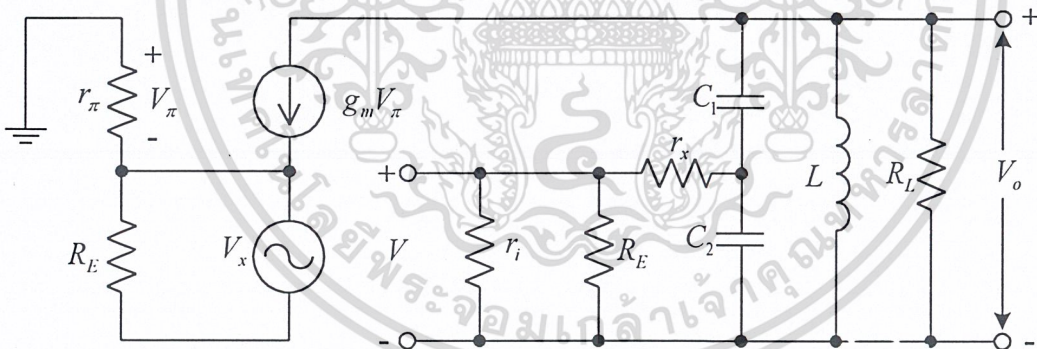
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกำเนิดสัญญาณชนิดคริสตอลแบ่งตามลักษณะการต่อใช้งานได้ 2 แบบคือ เรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel Mode Resonance) และเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Mode Resonance) ซึ่งในโครงการนี้ออกแบบคริสตอลเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Mode Resonance)

ที่ความถี่เรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่ารีแอกแตนซ์ของคริสตอลมีค่าเท่ากับศูนย์และค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับค่าความต้านทาน r_1 ดังนั้นคริสตอลจะยอมให้ความถี่ผ่านเฉพาะความถี่เรโซแนนซ์แบบอนุกรมเท่านั้น ซึ่งที่ความถี่อื่นคริสตอลจะมีอิมพีแดนซ์สูง

คริสตอลเรโซแนนซ์แบบอนุกรม สามารถปรับความถี่ได้ โดยการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับคริสตอล แต่จะสามารถปรับค่าความถี่ได้ในช่วงแคบๆ เท่านั้น

หลักการออกแบบวงจรแอมพลิฟายเออร์จะใช้การพิจารณาแบบวงจรถายที่ขาดเสถียรภาพ ซึ่งวงจรนี้จะเป็นระบบป้อนกลับแบบบวก ดังนั้นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันวงรอบปิด (Open Loop Transferfunction) มีค่าเท่ากับ 1 ดังสมการที่ 2.13 และการเลื่อนเฟสของระบบจะเท่ากับ 0 องศา ดังสมการที่ 2.14 และเมื่อทำการเปิดวงจรรอบส่วนป้อนกลับ (Open Loop Feedback) จะได้วงจรสมมูลดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อเปิดวงจรรอบส่วนป้อนกลับ

โดย r_x คือ ค่าความต้านทานภายในของคริสตอลที่ความถี่เรโซแนนซ์แบบอนุกรมซึ่งเท่ากับ r_1
 r_i คือ ค่าความต้านทานอินพุต

จากวงจรถายแบบเบสร่วมจะได้

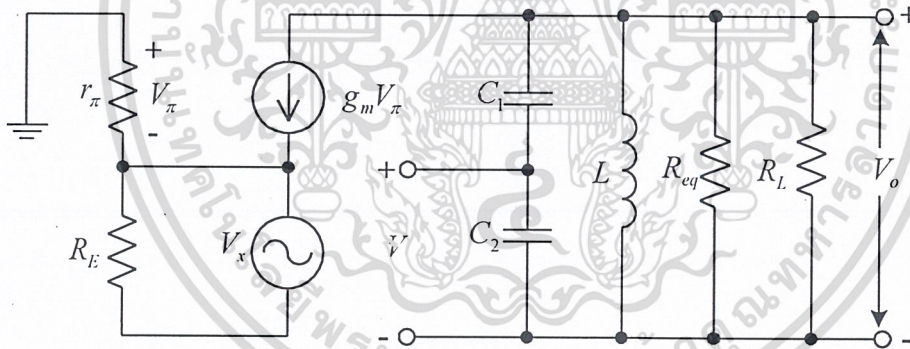
$$r_i = \frac{r_\pi}{\beta} \tag{2.16}$$

เมื่อ $R_E \gg r_i$ จะได้ค่าแรงดัน V เท่ากับ

$$V = V_o \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{r_i}{r_i + r_x} \tag{2.17}$$

จะได้วงจรขั้วป้อนกลับ (Feedback Network) เท่ากับ

$$H(j\omega) = \frac{V}{V_o} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{r_i}{r_i + r_x} \tag{2.18}$$



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลที่แปลงเป็น R_{eq} เพื่อหา $Z_L(j\omega)$

$$R_{eq} = r_i + r_x \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 \tag{2.19}$$

เมื่อ $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ และ $R_T = \frac{R_{eq} R_L}{R_{eq} + R_L}$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_L(j\omega) = \frac{j\omega LR_T}{R_T(1 - \omega^2 LC_T) + j\omega L} \quad (2.20)$$

ดังนั้นจะได้อัตราขยายวงรอบไปข้างหน้า (Forward Loop Gain)

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= g_m Z_L(j\omega) \\ &= \frac{g_m j\omega LR_T}{R_T(1 - \omega^2 LC_T) + j\omega L} \end{aligned} \quad (2.21)$$

จะได้ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันวงรอบปิด

$$G(j\omega)H(j\omega) = \frac{g_m j\omega LR_T}{R_T(1 - \omega^2 LC_T) + j\omega L} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{r_i}{r_i + r_x} \quad (2.22)$$

ที่ความถี่ออสซิลเลเตอร์ (ω_o)

$$\arg G(j\omega_o)H(j\omega_o) = 0$$

$$\text{จะได้ } \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_T}} \text{ ซึ่ง } f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad (2.23)$$

และจะได้ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันวงรอบเปิดซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1

$$|G(j\omega_o)H(j\omega_o)| = g_m R_T \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{r_i}{r_i + r_x} = 1 \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

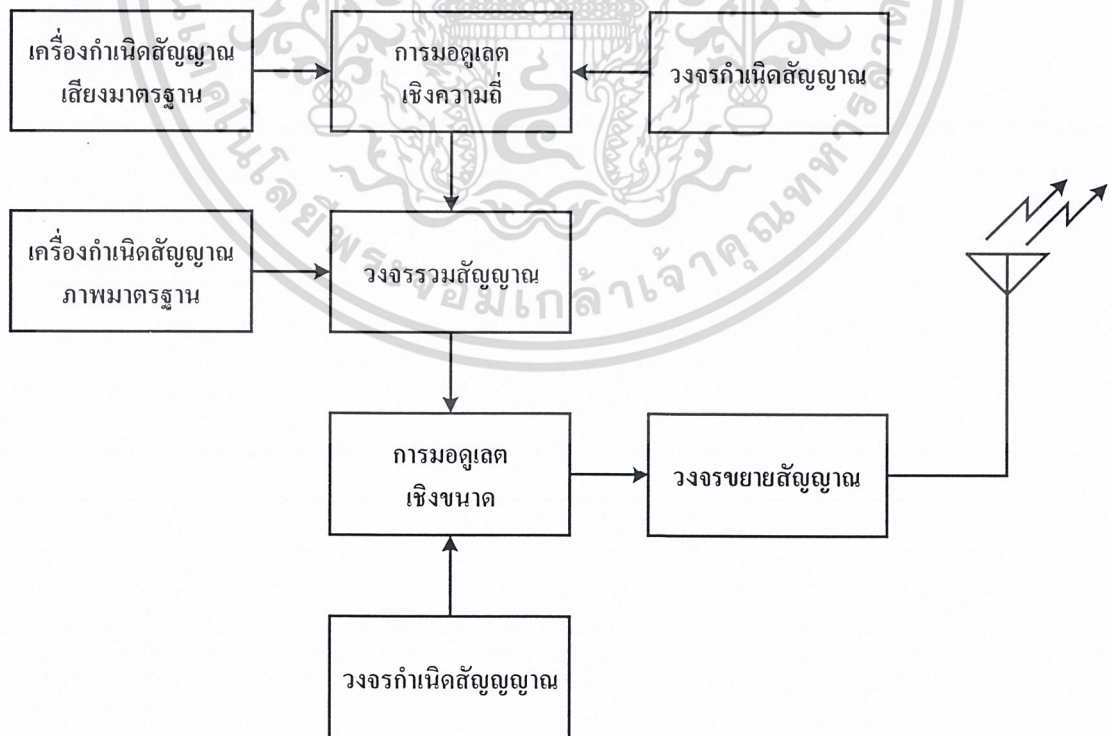
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบและการสร้างชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นภาคการทำงานต่าง ๆ ได้ 5 ภาค คือ ภาคการมอดูเลตเชิงความถี่, ภาคการมอดูเลตเชิงขนาด, ภาคกำเนิดสัญญาณ, ภาครวมสัญญาณและภาคขยายสัญญาณ แต่ละภาคการทำงานแยกออกจากกัน ภาคการทำงานสามารถวัดรูปคลื่นหรือแรงดันในจุดสำคัญต่างๆ ได้และสามารถประกอบเป็นเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟได้

3.2 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานของ โครงงานแสดงด้วยแผนผังการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

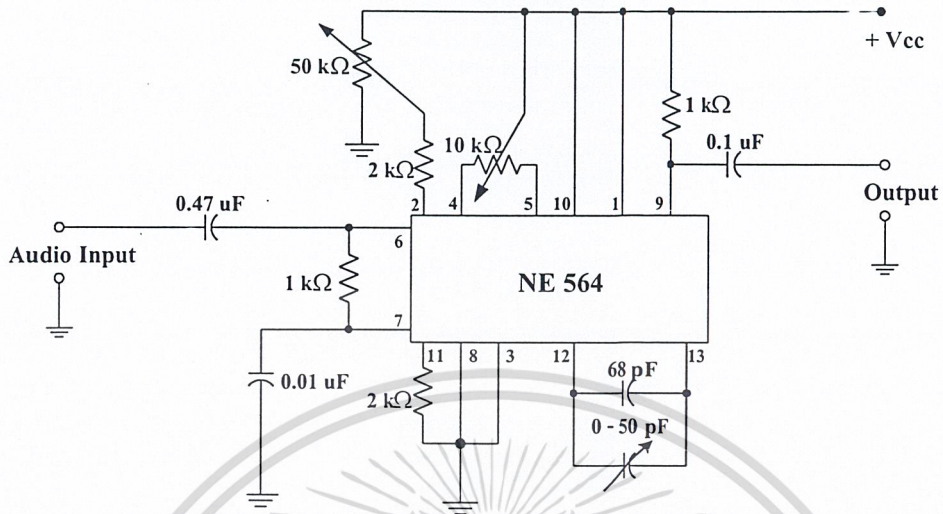
3.2.1 การมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

วงจรส่วนนี้นั้นจะเป็นวงจรที่ใช้ในการฝากสัญญาณเบสแบนด์ของสัญญาณเสียงไปกับคลื่นพาห์ เพราะเนื่องจากว่าสัญญาณภาพนั้นมีความถี่ตั้งแต่ 0 เฮิร์ตซ์ ถึง 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ดังนั้นในการที่เราจะนำสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงมารวมกันโดยตรงนั้น ก็จะทำให้เกิดการทับซ้อนกันของสัญญาณหรือทำให้เกิดการผิดเพี้ยนได้ ดังนั้นเราจะต้องทำการย้ายสเปกตรัมของสัญญาณเสียง ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ให้มีความถี่สูงกว่าสัญญาณภาพ โดยที่ความถี่ของสัญญาณภาพอยู่ในช่วง 0 เฮิร์ตซ์ ถึง 5 เมกะเฮิร์ตซ์ และให้มีความถี่กลางของการมอดูเลตอยู่ที่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยในโครงงานนี้เราเลือกใช้ไอซีเบอร์ NE564 ทำหน้าที่เป็นตัวมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation) โดยอาศัยวงจร VCO (Voltage Control Oscillator) ภายในวงจรรวมจะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งไอซีเบอร์ NE564 จะมีช่วงการทำงานถึง 50 เมกะเฮิร์ตซ์ในการมอดูเลตเชิงความถี่ โดยวงจร VCO จะผลิตความถี่ฟรีรันนิ่ง (Free Running) ออกมา โดยที่เราสามารถกำหนดความถี่ฟรีรันนิ่งได้จากตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 12, 13 ซึ่งตัวเก็บประจุนั้นจะมีค่าเท่าไรหรือต้องการให้วงจร VCO ผลิตความถี่ฟรีรันนิ่งออกมาเท่าไรนั้น เราก็สามารถดูได้จากกราฟ VCO Capacitor VS Frequency ในใบรายละเอียดของอุปกรณ์ หรืออาศัยจากการคำนวณตามสมการข้างล่างนี้

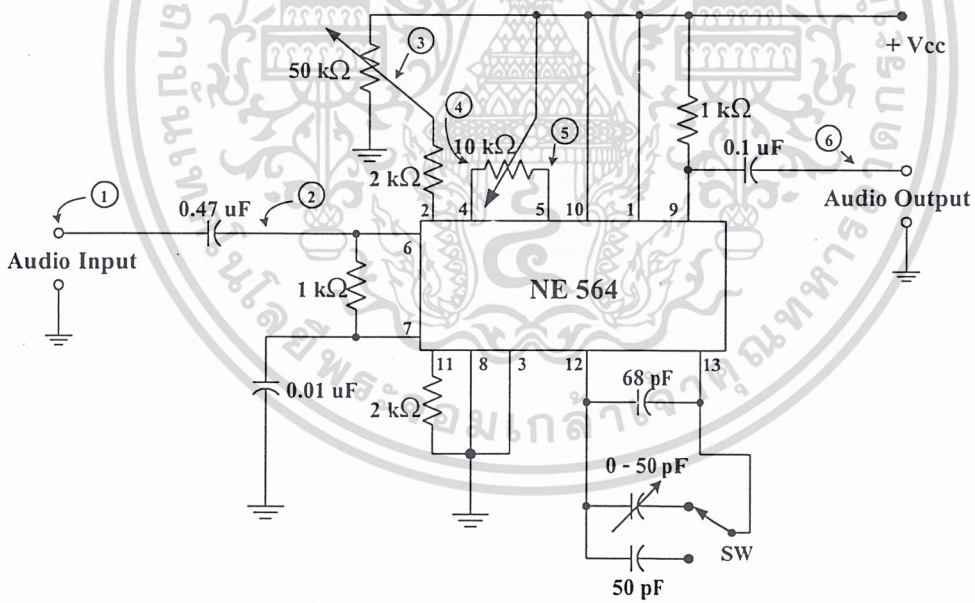
$$\begin{aligned}
 C_o &= \frac{1}{2200 \times f_c} \\
 &= \frac{1}{2200 \times 5.5 \times 10^6} \\
 &= 82.644 \text{ pF}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

ส่วนขาที่ 4 และขาที่ 5 จะเป็นส่วนของลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) ซึ่งใช้ในการปรับความละเอียดของความถี่ฟรีรันนิ่ง (f_c) โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบทริมพอร์ต 10 กิโลโอห์มมาเป็นตัวปรับ และขา 2 จะเป็นตัวกำหนดกระแสไบอัส ซึ่งเซตไว้ที่ประมาณ 100 ไมโครแอมป์เพื่อให้ได้ค่าไดนามิกของสัญญาณที่ดี โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้แบบทริมพอร์ต 50 กิโลโอห์ม ซึ่งเราสามารถออกแบบวงจรได้ตามรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 ได้กำหนดจุดการวัดและทดสอบและกำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ได้บางจุดดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วงจรมอดูเลตเชิงความถี่ที่ออกแบบ

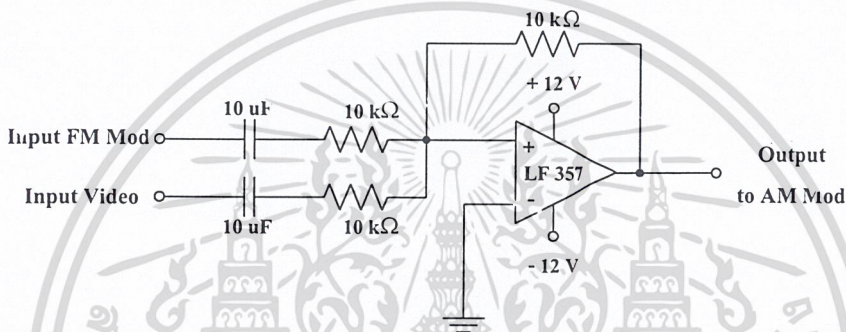


รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลตเชิงความถี่ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรรวมสัญญาณ (Summing)

ส่วนของภาคนี้จะเป็นการรวมสัญญาณ ระหว่างสัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตเชิงความถี่ กับสัญญาณภาพ (Video) ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห้ความถี่ 48 เมกะเฮิร์ตซ์ในแบบเอเอ็มเพื่อส่งออกอากาศ . ในภาคนี้จะใช้ไอซี LF357 ซึ่งเป็นออปแอมป์ซึ่งมีแบนด์วิดท์ที่อัตราขยายเท่ากับ 1 มีค่า 34 เมกะเฮิร์ตซ์ และอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาหรืออัตราสลูว์ (Slew Rate) เท่ากับ 250 V/ μ s ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 3.4 วงจรรวมสัญญาณที่ออกแบบ

จากรูปที่ 3.4 จะได้สมการดังนี้

$$V_{out} = -\left(\frac{R_F}{R_1}V_1 + \frac{R_F}{R_2}V_2\right) \quad (3.2)$$

ให้ $R_F = R_1 = R_2 = 10k\Omega$;

เนื่องจากต้องการรวมสัญญาณเพียงอย่างเดียวไม่ต้องการขยายสัญญาณ

$V_{out} = -(V_1 + V_2)$ ที่ติดลบ หมายถึง การกลับเฟสของสัญญาณเนื่องจากเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส

V_1 คือ สัญญาณเสียงที่มอดูเลตแบบเอเอ็ม มีแรงดัน 500 mV_{p-p}

V_2 คือ สัญญาณภาพที่มีแรงดัน 1.5 V_{p-p}

แรงดันเอาต์พุต มีค่าประมาณ 2 V_{p-p} หรือ 1 V_p

ดังนั้นที่ความถี่สูงกว่า 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ออปแอมป์จะต้องมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาที่ได้นี้มีค่าไม่เกินอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาของไอซีออปแอมป์ตัวนี้ทำเป็นวงจรรวมสัญญาณ

C_1 กับ C_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกันแรงดันออปเซตของสัญญาณอินพุตและเป็นตัวกำหนดความถี่คัทออฟที่ความถี่ต่ำของวงจรรวมสัญญาณ

จากสมการ

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_A R_i} \quad (3.3)$$

f_L คือ ความถี่คัทออฟในช่วงความถี่ต่ำ (Low Frequency Cut off)

C_A คือ ค่าของตัวเก็บประจุ C_1 หรือ C_2

R_i คือ ค่าความต้านทานที่มองเข้ามาที่ C_1 มีค่าเท่ากับ 10k

f_L นั้นจะต้องกำหนดให้มีค่าความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่ใช้งานมาก ๆ ในที่นี้กำหนดให้มีค่า 2 เฮิร์ตซ์
ฉะนั้นหาค่า C_A ได้จาก

$$C_A = \frac{1}{2\pi(2)(10 \times 10^3)} = 7.957 \mu H$$

ซึ่งเลือกใช้ค่า C_1, C_2 เท่ากับ $10 \mu F$

ดังนั้นเมื่อเลือกใช้ค่า C_1, C_2 เท่ากับ $10 \mu F$ f_L ของวงจรมีค่าเท่ากับ 1.5915 เฮิร์ตซ์

3.2.3 วงจรกำเนิดสัญญาณ

ในโครงงานนี้จะใช้วงจรกำเนิดสัญญาณคริสตอลชนิดกราวด์เบสออสซิลเลเตอร์เนื่องจากความถี่ที่ได้นั้นมีค่าคงที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก และมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอื่น ซึ่งวงจรมีผลผลิตความถี่ 48 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้คริสตอลเรโซแนนซ์แบบโหมดอนุกรม (Series Mode Resonance) สำหรับคริสตอล 48 เมกะเฮิร์ตซ์จะเป็นโหมดฮาร์โมนิกที่สาม (Third Overtone Mode)

1) การออกแบบไบอัสทรานซิสเตอร์

ในโครงงานนี้เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C1674 โดยกำหนดให้

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$I_C = 4 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 4 \text{ V}$$

$$\beta = 50$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

ให้ $I_E \approx I_C$
จะได้

$$V_{RE} = I_E R_E = (4 \times 10^{-3}) \times (1 \times 10^3) = 4 \text{ V}$$

$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE} - V_{RE} = 12 - 4 - 4 = 3 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{3 \text{ V}}{(4 \times 10^{-3})} = 750 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{(4 \times 10^{-3})}{50} = 80 \mu\text{A}$$

ให้ $I_{R1} = 10I_B = 800 \mu\text{A}$

$$I_{R2} = I_{R1} - I_B = 720 \mu\text{A}$$

ให้

$$R_2 = \frac{V_{BE} + V_{RE}}{I_{R2}} = \frac{0.7 \text{ V} + 4 \text{ V}}{720 \mu\text{A}} = 6.52 \text{ k}\Omega \approx 6.8 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{R2}}{I_{R1}} = \frac{12 \text{ V} - 4.7 \text{ V}}{800 \mu\text{A}} = 9.12 \text{ k}\Omega \approx 10 \text{ k}\Omega$$

2) การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0.1538$$

$$r_i = \frac{1}{g_m} = 6.5 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานภายในของคริสตอลความถี่ 48 เมกะเฮิร์ตซ์ซึ่งเป็น โหมดที่สาม “ $r_x \approx 25\Omega$ ”

$$R_{eq} = r_i + r_x \left(\frac{C_1 + C_2}{C_2} \right)^2 \quad (3.4)$$

จากทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของวงรอบเปิด จะต้องมึขนาดเท่ากับ 1 ดังสมการ 3.5 ในที่นี้ใช้ขนาดเท่ากับ 3

$$|G(j\omega_o)H(j\omega_o)| = g_m R_T \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left[\frac{r_i}{r_i + r_x} \right] = 3 \quad (3.5)$$

$$|G(j\omega_o)H(j\omega_o)| = g_m \left[r_i + r_x \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 \right] \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left[\frac{r_i}{r_i + r_x} \right] = 3$$

$$\approx \frac{C_1 + C_2}{C_1} = 3$$

จะได้ $C_2 = 2C_1$ จากสมการที่ 3.6

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_T}} \quad (3.6)$$

กำหนดค่า $L_1 = 475 \text{ nH}$

จะได้

$$C_T = \frac{1}{(2\pi \times 48 \text{ MHz})^2 L_1} = 23.145 \text{ pF}$$

เนื่องจาก

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2C_1^2}{3C_1} = \frac{2}{3} C_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $C_1 = 33 \text{ pF}$, $C_2 = 70 \text{ pF}$

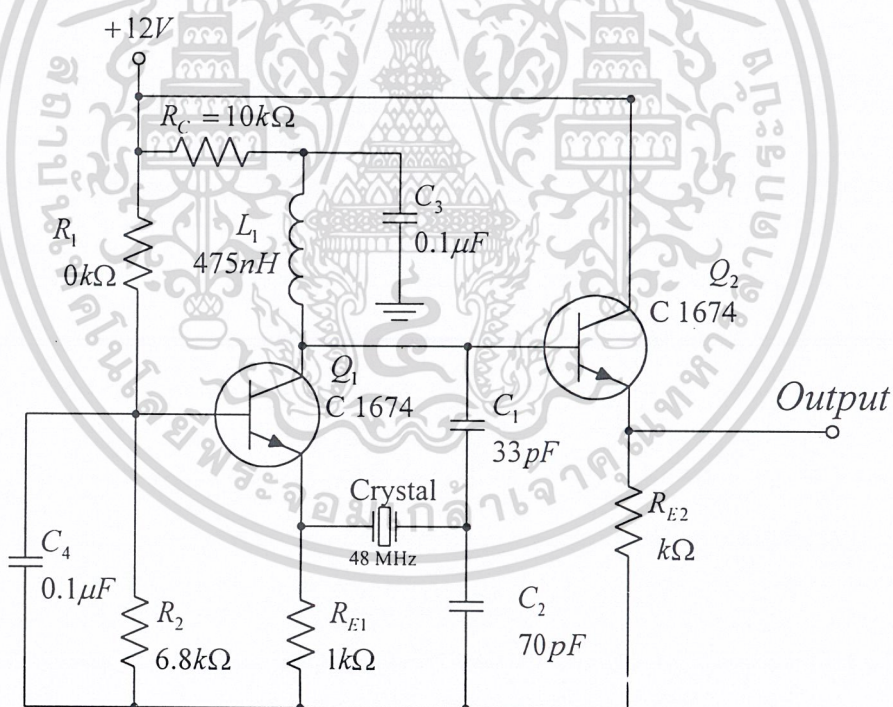
หาค่า

$$R_{eq} = r_i + r_x \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2$$

$$= 6.5 + 25 \left(\frac{33 \text{ pF} + 70 \text{ pF}}{33 \text{ pF}} \right)^2 = 250 \Omega$$

เลือกค่า $R_L \gg R_{eq}$

ซึ่งในการใช้งานจะต้องวงจรฟิเตอร์ไว้ซึ่งจะทำให้วงจรกำเนิดสัญญาณมองเห็นอิมพีแดนซ์มีค่าสูงเพื่อป้องกันการโหลดคิงที่เอาต์พุต



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณคริสตอลที่ออกแบบ

3) การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

จากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณคลื่นพาห้ความถี่ 48 เมกะเฮิร์ตซ์ ขนาดของสัญญาณที่ได้มีค่าน้อย

กว่าที่ต้องการดังนั้นจึงต้องทำการขยายขนาดของสัญญาณให้มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณสามเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C1674

กำหนดให้

$$I_C = 4 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_C = 6 \text{ V}$$

$$\beta = 50$$

จะได้

$$V_{CC} = V_{RC} + V_C = I_C R_C + V_C$$

$$R_C = \frac{12 \text{ V} - 6 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 1.5 \text{ k}\Omega$$

จาก $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{R_C}{Z_b}$

$$A_V = \frac{-R_C}{r_e + R_E} = 3$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_C} = 6.5 \Omega$$

จะได้

$$R_E = \frac{1.5 \text{ k} - (6.5)^3}{3} = 493.5 \approx 500 \Omega$$

$$V_E = I_E R_E = 2 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4 \text{ mA}}{50} = 80 \mu\text{A}$$

$$I_{R1} = 10I_B = 800 \mu\text{A}$$

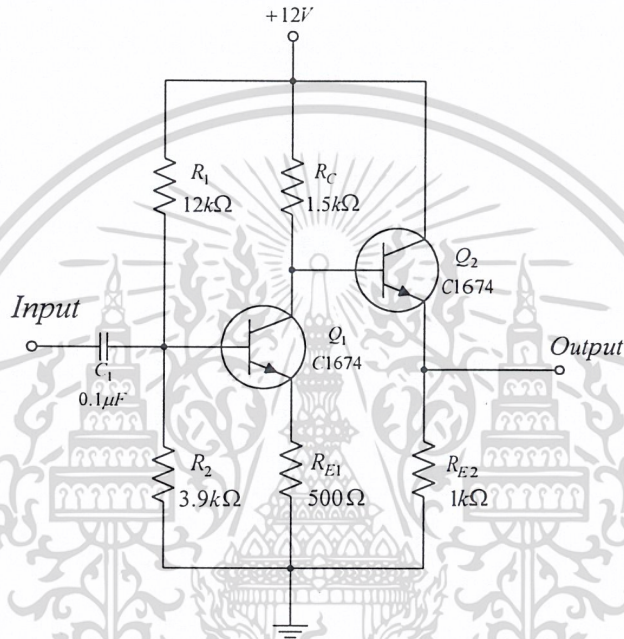
$$I_{R2} = I_{R1} - I_B = 720 \mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{V_{BR} + V_E}{I_{R2}} = \frac{2.7 \text{ V}}{720 \mu\text{A}} = 3.75 \text{ k}\Omega \approx 3.9 \text{ k}\Omega$$

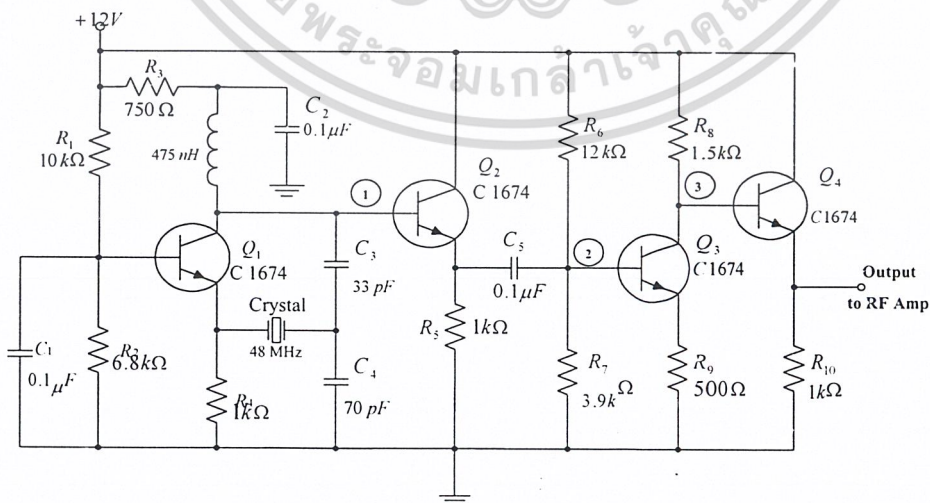
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{R2}}{I_{R1}} = \frac{12\text{ V} - 2.7\text{ V}}{800\ \mu\text{A}} = 11.625\text{ k}\Omega \approx 12\text{ k}\Omega$$

เพื่อป้องกันการไหลคั้งที่เอาต์พุตจึงต่อวงจรบัฟเฟอร์ไว้ด้วยเพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณที่ออกแบบและใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

การออกแบบเราให้ทำงานเป็นแบบคลาสเอซึ่งมีจุดทำงานอยู่ที่กึ่งกลางเส้นโหลดไลน์ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

การออกแบบเราใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MPSH10 ซึ่งมีอัตราขยายกระแส (β) เท่ากับ 80 กำหนดให้

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$I_C = 6 \text{ mA}$$

$$\beta = 80$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

เมื่อเราให้ค่า

$$I_C \approx I_E$$

$$\begin{aligned} V_{BE} &= I_E \times R_E \\ &= (6 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) \\ &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า V_{BB}

$$\begin{aligned} V_{BB} &= V_{BE} + V_{RE} \\ &= (0.7 \text{ V} + 6 \text{ V}) \\ &= 6.7 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า I_B

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{I_C}{\beta} \\ &= \frac{6 \text{ mA}}{80} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

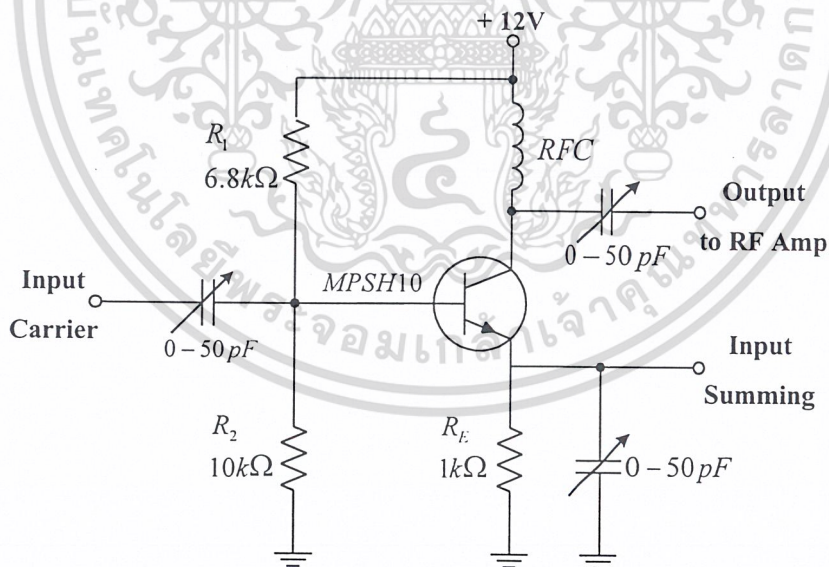
กำหนดให้กระแสไหลผ่าน $R_1 = 10$ เท่าของ I_B

$$\begin{aligned} I_{R1} &= 10I_B \\ &= 10 \times 0.075 \text{mA} \\ &= 0.75 \text{mA} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า R_2

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_{R1}} \\ &= \frac{(12\text{V} - 6.7\text{V})}{0.750 \text{mA}} \\ &= 7.067 \text{k}\Omega \text{ (เลือกใช้ค่า } 6.8 \text{k}\Omega) \end{aligned}$$

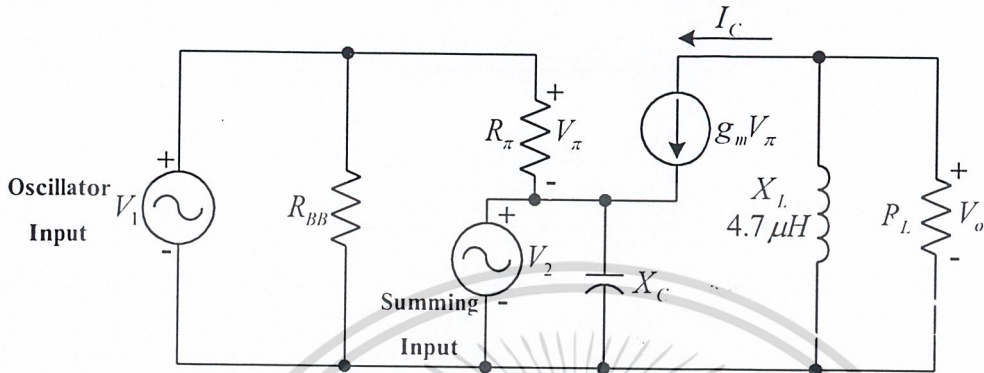
จากการออกแบบจะได้วงจรที่ใช้งานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรมอดูเลตเชิงขนาดที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรที่ออกแบบได้สามารถเขียนเป็นวงจรมูลทาง AC ได้ดังรูปที่ 3.9

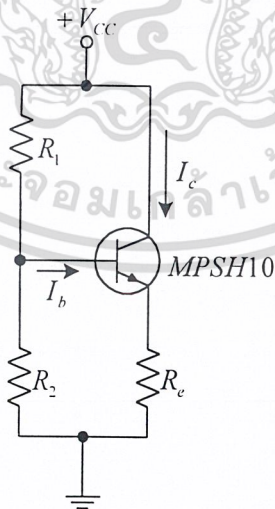


รูปที่ 3.9 วงจรมูลทางเอซีของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

3.2.5 วงจรขยายสัญญาณ

ในการออกแบบเราเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MPSH10 เช่นเดียวกับวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

- 1) การออกแบบด้านดีซีไบอัส



รูปที่ 3.10 วงจรไบอัสทางด้านดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$I_C = 6 \text{ mA}$$

$$\beta = 80$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

เมื่อเราให้ค่า

$$\begin{aligned} I_C &\approx I_E \\ V_{BE} &= I_E \times R_E \\ &= (6 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) \\ &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า V_{BB}

$$\begin{aligned} V_{BB} &= V_{BE} + V_{RE} \\ &= (0.7 \text{ V} + 6 \text{ V}) \\ &= 6.7 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า I_B

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{I_C}{\beta} \\ &= \frac{6 \text{ mA}}{80} \\ &= 0.075 \text{ mA} \end{aligned}$$

กำหนดให้กระแสไหลผ่าน $R_1 = 10$ เท่าของ I_B

$$I_{R1} = 10I_B$$

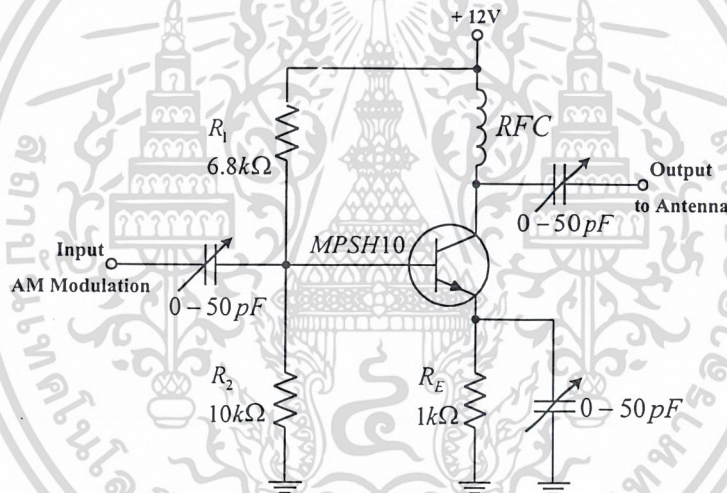
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 10 \times 0.075 \text{ mA}$$

$$= 0.675 \text{ mA}$$

คำนวณหาค่า R_2

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_{R1}} \\ &= \frac{(12 \text{ V} - 6.7 \text{ V})}{0.750 \text{ mA}} \\ &= 7.067 \text{ k}\Omega \text{ (เลือกใช้ค่า } 6.8 \text{ k}\Omega) \end{aligned}$$



รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองและตรวจสอบกับชุดฝึกจึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ภาค คือ การมอดูเลตเชิงความถี่ วงจรรวมสัญญาณ วงจรกำเนิดสัญญาณ การมอดูเลตเชิงขนาดและวงจรมขยายสัญญาณ

4.2 การทดลองการมอดูเลตเชิงความถี่

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร

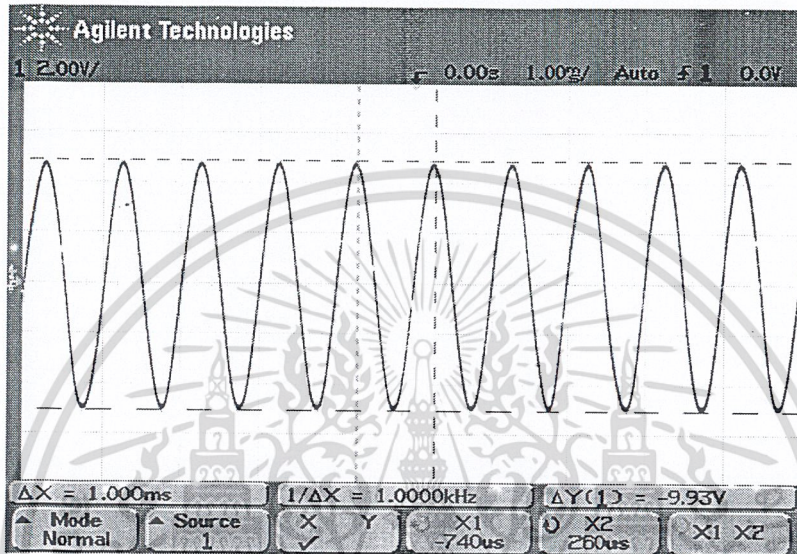


รูปที่ 4.1 ส่วนของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่

- 2) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์ให้กับวงจรมอดูเลตเชิงความถี่
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ให้กับวงจรมอดูเลตเชิงความถี่จุดที่ 1 ตามรูปที่ 3.3

4) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตตรงจุดที่ 2 ได้ความถี่ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์

5) ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 50 กิโล โอห์มซึ่งเป็นตัวต้านทานทริมพอร์ต กำหนดไบอัสให้ได้ค่าประมาณ 100 ไมโครแอมป์

6) ทำการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 10 กิโลโอห์มเป็นแบบทริมพอร์ตและตัวเก็บประจุปรับค่าได้ค่า 0 – 50 พิโคฟารัด เพื่อให้ได้ค่าความถี่พรีรันนิ่งที่ดีที่สุด

7) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดจุดเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ได้ความถี่ดังรูปที่ 4.3

8) ต่อสวิตช์และตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัดขนานกับตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟารัดระหว่างขา 12 และขา 13 เพื่อเปรียบเทียบค่าความถี่พรีรันนิ่งที่เปลี่ยนไป ได้วงจรงดังรูปที่ 3.3

9) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ให้กับวงจรมอดูเลตเชิงความถี่จุดที่ 1 เลือกสวิตช์มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟารัด ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันจุดที่ 3 ได้แรงดัน 1.5 โวลต์

10) ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันจุดที่ 4 ได้แรงดัน 4.4 โวลต์

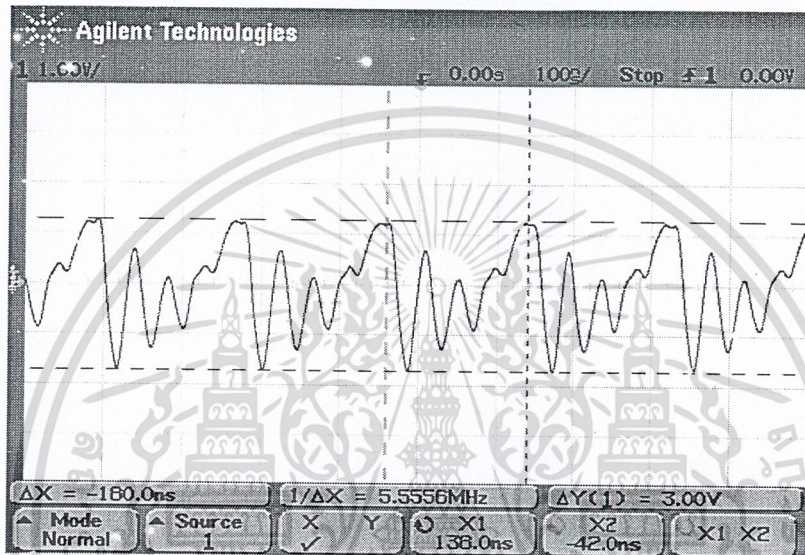
11) ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันจุดที่ 5 ได้แรงดัน 4.6 โวลต์

12) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณจุดที่ 6 หรือสัญญาณเอาต์พุต ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.3

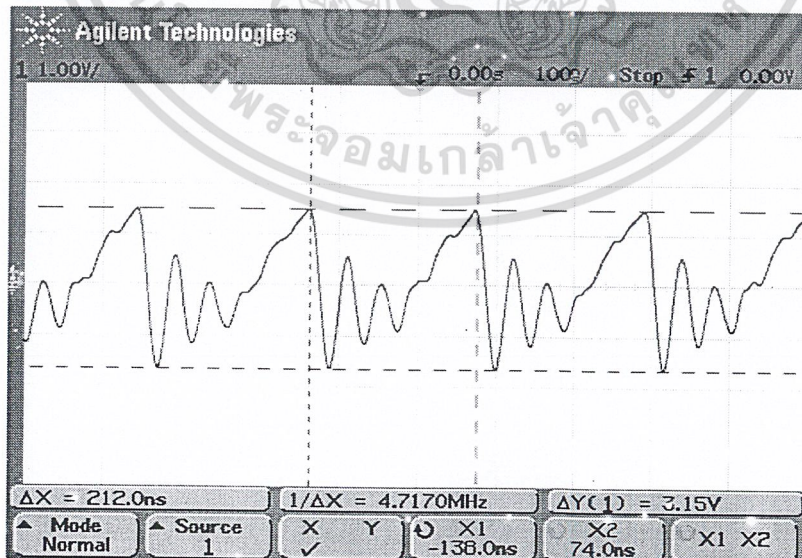
13) เลือกสวิตช์มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันจุดที่ 3 ได้แรงดัน 1.5 โวลต์

14) ใช้ข้อสซิลโลสโคปวัดสัญญาณจุดที่ 6 หรือสัญญาณเอาต์พุต ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4

4.3.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรมอดูเลตเชิงความถี่



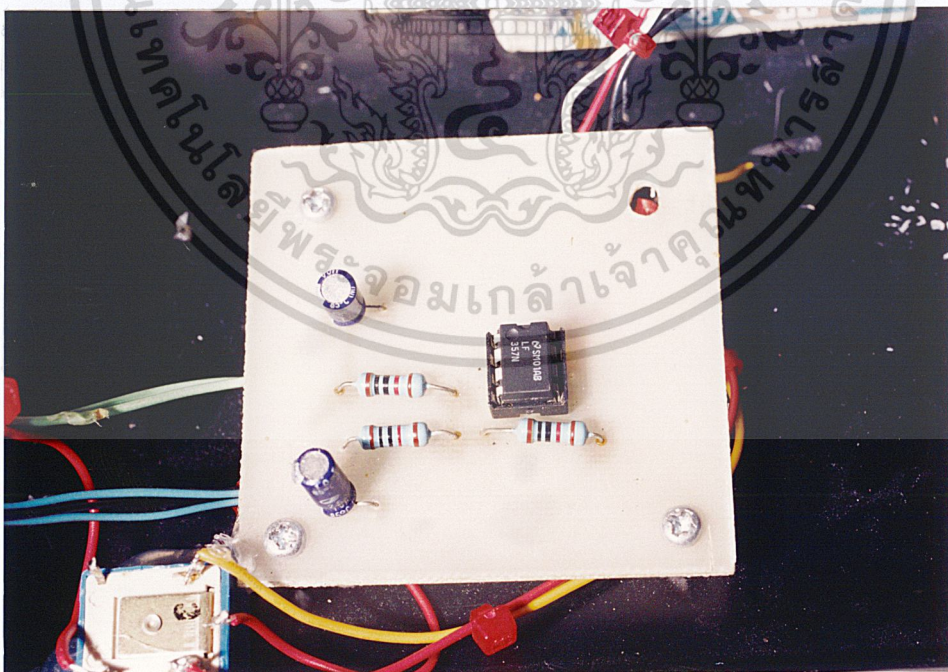
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้จากจุดที่ 6 หรือจุดเอาต์พุตเมื่อใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวงจรรวมสัญญาณ

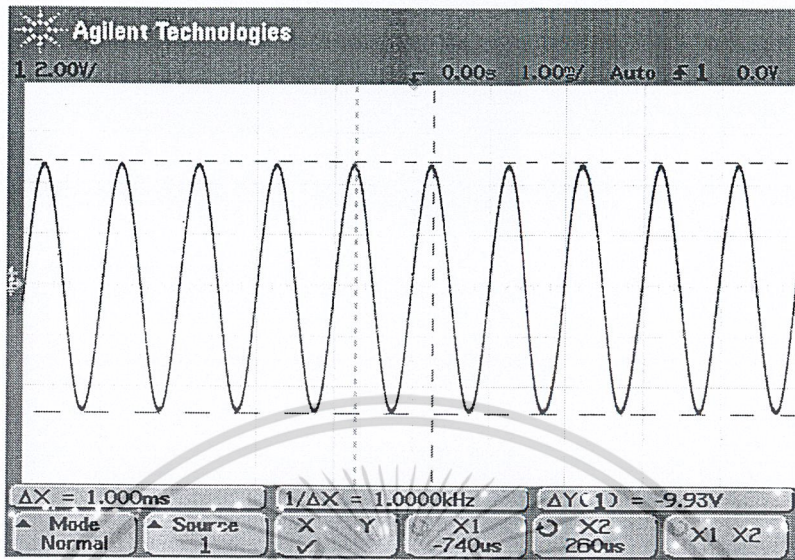
4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 1) ประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร
- 2) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่า +12 โวลต์และ -12 โวลต์ให้กับวงจรรวมสัญญาณ
- 3) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์และสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่อินพุตสัญญาณภาพและอินพุตสัญญาณเสียงของวงจรรวมสัญญาณ
- 4) วัดสัญญาณอินพุตที่ 1 ได้ดังรูปที่ 4.6 และวัดสัญญาณอินพุตที่ 2 ได้ดังรูปที่ 4.7
- 5) วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ ได้ดังรูปที่ 4.10
- 6) นำสัญญาณสี่ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพมาตรฐาน (Pattern Generator) ป้อนเข้าที่อินพุตสัญญาณภาพและนำสัญญาณคลื่นไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ป้อนเข้าที่อินพุตสัญญาณเสียง
- 7) วัดสัญญาณที่อินพุตสัญญาณภาพ ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.8
- 8) วัดสัญญาณที่อินพุตสัญญาณเสียง ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.9
- 9) วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.11

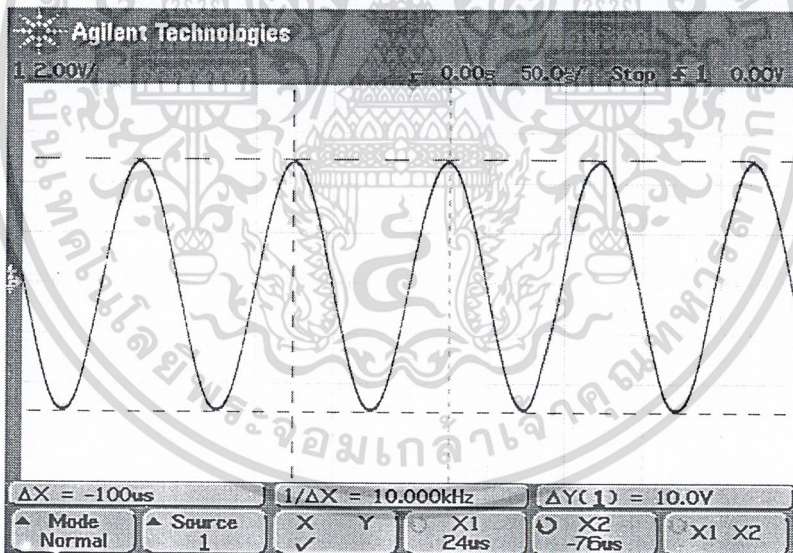


รูปที่ 4.5 ส่วนของวงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

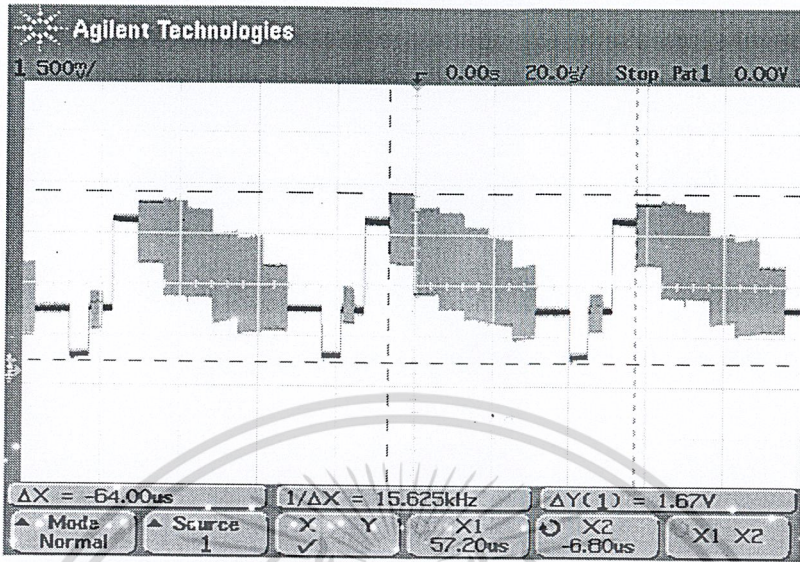


รูปที่ 4.6 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณภาพ

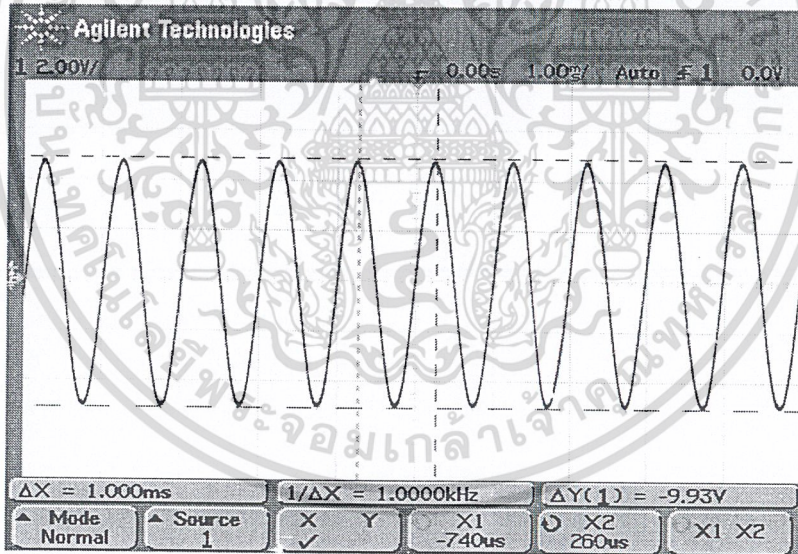


รูปที่ 4.7 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 10 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



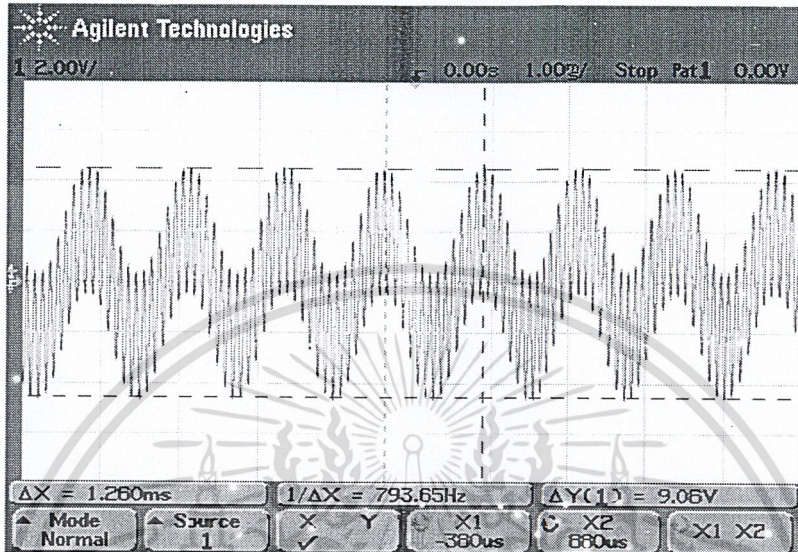
รูปที่ 4.8 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพมาตรฐาน



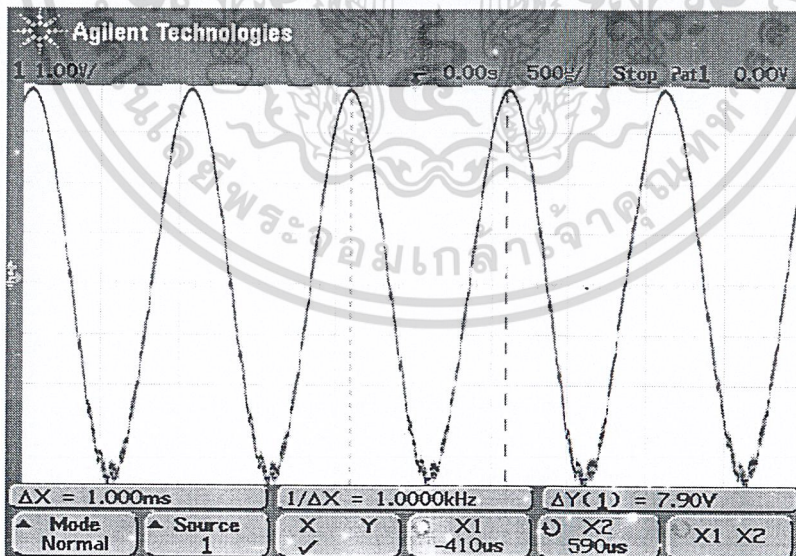
รูปที่ 4.9 สัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ป้อนให้อินพุตสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกันของสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์กับสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 10 กิโลเฮิร์ตซ์



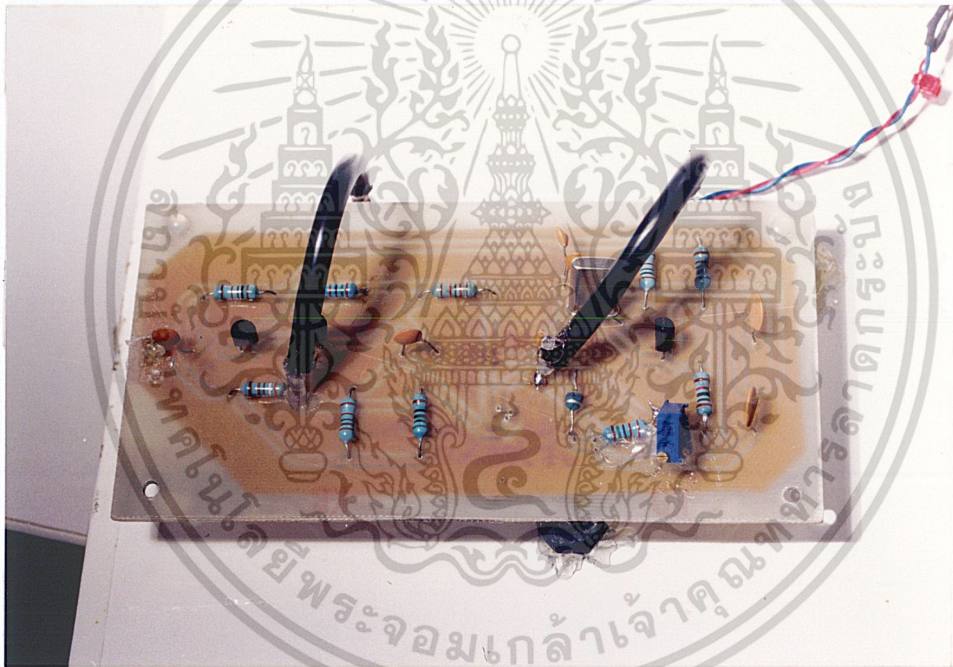
รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกันของสัญญาณภาพมาตรฐานกับสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

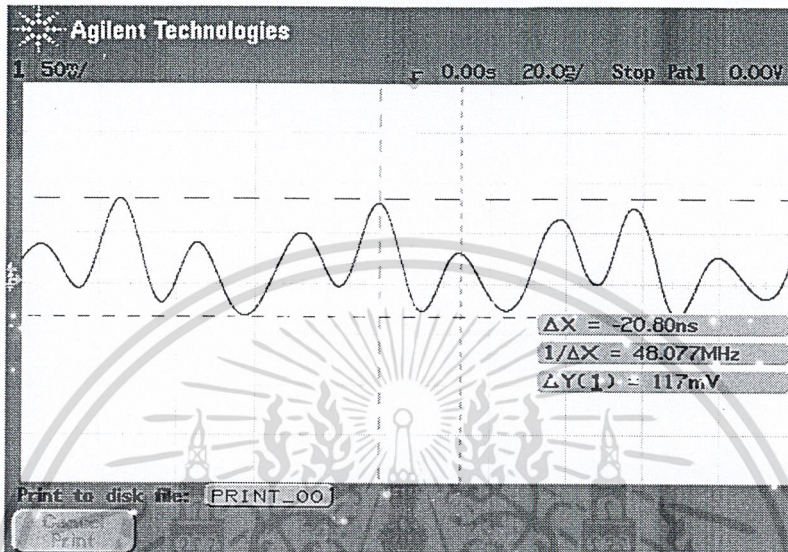
- 1) ประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร
- 2) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ
- 3) วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณ ได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.13
- 4) จากการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณดังรูปที่ 3.6 สามารถวัดสัญญาณจากจุดวัดที่ 1 ดังรูปที่ 4.14 จุดวัดที่ 2 ดังรูปที่ 4.15 จุดวัดที่ 3 ดังรูปที่ 4.16 และสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.13



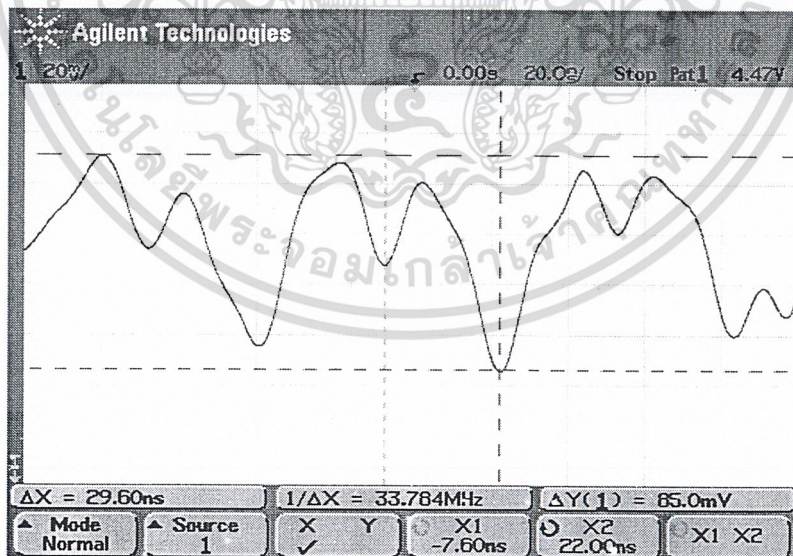
รูปที่ 4.12 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลอง

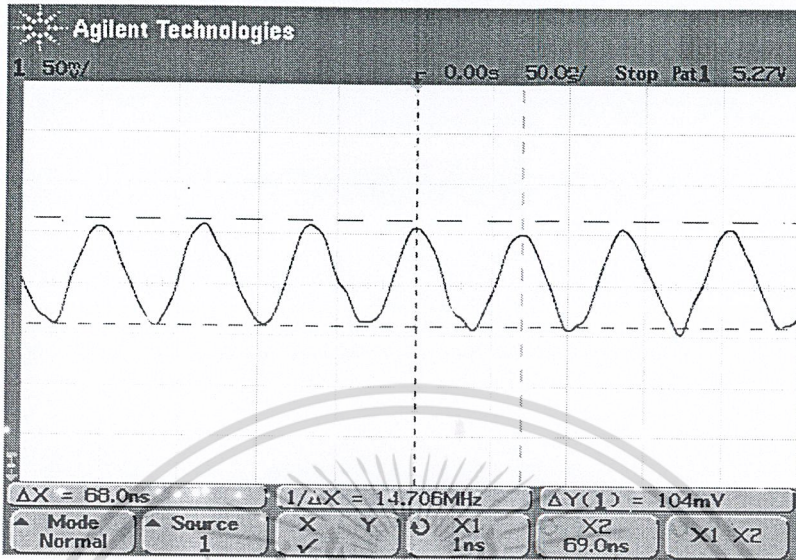


รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณ

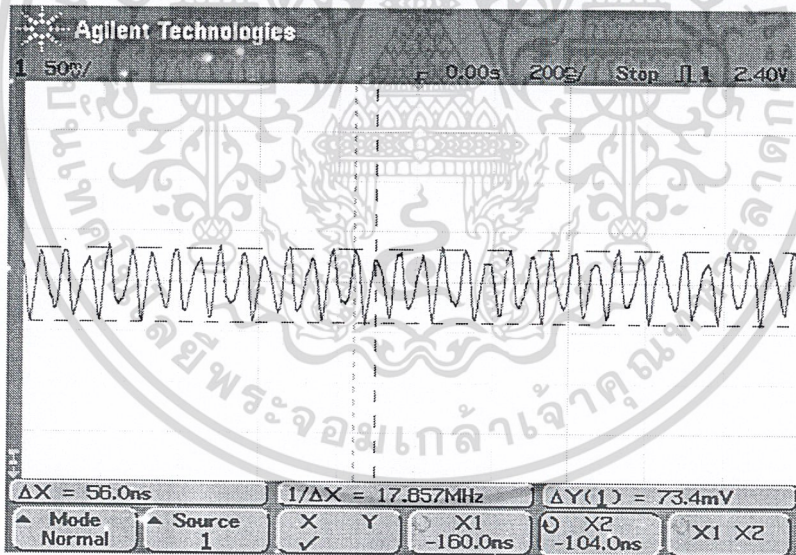


รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วัดได้จากจุดวัดที่ 1 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณที่วัดได้จากจุดวัดที่ 2 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ



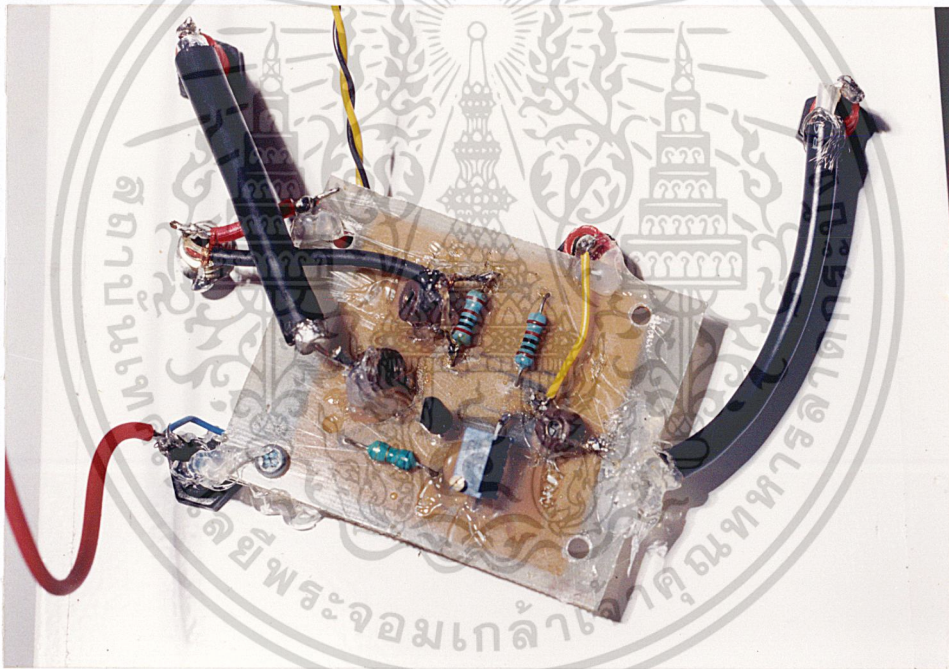
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่วัดได้จากจุดวัดที่ 3 ของวงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

4.5.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

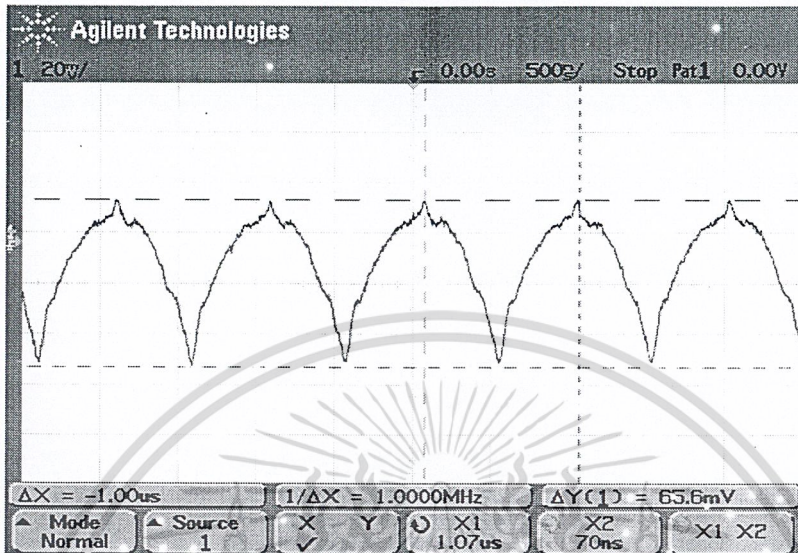
- 1) ประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.17 และตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร
- 2) จ่ายแรงดันไฟตรงขนาด 12 โวลต์ให้กับวงจรมอดูเลตเชิงขนาด
- 3) จากรูปที่ 3.7 ป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิรตซ์เข้าที่ Input Video และป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 เมกะเฮิรตซ์เข้าที่ Input Oscillator
- 4) วัดสัญญาณเอาต์พุตและปรับค่า C_1 และ C_2 ให้ได้รูปสัญญาณที่ต้องการ ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ส่วนของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

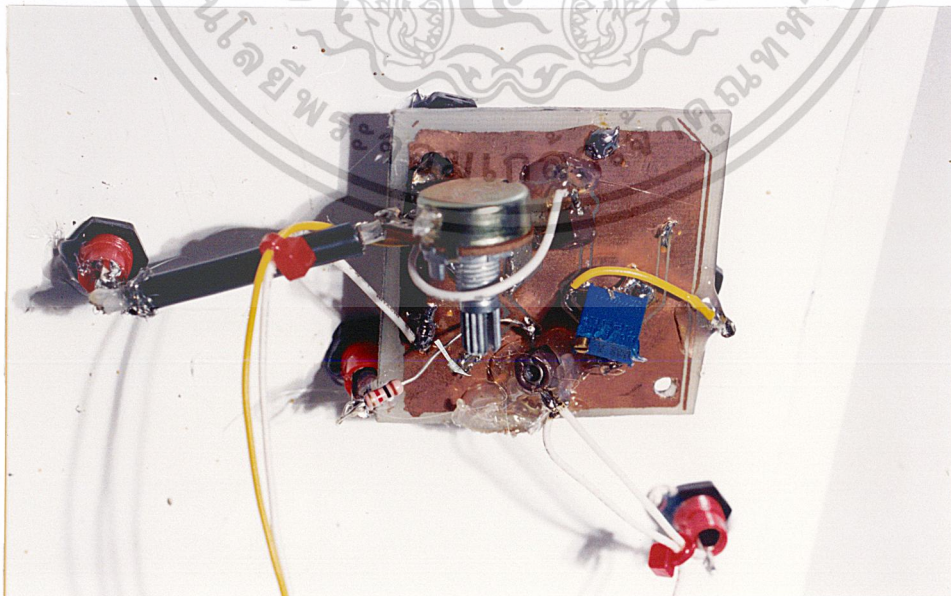
4.4.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการมอดูเลตเชิงขนาดของสัญญาณขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์กับสัญญาณขนาด 1 เมกะเฮิร์ตซ์

4.6 การทดลองวงจรขยายสัญญาณ

4.6.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

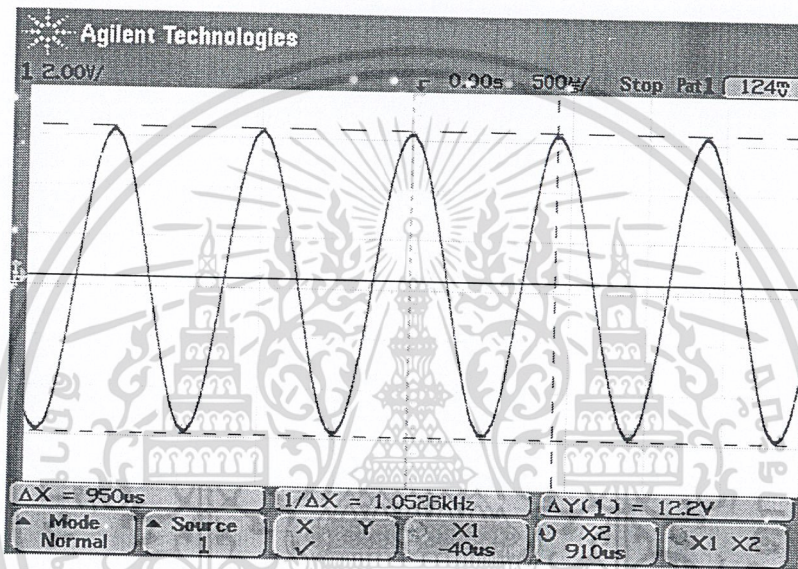


รูปที่ 4.19 ส่วนของวงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ประกอบวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.19 และตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร
- 2) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ให้กับวงจรขยายสัญญาณ
- 3) จากรูปที่ 3.10 ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ Input AM Mod
- 4) ปรับค่า C_1 และ C_2 ให้ได้รูปสัญญาณที่ถูกต้อง และวัดสัญญาณเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 4.20

4.6.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ชุดฝึกเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่วีเอชเอฟ แบ่งออกเป็น 5 ภาคการทำงาน คือ

1) วงจรมอดูเลตเชิงความถี่ ใช้ไอซีเบอร์ NE546 ซึ่งเป็นไอซีมอดูเลตเชิงความถี่ โดยไอซีนี้จะกำเนิดความถี่คลื่นพาห้ความถี่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ มามอดูเลตกับสัญญาณเสียง โดยผลการทดลองสัญญาณที่วัดได้ตรงตามทฤษฎีการมอดูเลตเชิงความถี่ แต่การศึกษาของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่นี้ยากที่จะทำความเข้าใจได้ เพราะภาคการมอดูเลตเชิงความถี่นี้ใช้ไอซี จึงไม่สามารถวัดให้ละเอียดได้

2) วงจรรวมสัญญาณ ใช้ไอซีเบอร์ LF357 ซึ่งเป็นไอซีออปแอมป์ใช้กับความถี่สูง ผลการทดลองนั้นวงจรมีปัญหาไม่สามารถรวมสัญญาณได้เป็นที่น่าพอใจนักเนื่องจากไอซีเบอร์นี้ยังไม่ตอบสนองความถี่สูงได้มากนัก ส่วนเบอร์ที่สามารถใช้งานได้ดีนั้นไม่สามารถหาซื้อได้

3) วงจรกำเนิดสัญญาณ ในวงจรมีปัญหาใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณแบบใช้คริสตอลชนิดกรวด์เบสออสซิลเลเตอร์เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ซึ่งวงจรมีใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C1674 ผลการทดลองวงจรมีปัญหาที่ความถี่ที่ผลิตได้นั้นมีค่าไม่ตรงกับขีดความสามารถของโครงการ โดยมีความถี่ที่สูงกว่าเล็กน้อย ทำให้วงจรมีปัญหาผลิตความถี่สูงกว่าขีดความสามารถของโครงการแต่ยังอยู่ในช่วงย่านวีเอชเอฟ

4) วงจรมอดูเลตเชิงขนาด ในวงจรมีใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MPSH 10 ทำงานแบบคลาสเอ ผลการทดลองนั้นพบว่าการมอดูเลตเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมาก สัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้ตรงตามทฤษฎี

5) วงจรขยายสัญญาณ ในวงจรมีเราใช้วงจรเดียวกับวงจรมอดูเลตเชิงขนาด ผลการทดลองวงจรมีสามารถทำการขยายสัญญาณได้ดี

แต่เมื่อนำแต่ละภาคการทำงานมาต่อใช้งาน ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ค่อยดีนัก เสียงที่ออกมาไม่ชัดเจนเนื่องจากความถี่ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ไปรบกวนกับความถี่คลื่นพาห้จากวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ในการจัดทำโครงการชุดนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ

1) ปัญหาทางด้านอุปกรณ์ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการบางชนิดหายากมาก และอุปกรณ์ที่มาแทนไม่มีประสิทธิภาพดีพอ เช่น ไอซีออปแอมป์ของวงจรรวมสัญญาณ จึงทำให้ความถี่ที่ได้ไม่ดีพอและอุปกรณ์บางตัวเช่น ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เมื่อปรับไปมาหลายๆ อุปกรณ์เหล่านี้จะหลวมและทำให้ความถี่ที่ได้มีค่าไม่แน่นอน

แนวทางการแก้ไข ในกรณีปัญหาทางด้านอุปกรณ์นั้น ไม่สามารถใช้อุปกรณ์เบอร์ที่ต้องการได้ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แทน และทำการปรับให้ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการให้มากที่สุด และอุปกรณ์ประเภทตัวเก็บประจุปรับค่าได้และตัวต้านทานปรับค่าได้เมื่อหลวมแล้วต้องทำการเปลี่ยนใหม่เท่านั้น

2) ปัญหาทางด้านความถี่ เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวกับความถี่โดยตรง ไม่ว่าจะเป็นการมอดูเลต การรวมสัญญาณ หรือการผลิตความถี่ การจะทำโครงการนี้ให้สำเร็จได้โดยได้ความถี่ที่ต้องการนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีความเสถียรพอทำให้ความถี่ที่ได้มีความผิดพลาด

แนวทางการแก้ไข ในกรณีปัญหาทางด้านความถี่ ไม่สามารถแก้ไขอะไรได้มากนัก เนื่องจากอุปกรณ์ไม่มีประสิทธิภาพดีพอ จึงได้แต่เพียงปรับแต่งความถี่ให้ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการเท่านั้น

3) ปัญหาทางการประกอบวงจร ในการทำงานนั้นจำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณที่ดี ไม่สามารถใช้สายไฟธรรมดาทั่วไปได้ เพราะจะทำให้ความถี่คลาดเคลื่อน เมื่อทำการลงอุปกรณ์และทำการต่อสายเข้ากับจุดวัดบนกล่องนั้นความถี่จะผิดพลาดเนื่องจากใช้สายไฟธรรมดา ความถี่ที่ได้จึงผิดเพี้ยนไปด้วย

แนวทางการแก้ไข ในกรณีปัญหาด้านการประกอบวงจร เนื่องจากสายไฟใช้แบบสายไฟธรรมดาทั่วไปไม่ได้ จึงจำเป็นต้องใช้สายโคแอกเซียลแทน เพราะสายโคแอกเซียลมีการshielding ไม่ให้ความถี่แพร่กระจายออกนอกสายได้

5.3 แนวทางการพัฒนา

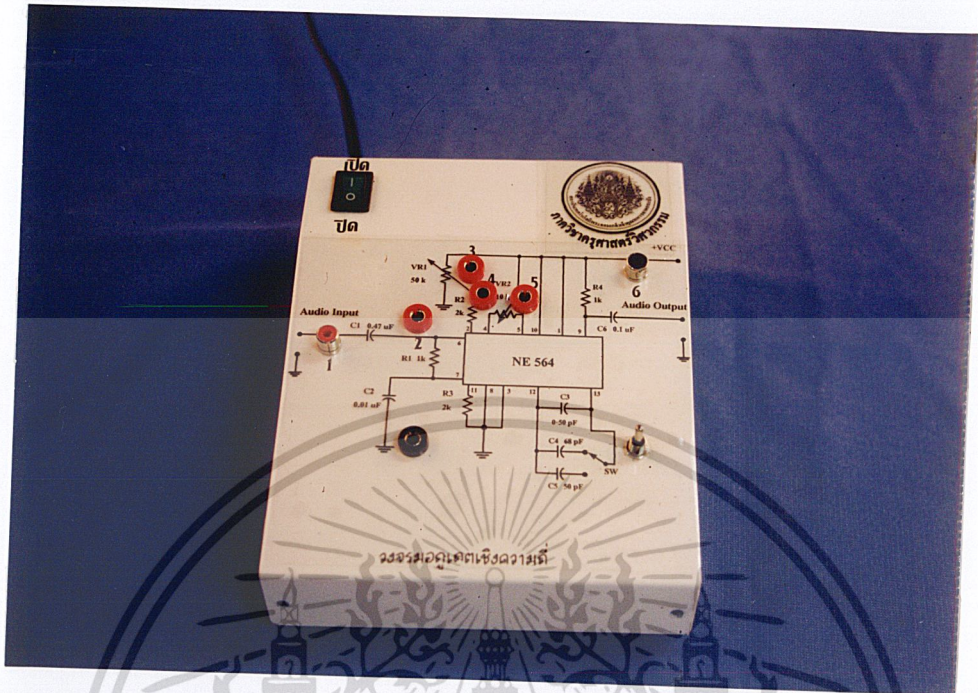
- 1) การพัฒนาเรื่องสัญญาณรบกวนหรือความถี่ที่เปลี่ยนแปลง ไม่ควรจะใช้สายไฟธรรมดา หรือสายโคแอกเชียลควรใช้ขั้วต่อเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงหรือสัญญาณรบกวนจากภายนอก
- 2) ในการพัฒนาเรื่องของความเสถียรภาพของวงจร ควรปรับปรุงและหาอุปกรณ์ที่มี ประสิทธิภาพดีกว่านี้เพราะค่าอุปกรณ์เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยความถี่ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้



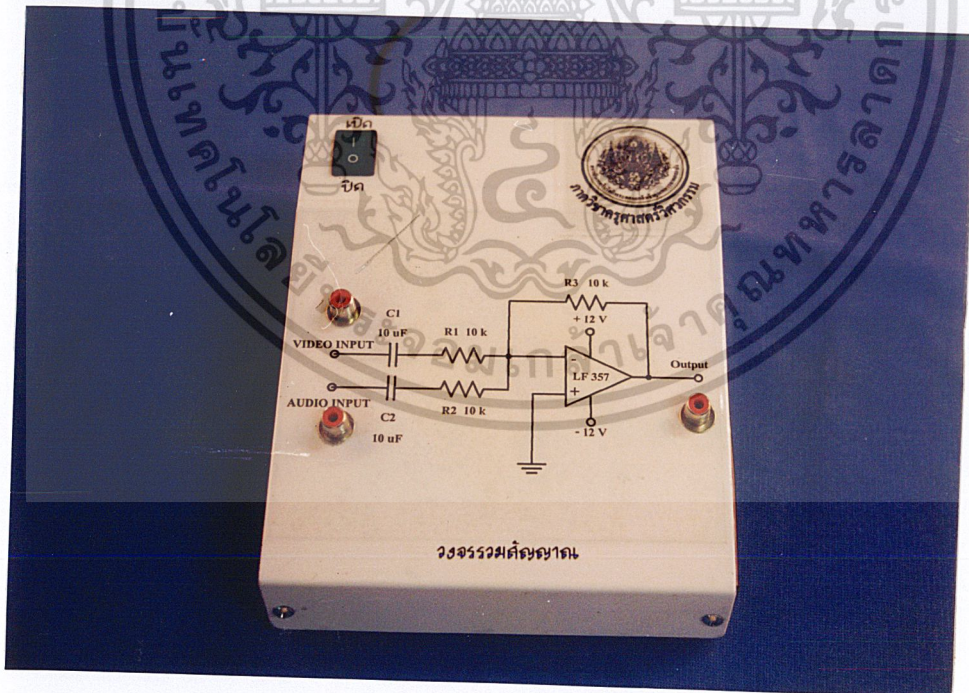
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

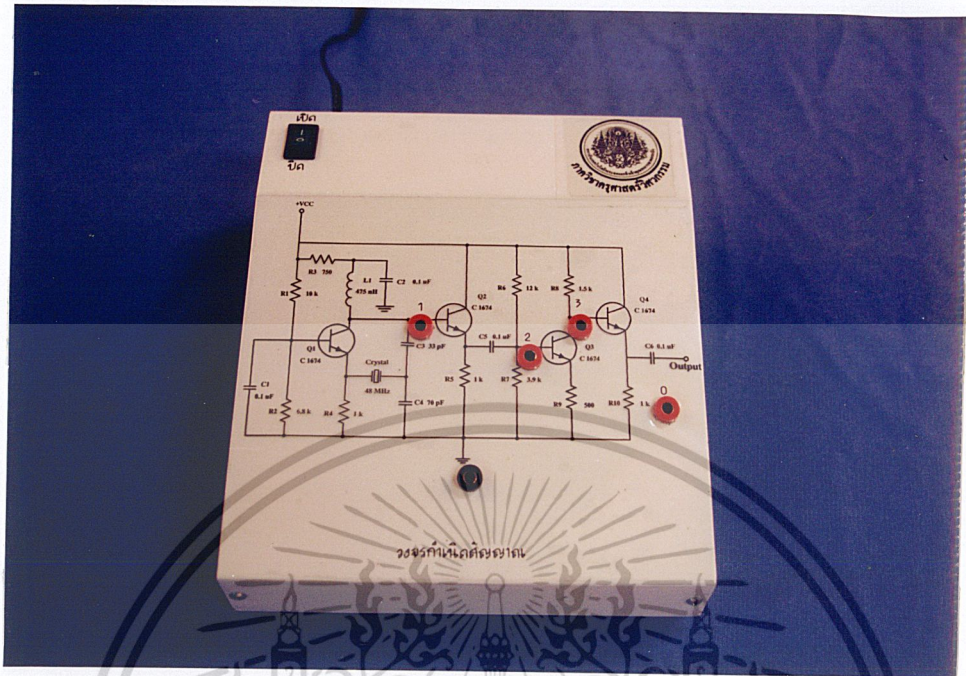


รูปที่ ก.1 ตัวเครื่องชุดฝึกภาคการมอดูเลตเชิงความถี่

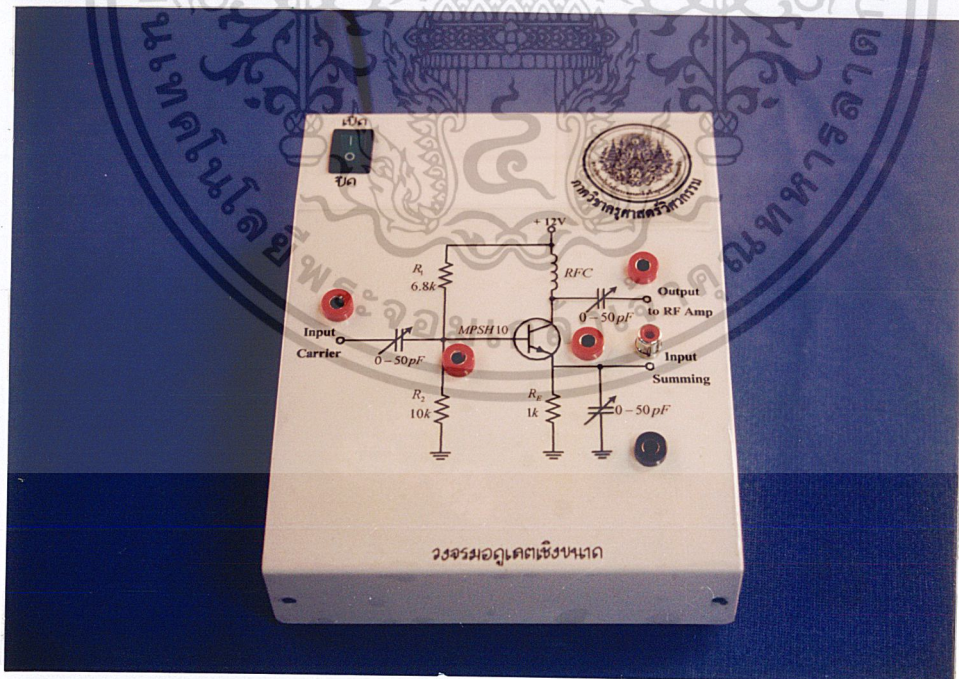


รูปที่ ก.2 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

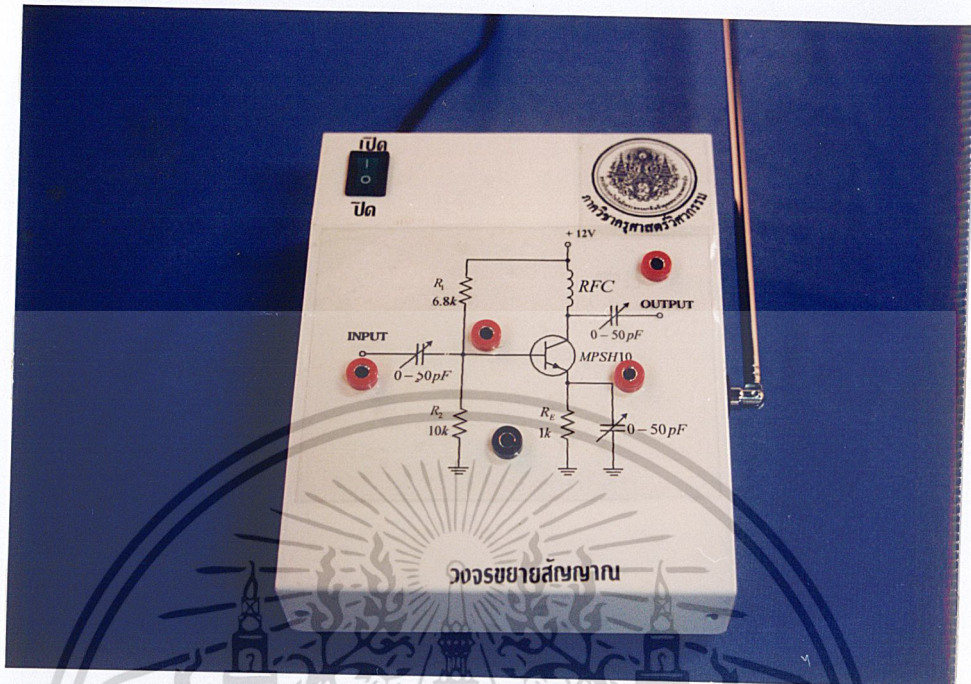


รูปที่ ก.3 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ ก.4 ตัวเครื่องชุดฝึกภาคการมอดูเลตเชิงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

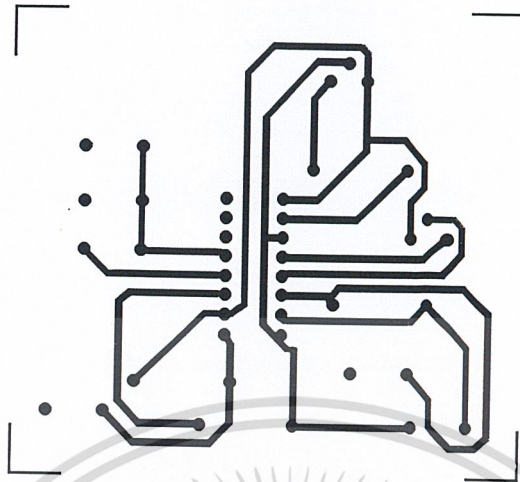


รูปที่ ก.5 ตัวเครื่องชุดฝึกภาควงจรขยายสัญญาณ

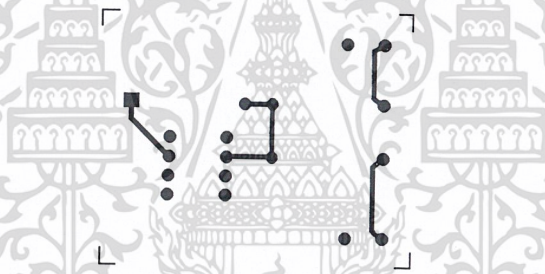
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



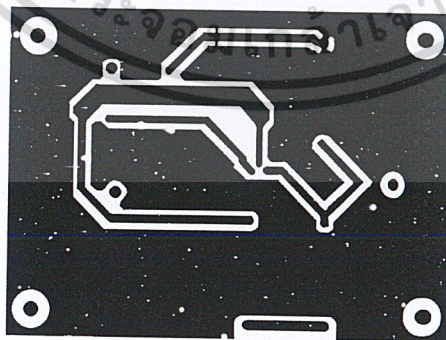
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 ลายวงจรของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่

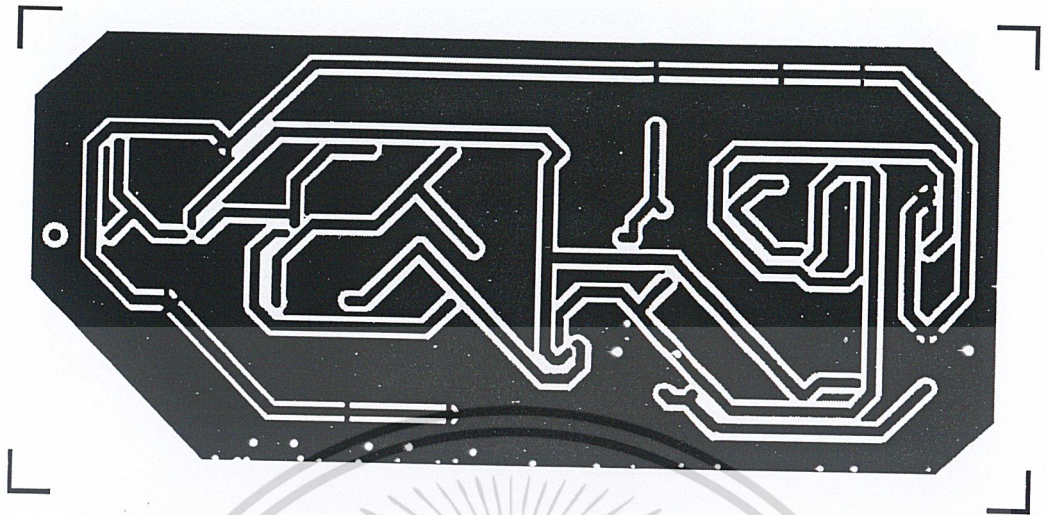


รูปที่ ข.2 ลายวงจรของวงจรรวมสัญญาณ

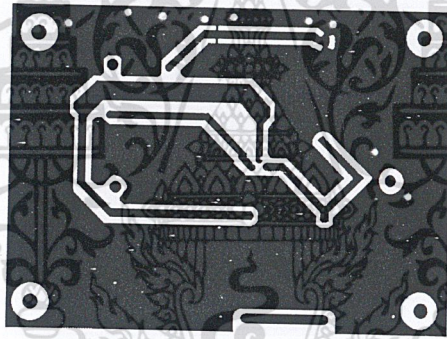


รูปที่ ข.3 ลายวงจรของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 ตายวงจรของวงจรกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ ข.5 ตายวงจรของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

1) ภาคการมอดูเลตเชิงความถี่

ตัวความต้านทาน

2k Ω 1/4 W \pm 1%	2 ตัว
1k Ω 1/4 W \pm 1%	2 ตัว
50k Ω (ปรับค่าได้)	1 ตัว
10k Ω (ปรับค่าได้)	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.47 μ F	1 ตัว
0.1 μ F	1 ตัว
0.01 μ F	1 ตัว
68 pF	1 ตัว
50 pF	1 ตัว
0-50 pF (ปรับค่าได้)	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

NE564	1 ตัว
-------	-------

2) ภาควงจรรวมสัญญาณ

ตัวความต้านทาน

10k Ω 1/4 W \pm 1%	3 ตัว
-----------------------------	-------

ตัวเก็บประจุ

10 μ F	2 ตัว
------------	-------

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

LF357	1 ตัว
-------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ภาควงจรกำเนิดสัญญาณ

ตัวความต้านทาน:

10k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
6.8k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
750 Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
1k Ω 1/4 W \pm 1%	3 ตัว
12k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
3.9k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
1.5k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
500 Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.1 μ F	3 ตัว
33 pF	1 ตัว
70 pF	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

C1674	3 ตัว
Crystal 48 เมกะเฮิร์ตซ์	1 ตัว

ตัวเหนี่ยวนำ

475 nH	1 ตัว
--------	-------

4) ภาควงจรมอดูเลตเชิงขนาด

ตัวความต้านทาน

6.8k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
10k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว
1k Ω 1/4 W \pm 1%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0 – 50 pF (ปรับค่าได้)	3 ตัว
------------------------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำ

6.8 μ H	1 ตัว
-------------	-------

5) ภาควงจรขยายสัญญาณ

ตัวความต้านทาน

6.8k Ω ¼ W \pm 1%	1 ตัว
10k Ω ¼ W \pm 1%	1 ตัว
1k Ω ¼ W \pm 1%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0 – 50 pF (ปรับค่าได้)	3 ตัว
------------------------	-------

ตัวเหนี่ยวนำ

6.8 μ H	1 ตัว
-------------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

การมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการมอดูเลตเชิงความถี่ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดค่าต่างๆ ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการมอดูเลตเชิงความถี่ได้

อุปกรณ์การทดลอง

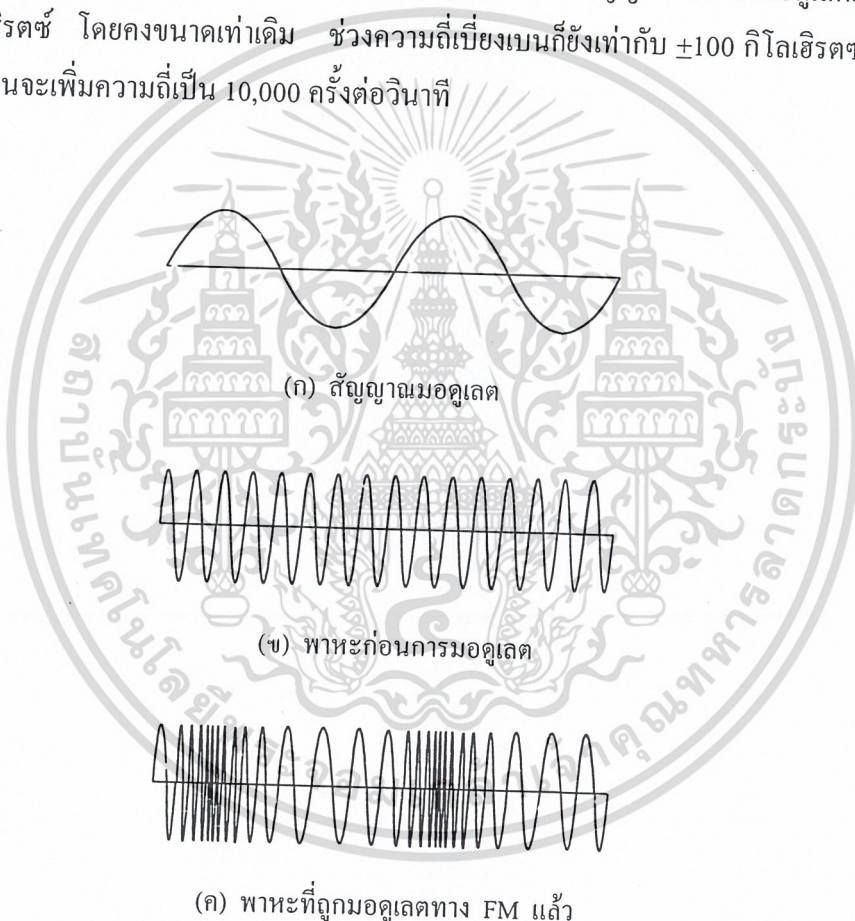
- | | |
|--|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) | 1 เครื่อง |
| 2. ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. สายต่อวงจร | 1 ชุด |
| 5. มัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |

เนื้อเรื่อง

รูปคลื่นของสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 1.1(ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นขั้วสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณดังรูปที่ 1.1(ข) สัญญาณพาหะหลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ 1.1(ค) เป็นสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ จะเห็นได้ว่าที่เวลา t_0 สัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดสุดขั้ว (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิมหลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็กลับมายังความถี่กลางดั้งเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_8 ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณมอดูเลตและพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์

ช่วงความถี่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) หรือ ดิวเอชัน ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิร์ตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 100 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของ สัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามาเป็น โทน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณความถี่ของสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพิ่มความถี่ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยคงขนาดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่ากับ ± 100 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มความถี่เป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที



รูปที่ 1.1 การมอดูเลตเชิงความถี่

นั่นคือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโทนที่ขนาดจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 50 กิโลเฮิร์ตซ์

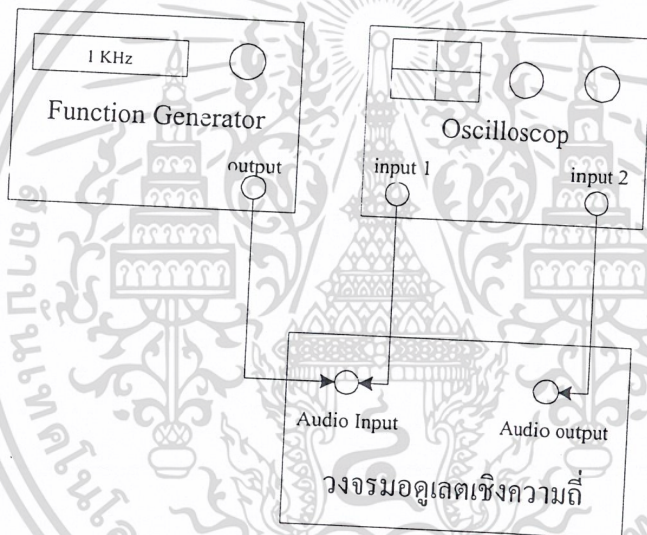
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีขนาดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยง เป็นสัดส่วนขนาดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1.2

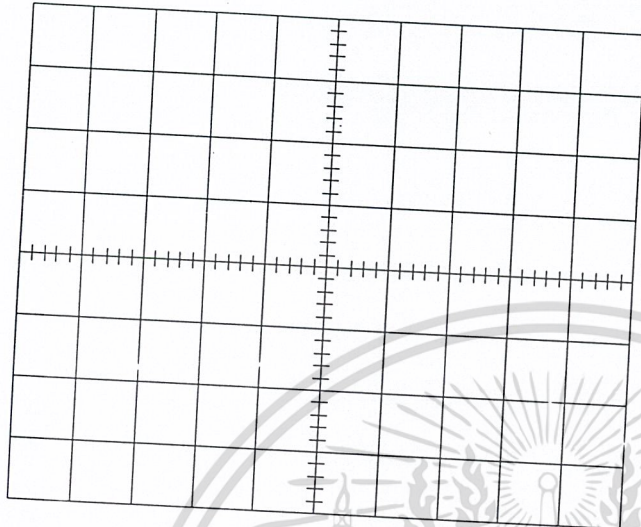


รูปที่ 1.2 การต่อชุดฝึกการทดลองวงจรมอดูเลตเชิงความถี่

2. เลือกลูกสวิตช์ (SW) ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟารัด
3. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์เข้าที่ Audio Input แรงดันเท่ากับ 5 โวลต์
4. วัดแรงดันไบอัสไอซีจุดที่ (3) ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ = โวลต์
5. วัดแรงดัน Frequency Tuning ที่จุด(4), (5) ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ = โวลต์
6. วัดสัญญาณที่จุด Audio Input ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Input จากขั้นตอนที่ 6



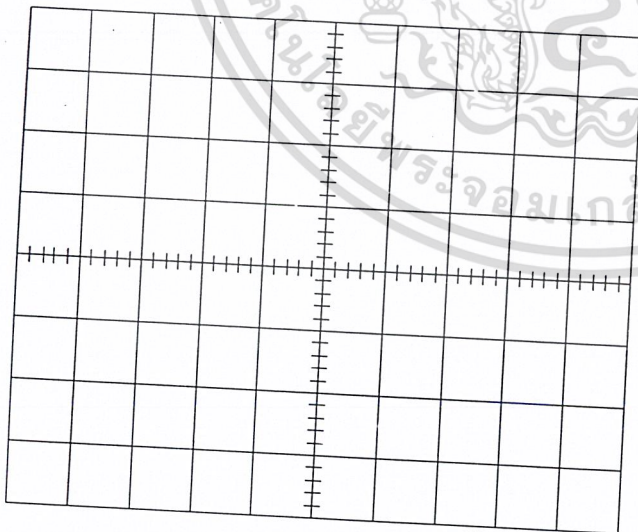
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

7. วัดสัญญาณที่จุด Audio Output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 บันทึกค่าสัญญาณที่จุดวัด Audio Output จากขั้นตอนที่ 7



Volts/div =

Time/div =

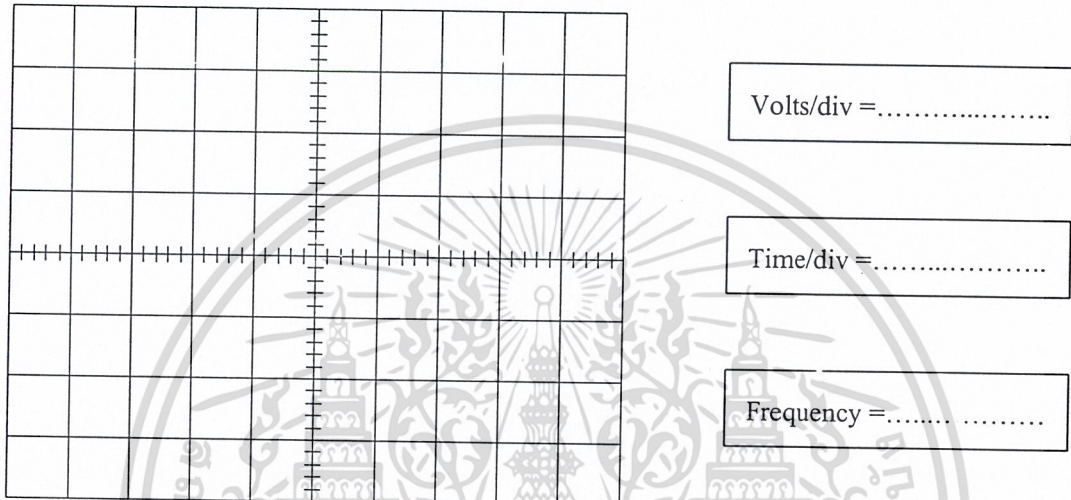
Frequency =

8. เลือกสวิตช์ (SW) ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. วัดสัญญาณที่จุด Audio Output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 9



10. เปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปไซน์เป็น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางที่ 1.4

11. เลือกสวิตช์ (SW) วงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟาร์ด

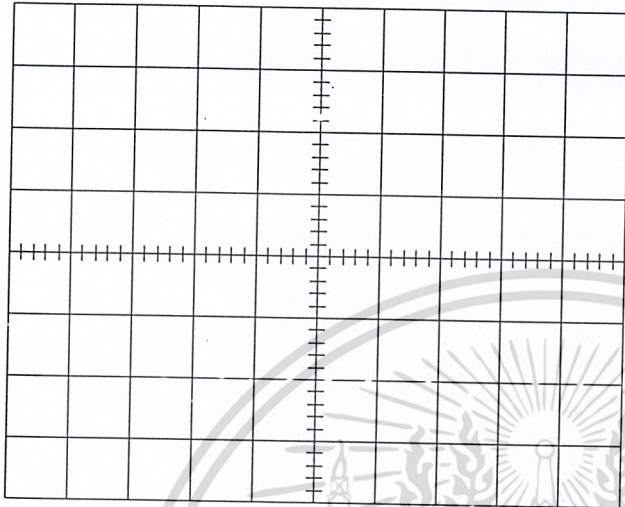
12. วัดสัญญาณที่จุด Audio Input ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.5

13. วัดสัญญาณที่จุด Audio output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.6

14. เลือกสวิตช์ (SW) วงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟาร์ด

15. วัดสัญญาณที่จุด Audio output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.4 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์

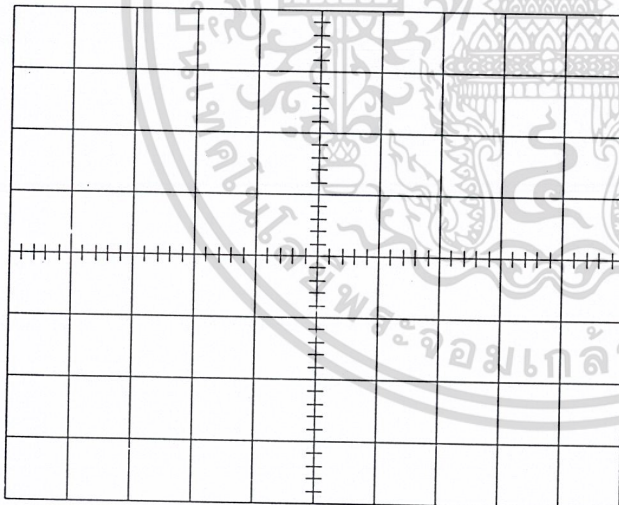


Volts/div =

Time/div =

Frequency =

ตารางที่ 1.5 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Input จากขั้นตอนที่ 12



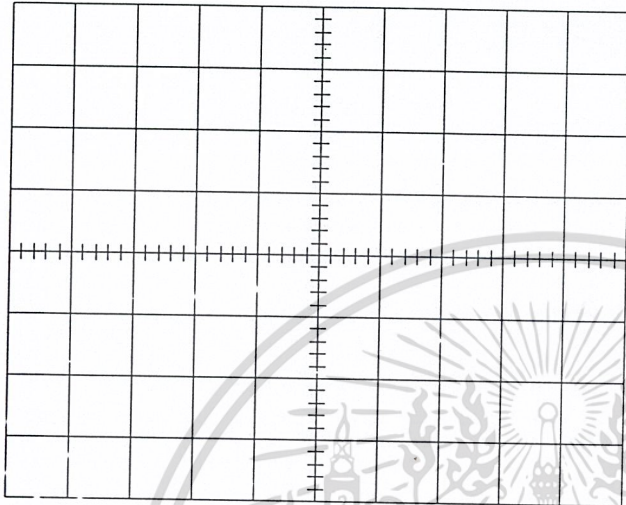
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 13

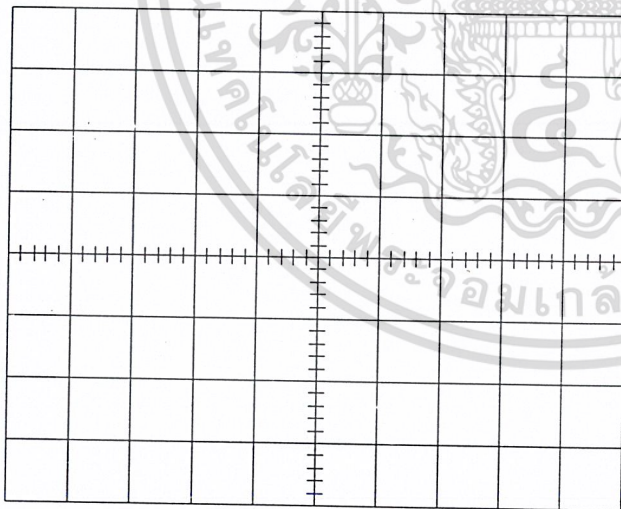


Volts/div =

Time/div =

Frequency =

ตารางที่ 1.7 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 15



Volts/div =

Time/div =

Frequency =

16. จงอธิบายถึงความแตกต่างของสัญญาณทางอินพุตกับสัญญาณทางเอาต์พุต

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

วงจรรวมสัญญาณ (Summing)

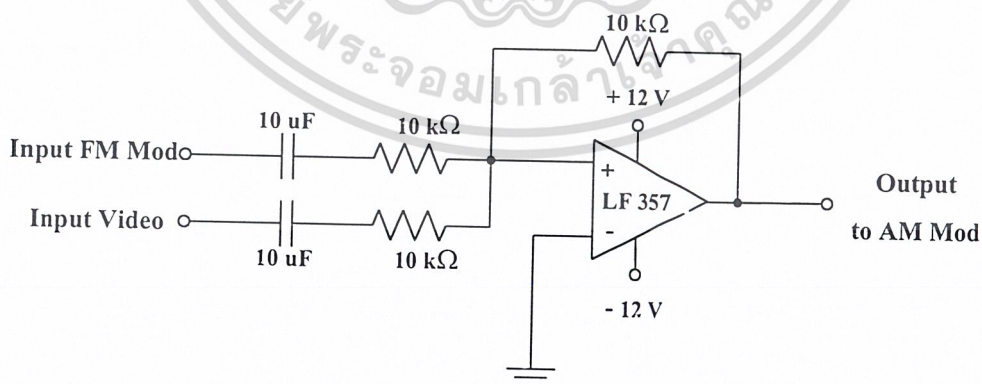
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของวงจรรวมสัญญาณได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถออกแบบวงจรรวมสัญญาณได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดและทดสอบจากวงจรรวมสัญญาณได้
4. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของวงจรรวมสัญญาณได้

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณภาพมาตรฐาน (Pattern Generator) 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) 2 เครื่อง
4. ชุดฝึกวงจรรวมสัญญาณ 1 เครื่อง

เนื้อเรื่อง



รูปที่ 2.1 วงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมสัญญาณ

เป็นการรวมสัญญาณระหว่างเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มกับสัญญาณภาพซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำไป มอดูเลตต่อไปในระบบเอเอ็มเพื่อส่งออกอากาศโดยในที่นี้จะใช้ไอซีเบอร์ LF357 ซึ่งเป็นออปแอมป์ ซึ่งมีแบนด์ที่อัตรายายเท่ากับ 1 มีค่า 34 เมกะเฮิร์ตซ์ และอัตราสลัวเท่ากับ 250 V/ μ S ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานในด้านนี้ จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการดังนี้

$$V_{out} = \left\{ \left(\frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left(\frac{R_f}{R_2} \right) V_2 \right\}$$

ให้ $R_f = R_1 = R_2 = 22$ กิโลโอห์ม

เนื่องจากการรวมสัญญาณเพียงอย่างเดียวไม่ต้องการขยายสัญญาณ $V_{out} = -(V_1 + V_2)$

เครื่องหมายลบ หมายถึง การกลับเฟสของสัญญาณเนื่องจากเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส

V_1 คือ สัญญาณเสียงที่ได้จากการมอดูเลตแบบเชิงขนาด

V_2 คือ สัญญาณภาพ

C_1 และ C_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นแรงดันออฟเซต ของสัญญาณอินพุตและเป็นตัวกำหนด คัทออฟที่ความถี่ต่ำของวงจรรวมสัญญาณ

จากสมการ

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_a R_i}$$

f_L คือ คัทออฟในช่วงความถี่ต่ำ (Low frequency Cut Off)

C_a คือ ค่าของตัวเก็บประจุ C_1 หรือ C_2

R_i คือ ค่าความต้านทานที่มองเข้ามาที่ C_1

f_L นั้นจะต้องกำหนดให้มีค่าความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่ใช้งานมาก

ตัวอย่างการออกแบบวงจร

สมมติกำหนดค่าต่างๆดังนี้

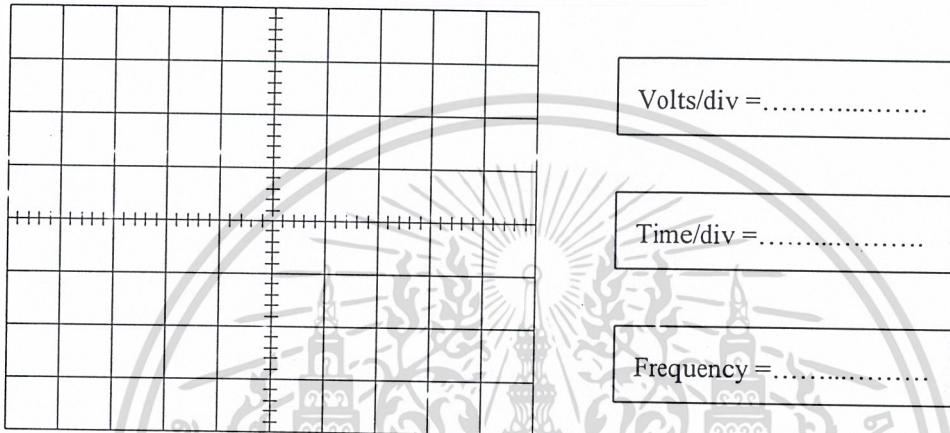
$$R_i = 10 \text{ กิโลโอห์ม} \quad f_L = 2 \text{ เฮิร์ตซ์}$$

ดังนั้นค่า C_a หาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

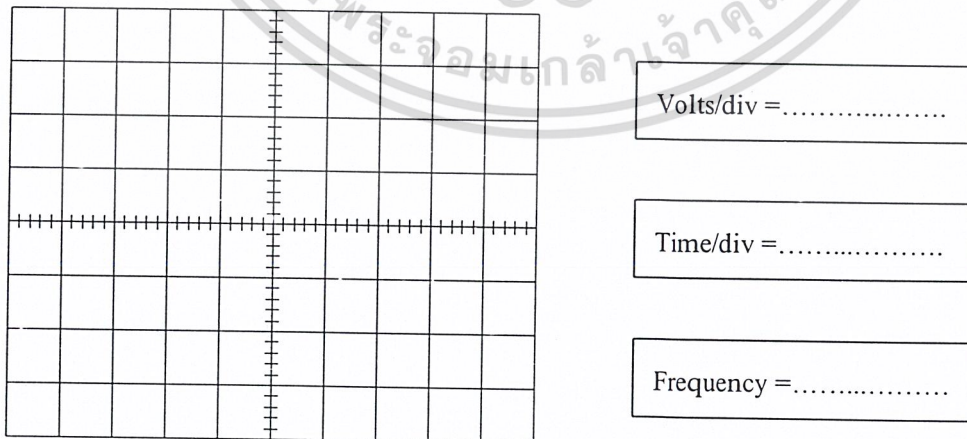
2. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่อินพุตของสัญญาณภาพ
3. วัดสัญญาณที่ได้แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ที่อินพุตสัญญาณภาพ



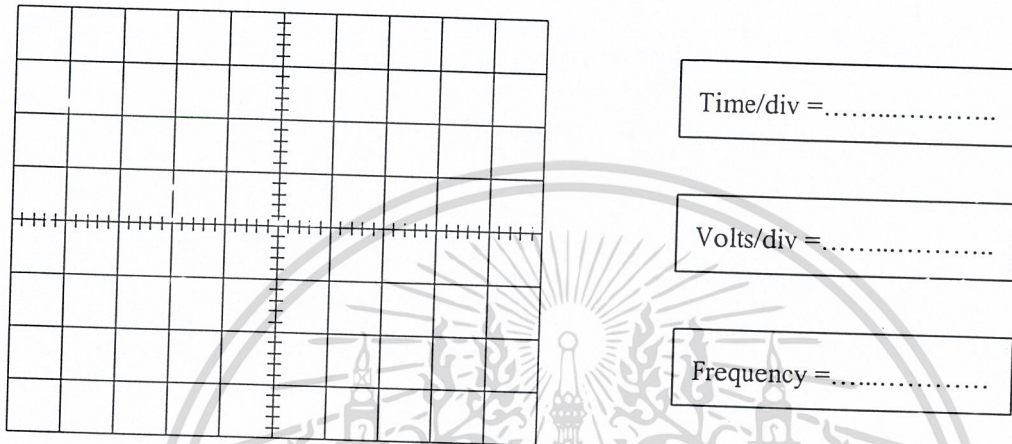
4. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่อินพุตของสัญญาณเสียง วัดสัญญาณและบันทึก ผลการทดลองลงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่น 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่อินพุตสัญญาณเสียง



5. วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ



6. เปรียบเทียบว่าก่อนและหลังรวมสัญญาณมีความแตกต่างกันอย่างไรจงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. ทำการคำนวณหาค่า V_{out} แล้วบันทึกผลทดลองลงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ

ค่า V_{out} ที่คำนวณ	ค่า V_{out} จากการทดลอง	ความผิดพลาด

ใบงานที่ 3

เรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณได้
2. สามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการกำเนิดสัญญาณได้
4. สามารถคำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|----------------------------|-----------|
| 1. ชุดฝึกวงจรออสซิลเลเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 2. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 3. สายต่อวงจร | 1 ชุด |

เนื้อหา

การกำเนิดความถี่ (Oscillator) ก็คือการทำให้เกิดสัญญาณไฟกระแสสลับเปลี่ยนแปลงสลับไปมาตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ หรือกล่าวทั่ว ๆ ไปคือ การแกว่งตัวของสิ่งต่าง ๆ ด้วยความแรงและความเร็วที่คงที่

ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกำเนิดความถี่ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของการทำงานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านการสื่อสารวิทยุ ด้านเครื่องมือวัดและทดสอบ ด้านดนตรี ด้านคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และยังใช้เป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ของวงจรอื่น ๆ อีกมากมาย

ความถี่ที่ถูกกำเนิดขึ้นมาจะอยู่ในรูปของสัญญาณไซน์ (Sine Wave) เสมอ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเวลา ความถี่ที่สามารถกำเนิดขึ้นมานั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. มีการเคลื่อนที่ไปมา หรือมีการสั่นตัวของวัตถุ ถ้าเป็นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องมีการทำงานของวงจรที่สลับไปมาของแรงดันและกระแสตลอดเวลา

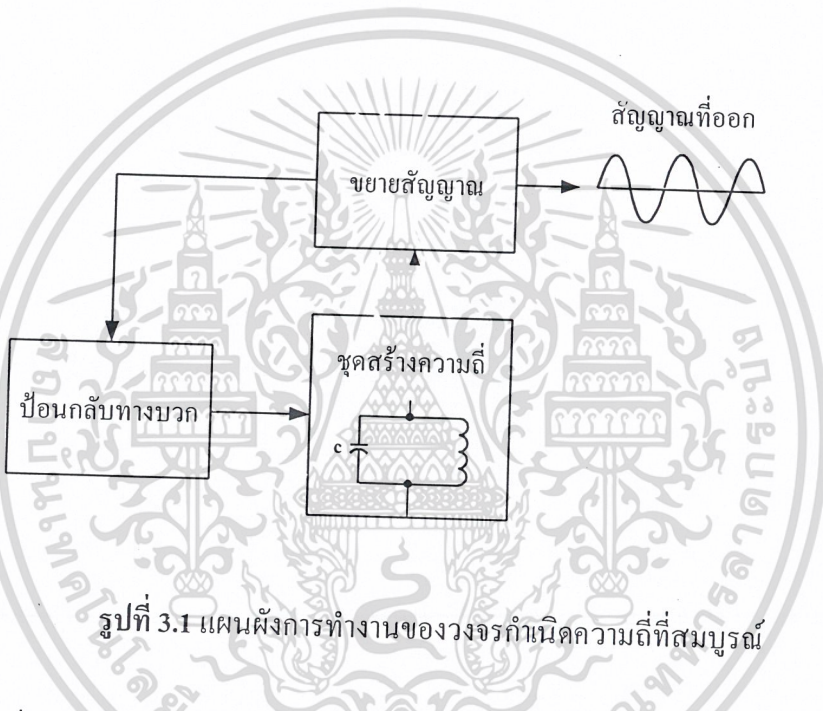
2. การเคลื่อนที่หรือการสั่นดังกล่าวจะต้องสัมพันธ์กับเวลา มีความคงที่และสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดความถี่ขึ้นมาเทียบกับเวลาใน 1 นาที คือความถี่ที่มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz)

3. ถ้าระดับความแรงของคลื่นลดลงที่เรียกว่ารูปคลื่นทรุด (Damping Wave) จะต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นเสริมความแรงของคลื่นเพื่อให้เกิดความคงที่และสม่ำเสมอต่อไป

วงจรออสซิลเลเตอร์ สามารถสร้างความถี่ขึ้นมาได้ นำไปใช้เป็นชุดสร้างความถี่ให้กับวงจรกำเนิดความถี่ได้ แต่มีข้อเสียที่ระดับความแรงของสัญญาณลดลงเรื่อย ๆ ไม่คงที่ ดังนั้นการจะนำไปใช้เป็นวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์ จะต้องเพิ่มวงจรขยายสัญญาณและวงจรป้อนกลับทางบวก (Positive Feedback) เข้าไป เพื่อทำให้วงจรกำเนิดความถี่สามารถกำเนิดความถี่ที่มีทั้งความถี่ (Frequency) และระดับความแรง (Amplitude) คงที่ตลอดเวลา สามารถนำไปใช้งานเป็นวงจรกำเนิดความถี่ได้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ ชุดสร้างความถี่ที่เป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะกำเนิดความถี่ขึ้นมา ส่งต่อไปวงจรขยายสัญญาณให้มีระดับความแรงมากขึ้นเพื่อส่งออกเอาต์พุตมีบางส่วนของสัญญาณที่ถูกขยายจะถูกป้อนกลับมาเข้าสู่ชุดสร้างความถี่ โดยเป็นการป้อนกลับทางบวก คือป้อนกลับมาเสริมความแรงของคลื่นที่กำเนิดขึ้นมา ให้มีระดับความแรงที่คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา ส่งไปขยายสัญญาณและส่งออกเอาต์พุต ได้ความถี่ที่มีความแรงคงที่ไปใช้งาน

ความถี่ที่วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานกำเนิดขึ้นมา สามารถคำนวณหาสูตรได้ดังนี้

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{0.159}{\sqrt{LC}} \dots\dots\dots\text{Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 F &= \text{ความถี่ที่เกิดขึ้นจากวงจรกำเนิดความถี่} && \text{หน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)} \\
 L &= \text{ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด} && \text{หน่วยเป็น เฮนรี่ (H)} \\
 C &= \text{ค่าความจุของตัวเก็บประจุ} && \text{หน่วยเป็น ฟารัด (F)} \\
 \pi &= \frac{22}{7}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานวงจรหนึ่งมีค่า $L = 2$ มิลลิเฮนรี่ และค่า $C = 80$ พิโคฟารัด จงหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร

สูตร

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$F =$ ต้องการหาHz

$$L = 2 \text{ mH} = 2 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C = 80 \text{ pF} = 80 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\pi = \frac{22}{7}$$

แทนค่า

$$F = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \sqrt{2 \times 10^{-3} \times 80 \times 10^{-12}}} = 397,727.27 \dots \text{ Hz}$$

$$F = 397.73 \text{ KHz.}$$

วงจรมีกำเนิดความถี่แบบคริสตัล (Crystal Oscillator)

เครื่องกำเนิดความถี่แบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุด เพราะเครื่องกำเนิดความถี่แบบนี้มีคุณสมบัติอย่างหนึ่งซึ่งหาไม่ได้จากเครื่องกำเนิดความถี่อื่น ๆ คือมีเสถียรภาพทางความถี่เป็นเยี่ยมหรือมีความถี่ที่คงที่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณที่มีความถี่มาตรฐานไว้ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์บางชนิด ใช้เป็นตัวสร้างแรงดันฐานเวลามาตรฐานให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความเที่ยงตรง

คริสตัล (Crystal) มีความหมายว่าผลึก ก็คือผลึกของวัสดุบางชนิดที่นำมาใช้งานได้ เช่น ควอตซ์ (Quartz) ทัวร์มาลีน (Tourmalin) และเกลือหินโรเชลล์ (Rochelle Salts) วัสดุเหล่านี้รวมเรียกว่า พิโซอิเล็กทริก (Piezo-Electric) มีคุณสมบัติ 2 ประการคือ

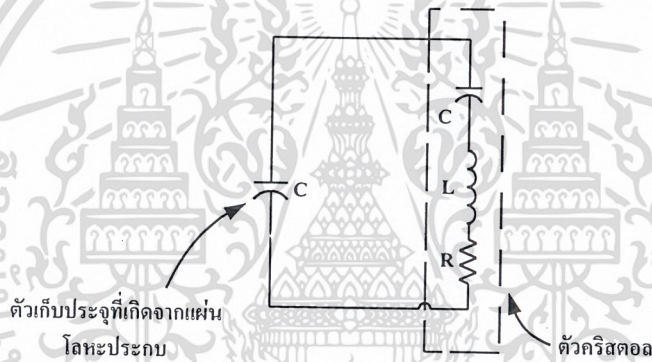
1. ถ้าวางคริสตัลบนแผ่นโลหะ 2 แผ่น และออกแรงกดบนแผ่นโลหะทั้งสองข้างใน

ทิศทางตรงข้ามกัน จะเกิดแรงดันที่แผ่นโลหะทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

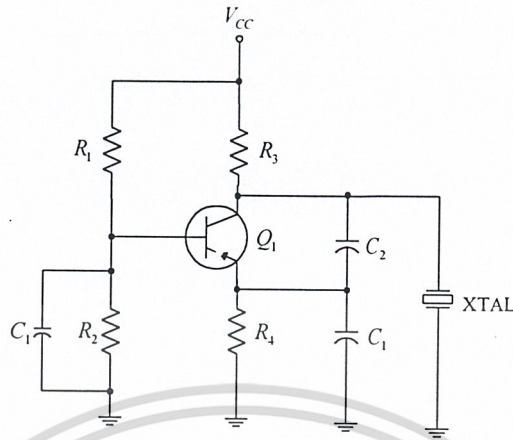
2. ถ้าป้อนไฟฟ้าเข้าที่แผ่นโลหะทั้งสองจะทำให้คริสตอลสั่น เกิดความถี่ขึ้นมานั้นคือตัวคริสตอลสามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้ตามปกติตัวคริสตอลจะถูกรบกวนไว้ในกล่องอย่างเรียบร้อย ต่อมาจากแผ่นโลหะทั้งสองที่ประกบแผ่นคริสตอลออกมาภายนอก มีสปริงกดแผ่นโลหะทั้งสองให้ประกบแน่นกับ แผ่นคริสตอล ดังรูปที่ 3.2 ความถี่ที่ได้จากคริสตอลนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นคริสตอล ถ้าแผ่นเร่หนาความถี่จะต่ำ ถ้าแผ่นเร่บางความถี่จะสูง ความถี่ยังเปลี่ยนแปลงไปบ้างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ตัวคริสตอลและอุณหภูมิที่อยู่รอบๆ ตัวคริสตอล

คุณสมบัติของตัวคริสตอลจะคล้ายกับวงจรเรโซแนนซ์ที่สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์

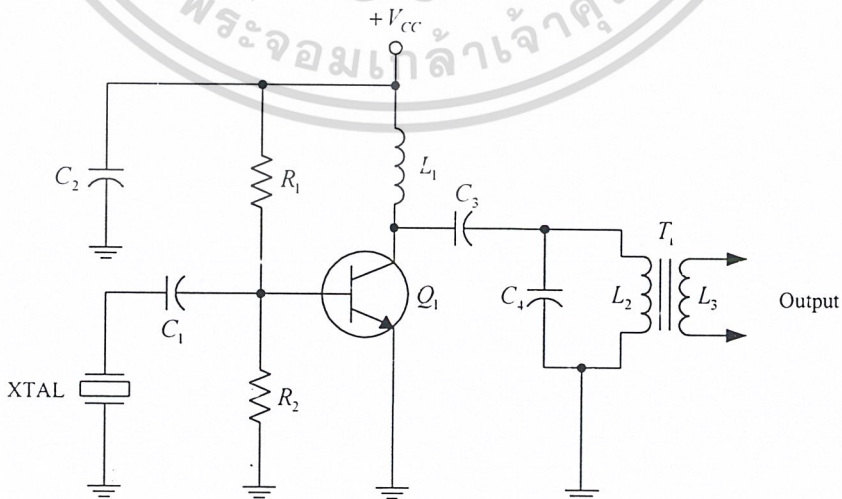
อุปกรณ์จำพวกคริสตอลเป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างจะบอบบาง ดังนั้นคริสตอลจึงต้องทำงานที่ระดับพลังงานต่ำๆ หรือในขณะใช้งานเป็นตัวกระตุ้นในขณะที่ป้อนกลับระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจะต้องไม่ให้ระดับแรงดันตกคร่อมตัวมันมากเกินไปจะทำให้ตัวคริสตอลเกิดความร้อนมากและทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นการใช้งานของตัวคริสตอลจึงนิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นวงจรกำเนิดความถี่อีกครั้งหนึ่งเพื่อทำให้ความถี่มีค่าเสถียรภาพสูง



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดความถี่แบบคริสตอล

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบคริสตอล โดยใช้คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่ ป้อนให้ขา B ของ Q_1 Q_1 จะนำกระแสเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของไบอัสที่ป้อนให้ ถ้าคริสตอลกำเนิดสัญญาณขาบนเป็นบวก ขาล่างเป็นลบ Q_1 จะนำกระแสมากขึ้นและถ้าคริสตอลกำเนิดสัญญาณขาบนเป็นลบและขาล่างเป็นบวก Q_1 จะนำกระแสน้อยลงได้ สัญญาณออกจากคอลเล็กเตอร์ของ Q_1 ไปตกคร่อม L_1 ผ่าน C_3 คัปปลิ่งสัญญาณผ่านไปตกคร่อมชุดเรโซแนนซ์ขนาน C_4 L_2 เหนี่ยวนำผ่าน L_3 เป็นสัญญาณเอาต์พุต

การกำเนิดความถี่ของคริสตอลจะมีเสถียรสูง ทำให้ความถี่เกิดขึ้นมีความคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง ความถี่ที่ส่งออกเอาต์พุตจึงมีค่าคงที่ตลอดเวลา



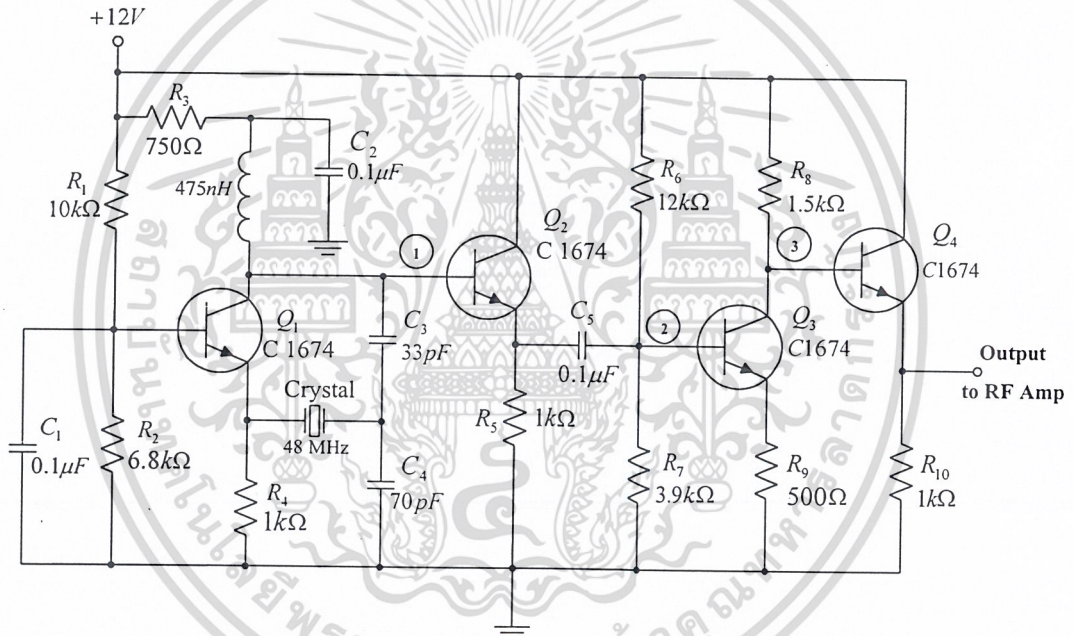
รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดความถี่แบบแคลมป์ที่ใช้คริสตอลเป็นตัวควบคุมความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบแคลมป์ (Clamp) โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมความถี่ ทรานซิสเตอร์จะกำเนิดความถี่ขึ้นมาจากที่ป้อนความถี่กลับทางกราวด์จากขา C มาขา B ของ Q_1 ผ่าน C_1 เป็นตัวคัปปลิงสัญญาณเข้าขา B ของ Q_1 Q_1 จะขยายสัญญาณความถี่ออกขาคอลเลคเตอร์ ถูกตัวทรานซิสเตอร์กำหนดความถี่ให้คงที่ซึ่งจะได้ความถี่ที่คงที่แน่นอนมีเสถียรภาพสูงออกเอาต์พุต

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิตช์ทำงานของชุดฝึกวงจรกำเนิดความถี่ เพื่อทำการวัดหาค่าและสัญญาณต่างๆ

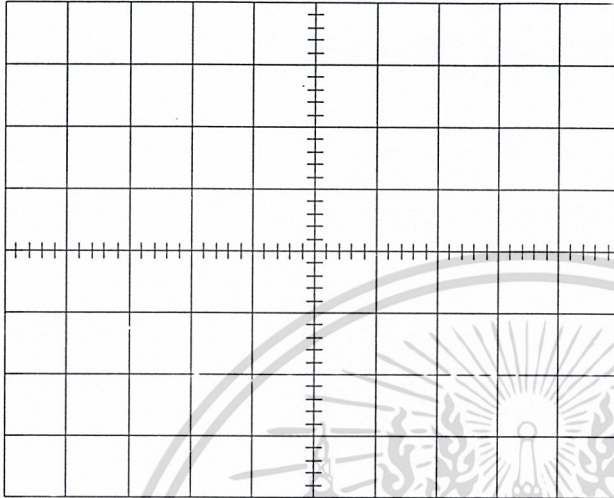


รูปที่ 5 วงจรออสซิลเลเตอร์

2. วัดสัญญาณที่จุดที่จุด 1 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณการสร้างความถี่ของคริสตัล ออสซิลเลเตอร์และทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 1 ของชุดฝึก



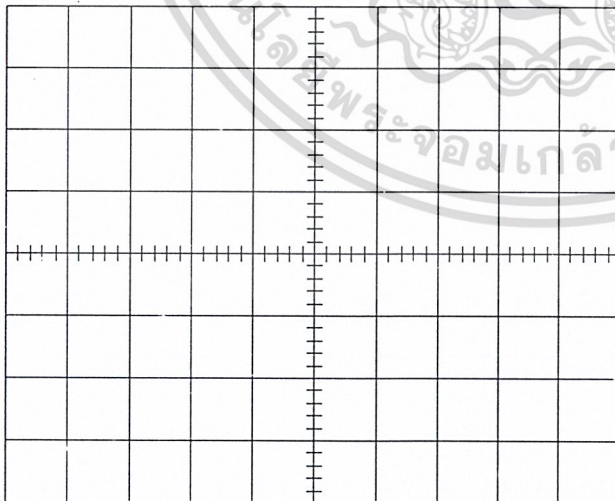
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

3. ทำการวัดสัญญาณที่ชุดฝึกจุด 2 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ก่อนการขยายสัญญาณและทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 2 ของชุดฝึก



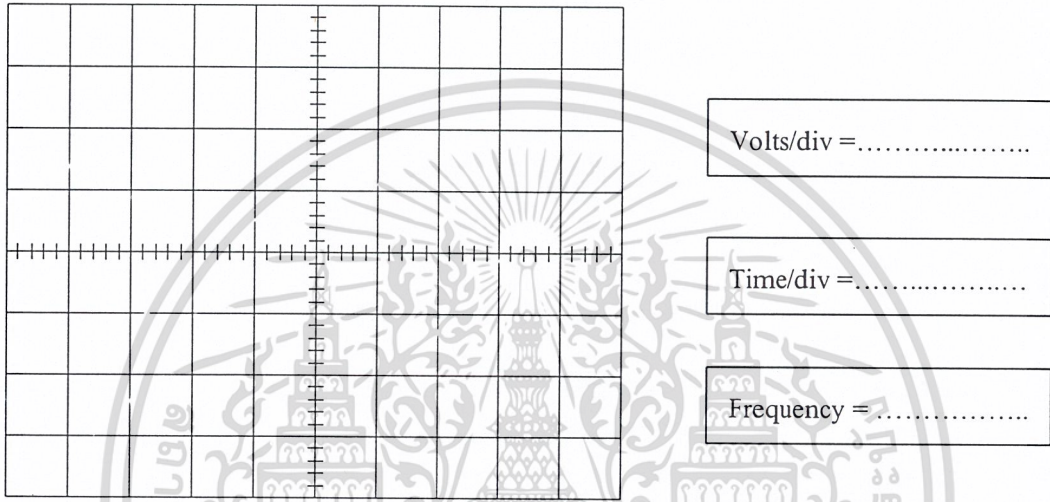
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

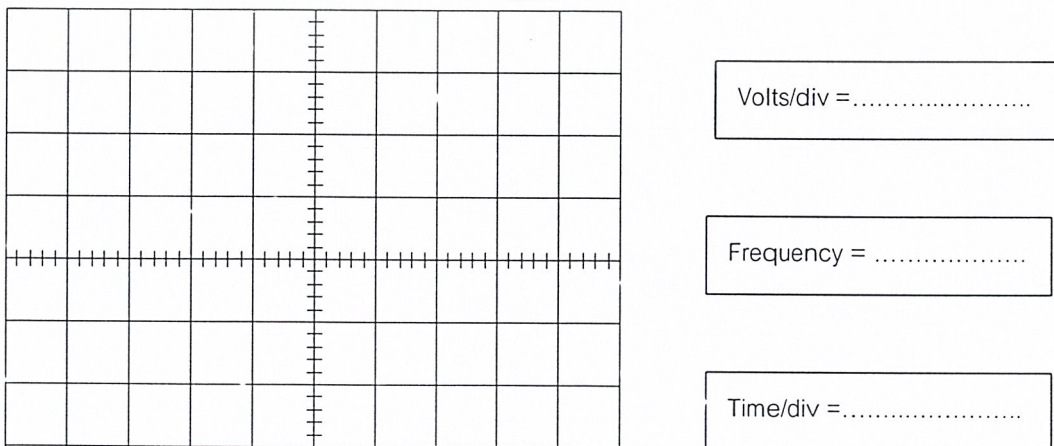
4. ทำการวัดสัญญาณที่จุดเฟืองจุดที่ 3 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว และทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 3 ของชุดเฟือง



5. ทำการวัดสัญญาณที่ชุดเฟืองจุด 4 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณเอาต์พุตหลังจากวงจรส่งผ่านและทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดได้
2. สามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการมอดูเลตเชิงขนาดได้
4. สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตได้

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|--|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) | 2 เครื่อง |
| 2. ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงขนาด | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. สายต่อนำสัญญาณ | 1 ชุด |

เนื้อเรื่อง

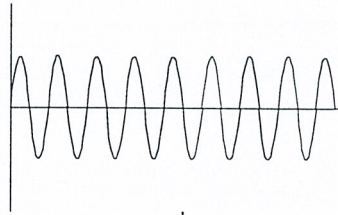
การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation หรือ AM) หรือที่เรียกสั้นๆว่าการมอดูเลตแบบ AM และเรียกสัญญาณที่ถูกมอดูเลตนี้ว่าสัญญาณ AM วิธีนี้ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่เข้ามารูปที่ 4.1 แสดงการมอดูเลตแบบ AM โดยรูป (ก) เป็นคลื่นพาห์ รูป (ข) เป็นข้อมูลข่าวสาร (ค) เป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ AM และมีสเปกตรัมของความถี่แสดงในรูป (ง) การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีง่ายที่สุดในการมอดูเลตแต่คุณภาพของสัญญาณไม่ดี มีความต้านทานสัญญาณรบกวนต่ำ เหมาะกับข้อมูลที่ไม่ต้องการคุณภาพของสัญญาณมากนัก

ในรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณการมอดูเลตของสัญญาณเสียงลงบนพาหะไม่เท่ากัน สังเกตได้ว่าขนาดของพาหะเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 3.3 (ก) และเปลี่ยนแปลงน้อยในรูปที่ 3.3 (ง) ปริมาณการมอดูเลตนี้นิยามวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ (บางที่เรียก แฟกเตอร์การมอดูเลต มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1)

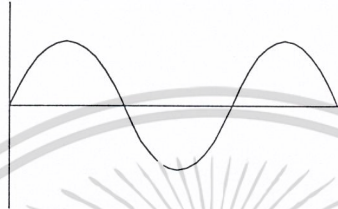
รูปที่ 4.4 พาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลต มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับศูนย์(0 เปอร์เซ็นต์)

ในรูปที่ 4.4 (ก) ลมมคิดว่ามีพาหะมีแรงดันบวกถึงแรงดันลบเท่ากับ 40 V_{p-p}

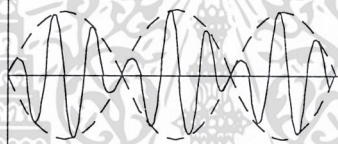
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คลื่นพาห้

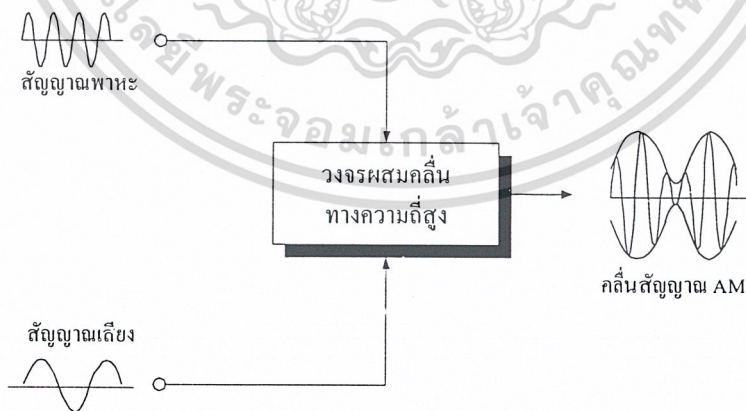


(ข) ข่าวสาร



(ค) สัญญาณที่ถูกมอดูเลตเชิงขนาด

รูปที่ 4.1 แสดงการมอดูเลตเชิงขนาด



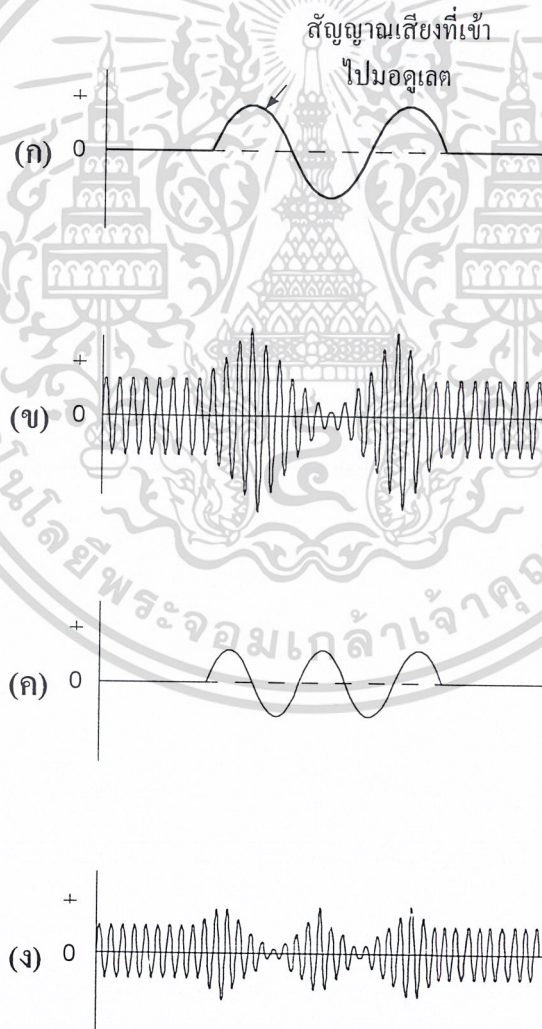
รูปที่ 4.2 วงจรที่ทำให้เกิดผสมคลื่นแบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.4 (ข) พาทะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่เต็มๆ 100 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงมาถึงศูนย์ และยอดคลื่นบวกถึงยอดคลื่นลบของพาหะจะให้ได้สูงสุด 80 Vp-p อย่างไรก็ตามค่าแรงดันโดยเฉลี่ยของพาหะยังคงเป็น 40 Vp-p เท่าเดิม

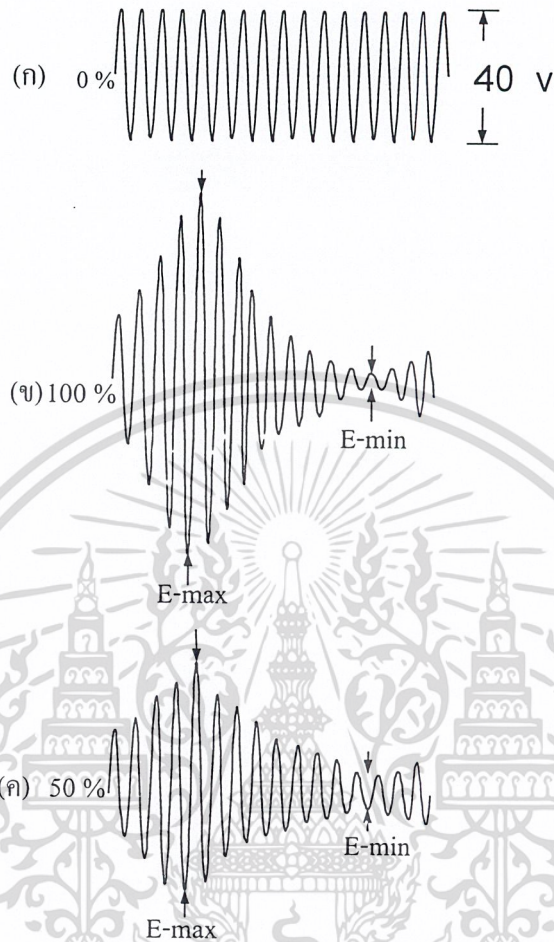
ในรูปที่ 4.4 (ค) พาทะถูกมอดูเลตเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ แรงดันของคลื่นพาหะสูงสุด 60 Vp-p และค่าสุด 20 Vp-p แรงดันเฉลี่ยของพาหะเท่ากับ 40 Vp-p (จาก $(60+20)/2 = 40$ Vp-p) เช่นเดิม เราสามารถใช้สูตรคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100$$



รูปที่ 4.3 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยเพื่อการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



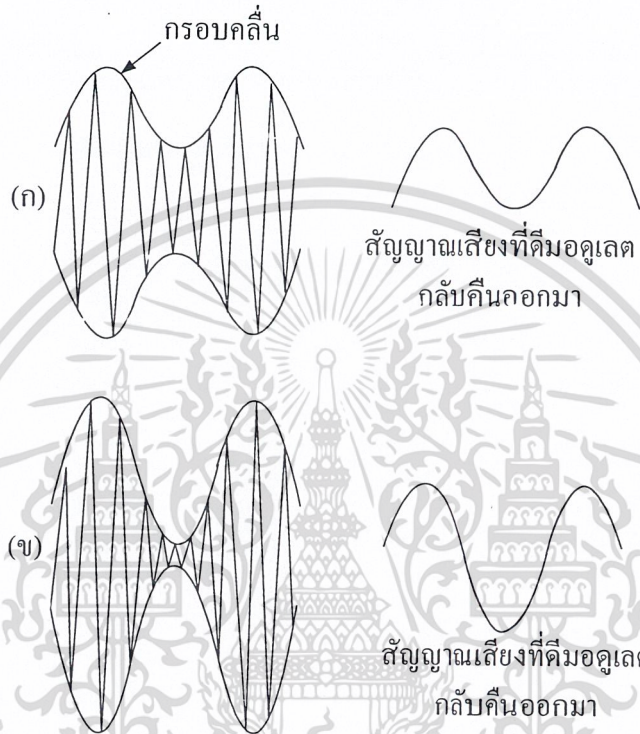
รูปที่ 4.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} &= \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100 \\
 &= \frac{60\text{v} - 20\text{v}}{60\text{v} + 20\text{v}} \times 100\% \\
 &= \left(\frac{40\text{v}}{80\text{v}} \right) \times 100\% = 50\%
 \end{aligned}$$

ปกติเราต้องการให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงสุด เพื่อว่าสัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับจะมีกำลังแรง รูปที่ 4.5 เนื่องจากเครื่องรับ AM จะเปลี่ยนคลื่น AM เป็นสัญญาณเสียง โดยการแยกเอาเฉพาะสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตลงบนพาหะกลับคืนจากคลื่น AM (คือดีมอดูเลตนั่นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่ได้ในกรณีที่ว่ามีมอดูเลตมาแรง (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูง) จะได้เสียงดังกว่า นั่นคือในรูปที่ 4.5(ข) จะให้สัญญาณเสียงที่ดังกว่ารูปที่ 4.5 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากกว่า



รูปที่ 4.5 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่มอดูเลตคืนมาได้ที่เครื่องรับจะมีความแรงมากน้อยขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลต

อย่างไรก็ตามการมอดูเลตต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดความเพี้ยน การมอดูเลตมากเกินไปนี้เรียกว่า การมอดูเลตเกิน (Overmodulation) หรือเรียกย่อๆ ว่า โอเวอร์มอดูเลต จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณ AM ลดลงได้ไม่ต่ำกว่าศูนย์ ไม่ว่าจะมอดูเลตแรงเท่าไรก็ตาม ยิ่งถ้าสัญญาณที่มอดูเลตมีค่ามากคลื่นพาหะจะหายไป (cutoff) บางส่วนเสียด้วยซ้ำ ดังนั้นกรอปกคลื่นของสัญญาณ AM จึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต รูปที่ 4.6 (ก) เป็นสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต (คือสัญญาณเสียง)

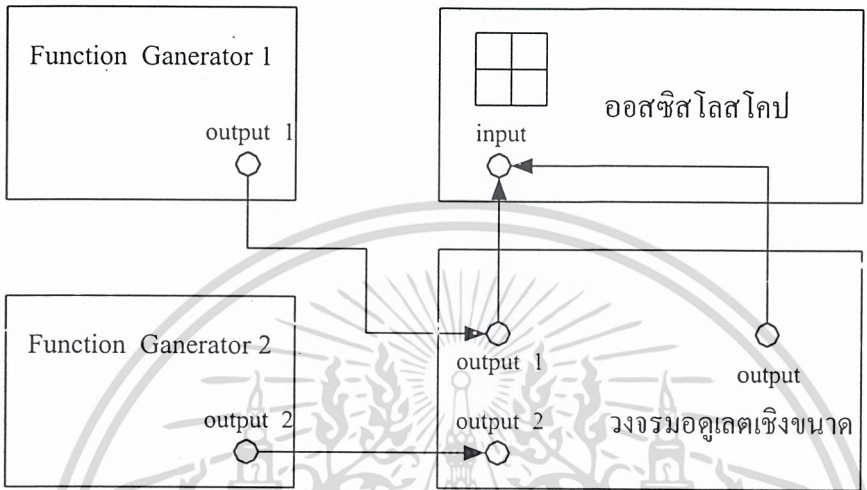
รูปที่ 4.6 (ข) เป็นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 4.6 (ค) เป็นพาหะที่มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความแรงมากเกินไปทำให้พาหะบางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับตีมอดูเลตสัญญาณเสียงกลับมามีลักษณะเหมือนกับกรอปก้อนซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังรูปที่ 4.6 (ง)



รูปที่ 4.6 การ โอเวอร์มอดูเลตจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการตีมอดูเลตที่เครื่องรับมีความเพี้ยน

ลำดับขั้นการทดลอง

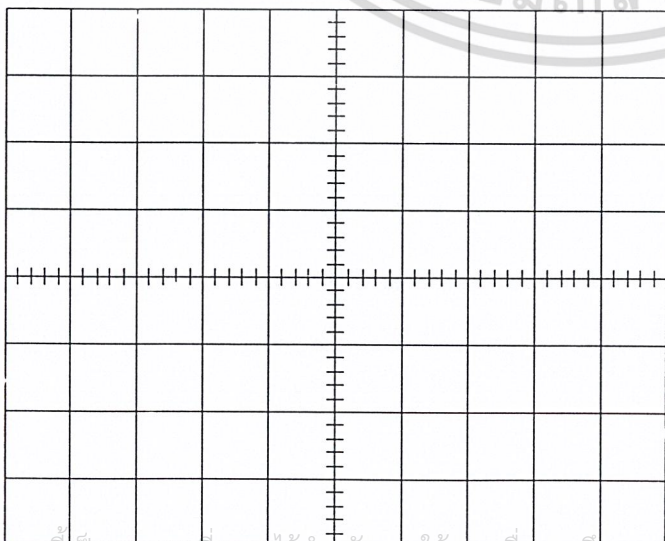
1. ทำการต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

2. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ (คลื่นพาห์) เข้าที่ Input Carrier ของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดเท่ากับ $6 v_{pp}$ วัดสัญญาณและบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 บันทึกค่าสัญญาณคลื่นไซน์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์



Volts/div =

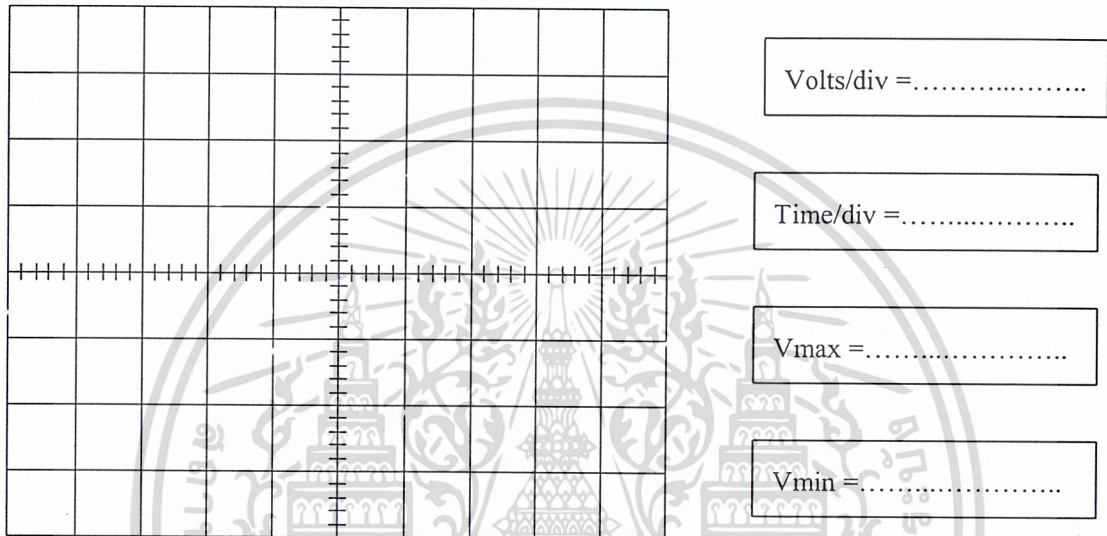
Time/div =

Vmax =

Vmin =

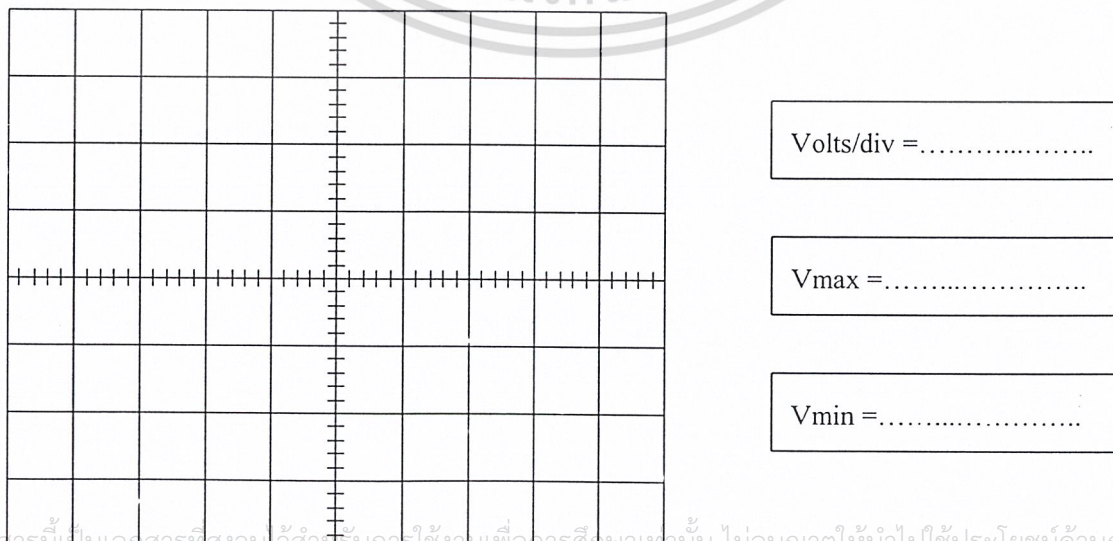
3. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาดเท่ากับ $6 V_{p-p}$ เข้าที่ Input Summing ของวงจรการมอดูเลตเชิงขนาด วัตสัญญาณและบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์



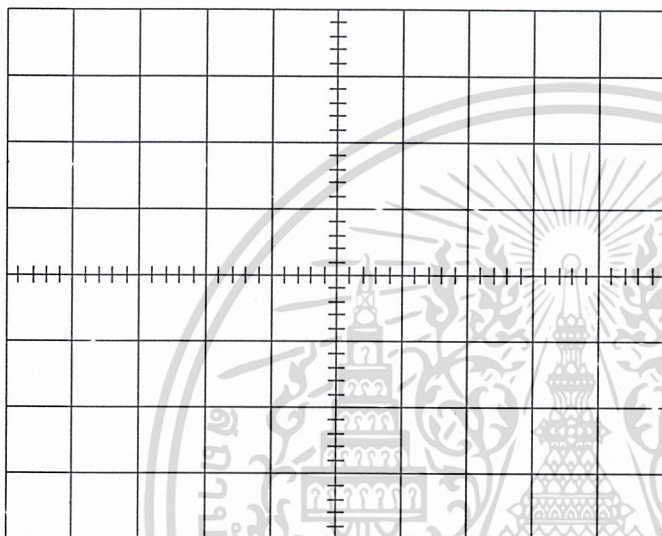
4. วัตสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดแล้วทำการบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด



5. จากนั้นทำการปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 2 ให้มีแรงดันเท่ากับ 3 Vp-p แล้วทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุตสังเกตผลการทดลองและทำการบันทึกผลในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตจากขั้นตอนที่ 5



Volts/div =

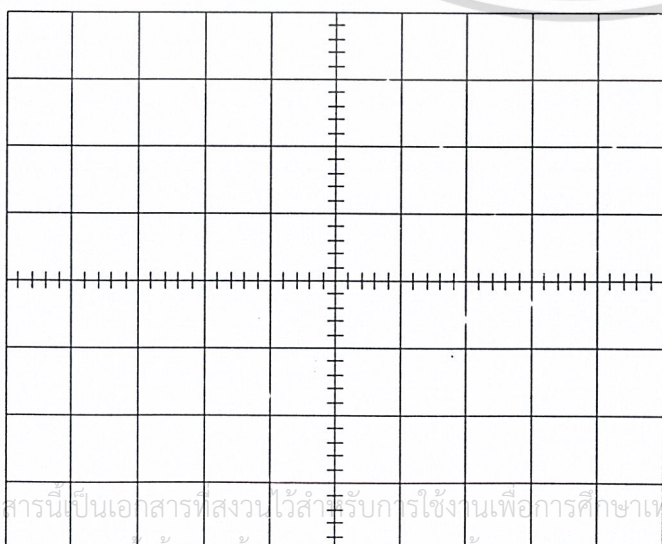
Time/div =

Vmax =

Vmin =

6. จากนั้นทำการปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 2 ให้มีแรงดันเท่ากับ 20 Vp-p แล้วทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุต สังเกตและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตจากขั้นตอนที่ 6



Volts/div =

Time/div =

Vmax =

Vmin =

ใบงานที่ 5

วงจรขยายสัญญาณ (RF Amplifier)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของวงจรขยายกำลังได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการขยายกำลังภาคส่งได้
4. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถคำนวณหาอัตราขยายกำลังได้

อุปกรณ์การทดลอง

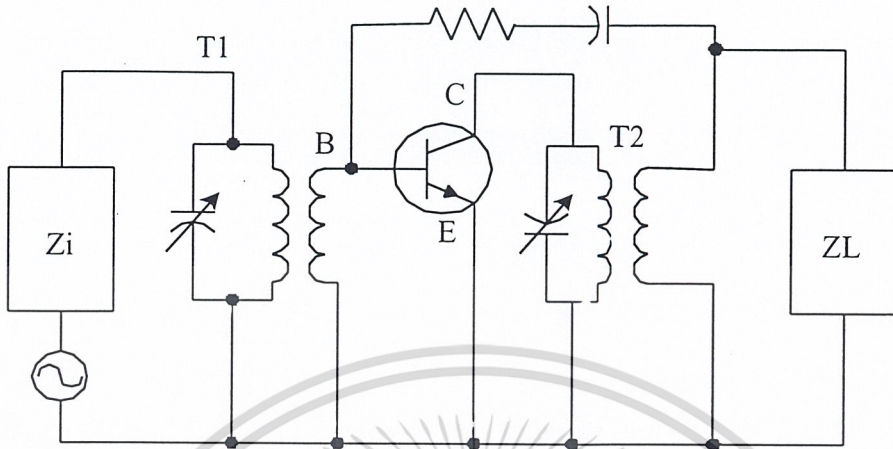
- | | |
|--|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) | 1 เครื่อง |
| 2. ชุดฝึกวงจรขยายสัญญาณ | 1 เครื่อง |
| 3. สายต่อวงจรการทดลอง | 1 ชุด |
| 4. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |

เนื้อเรื่อง

วงจรของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงแบบที่ เนื่องจากการขยายสัญญาณย่านความถี่สูง (รวมทั้งความถี่ย่านปานกลาง) โดยทั่ว ๆ ไปจะมีลักษณะเป็นการขยายเฉพาะช่วงความถี่หนึ่งๆ ทั้งวงจรของโพลและคัปปลิ่ง จะอยู่ในรูปของหาลเลือกความถี่ได้ ในการศึกษาถึงชนิดของวงจรเลือกความถี่จะต้องคำนึงถึงค่าแบนวิดท์ ความสมพียงกันของค่าอิมพีแดนซ์ การทำให้เป็นกลางของวงจรและอัตราการขยายของวงจรเป็นหลักการทำให้เป็นกลางของวงจรและอัตราการขยายของวงจรเป็นหลัก

เมื่อต้องการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานในย่านความถี่สูงรูปแบบของการทำงานของทรานซิสเตอร์จะแตกต่างจากการใช้ในย่านความถี่ต่ำโดยค่าความจุที่เกิดจากผลของอิเล็กโตรสแตติก (Electrostatic) จะกล่าวเป็นส่วนสำคัญที่สุด โดยเหตุนี้ในการขยายสัญญาณความถี่สูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการขยายช่วงของความถี่ที่ต้องการ ทั้งด้านสัญญาณเข้าและสัญญาณออกมักจะอยู่ในรูปของวงจรเลือกความถี่แบบขนานและต้องการใช้หม้อแปลงเข้าช่วยทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีความสมพียง ดังรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงการขยายความถี่สูงแบบล็อกความถี่

ตามรูปที่ 5.1 ข้อกำหนดที่จะทำให้ได้อัตราการขยายกำลัง PG สูงสุดคือต้องมีค่าอิมพีแดนซ์สมพ้องกันทั้งด้านสัญญาณเข้าและด้านสัญญาณออกของทรานซิสเตอร์ และการป้อนกลับที่เกิดขึ้นภายในอันเนื่องมาจากผลของ c_c จะต้องถูกทำให้เป็นกลางมากที่สุด อัตราการขยายกำลังที่ได้ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้เรียกว่าเป็นอัตราการขยายกำลังที่ได้สูงสุด (PG) สามารถหาค่าของอัตราการขยายกำลังได้จากสมการดังนี้

$$PG_{\max} = \frac{f_T}{8\pi f^2 c_c r_{bb}}$$

ตามสมการด้านบน จะเห็นว่าค่า PG_{\max} จะลดลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับกำลังสองของค่าความถี่ และที่ความถี่ซึ่งทำให้ค่า PG_{\max} มีค่าเป็น 1 จะเป็นความถี่ที่แสดงถึงข้อจำกัดของการขยายสัญญาณด้านความถี่สูงของทรานซิสเตอร์ ซึ่งหมายความว่าความถี่นี้จะเป็นความถี่สูงสุด f_{\max} ของตัวทรานซิสเตอร์นั่นเองจากสมการนี้จะกล่าวได้ว่า ที่ความถี่สูงขึ้นทรานซิสเตอร์นี้จะนำใช้เพียงใด ค่าของ f_T จะต้องมามีค่ามากขึ้นเพียงนั้น และ $\frac{f_T}{c_c r_{bb}}$ ค่านี้เรียกว่าการแสดงคุณค่าของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง

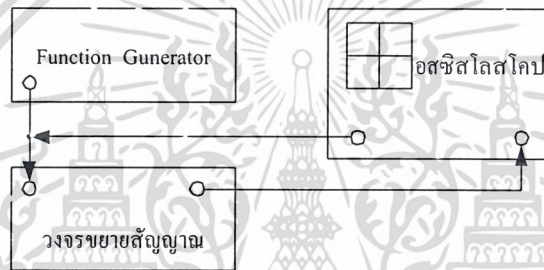
ตัวอย่าง จงหาค่า (ก) PG_{max} ที่ความถี่ 10 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานมีคุณสมบัติดังนี้
 $f_T = 100$ เมกะเฮิรตซ์ $r_{bb'} = 30\Omega$ และ $C_c = 1.5 pF$

วิธีทำ

$$PG_{max} = \frac{fT}{8\pi f^2 C_c r_{bb'}} = \frac{100 \times 10^6}{8\pi \times (10^6)^2 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 30} = 884(29.5dB)$$

ลำดับขั้นการทดลอง

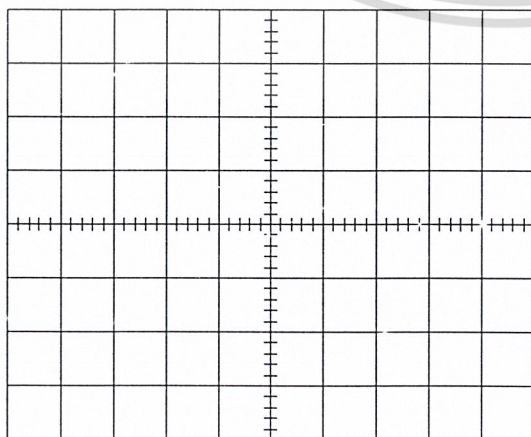
1. ต่อชุดฝึกวงจรดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การต่อชุดฝึกวงจรขยายสัญญาณ

2. ป้อนสัญญาณรูปไซน์ค่า 100 กิโลเฮิรตซ์เข้าที่อินพุตของชุดฝึกแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 บันทึกสัญญาณรูปคลื่น ไซน์ 100 กิโลเฮิรตซ์



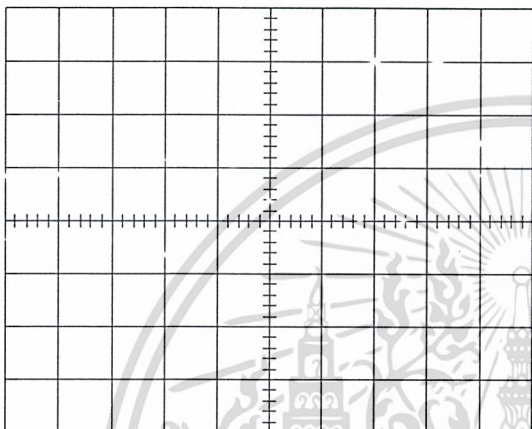
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

5. ปรับขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้น สังเกตผลการทดลอง วัดและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 บันทึกสัญญาณเมื่อขนาดของรูปคลื่นสูงขึ้น



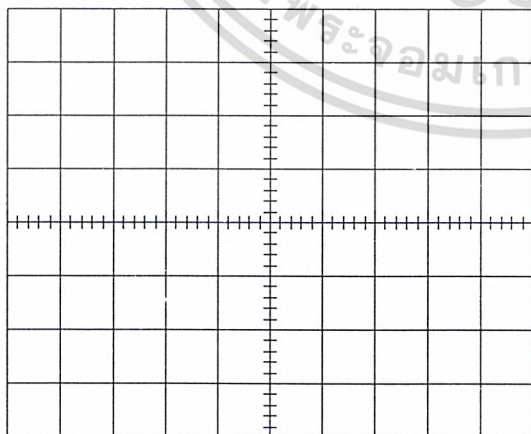
Volts/div =

Time/div =

Frequency =

6. ปรับขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ให้แรงดันมีค่าลดลง สังเกตผลการทดลอง วัดและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 บันทึกสัญญาณเมื่อขนาดของรูปคลื่นลดลง



Volts/div =

Time/div =

Frequency =

7. จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 2 และ 3 สัตว์ญานมีความแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

.....

8. ผลการทดลองในการทดลองที่ 5 และ 6 สังเกตการเปลี่ยนแปลงพบว่ามีเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

9. จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4 กับผลการทดลองในตารางที่ 2 มีความแตกต่างกันหรือไม่ จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก จ

เฉลยใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

การมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการมอดูเลตเชิงความถี่ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดหาค่าต่างๆของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการมอดูเลตเชิงความถี่ได้

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|--|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) | 1 เครื่อง |
| 2. ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. สายต่อวงจร | 1 ชุด |
| 5. มัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |

เนื้อเรื่อง

รูปคลื่นของสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 1.1(ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณค้ำรูปที่ 1.1(ข) สัญญาณพาหะหลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ 1.1(ค) เป็นสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ จะเห็นได้ว่าที่เวลา t_0 สัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดสุดยอด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลาง ดังเดิมหลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็กลับมายังความถี่กลางดังเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_5 ก็จะมีซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณมอดูเลต และพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความถี่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) หรือ ดีวีเอชเอ็น ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิร์ตซ์และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิร์ตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 100 เมกะเฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของ สัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามาเป็น โทน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณความถี่ของสัญญาณมอดูเลตเชิงความถี่จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพิ่มความถี่ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยคงขนาดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่ากับ ± 100 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มความถี่เป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที



รูปที่ 1.1 การมอดูเลตเชิงความถี่

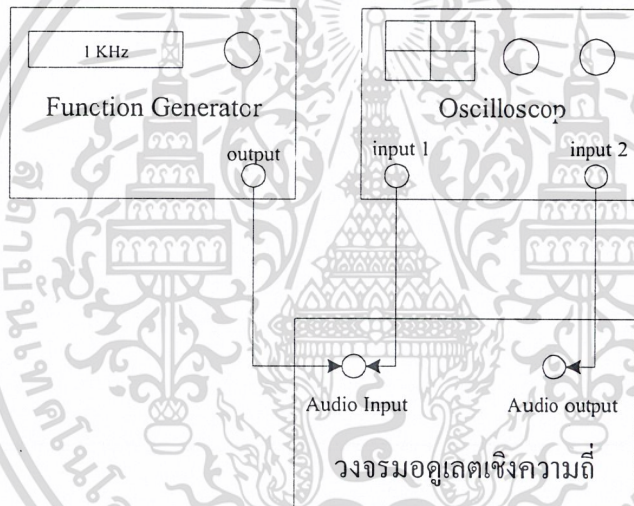
นั่นคือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโทนที่ขนาดจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 50 กิโลเฮิร์ตซ์

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีขนาดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยง เป็นสัดส่วนขนาดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1.2



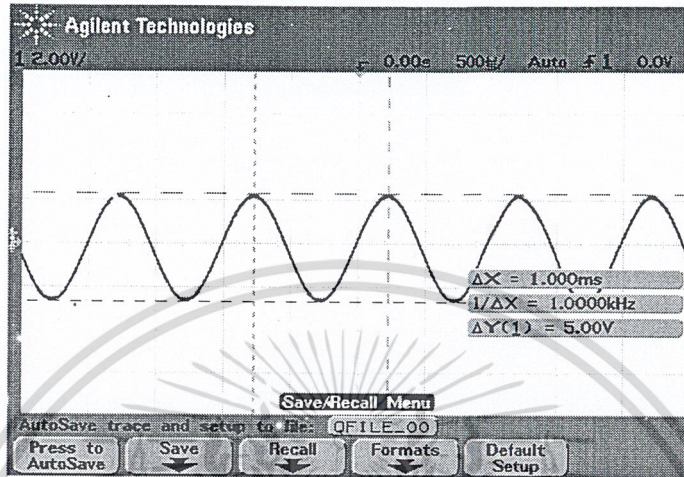
รูปที่ 1.2 การต่อชุดฝึกการทดลองวงจรมอดูเลตเชิงความถี่

2. เลือกสวิตช์ (SW) ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟารัด
3. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์เข้าที่ Audio Input แรงดันเท่ากับ 5 โวลต์
4. วัดแรงดันไบอัสไอซีจุดที่ (3) ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ = 1.5 โวลต์
5. วัดแรงดัน Frequency Tuning ที่จุด(4), (5) ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ = 4.4 โวลต์
6. วัดสัญญาณที่จุด Audio Input ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง

ในตารางที่ 1.1

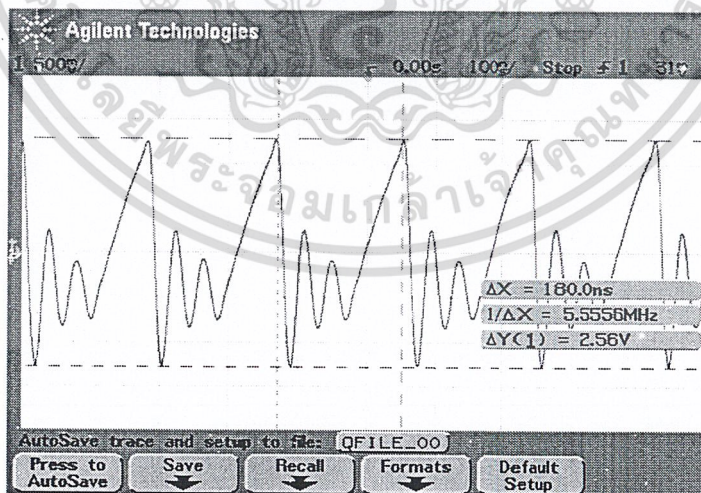
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Input จากขั้นตอนที่ 6



7. วัดสัญญาณที่จุด Audio Output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง
ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 บันทึกค่าสัญญาณที่จุดวัด Audio Output จากขั้นตอนที่ 7

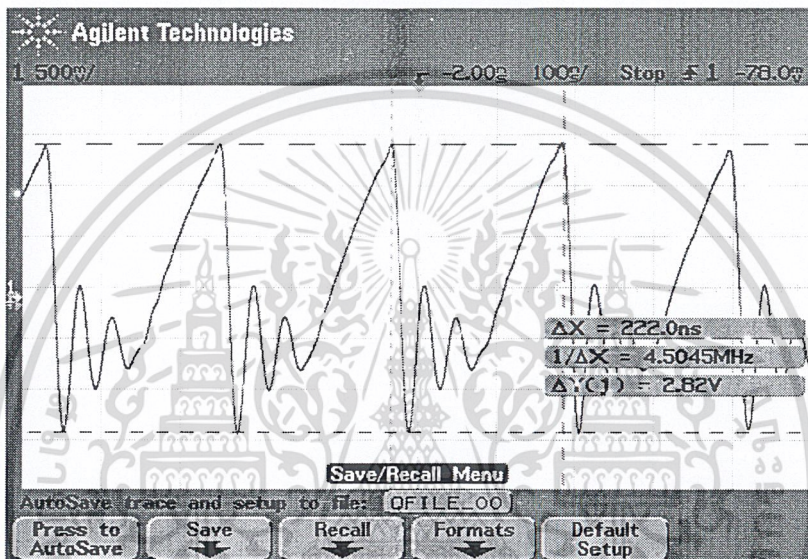


8. เลือกสวิตช์ (SW) ของวงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. วัดสัญญาณที่จุด Audio Output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง
ในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 9



10. เปลี่ยนสัญญาณคลื่นรูปไซน์เป็น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงใน
ตารางที่ 1.4

11. เลือกสวิตช์ (SW) วงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 68 พิโคฟารัด

12. วัดสัญญาณที่จุด Audio Input ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง
ในตารางที่ 1.5

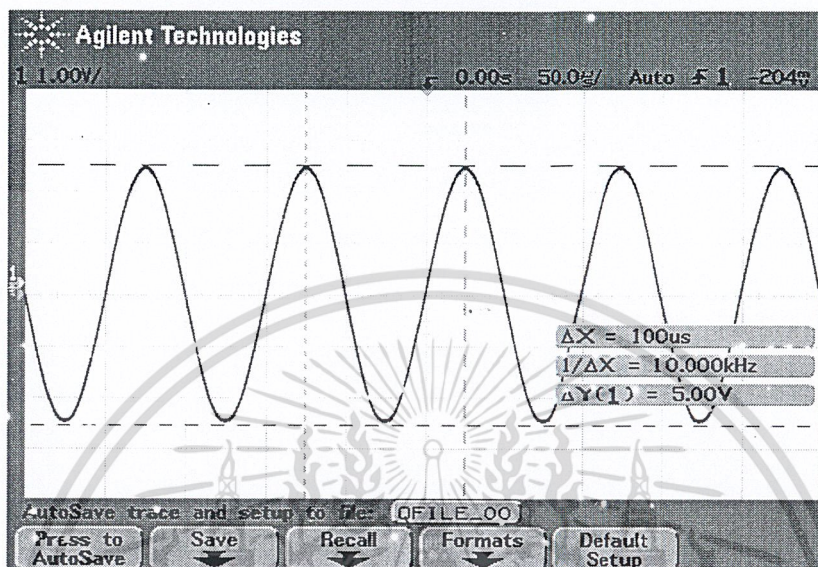
13. วัดสัญญาณที่จุด Audio output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง
ในตารางที่ 1.6

14. เลือกสวิตช์ (SW) วงจรมอดูเลตเชิงความถี่มาใช้ตัวเก็บประจุค่า 50 พิโคฟารัด

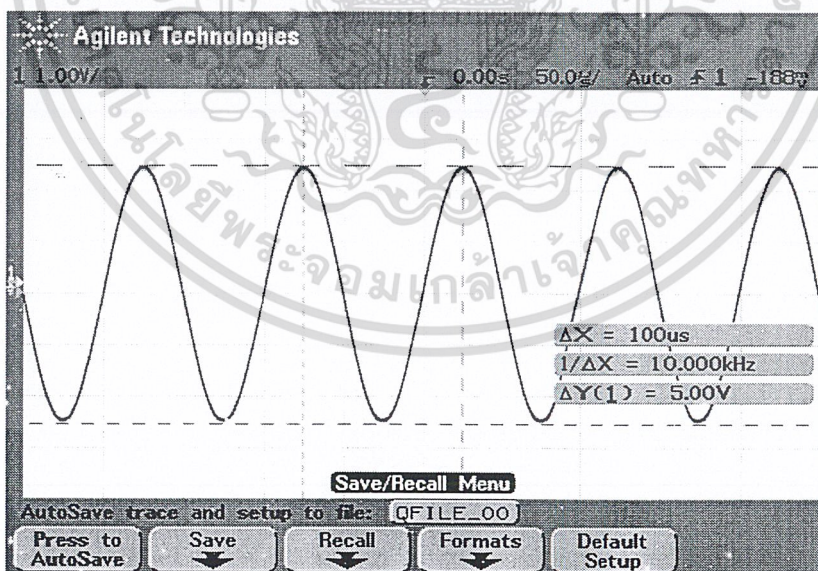
15. วัดสัญญาณที่จุด Audio output ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงความถี่แล้วบันทึกผลการทดลอง
ในตารางที่ 1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์

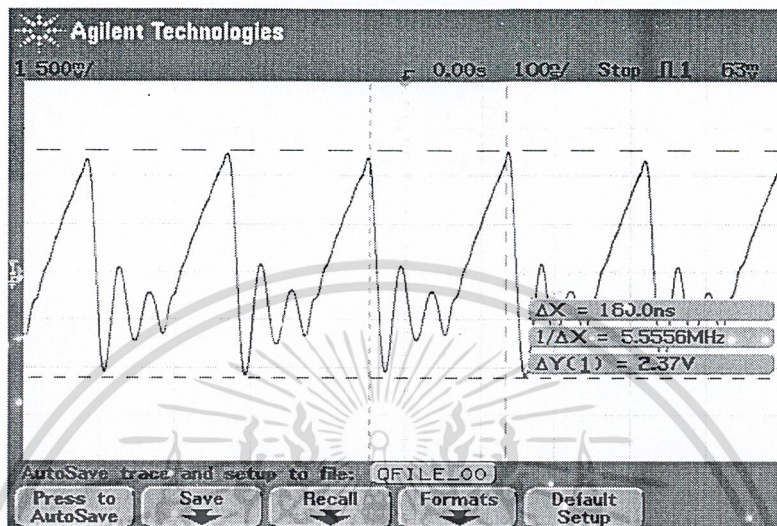


ตารางที่ 1.5 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Input จากขั้นตอนที่ 12

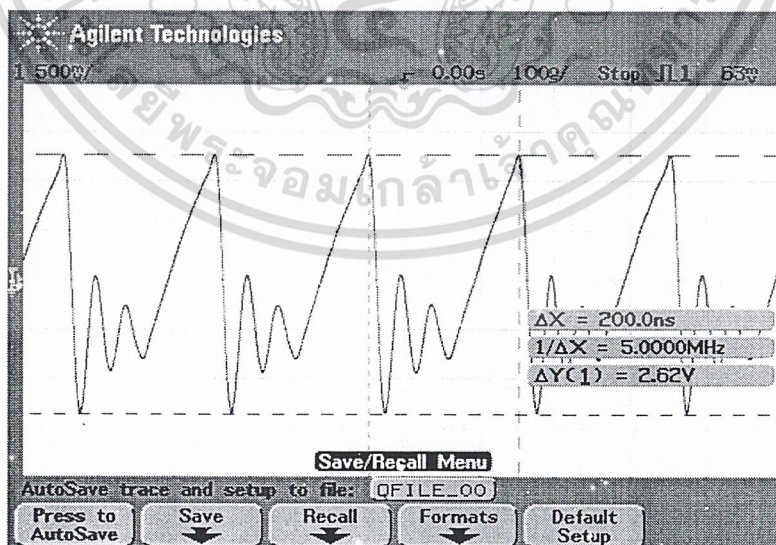


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 13



ตารางที่ 1.7 บันทึกค่าสัญญาณที่จุด Audio Output จากขั้นตอนที่ 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. จงอธิบายถึงความแตกต่างของสัญญาทางอินพุตกับสัญญาทางเอาต์พุต

สัญญาทางอินพุตและสัญญาทางเอาต์พุตมีความแตกต่างกัน โดยที่สัญญาทางเอาต์พุตนั้นจะมีสัญญาที่มีช่วงความถี่ที่มีลักษณะที่มีความถี่แตกต่างกัน ส่วนสัญญาทางอินพุตนั้นเป็นสัญญาที่มีลักษณะเป็นสัญญาณรูปคลื่น ไซน์ซึ่งมีความถี่ที่เท่ากันทั้งรูปคลื่น

17. จงเปรียบเทียบการทดลองในตารางที่ 1.2 กับตารางที่ 1.3 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

จากการผลการทดลองในตารางที่ 1.2 และ ตารางที่ 1.3 นั้นมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่สัญญาที่อินพุตนั้นจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่น ไซน์แต่สัญญาทางเอาต์พุตนั้นมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่น ไซน์และลักษณะรูปร่างของสัญญาณในตารางที่ 1.3 นั้นความถี่ไม่เท่ากัน

18. จงเปรียบเทียบการทดลองในตารางที่ 1.5 กับตารางที่ 1.6 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

ในผลการทดลองในตารางที่ 1.5 และตารางที่ 1.6 พบว่าผลในการทดลองนั้นมีรูปคลื่น ไซน์ที่เหมือนกัน โดยจะเหมือนกันทั้งขนาดของสัญญาณและความถี่

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองในใบงานนี้สรุปได้ว่าดังนี้ว่าการมอดูเลตเชิงความถี่นั้นสัญญาทางอินพุตและเอาต์พุตนั้นมีความแตกต่างกันทางด้านของความถี่ที่ไม่เหมือนกัน โดยสัญญาที่ถูกมอดูเลตเชิงความถี่นั้นจะมีแรงดันที่เท่ากันตลอดสัญญา แต่สัญญาที่เข้ามาหรือสัญญาที่เป็นข่าวสารนั้นจะเปลี่ยนแปลงความถี่ตามความถี่ของคลื่นพาห้

ใบงานที่ 2

วงจรรวมสัญญาณ (Summing)

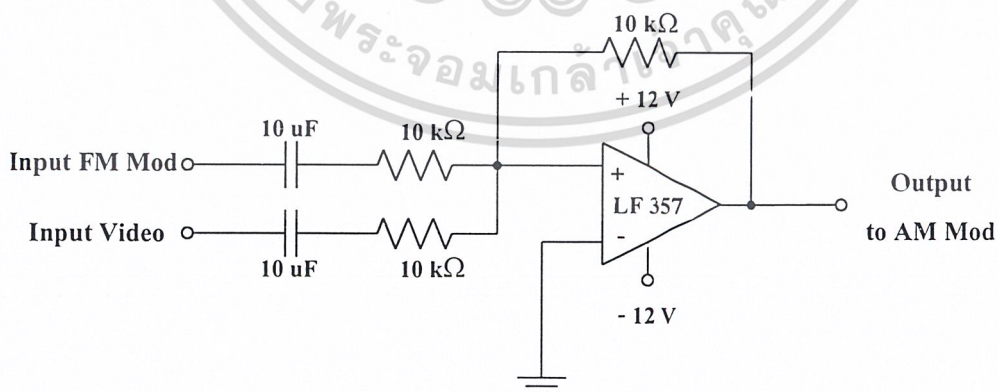
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของวงจรรวมสัญญาณได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถออกแบบวงจรรวมสัญญาณได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดและทดสอบจากวงจรรวมสัญญาณได้
4. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของกรรวมสัญญาณได้

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณภาพมาตรฐาน (Pattern Generator) 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) 2 เครื่อง
4. ชุดฝึกวงจรรวมสัญญาณ 1 เครื่อง

เนื้อเรื่อง



รูปที่ 2.1 วงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมสัญญาณ

เป็นการรวมสัญญาณระหว่างเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มกับสัญญาณภาพซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำไป มอดูเลตต่อไปในระบบเอเอ็มเพื่อส่งออกอากาศโดยในที่นี้จะใช้ไอซีเบอร์ LF357 ซึ่งเป็นออปแอมป์ ซึ่งมีแบนด์ที่อัตรายายเท่ากับ 1 มีค่า 34 เมกะเฮิร์ตซ์ และอัตราสลัวเท่ากับ 250 V/ μ S ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานในด้านนี้ จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการดังนี้

$$V_{out} = \left\{ \left(\frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left(\frac{R_f}{R_2} \right) V_2 \right\}$$

ให้ $R_f = R_1 = R_2 = 22$ กิโลโอห์ม

เนื่องจากต้องการรวมสัญญาณเพียงอย่างเดียวไม่ต้องการขยายสัญญาณ เครื่องหมายลบ หมายถึง การกลับเฟสของสัญญาณเนื่องจากเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส

V_1 คือ สัญญาณเสียงที่ได้จากการมอดูเลตแบบเชิงขนาด

V_2 คือ สัญญาณภาพ

C_1 และ C_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นแรงดันออฟเซต ของสัญญาณอินพุตและเป็นตัวกำหนด คัทออฟที่ความถี่ต่ำของวงจรรวมสัญญาณ จากสมการ

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_a R_i}$$

f_L คือ คัทออฟในช่วงความถี่ต่ำ (Low frequency Cut Off)

C_a คือ ค่าของตัวเก็บประจุ C_1 หรือ C_2

R_i คือ ค่าความต้านทานที่มองเข้ามาที่ C_1

f_L นั้นจะต้องกำหนดให้มีค่าความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่ใช้งานมาก

ตัวอย่างการออกแบบวงจร

สมมติกำหนดค่าต่างๆดังนี้

$$R_i = 10 \text{ กิโลโอห์ม} \quad f_L = 2 \text{ เฮิร์ตซ์}$$

ดังนั้นค่า C_a หาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_a = \frac{1}{2\pi(2 \times 10^3)} = 7.0957 \mu F$$

ซึ่งจะเลือกใช้ค่า $C_1, C_2 = 10$ ไมโครฟารัด

ดังนั้นเมื่อเลือกใช้ค่า $C_1, C_2 = 10$ ไมโครฟารัด ค่าของ f_L จึงเท่ากับ 1.5915 เฮิรตซ์

ให้สัญญาณเสียงมีแรงดัน 500 mV_{p-p}

ให้สัญญาณภาพมีแรงดัน 1.5 V_{p-p}

เพราะฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ 2 V_{p-p} ดังนั้นที่ความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์
ออปแอมป์จะต้องมีอัตราสลับ

$$S_r = \omega_0 \times V_p = 2\pi(5.5 \times 10^6) \times 1 = 35 V/\mu s$$

การคำนวณจะเห็นว่าอัตราสลับที่ได้มีค่าไม่เกินอัตราการสลับของไอซีออปแอมป์ LF357
จึงใช้ไอซีเบอร์นี้ในการรวมสัญญาณ

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. จงออกแบบวงจรรวมสัญญาณโดยมีสัญญาณเสียงมีแรงดันเท่ากับ 400 mV_{p-p} ให้
สัญญาณภาพมีแรงดันเท่ากับ 1.6 V_{p-p} และ $R_i = 4.7$ กิโลโอห์ม และ $f_L = 1$ เฮิรตซ์

วิธีทำ

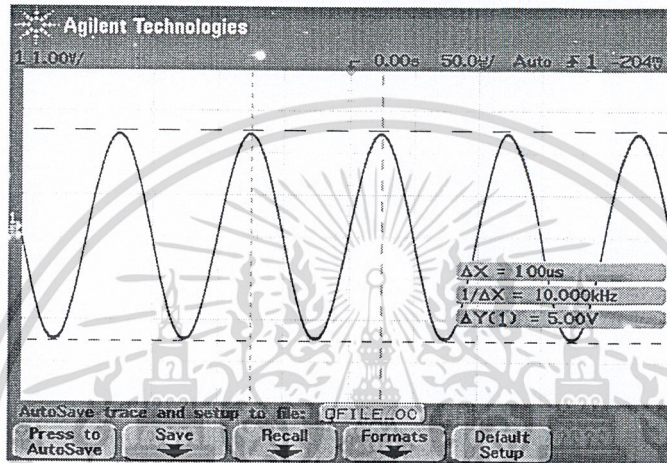
$$C_a = \frac{1}{(2\pi)(f_L)(R_i)}$$

$$C_a = \frac{1}{(2\pi)(1\text{Hz})(4.7\text{KHz})}$$

$$C_a = 33\mu f$$

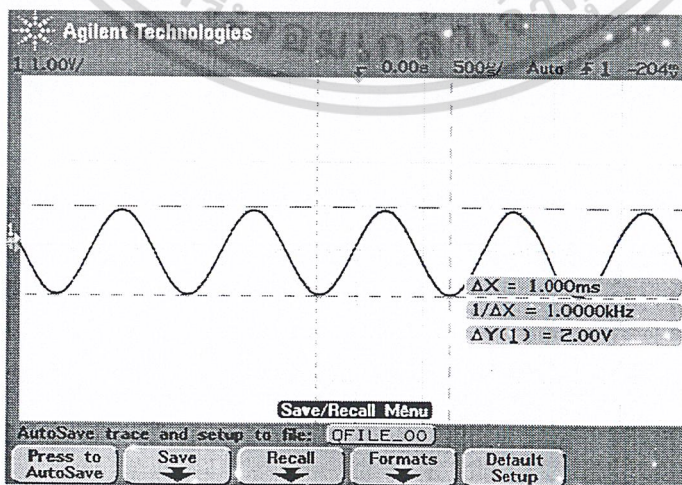
2. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่อินพุตของสัญญาณภาพ
3. วัดสัญญาณที่ได้แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ที่อินพุตสัญญาณภาพ



4. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่อินพุตของสัญญาณเสียง วัดสัญญาณและบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2.2

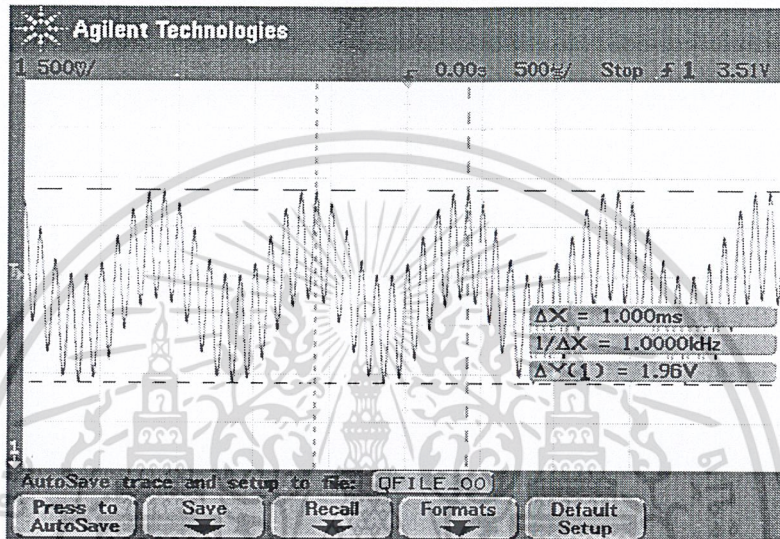
ตารางที่ 2.2 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่น 1 กิโลเฮิร์ตซ์ที่อินพุตสัญญาณเสียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ



6. เปรียบเทียบว่าก่อนและหลังรวมสัญญาณมีความแตกต่างกันอย่างไรจงอธิบาย
ในการทดลองในการทำการรวมสัญญาณโดยสัญญาณอินพุตที่ 1 มีความถี่ที่มากกว่าอินพุต
ที่ 2 อยู่ 10 เท่าและเมื่อทำการนำสัญญาณผ่านวงจรรวมสัญญาณแล้วพบว่าสัญญาณทางเอาต์พุตนั้น
ลักษณะของสัญญาณมีการรวมกันอยู่

7. ทำการคำนวณหาค่า V_{out} แล้วบันทึกผลทดลองลงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ

ค่า V_{out} ที่คำนวณ	ค่า V_{out} จากการทดลอง	ความผิดพลาด
7 โวลต์	2 โวลต์	5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากการทดลองในข้อที่ 5 แสดงว่าเป็นวงจรที่มีอัตราขยายหรือไม่ เพราะอะไร
จากผลการทดลองในตารางที่ 2.4 พบว่าวงจรนี้ไม่ได้มีอัตราขยาย เนื่องจากค่าแรงดัน
ทางเอาต์พุตของการคำนวณและการทดลองนั้นต่างกันถึง 5 โวลต์เนื่องมาจากสัญญาณความถี่สูงนั้นขึ้น
อยู่บนสัญญาณความถี่ต่ำและแรงดันของสัญญาณความถี่ที่ต่ำกว่านั้นมีแรงดันเท่ากับ 2 โวลต์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรรวมสัญญาณนี้ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าวงจรนี้เป็นวงจร
ที่ทำกรรวมสัญญาณอย่างเดียวไม่มีการขยายสัญญาณแต่แรงดันทางเอาต์พุตนั้นจะเท่ากับแรงดัน
ของสัญญาณที่มีความถี่ที่ต่ำกว่า เช่น ถ้าความถี่แรกมีความถี่สูงและมีแรงดันเท่ากับ 5 โวลต์ และ
ความถี่ที่สองมีความถี่ต่ำและมีแรงดันเท่ากับ 2 โวลต์ ถ้าเป็นลักษณะอย่างนี้ สัญญาณทางเอาต์พุต
นั้นจะมีแรงดันเท่ากับ 2 โวลต์ และสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าจะขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่ต่ำ

ใบงานที่ 3

เรื่องวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณได้
2. สามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการกำเนิดสัญญาณได้
4. สามารถคำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|----------------------------|-----------|
| 1. ชุดแผงวงจรออสซิลเลเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 2. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 3. สายต่อวงจร | 1 ชุด |

เนื้อหา

การกำเนิดความถี่ (Oscillator) ก็คือการทำให้เกิดสัญญาณไฟกระแสสลับเปลี่ยนแปลงสลับไปมาตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ หรือกล่าวทั่ว ๆ ไปคือ การแกว่งตัวของสิ่งต่าง ๆ ด้วยความแรงและความเร็วที่คงที่

ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกำเนิดความถี่ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของการทำงานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านการสื่อสารวิทยุ ด้านเครื่องมือวัดและทดสอบ ด้านดนตรี ด้านคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และยังใช้เป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ของวงจรอื่น ๆ อีกมากมาย

ความถี่ที่ถูกกำเนิดขึ้นมาจะอยู่ในรูปของสัญญาณไซน์ (Sine Wave) เสมอ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเวลา ความถี่ที่สามารถกำเนิดขึ้นมาจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. มีการเคลื่อนที่ไปมา หรือมีการสั่นตัวของวัตถุ ถ้าเป็นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องมีการทำงานของวงจรที่สลับไปมาของแรงดันและกระแสตลอดเวลา

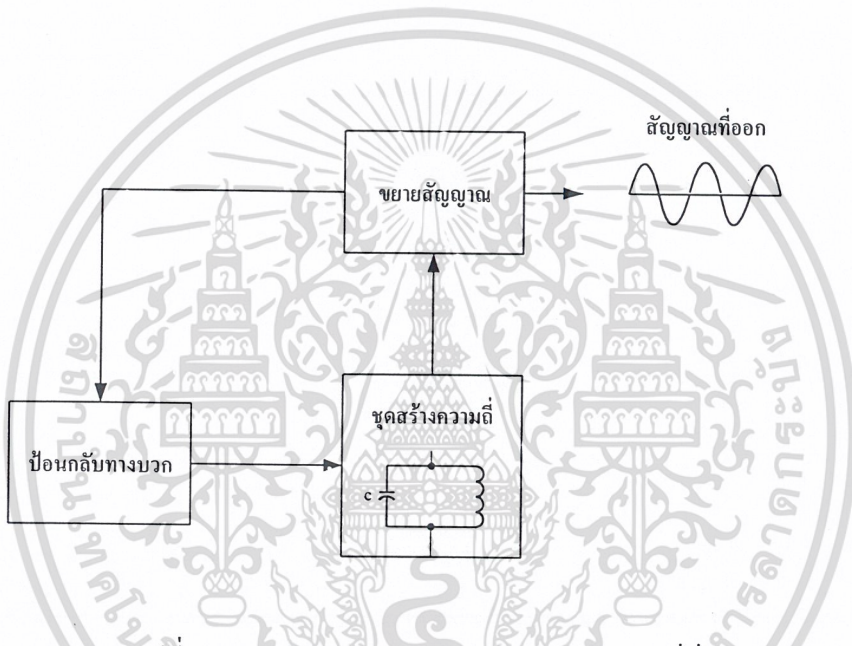
2. การเคลื่อนที่หรือการสั่นดังกล่าวจะต้องสัมพันธ์กับเวลา มีความคงที่และสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดความถี่ขึ้นมาเทียบกับเวลาใน 1 นาที คือความถี่ที่มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz)

3. ถ้าระดับความแรงของคลื่นลดลงที่เรียกว่ารูปคลื่นทรุด (Damping Wave) จะต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นเสริมความแรงของคลื่นเพื่อให้เกิดความคงที่และสม่ำเสมออยู่ต่อไป

วงจรออสซิลเลเตอร์ สามารถสร้างความถี่ขึ้นมาได้ นำไปใช้เป็นชุดสร้างความถี่ให้กับวงจรกำเนิดความถี่ได้ แต่มีข้อเสียที่ระดับความแรงของสัญญาณลดลงเรื่อยๆ ไม่คงที่ ดังนั้นการจะนำไปใช้เป็นวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์ จะต้องเพิ่มวงจรขยายสัญญาณและวงจรป้อนกลับทางบวก (Positive Feedback) เข้าไป เพื่อทำให้วงจรกำเนิดความถี่สามารถกำเนิดความถี่ที่มีทั้งความถี่ (Frequency) และระดับความแรง (Amplitude) คงที่ตลอดเวลา สามารถนำไปใช้งานเป็นวงจรกำเนิดความถี่ได้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ ชุดสร้างความถี่ที่เป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะกำเนิดความถี่ขึ้นมา ส่งต่อไปวงจรขยายสัญญาณให้มีระดับความแรงมากขึ้นเพื่อส่งออกเอาต์พุตมีบางส่วนของสัญญาณที่ถูกขยายจะถูกป้อนกลับมาเข้าสู่ชุดสร้างความถี่ โดยเป็นการป้อนกลับทางบวก คือป้อนกลับมาเสริมความแรงของความถี่ที่กำเนิดขึ้นมา ให้มีระดับความแรงที่คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา ส่งไปขยายสัญญาณและส่งออกเอาต์พุต ได้ความถี่ที่มีความแรงคงที่ไปใช้งาน

ความถี่ที่วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานกำเนิดขึ้นมา สามารถคำนวณหาสูตรได้ดังนี้

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{0.159}{\sqrt{LC}} \dots\dots\dots\text{Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = ความถี่ที่เกิดขึ้นจากวงจรกำเนิดความถี่	หน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด	หน่วยเป็น เฮนรี่ (H)
C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ	หน่วยเป็น ฟารัด (F)
$\pi = \frac{22}{7}$	

ตัวอย่าง วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานวงจรหนึ่งมีค่า L = 2 มิลลิเฮนรี่ และค่า C = 80 พิโคฟารัด
จงหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร

สูตร

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

F = ต้องการหาHz

$$L = 2 \text{ mH} = 2 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C = 80 \text{ pF} = 80 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\pi = \frac{22}{7}$$

แทนค่า

$$F = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \sqrt{2 \times 10^{-3} \times 80 \times 10^{-12}}} = 397,727,27 \dots \text{ Hz}$$

$$F = 397.73 \text{ KHz.}$$

วงจรกำเนิดความถี่แบบคริสตอล (Crystal Oscillator)

เครื่องกำเนิดความถี่แบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุด เพราะเครื่องกำเนิดความถี่แบบนี้มีคุณสมบัติอย่างหนึ่งซึ่งหาไม่ได้จากเครื่องกำเนิดความถี่อื่น ๆ คือมีเสถียรภาพทางความถี่เป็นเยี่ยมหรือมีความถี่ที่คงที่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณที่มีความถี่มาตรฐานไว้ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์บางชนิด ใช้เป็นตัวสร้างแรงดันฐานเวลามาตรฐานใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความเที่ยงตรง

คริสตอล (Crystal) มีความหมายว่าผลึก ก็คือผลึกของวัสดุบางชนิดที่นำมาใช้งานได้ เช่น ควอartz (Quartz) ทัวร์มาลีน (Tourmalin) และเกลือหินโรเชลล์ (Rochelle Salts) วัสดุเหล่านี้รวมเรียกว่า พิโซอิเล็กทริก (Piezo – Electric) มีคุณสมบัติ 2 ประการคือ

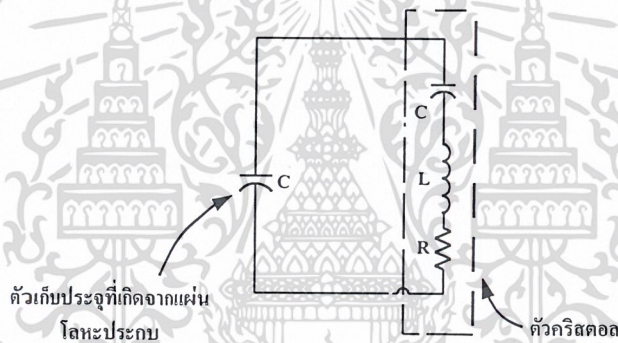
1) ถ้าวางคริสตอลบนแผ่นโลหะ 2 แผ่น และออกแรงกดบนแผ่นโลหะทั้งสองข้างใน

ทิศทางตรงข้ามกัน จะเกิดแรงดันที่แผ่นโลหะทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

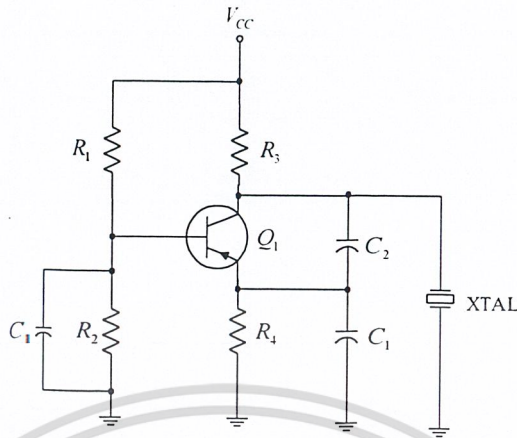
2) ถ้าป้อนไฟฟ้าเข้าที่แผ่นโลหะทั้งสองจะทำให้คริสตอลสั่น เกิดความถี่ขึ้นมานั้นคือตัวคริสตอลสามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้ตามปกติตัวคริสตอลจะถูกรรจู่ไว้ในกล่องอย่างเรียบร้อย ต่อมาจากแผ่นโลหะทั้งสองที่ประกบแผ่นคริสตอลออกมาภายนอก มีสปริงกดแผ่นโลหะทั้งสองให้ประกบแน่นกับแผ่นคริสตอล ดังรูปที่ 3.2 ความถี่ที่ได้จากคริสตอลนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นคริสตอล ถ้าแผ่นเร่หนาความถี่จะต่ำ ถ้าแผ่นเร่บางความถี่จะสูง ความถี่ยังเปลี่ยนแปลงไปบ้างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ตัวคริสตอลและอุณหภูมิที่อยู่รอบๆ ตัวคริสตอล

คุณสมบัติของตัวคริสตอลจะคล้ายกับวงจรเรโซแนนซ์ที่สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่ที่สมบูรณ์

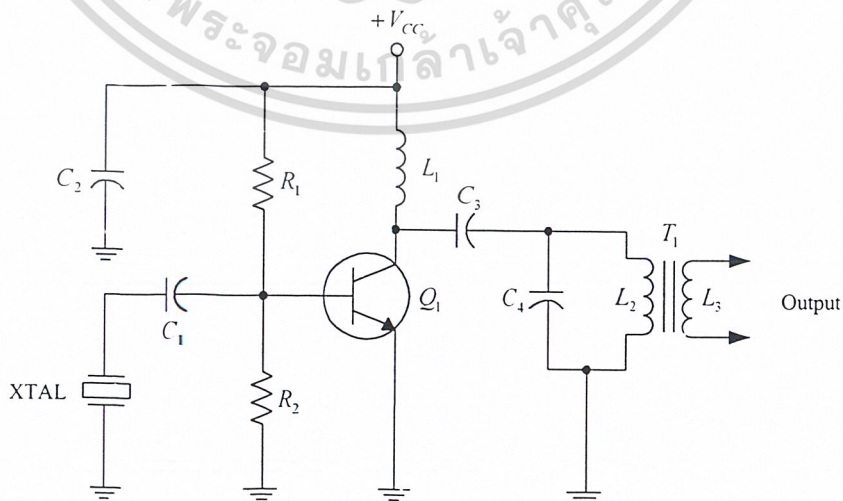
อุปกรณ์จำพวกคริสตอลเป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างจะบอบบาง ดังนั้นคริสตอลจึงต้องทำงานที่ระดับพลังงานต่ำๆ หรือในขณะที่ใช้งานเป็นตัวกระตุ้น ในขณะที่ป้อนกลับระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจะต้องไม่ให้ระดับแรงดันตกคร่อมตัวมันมากเกินไปจะทำให้ตัวคริสตอลเกิดความร้อนมากและทำงานผิดพลาด ดังนั้นการใช้งานของตัวคริสตอลจึงนิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นวงจรกำเนิดความถี่อีกครั้งหนึ่งเพื่อทำให้ความถี่มีค่าเสถียรภาพสูง



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดความถี่แบบคริสตอล

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบคริสตอล โดยใช้คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่ ป้อนให้ขา B ของ Q_1 Q_1 จะนำกระแสเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของไบอัสที่ป้อนให้ ถ้าคริสตอลกำเนิดสัญญาณขาบนเป็นบวก ขาล่างเป็นลบ Q_1 จะนำกระแสมากขึ้น และถ้าคริสตอลกำเนิดสัญญาณขาบนเป็นลบและขาล่างเป็นบวก Q_1 จะนำกระแสน้อยลงได้ สัญญาณออกจากรวมของ Q_1 ไปตกคร่อม L_1 ผ่าน C_3 คัปปลิ่งสัญญาณผ่านไปตกคร่อมชุดเรโซแนนท์ขนาน $C_4 L_2$ เหนียวนำผ่าน L_3 เป็นสัญญาณเอาต์พุต

การกำเนิดความถี่ของคริสตอลจะมีเสถียรสูง ทำให้ความถี่ที่เกิดขึ้นมีความคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง ความถี่ที่ส่งออกเอาต์พุตจึงมีค่าคงที่ตลอดเวลา



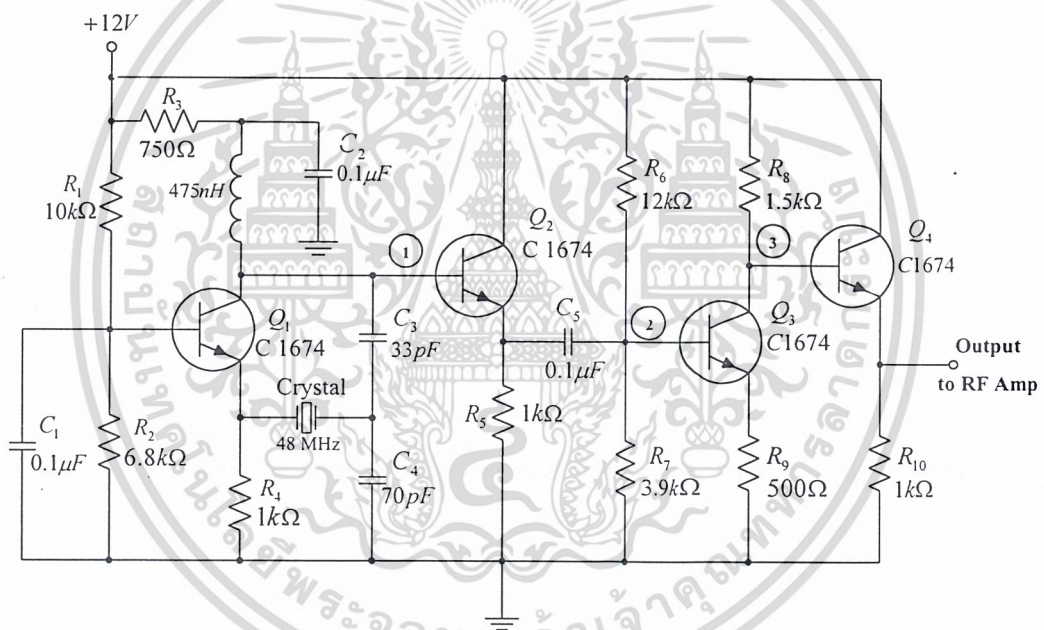
รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดความถี่แบบแคลมป์ที่ใช้คริสตอลเป็นตัวควบคุมความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบแคลมป์ (Clamp) โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมความถี่ ทรานซิสเตอร์จะกำเนิดความถี่ขึ้นมาจากที่ป้อนความถี่กลับทางกรวดจากขา C มาขา B ของ Q_1 ผ่าน C_1 เป็นตัวขับปลั่งสัญญาณเข้าขา B ของ Q_1 Q_1 จะขยายสัญญาณความถี่ออกขาคอลเลกเตอร์ ถูกตัวทรานซิสเตอร์กำหนดความถี่ให้คงที่ซึ่งจะให้ความถี่ที่คงที่แน่นอนมีเสถียรภาพสูงออกเอาต์พุต

ลำดับขั้นการทดลอง

1. เปิดสวิตช์ทำงานของชุดฝึกวงจรกำเนิดความถี่ เพื่อทำการวัดค่าและสัญญาณต่างๆ

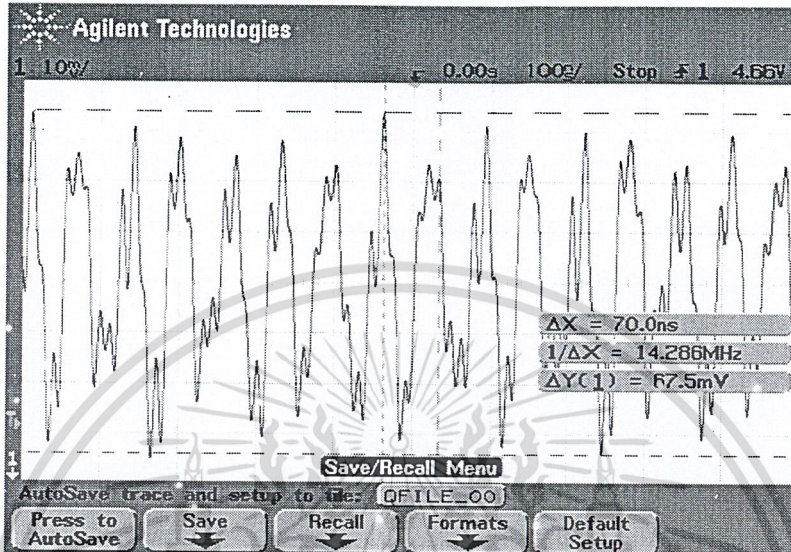


รูปที่ 3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์

2. วัดสัญญาณที่จุดที่จุด 1 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณการสร้างความถี่ของคริสตัล ออสซิลเลเตอร์และทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.1

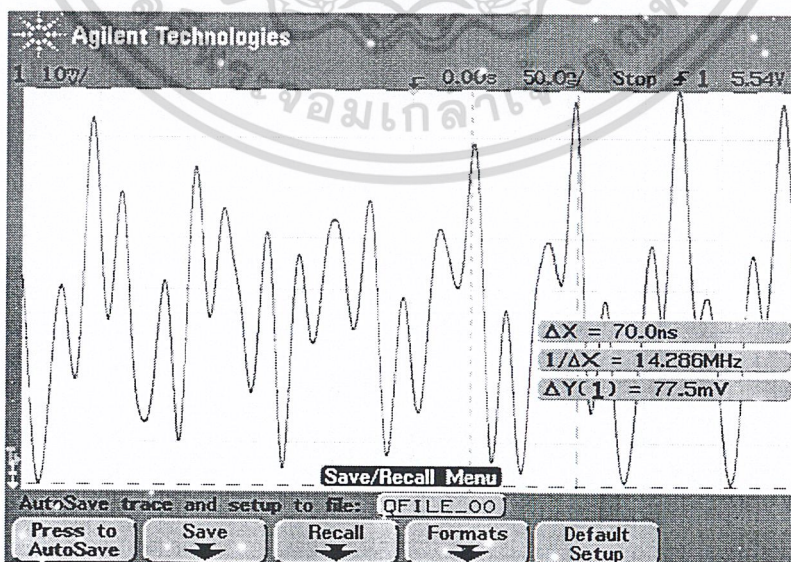
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 1 ของชุดฝึก



3. ทำการวัดสัญญาณที่ชุดฝึกจุด 2 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ก่อนการขยายสัญญาณและทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.2

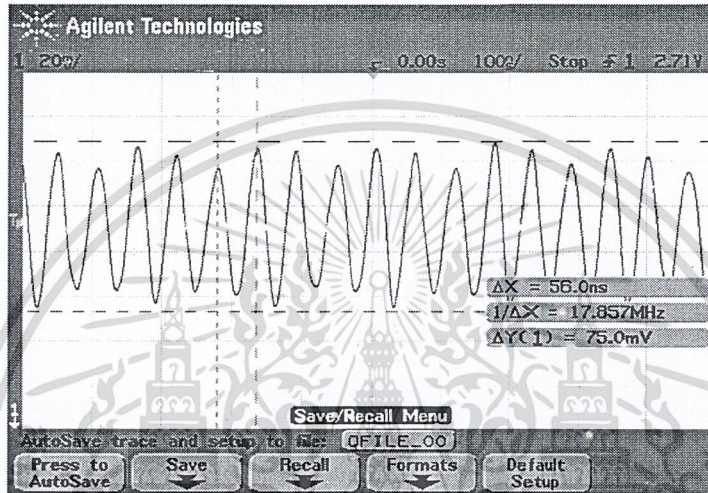
ตารางที่ 3.2 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 2 ของชุดฝึก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

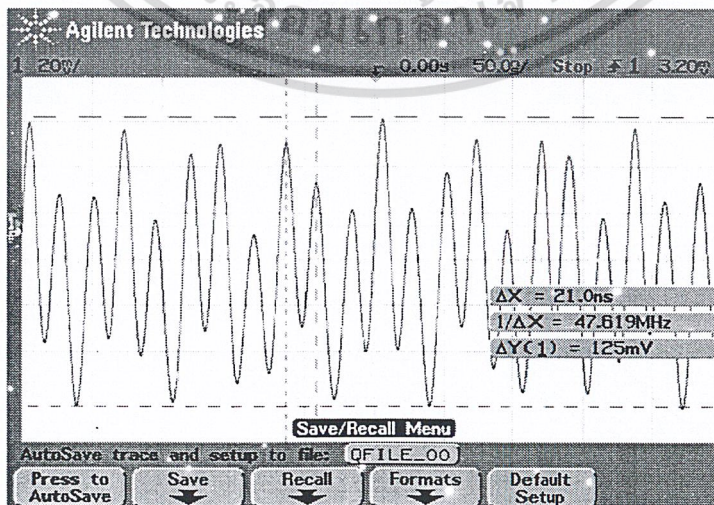
4. ทำการวัดสัญญาณที่จุดที่ 3 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว และทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 บันทึกค่าสัญญาณจากจุดที่ 3 ของชุดฝึก



5. ทำการวัดสัญญาณที่จุดที่ 4 ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณเอาต์พุตหลังจากวงจรส่งผ่านและทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากผลการทดลองในตารางที่ 3.1 และ 3.2 จงอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณหลังสัญญาณผ่านวงจรส่งผ่านความถี่

จากการผลการทดลองในตารางที่ 3.1 และ 3.2 พบว่าแรงดันนั้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพราะสัญญาณนั้นผ่านวงจรผ่านความถี่เพราะเหตุนี้ทำให้แรงดันจึงเปลี่ยนแปลงแต่ความถี่นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง

7. จากผลการทดลองในตารางที่ 3.3 และสัญญาณเอาต์พุต จงอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

จากการทดลองพบว่าสัญญาณในตารางที่ 3.3 กับตารางสัญญาณทางเอาต์พุตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยเมื่อผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วพบว่าสัญญาณมีแรงดันที่เพิ่มขึ้นและเมื่อผ่านวงจรส่งผ่านสัญญาณแล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ โดยสัญญาณจะมีความถี่เพิ่มมากขึ้น

8. จงคำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้นั้นแตกต่างกันหรือไม่

วิธีทำ

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$F = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times \sqrt{475 \times 10^{-12} \times 0.1 \times 10^{-6}}}$$

$$F = 23.09 \times 10^6$$

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่นั้นตัวออสซิลเลเตอร์นั้นมีการกำเนิดความถี่ที่เสถียรภาพเพราะว่าจากการทดลองพบว่าสัญญาณทางเอาต์พุตนั้นได้ความถี่ตรงตามความถี่ที่ออสซิลเลเตอร์และตัวกำเนิดความถี่แบบคริสตอลนั้นเป็นตัวกำเนิดความถี่ให้กับวงจรกำเนิดความถี่เพราะว่าตัวกำเนิดความถี่แบบคริสตอลจะต้องทำการป้อนแรงดันต่ำจึงเหมาะกับการเป็นตัวกระตุ้นวงจรกำเนิดความถี่

ใบงานที่ 4

การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดได้
2. สามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรได้
3. สามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการมอดูเลตเชิงขนาดได้
4. สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตได้

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) 2 เครื่อง
2. ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงขนาด 1 เครื่อง
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. สายต่อนำสัญญาณ 1 ชุด

เนื้อเรื่อง

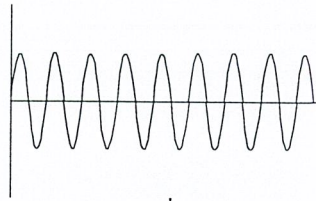
การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation หรือ AM) หรือที่เรียกสั้นๆว่าการมอดูเลตแบบ AM และเรียกสัญญาณที่ถูกมอดูเลตนี้ว่าสัญญาณ AM วิธีนี้ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่เข้ามารูปที่ 4.1 แสดงการมอดูเลตแบบ AM โดยรูป (ก) เป็นคลื่นพาห์ รูป (ข) เป็นข้อมูลข่าวสาร (ค) เป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ AM และมีสเปกตรัมของความถี่แสดงในรูป (ง) การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีง่ายที่สุดในการมอดูเลตแต่คุณภาพของสัญญาณไม่ดี มีความต้านทานสัญญาณรบกวนต่ำ เหมาะกับข้อมูลที่ไม่ต้องการคุณภาพของสัญญาณมากนัก

ในรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณการมอดูเลตของสัญญาณเสียงลงบนพาหะไม่เท่ากัน สังเกตได้ว่าขนาดของพาหะเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 4.3 (ก) และเปลี่ยนแปลงน้อยในรูปที่ 4.3 (ง) ปริมาณการมอดูเลตนี้นิยามวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ (บางทีเรียก แฟกเตอร์การมอดูเลต มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1)

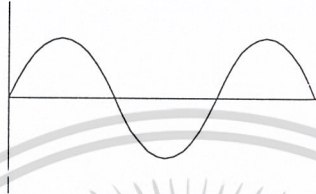
รูปที่ 4.4 พาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลต มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับศูนย์(0 เปอร์เซ็นต์)

ในรูปที่ 4.4 (ก) สมมติว่ามีพาหะมีแรงดันบวกถึงแรงดันลบเท่ากับ 40 V_{p-p}

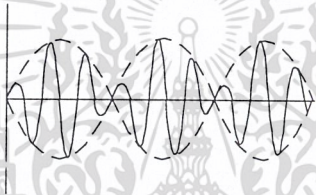
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คลื่นพาห้

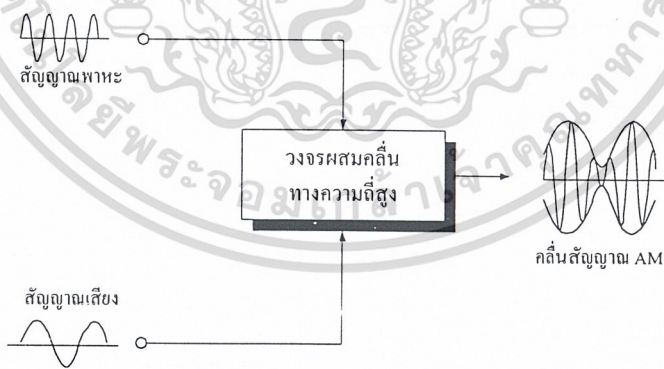


(ข) ข่าวนสาร



(ค) สัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ AM

รูปที่ 4.1 แสดงการมอดูเลตเชิงขนาด



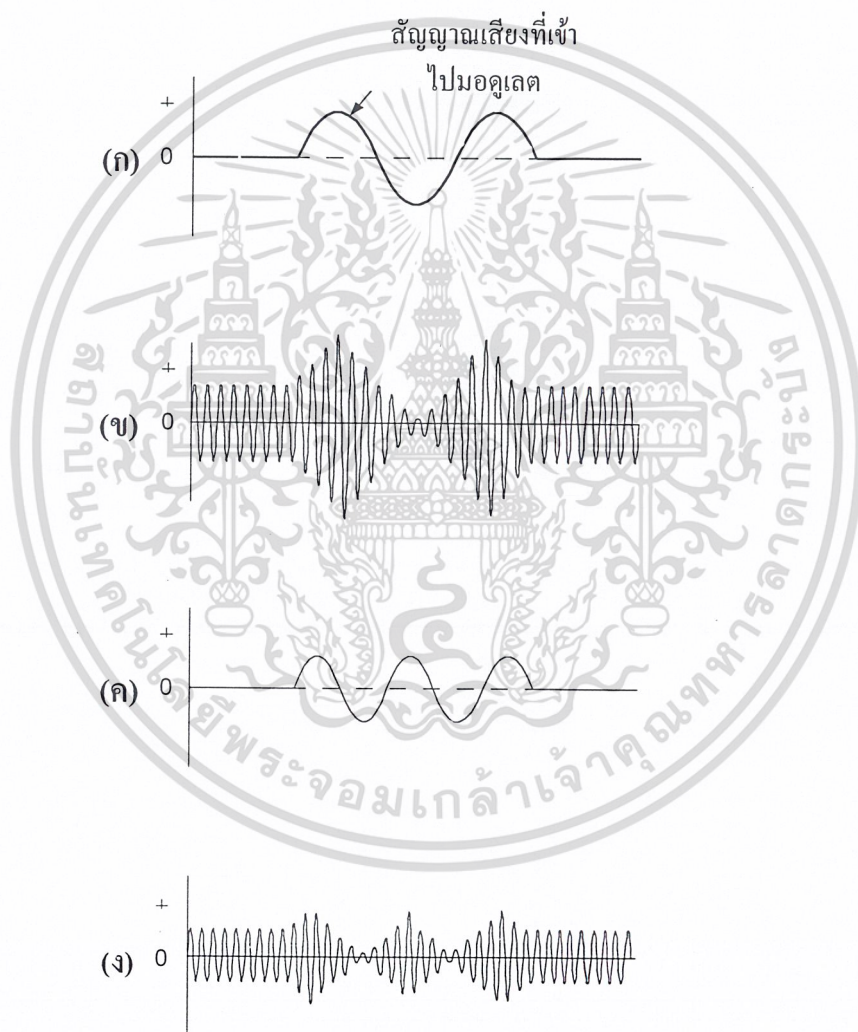
รูปที่ 4.2 วงจรที่ทำให้เกิดผสมคลื่นแบบ AM

ในรูปที่ 4.4 (ข) พาหะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่เต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงมาถึงศูนย์ และยอดคลื่นบวกถึงยอดคลื่นลบของพาหะจะให้ได้สูงสุด 80 Vp-p อย่างไรก็ตามค่าแรงดันโดยเฉลี่ยของพาหะยังคงเป็น 40 Vp-p เท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

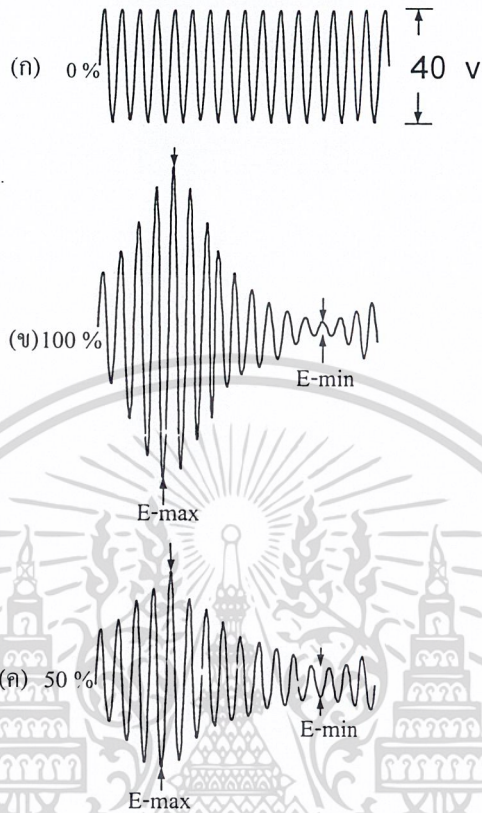
ในรูปที่ 4.4 (ค) พาทะถูกมอดูเลตเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ แรงดันของคลื่นพาหะสูงสุด 60 Vp-p และค่าสุด 20 Vp-p แรงดันเฉลี่ยของพาหะเท่ากับ 40 Vp-p (จาก $(60+20)/2 = 40$ Vp-p) เช่นเดิม เราสามารถใช้สูตรคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\%$$



รูปที่ 4.3 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยเพื่อการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



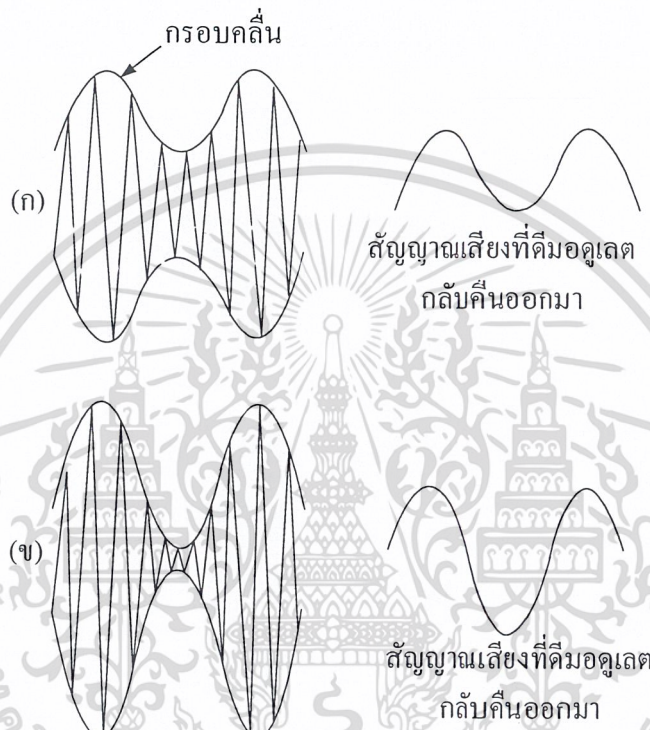
รูปที่ 4.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} &= \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\% \\
 &= \frac{60\text{ V} - 20\text{ V}}{60\text{ V} + 20\text{ V}} \times 100\% \\
 &= \frac{40\text{ V}}{80\text{ V}} \times 100\% = 50\%
 \end{aligned}$$

ปกติเราต้องการให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงสุด เพื่อว่าสัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับจะมีกำลังแรง จากรูปที่ 4.5 เนื่องจากเครื่องรับ AM จะเปลี่ยนคลื่น AM เป็นสัญญาณเสียง โดยการแยกเอาเฉพาะสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตลงบนพาหะกลับคืนจากคลื่น AM (คือดีมอดูเลตนั่นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

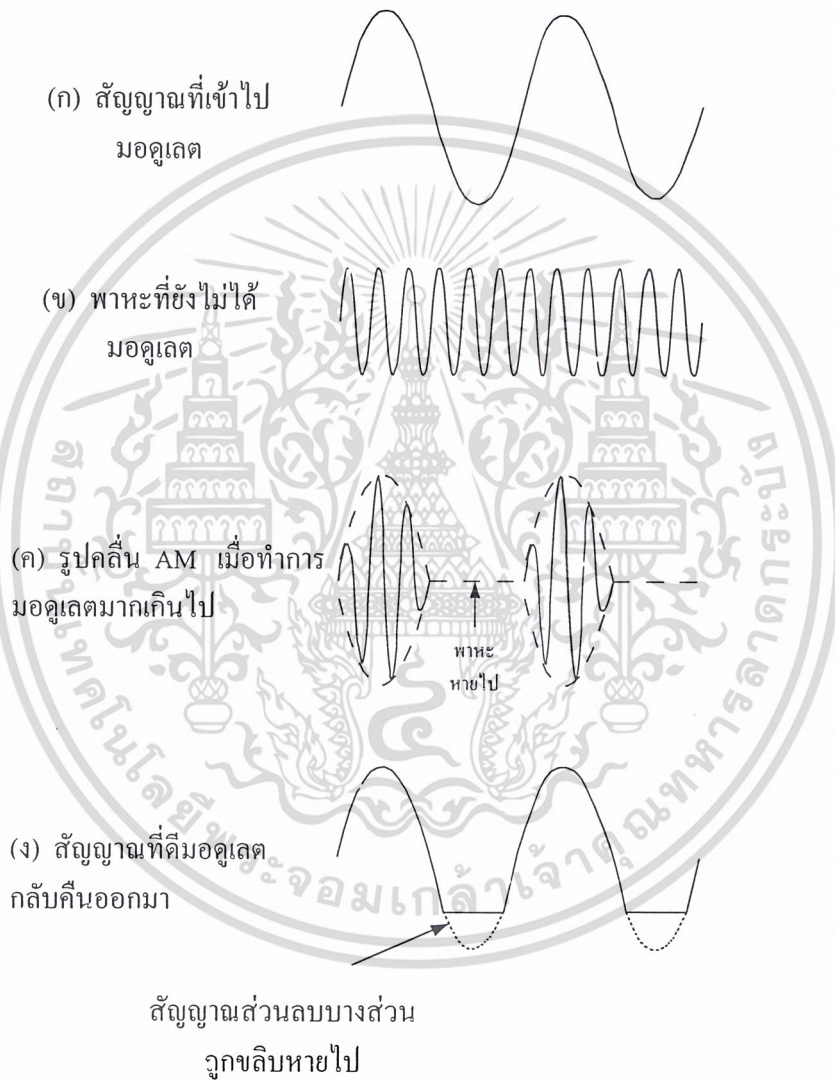
ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่ได้ในกรณีที่ว่ามอดูเลตมาแรง (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูง) จะได้เสียงดังกว่า นั่นคือในที่นี้รูปที่ 4.5 (ข) จะให้สัญญาณเสียงที่ดังกว่ารูปที่ 4.5 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากกว่า



รูปที่ 4.5 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่มอดูเลตคลื่นมาได้ที่เครื่องรับจะมีความแรงมากขึ้นขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลต

อย่างไรก็ตามการมอดูเลตต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดความเพี้ยน การมอดูเลตมากเกินไปนี้เรียกว่า การมอดูเลตเกิน (Overmodulation) หรือเรียกย่อๆ ว่า โอเวอร์มอด จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณ AM ลดลงได้ไม่ต่ำกว่าศูนย์ ไม่ว่าจะมอดูเลตแรงเท่าไรก็ตาม ยิ่งถ้าสัญญาณที่มอดูเลตมีค่ามากคลื่นพาหะจะหายไป (cutoff) บางส่วนเสียด้วยซ้ำ ดังนั้นกรอปกคลื่นของสัญญาณ AM จึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต รูปที่ 4.6 (ก) เป็นสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต (คือสัญญาณเสียง)

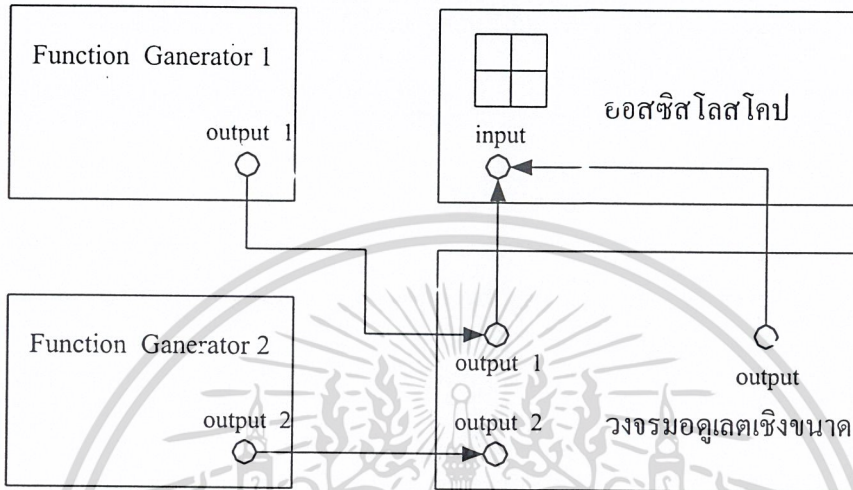
รูปที่ 4.6 (ข) เป็นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 4.6 (ค) เป็นพาหะที่มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความแรงมากเกินไปทำให้พาหะบางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับตีมอดสัญญาณเสียงกลับมามีลักษณะเหมือนกับกรอปกคลื่นซึ่งเพี้ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 4.6 (ง)



รูปที่ 4.6 การโอเวอร์มอดูเลตจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการตีมอดูเลตที่เครื่องรับมีความเพี้ยน

ลำดับขั้นการทดลอง

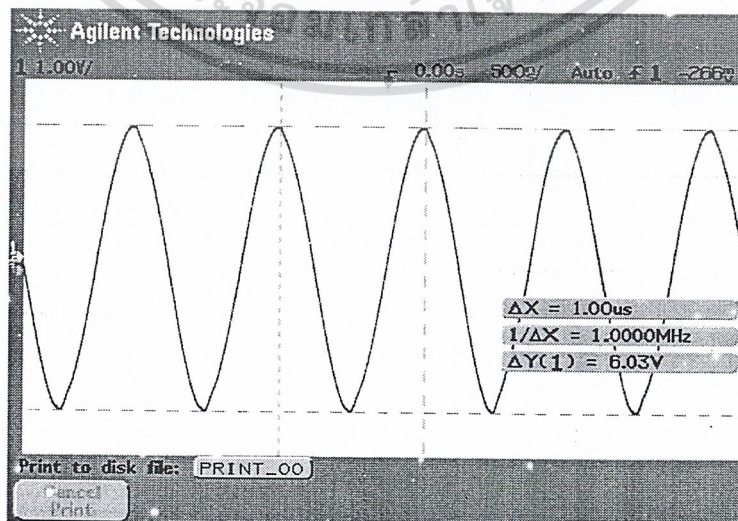
1. ทำการต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ชุดฝึกวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

2. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ (คลื่นพาห์) เข้าที่ Input Carrier ของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดเท่ากับ $6 v_{pp}$ วัดสัญญาณและบันทึก ผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

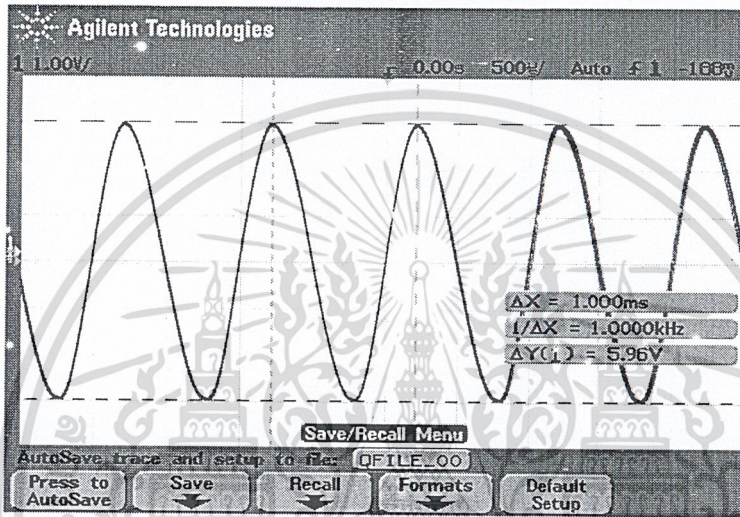
ตารางที่ 4.1 บันทึกค่าสัญญาณคลื่นไซน์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

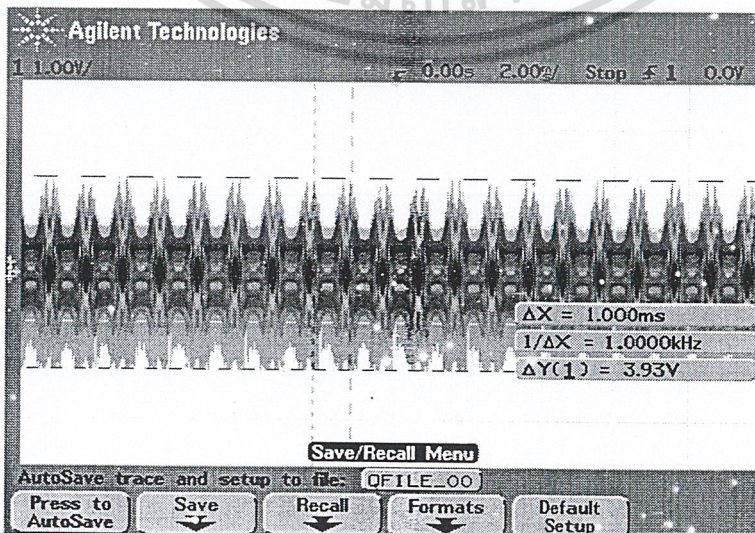
3. ป้อนสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาดเท่ากับ 6 V_{pp} เข้าที่ Input Summing ของวงจรรวมอคูเลตเชิงขนาด วัตสัญญาณและบันทึก ผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 กิโลเฮิร์ตซ์



4. วัดสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจรมอคูเลตเชิงขนาดแล้วทำการบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.3

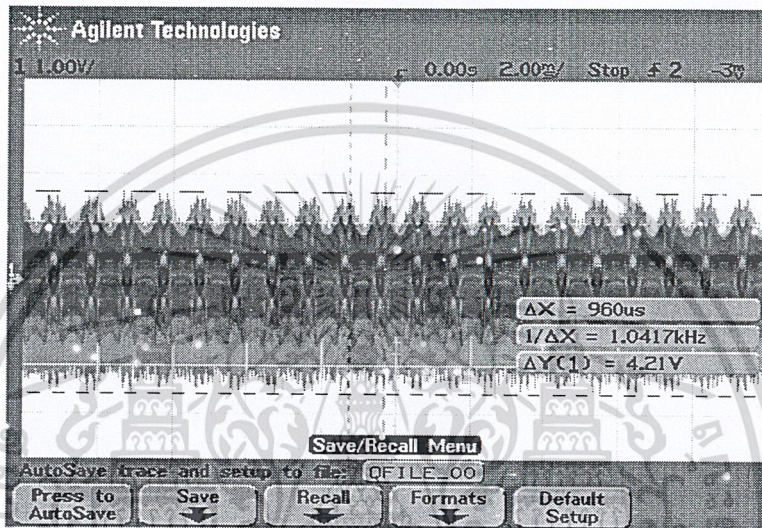
ตารางที่ 4.3 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอคูเลตเชิงขนาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

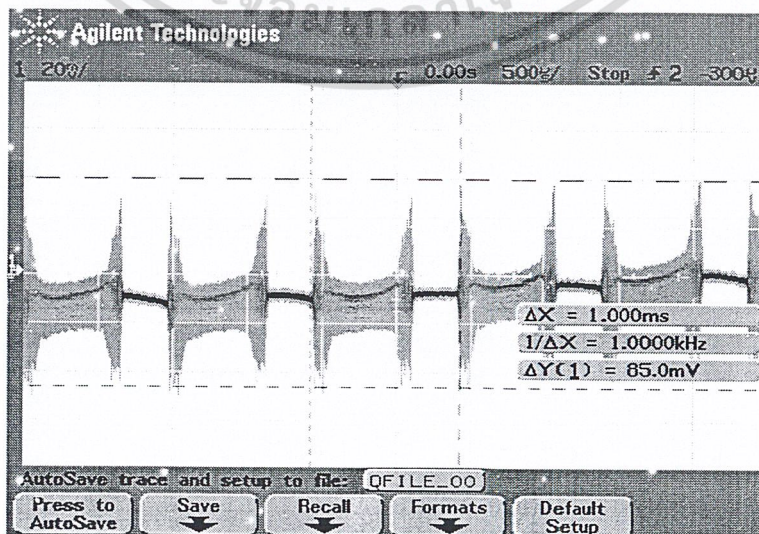
5. จากนั้นทำการปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 2 ให้มีแรงดันเท่ากับ 3 Vp-p แล้วทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุตสังเกตผลการทดลองและทำการบันทึกผลในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตจากขั้นตอนที่ 5



6. จากนั้นทำการปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 2 ให้มีแรงดันเท่ากับ 20 Vp-p แล้วทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุต สังเกตและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 บันทึกค่าสัญญาณเอาต์พุตจากขั้นตอนที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จากการทดลองในข้อที่ 2, 3, 4 ผลการทดลองนั้นสัญญาณทางด้านอินพุต (ก่อนทำการมอดูเลต) และสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (หลังทำการมอดูเลต) ว่าจะมีความแตกต่างกันอย่างไร

ในการทดลองในหัวข้อที่ 2, 3, 4 ผลการทดลองที่ได้นั้นสัญญาณทางด้านอินพุตจะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยมีแรงดันและความถี่เท่ากันตลอดแต่สัญญาณทางเอาต์พุตนั้นความถี่จะเท่ากันตลอดแต่ขนาดของแรงดันจะไม่เท่ากัน

8. และในขั้นการทดลองที่ 6,7 นั้นเป็นการทดลองปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 2 (สัญญาณเสียง) ให้มีแรงดันเท่ากับครึ่งหนึ่งและมากกว่าสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดความถี่ที่ 1 ผลการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไร

ในการทดลองนี้ผลการทดลองที่ได้พบว่าขนาดของแรงดันของสัญญาณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงดันของสัญญาณอินพุต โดยในการทดลองปรับขนาดของสัญญาณให้มีความแรงมากกว่าสัญญาณจะมีการขลิบแฉ่งว่าเกิดการโอเวอร์มอดูเลต

9. จากผลการทดลองที่ 5 และ 6 จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่

วิธีทำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \left[\frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\min} + E_{\min}} \right] \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 5} &= \left[\frac{4.21 - 1}{4.21 + 1} \right] \times 100\% \\ &= 61.61\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 6} &= \left[\frac{90mV - 3mV}{90mV + 3mV} \right] \times 100\% \\ &= 93\% \end{aligned}$$

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองเรื่องการมอดูเลตเชิงขนาดจากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้คือขนาดของสัญญาณทางเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณอินพุตและในการมอดูเลตเชิงความถี่นั้นจะต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเพราะถ้าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากเกินไปสัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุตจะมีความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

วงจรขยายสัญญาณ (RF Amplifier)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของวงจรขยายกำลังได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถวัดและอ่านสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายความสำคัญและหน้าที่ของการขยายกำลังภาคส่งได้
4. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถคำนวณหาอัตราขยายกำลังได้

อุปกรณ์การทดลอง

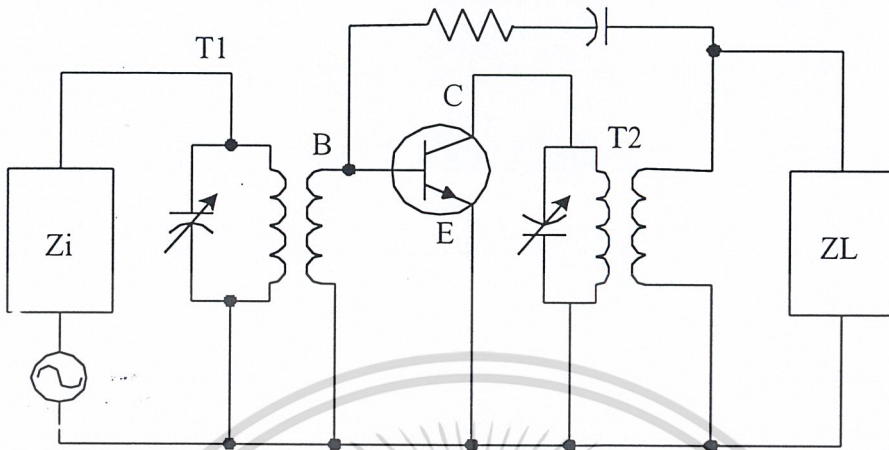
1. เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) 1 เครื่อง
2. ชุดฝึกวงจรขยายสัญญาณ 1 เครื่อง
3. สายต่อวงจรการทดลอง 1 ชุด
4. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง

เนื้อเรื่อง

วงจรของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงแบบที่ เนื่องจากการขยายสัญญาณย่านความถี่สูง (รวมทั้งความถี่ย่านปานกลาง) โดยทั่ว ๆ ไปจะมีลักษณะเป็นการขยายเฉพาะช่วงความถี่หนึ่งๆ ทั้งวงจรของโพลและคัปปลิ่ง จะอยู่ในรูปของหลอดเลือกความถี่ได้ ในการศึกษาถึงชนิดของวงจรเลือกความถี่จะต้องคำนึงถึงค่าแบนวิดท์ ความสัมพันธ์กันของค่าอิมพีแดนซ์ การทำให้เป็นกลางของวงจรและอัตราขยายของวงจรเป็นหลักการทำให้เป็นกลางของวงจรและอัตราขยายของวงจรเป็นหลัก

เมื่อต้องการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานในย่านความถี่สูงรูปแบบของการทำงานของทรานซิสเตอร์จะแตกต่างจากการใช้ ในย่านความถี่ต่ำ โดยค่าความจุที่เกิดจากผลของอิเล็กโตรสแตติก (Electrostatic) จะกล่าวเป็นส่วนสำคัญที่สุด โดยเหตุนี้ในการขยายสัญญาณความถี่สูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการขยายช่วงของความถี่ที่ต้องการ ทั้งด้านสัญญาณเข้าและสัญญาณออกมักจะอยู่ในรูปของวงจรเลือกความถี่แบบขนานและต้องการใช้หม้อแปลงเข้าช่วยทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงการขยายความถี่สูงแบบล็อกความถี่

ตามรูปที่ 5.1 ข้อกำหนดที่จะทำให้ได้อัตราการขยายกำลัง PG สูงสุดคือต้องมีค่าอิมพีแดนซ์สมพ้องกันทั้งด้านสัญญาณเข้าและด้านสัญญาณออกของทรานซิสเตอร์ และการป้อนกลับที่เกิดขึ้นภายในอันเนื่องมาจากผลของ c_c จะต้องถูกทำให้เป็นกลางมากที่สุด อัตราการขยายกำลังที่ได้ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้เรียกว่าเป็นอัตราการขยายกำลังที่ได้สูงสุด (PG) สามารถหาค่าของอัตราการขยายกำลังได้จากสมการดังนี้

$$PG_{\max} = \frac{f_T}{8\pi^2 c_c f_{bb}}$$

ตามสมการด้านบน จะเห็นว่าค่า PG_{\max} จะลดลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับกำลังสองของค่าความถี่ และที่ความถี่ซึ่งทำให้ค่า PG_{\max} มีค่าเป็น 1 จะเป็นความถี่ที่แสดงถึงข้อจำกัดของการขยายสัญญาณด้านความถี่สูงของทรานซิสเตอร์ ซึ่งหมายความว่าความถี่นี้จะเป็นความถี่สูงสุด f_{\max} ของตัวทรานซิสเตอร์นั่นเองจากสมการนี้จะกล่าวได้ว่า ที่ความถี่สูงขึ้นทรานซิสเตอร์นี้จะนำใช้เพียงใด ค่าของ f_T จะต้องมีค่ามากขึ้นเพียงนั้น และ $\frac{f_T}{c_c f_{bb}}$ ค่านี้เรียกว่าการแสดงคุณค่าของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง

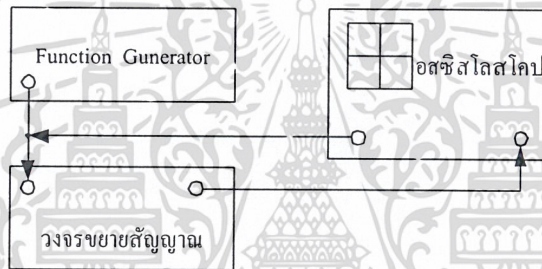
ตัวอย่าง จงหาค่า (ก) PG_{max} ที่ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานมีคุณสมบัติดังนี้
 $f_T = 100$ เมกะเฮิร์ตซ์ $r_{bb'} = 30 \Omega$ และ $c_c = 1.5 pF$

วิธีทำ

$$PG_{max} = \frac{fT}{8\pi f^2 C_c r_{bb'}} = \frac{100 \times 10^6}{8\pi \times (10^6)^2 \times 1.5 \times 10^{-12} \times 30} = 884(29.5dB)$$

ลำดับขั้นการทดลอง

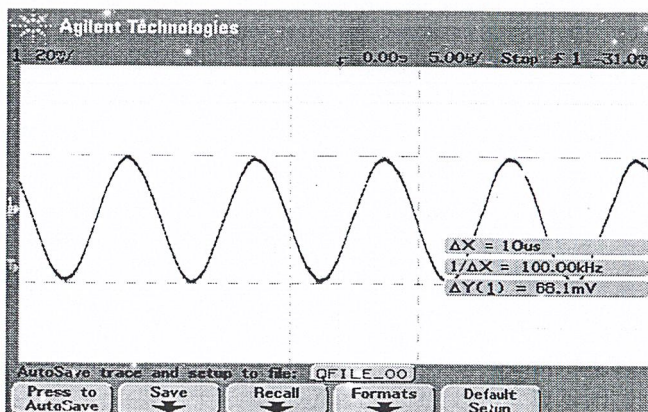
1. ต่อชุดฝึกวงจรรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การต่อชุดฝึกวงจรขยายสัญญาณ

2. ป้อนสัญญาณรูปไซน์ค่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์เข้าที่อินพุตของชุดฝึกแล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 5.1

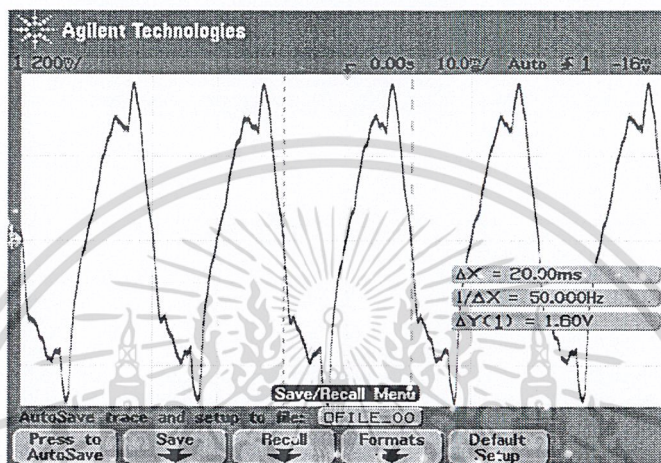
ตารางที่ 5.1 บันทึกสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณแล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 บันทึกสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ



4. จงคำนวณหาค่า PG_{max} ที่ความถี่จากตารางที่ 1 เมื่อทรานซิสเตอร์ MPSH10 มีคุณสมบัติ ดังนี้ $f_T = 650 \text{ MHz}$ $r_{bb'} = 4 \text{ KHz}$ และ $C_c = 5.5 \text{ pF}$
วิธีทำ

$$PG = \frac{f_T}{8\pi f^2 C_c r_{bb'}}$$

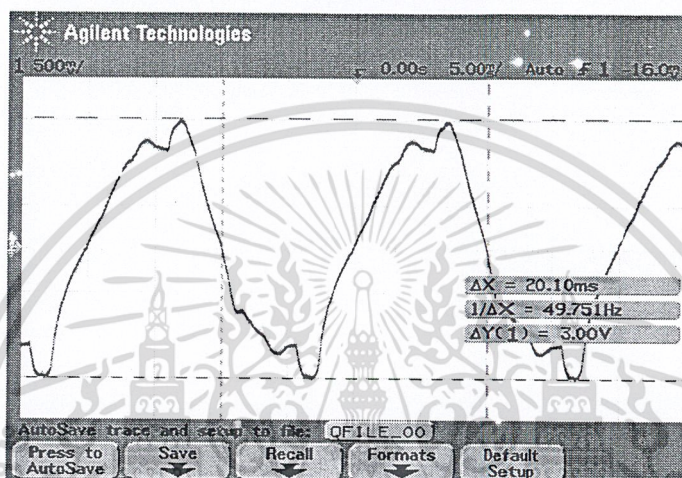
$$PG = \frac{650 \text{ MHz}}{8\pi (650 \text{ MHz})^2 (5.5 \text{ pF})(4 \text{ KHz})}$$

$$PG = 2782.429 (34.445 \text{ dB})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

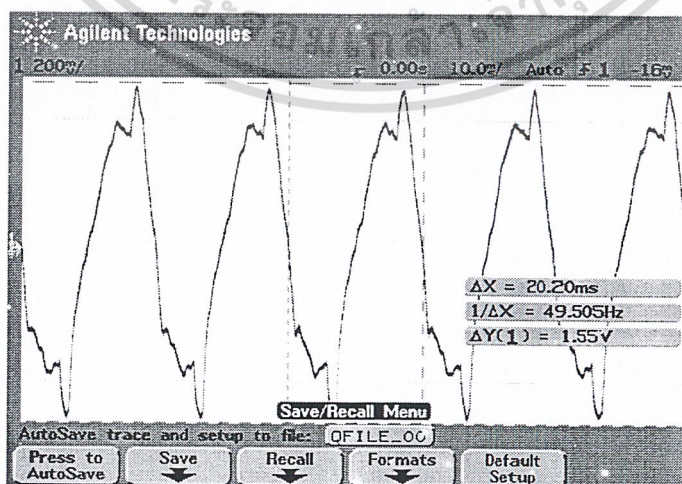
5. ปรับขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้น สังเกตผลการทดลอง วัดและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 บันทึกสัญญาณเมื่อขนาดของรูปคลื่นสูงขึ้น



6. ปรับขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ให้แรงดันมีค่าลดลง สังเกตผลการทดลอง วัดและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 บันทึกสัญญาณเมื่อขนาดของรูปคลื่นลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 2 และ 3 สัญญาณมีความแตกต่างกันอย่างไร
จากผลการทดลองนั้นเป็นการวัดสัญญาณทางด้านอินพุตเทียบกับเอาต์พุตโดยสัญญาณทาง
เอาต์พุตที่ได้นั้นมีขนาดของสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นและสัญญาณที่ได้มีการเพี้ยนไปบ้างเนื่องจาก
อุปกรณ์การทดลอง

8. ผลการทดลองในการทดลองที่ 5 และ 6 สังเกตการเปลี่ยนแปลงพบว่ามีเปลี่ยนแปลง
 ไปอย่างไร

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อการทดลองที่ โดยการทดลองปรับแรงดันให้มีค่ามากขึ้น
และลดลงผลที่ได้คือขนาดของสัญญาณที่ได้นั้นเปลี่ยนแปลงโดยมีการขยายสัญญาณ

9. จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4 กับผลการทดลองในตารางที่ 2 มีความแตกต่างกันหรือไม่
 จงอธิบาย

จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับกรคำนวณสรุปได้ว่าจากผลการทดลองที่ได้นั้นมีความ
แตกต่างกัน โดยการคำนวณนั้นผลที่ได้คือออกเป็นอัตราแรงดันเป็นเดซิเบลแต่ในการทดลองผลที่ได้
เป็นแอมพลิจูดแต่ก็มีการขยายสัญญาณทั้งคู่

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองในใบงานนี้เป็นการทดลองในเรื่องการขยายสัญญาณซึ่งผลการทดลองที่ได้
นั้นสัญญาณทางเอาต์พุตหรือสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วนั้นจะมีขนาดของสัญญาณที่สูง
ขึ้นโดยที่สัญญาณที่ได้นั้นอาจจะมีความผิดเพี้ยนไปบ้างเนื่องจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ใช้ใน
การทดลองนั่นเองโดยอัตราขยายของวงจรนี้ไม่มากนักเพราะจากผลการทดลองที่ได้มีการขยายไม่
มากนักเอง



ภาคผนวก น
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

DESCRIPTION

The NE/SE564 is a versatile, high guaranteed frequency phase-locked loop designed for operation up to 50MHz. As shown in the Block Diagram, the NE/SE564 consists of a VCO, limiter, phase comparator, and post detection processor.

FEATURES

- Operation with single 5V supply
- TTL-compatible inputs and outputs
- Guaranteed operation to 50MHz
- External loop gain control
- Reduced carrier feedthrough
- No elaborate filtering needed in FSK applications
- Can be used as a modulator
- Variable loop gain (externally controlled)

APPLICATIONS

- High speed modems
- FSK receivers and transmitters
- Frequency Synthesizers

PIN CONFIGURATIONS

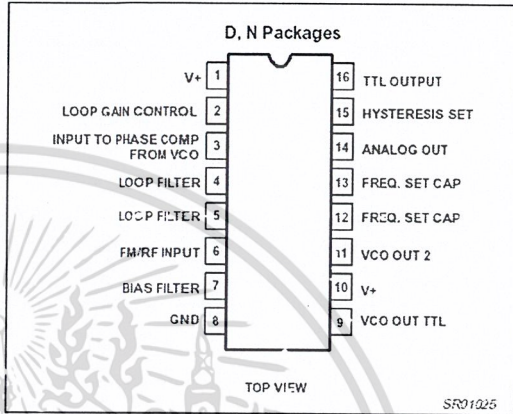


Figure 1. Pin Configuration

- Signal generators
- Various satcom/TV systems
- pin configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
16-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	NE564D	SOT109-1
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE564N	SOT38-4
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55 to +125°C	SE564N	SOT38-4

BLOCK DIAGRAM

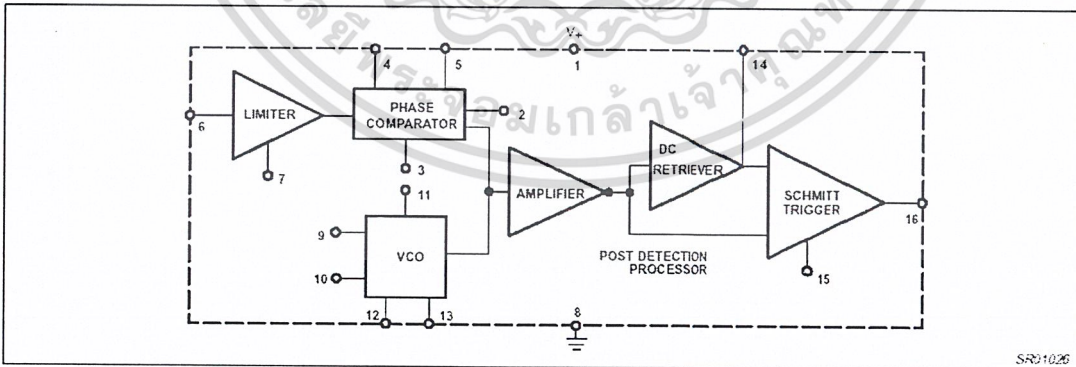


Figure 2. Block Diagram

Phase-locked loop

NE/SE564

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNITS
V+	Supply voltage Pin 1 Pin 10	14 6	V V
I _{CUT}	Sink Max (Pin 9) and sourcing (Pin 11)	11	mA
I _{BUS}	Bias current adjust pin (sinking)	1	mA
P _D	Power dissipation	600	mW
T _A	Operating ambient temperature NE	0 to +70	°C
	SE	-55 to +125	°C
T _{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C

NOTE:

Operation above 5V will require heat sinking of the case.

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = 5V; T_A = 0 to 25°C; f₀ = 5MHz, I₂ = 400µA, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			LIMITS			UNITS
			SE564			NE564			
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
	Maximum VCO frequency	C ₁ = 0 (stray)	50	65		45	60		MHz
	Lock range	Input $\geq 200\text{mV}_{\text{RMS}}$ T _A = 25°C T _A = 125°C T _A = -55°C T _A = 0°C T _A = 70°C	40 20 50	70 30 80		40 70 70 40			% of f ₀
	Capture range	Input $\geq 200\text{mV}_{\text{RMS}}$; R ₂ = 27Ω	20	30		20	30		% of f ₀
	VCO frequency drift with temperature	f ₀ = 5MHz, T _A = -55°C to +125°C T _A = 0 to +70°C = 0 to +70°C f ₀ = 5MHz, T _A = -55°C to +125°C T _A = 0 to +70°C	500 300	1500 800		600 500			PPM/°C
	VCO free-running frequency	C ₁ = 91pF R _C = 100Ω (internal)	4	5	6	3.5	5	6.5	MHz
	VCO frequency change with supply voltage	V _{CC} = 4.5V to 5.5V		3	8		3	8	% of f ₀
	Demodulated output voltage	Modulation frequency: 1kHz f ₀ = 5MHz, input deviation: 2%T = 25°C 1%T = 25°C 1%T = 0°C 1%T = -55°C 1%T = 70°C 1%T = 125°C	16 8	28 14		16 8	28 14 13 15		mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS}
	Distortion	Deviation: 1% to 8%		1			1		%
	S/N	Std. condition, 1% to 10% dev.		40			40		dB
	AM rejection	Std. condition, 30% AM		35			35		dB
	Demodulated output at operating voltage	Modulation frequency: 1kHz f ₀ = 5MHz, input deviation: 1% V _{CC} = 4.5V V _{CC} = 5.5V	7 8	12 14		7 8	12 14		mV _{RMS} mV _{RMS}
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V f ₀ free		45	60		45	60	mA
	Output "1" output leakage current "0" output voltage	V _{OUT} = 5V, Pins 16, 9 I _{CUT} = 2mA, Pins 16, 9 I _{CUT} = 6mA, Pins 16, 9		1 0.3 0.4	20 0.6 0.8		1 0.3 0.4	20 0.6 0.8	µA V V

Phase-locked loop

NE/SE564

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

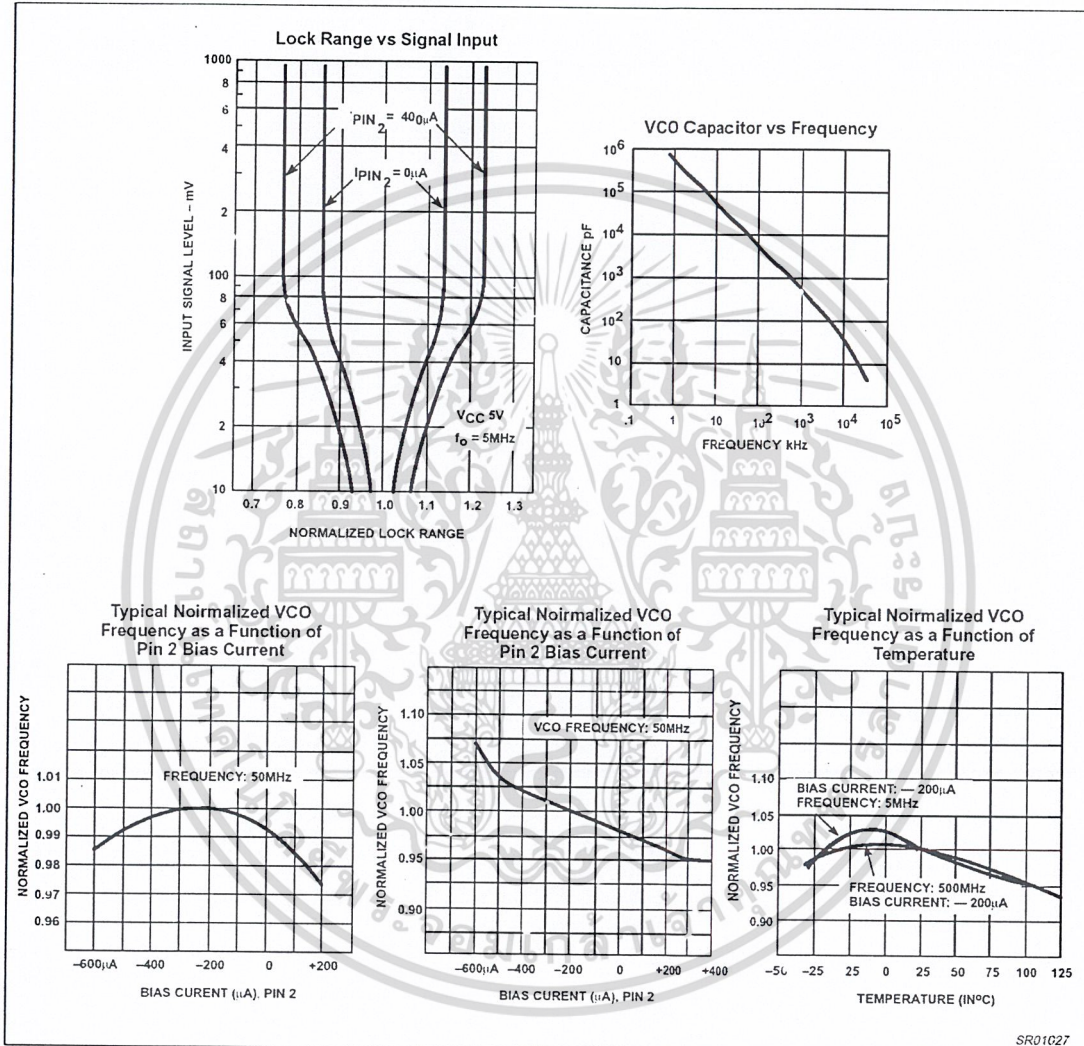


Figure 3. Typical Performance Characteristics

SR01027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

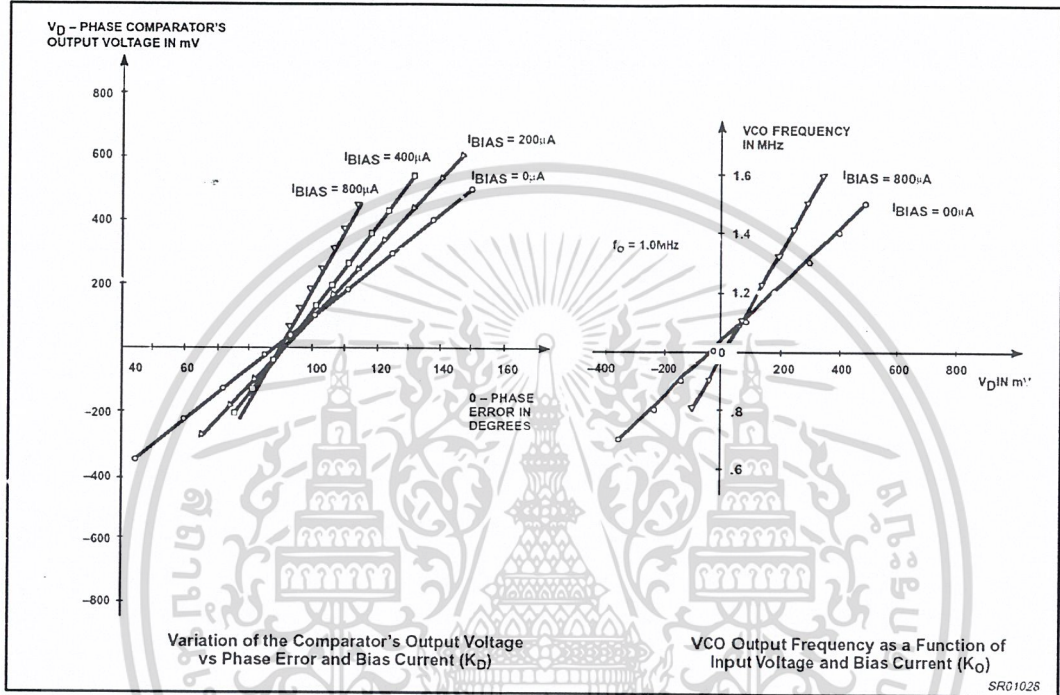


Figure 4. Typical Performance Characteristics (cont.)

TEST CIRCUIT

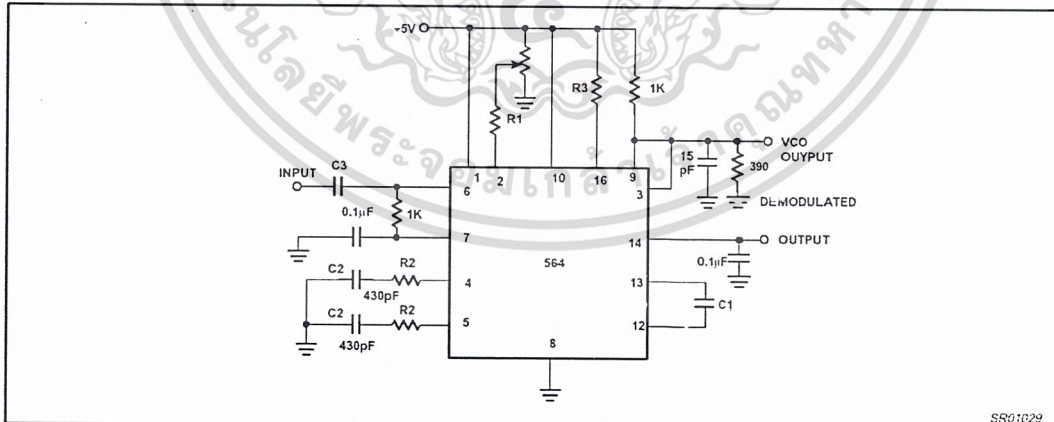


Figure 5. Test Circuit

Phase-locked loop

NE/SE564

FUNCTIONAL DESCRIPTION

(Figure 6)

The NE564 is a monolithic phase-locked loop with a post detection processor. The use of Schottky clamped transistors and optimized device geometries extends the frequency of operation to greater than 50MHz.

In addition to the classical PLL applications, the NE564 can be used as a modulator with a controllable frequency deviation.

The output of the PLL can be written as shown in the following equation:

$$V_O = \frac{(f_{IN} - f_O)}{K_{VCO}} \quad (1)$$

K_{VCO} = conversion gain of the VCO

f_{IN} = frequency of the input signal

f_O = free-running frequency of the VCO

The process of recovering FSK signals involves the conversion of the PLL output into logic compatible signals. For high data rates, a considerable amount of carrier will be present at the output of the PLL due to the wideband nature of the loop filter. To avoid the use of complicated filters, a comparator with hysteresis or Schmitt trigger is required. With the conversion gain of the VCO fixed, the output voltage as given by Equation 1 varies according to the frequency deviation of f_{IN} from f_O . Since this differs from system to system, it is necessary that the hysteresis of the Schmitt trigger be capable of being changed, so that it can be optimized for a particular system. This is accomplished in the 564 by varying the voltage at Pin 15 which results in a change of the hysteresis of the Schmitt trigger.

For FSK signals, an important factor to be considered is the drift in the free-running frequency of the VCO itself. If this changes due to temperature, according to Equation 1 it will lead to a change in the DC levels of the PLL output, and consequently to errors in the digital output signal. This is especially true for narrowband signals where the deviation in f_{IN} itself may be less than the change in f_O due to temperature. This effect can be eliminated if the DC or average value of the signal is retrieved and used as the reference to the comparator. In this manner, variations in the DC levels of the PLL output do not affect the FSK output.

VCO Section

Due to its inherent high-frequency performance, an emitter-coupled oscillator is used in the VCO. In the circuit, shown in the equivalent schematic, transistors Q21 and Q23 with current sources Q25 - Q26 form the basic oscillator. The approximate free-running frequency of the oscillator is shown in the following equation:

$$f_O \approx \frac{1}{22 R_C (C_1 + C_S)} \quad (2)$$

$R_C = R_{19} = R_{20} = 100\Omega$ (INTERNAL)

C_1 = external frequency setting capacitor

C_S = stray capacitance

Variation of V_D (phase detector output voltage) changes the frequency of the oscillator. As indicated by Equation 2, the frequency of the oscillator has a negative temperature coefficient due to the monolithic resistor. To compensate for this, a current I_R with negative temperature coefficient is introduced to achieve a low frequency drift with temperature.

Phase Comparator Section

The phase detection processor consists of a doubled-balanced modulator with a limiter amplifier to improve AM rejection. Schottky-clamped vertical PNPs are used to obtain TTL level inputs. The loop gain can be varied by changing the current in Q_4 and Q_{15} which effectively changes the gain of the differential amplifiers. This can be accomplished by introducing a current at Pin 2.

Post Detection Processor Section

The post detection processor consists of a unity gain transconductance amplifier and comparator. The amplifier can be used as a DC retriever for demodulation of FSK signals, and as a post detection filter for linear FM demodulation. The comparator has adjustable hysteresis so that phase jitter in the output signal can be eliminated.

As shown in the equivalent schematic, the DC retriever is formed by the transconductance amplifier $Q_{12} - Q_{13}$ together with an external capacitor which is connected at the amplifier output (Pin 14). This forms an integrator whose output voltage is shown in the following equation:

$$V_O = \frac{g_M}{C_2} \int V_{IN} dt \quad (3)$$

g_M = transconductance of the amplifier

C_2 = capacitor at the output (Pin 14)

V_{IN} = signal voltage at amplifier input

With proper selection of C_2 , the integrator time constant can be varied so that the output voltage is the DC or average value of the input signal for use in FSK, or as a post detection filter in linear demodulation.

The comparator with hysteresis is made up of $Q_{49} - Q_{50}$ with positive feedback being provided by $Q_{47} - Q_{48}$. The hysteresis is varied by changing the current in Q_{52} with a resulting variation in the loop gain of the comparator. This method of hysteresis control, which is a DC control, provides symmetric variation around the nominal value.

Design Formula

The free-running frequency of the VCO is shown by the following equation:

$$f_O \approx \frac{1}{22 R_C (C_1 + C_S)} \quad (4)$$

$R_C = 100\Omega$

C_1 = external cap in farads

C_S = stray capacitance

The loop filter diagram shown is explained by the following equation:

$$f_S = \frac{1}{1 + sRC_3} \text{ (First Order)} \quad (5)$$

$R = R_{12} = R_{13} = 1.3k\Omega$ (Internal)

By adding capacitors to Pins 4 and 5, a pole is added to the loop transfer at

$$\omega = \frac{1}{RC_3} \quad \text{NOTE:} \\ \text{"Refer to Figure 6.} "$$

Phase-locked loop

NE/SE564

EQUIVALENT SCHEMATIC

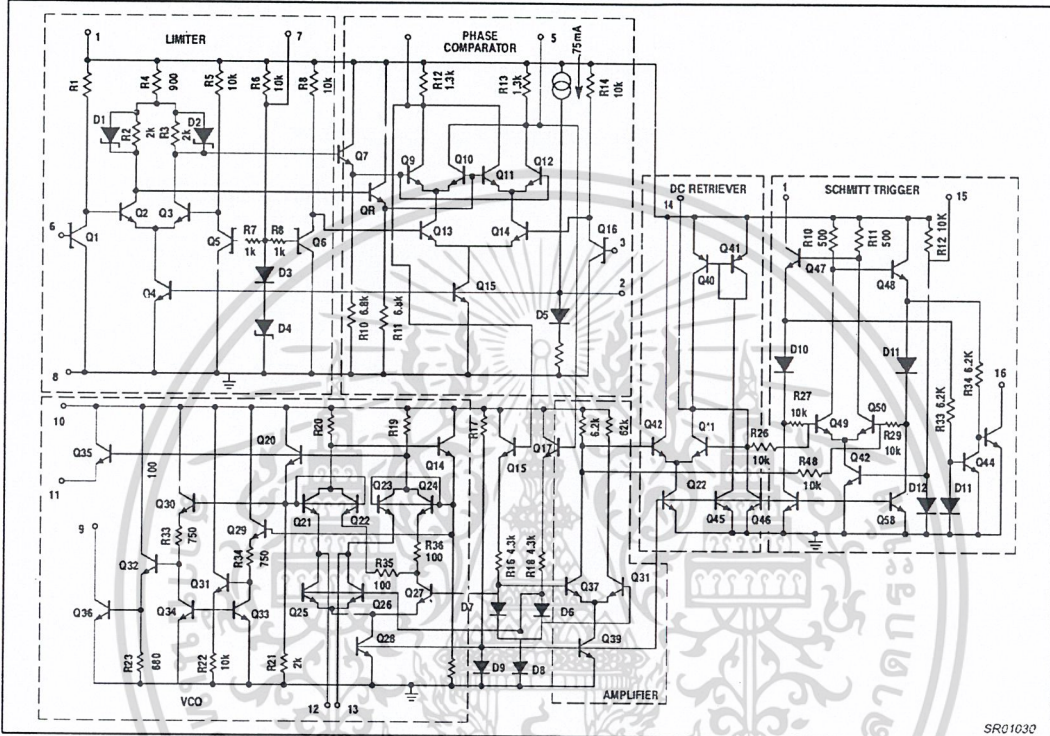


Figure 6. Equivalent Schematic

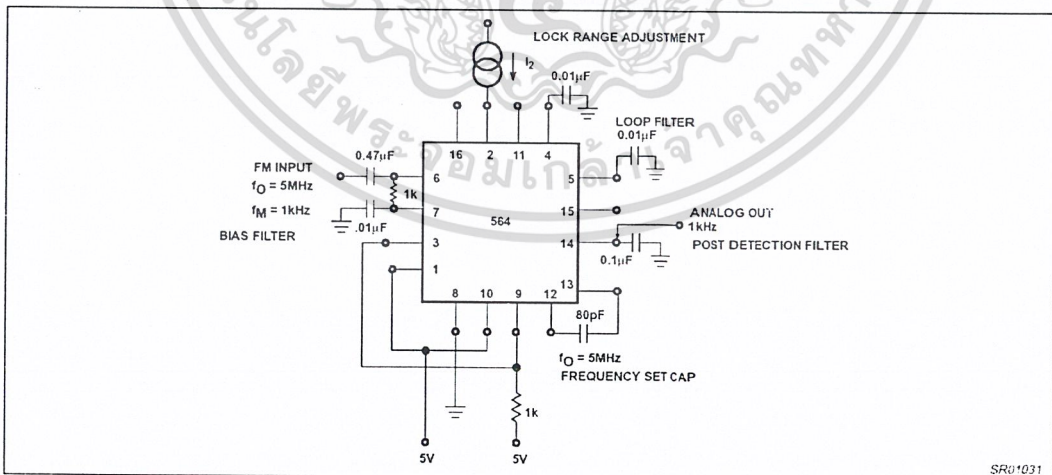


Figure 7. FM Demodulator at 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

APPLICATIONS

FM Demodulator

The NE564 can be used as an FM demodulator. The connections for operation at 5V and 12V are shown in Figures 7 and 8, respectively. The input signal is AC coupled with the output signal being extracted at Pin 14. Loop filtering is provided by the capacitors at Pins 4 and 5 with additional filtering being provided by the capacitor at Pin 14. Since the conversion gain of the VCO is not very high, to obtain sufficient demodulated output signal the frequency deviation in the input signal should be 1% or higher.

Modulation Techniques

The NE564 phase-locked loop can be modulated at either the loop filter ports (Pins 4 and 5) or the input port (Pin 6) as shown in Figure 9. The approximate modulation frequency can be determined from the frequency conversion gain curve shown in Figure 10. This curve will be appropriate for signals injected into Pins 4 and 5 as shown in Figure 9.

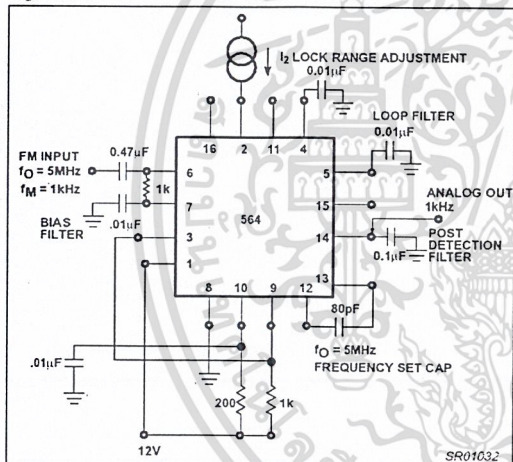


Figure 8. FM Demodulator at 12V

FSK Demodulation

The 564 PLL is particularly attractive for FSK demodulation since it contains an internal voltage comparator and VCO which have TTL compatible inputs and outputs, and it can operate from a single 5V power supply. Demodulated DC voltages associated with the mark and space frequencies are recovered with a single external capacitor in a DC retriever without utilizing extensive filtering networks. An internal comparator, acting as a Schmitt trigger with an adjustable hysteresis, shapes the demodulated voltages into compatible TTL output levels. The high-frequency design of the 564 enables it to demodulate FSK at high data rates in excess of 1.0M baud.

Figure 10 shows a high-frequency FSK decoder designed for input frequency deviations of ±1.0MHz centered around a free-running frequency of 10.8MHz. The value of the timing capacitance required was estimated from Figure 8 to be approximately 40pF. A trimmer capacitor was added to fine tune f_0 10.8MHz.

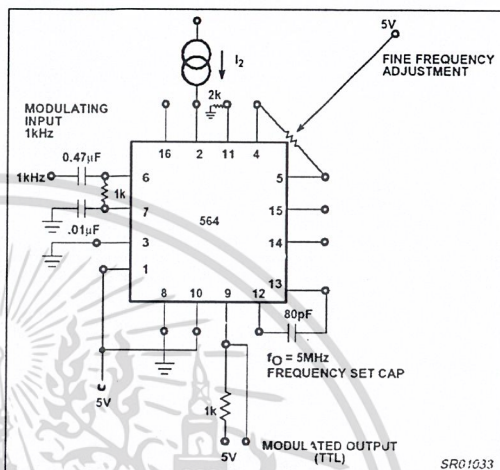


Figure 9. Modulator

The lock range graph indicates that the +1.0MHz frequency deviations will be within the lock range for input signal levels greater than approximately 50mV with zero Pin 2 bias current. (While strictly this figure is appropriate only for 50MHz, it can be used as a guide for lock range estimates at other f_0 frequencies).

The hysteresis was adjusted experimentally via the 10kΩ potentiometer and 2kΩ bias arrangement to give the waveshape shown in Figure 12 for 20k, 500k, 2M baud rates with square wave FSK modulation. Note the magnitude and phase relationships of the phase comparators' output voltages with respect to each other and to the FSK output. The high-frequency sum components of the input and VCO frequency also are viable as noise on the phase comparator's outputs.

OUTLINE OF SETUP PROCEDURE

1. Determine operating frequency of the VCO: $f_0 = N$ in feedback loop, then $f_0 = N \times f_{IN}$.
2. Calculate value of the VCO frequency set capacitor:
$$C_0 \approx \frac{1}{2200 f_0}$$
3. Set I_2 (current sinking into Pin 2) for $\approx 100\mu A$. After operation is obtained, this value may be adjusted for best dynamic behavior, and replace with fixed resistor value of $R_2 = \frac{V_{CC} - 1.3V}{I_{S_2}}$
4. Check VCO output frequency with digital counter at Pin 9 of device (loop open, VCO to ϕ det.). Adjust C_0 trim or frequency adj. Pins 4 - 5 for exact center frequency, if needed.
5. Close loop and inject input signal to Pin 6. Monitor Pins 3 and 6 with two-channel scope. Lock should occur with $\Delta\phi_{3-6}$ equal to 90° (phase error).

Phase-locked loop

NE/SE564

- 6. If pulsed burst or ramp frequency is used for input signal, special loop filter design may be required in place of simple single capacitor filter on Pins 4 and 5. (See PLL application section)
- 7. The input signal to Pin 6 and the VCO feedback signal to Pin 3 must have a duty cycle of 50% for proper operation of the phase detector. Due to the nature of a balanced mixer if signals are not

50% in duty cycle, DC offsets will occur in the loop which tend to create an artificial or biased VCO.

- 8. For multiplier circuits where phase jitter is a problem, loop filter capacitors may be increased to a value of 10 - 50 μ F on Pins 4, 5. Also, careful supply decoupling may be necessary. This includes the counter chain V_{CC} lines.

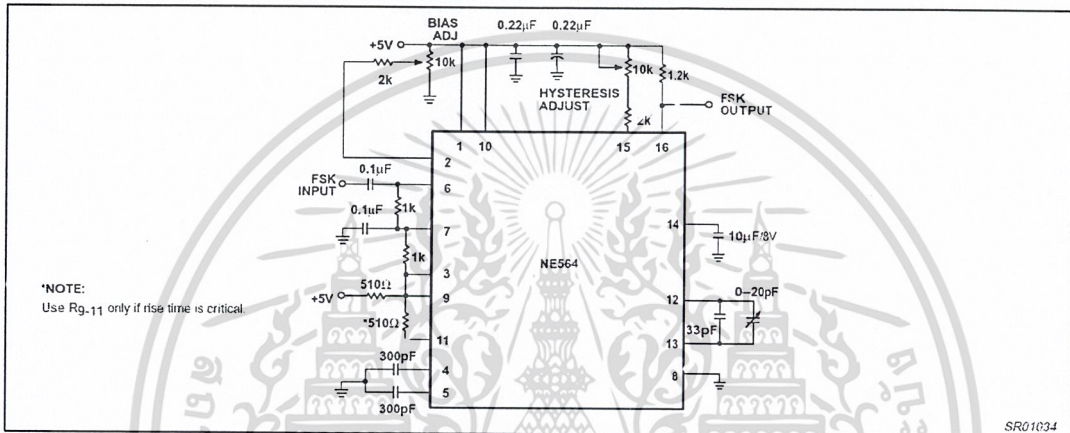


Figure 10. 10.8MHz FSK Decoder Using the 564

Phase-locked loop

NE/SE564

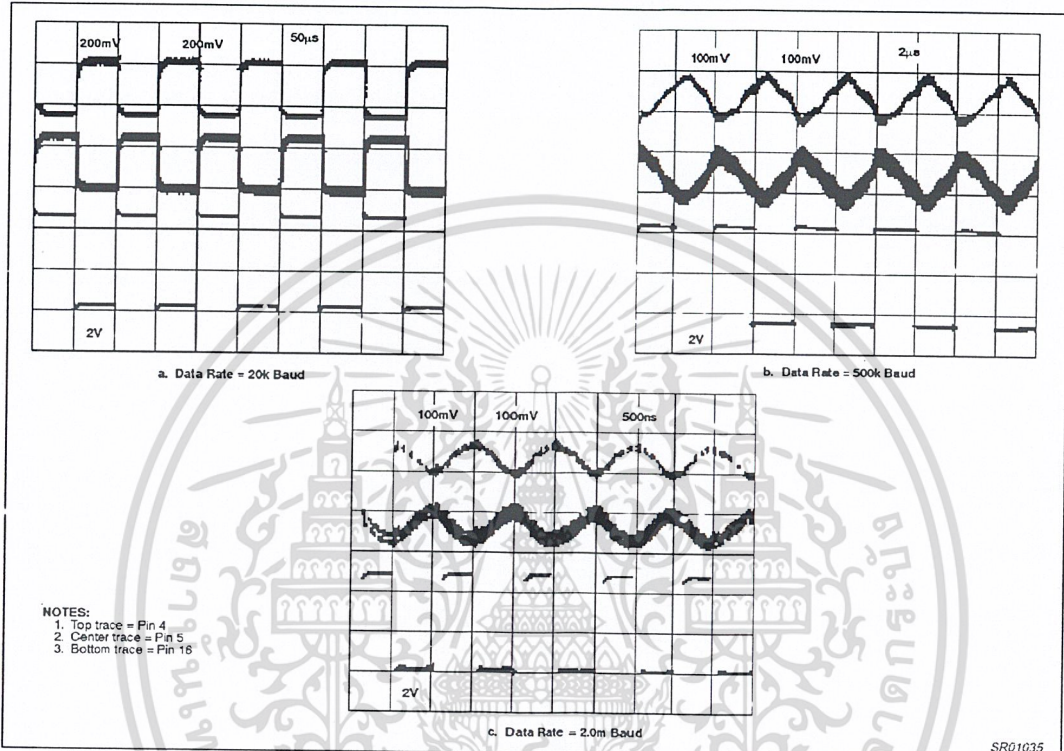


Figure 11. Phase Comparator (Pins 4 and 5) and FSK (Pin 16) Outputs

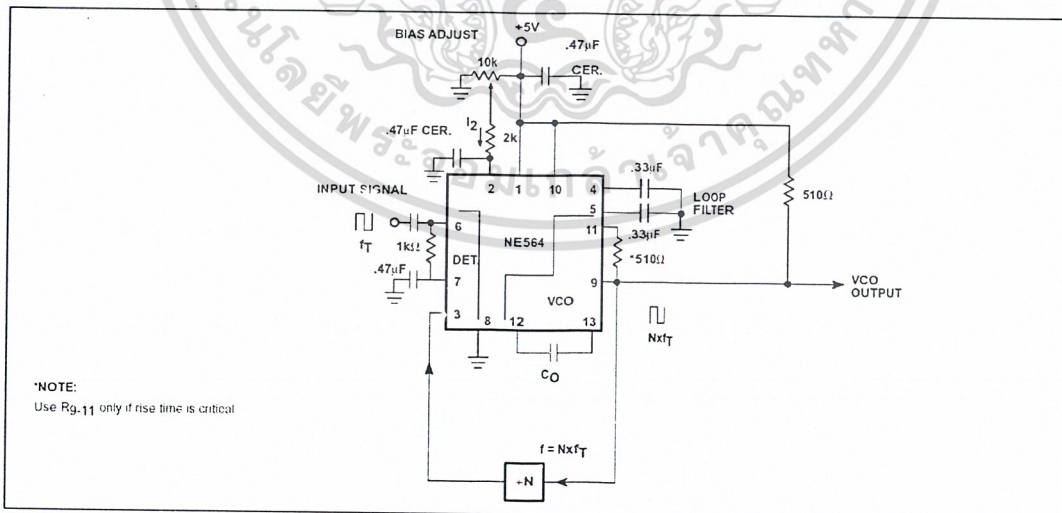


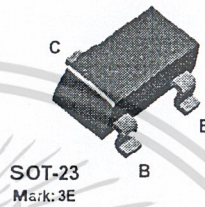
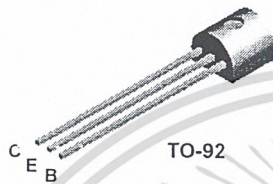
Figure 12. NE564 Phase-Locked Frequency Multiplier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

MPSH10

MMBTH10



NPN RF Transistor

This device is designed for use in low noise UHF/VHF amplifiers, with collector currents in the 100 μ A to 20 mA range in common emitter or common base mode of operations, and in low frequency drift, high output UHF oscillators. Sourced from Process 42.

Absolute Maximum Ratings*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage	25	V
V _{CBO}	Collector-Base Voltage	30	V
V _{EBO}	Emitter-Base Voltage	3.0	V
I _c	Collector Current - Continuous	50	mA
T _j , T _{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		MPSH10	*MMBTH10	
P _D	Total Device Dissipation	350	225	mW
	Derate above 25°C	2.8	1.8	mW/°C
R _{θJC}	Thermal Resistance, Junction to Case	125		°C/W
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	556	°C/W

* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.062"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN RF Transistor
 (continued)

Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage*	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	25		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu\text{A}, I_E = 0$	30		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	3.0		V
I_{CBO}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 25 \text{ V}, I_E = 0$		100	nA
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current	$V_{EB} = 2.0 \text{ V}, I_C = 0$		100	nA
ON CHARACTERISTICS					
h_{FE}	DC Current* Gain	$I_C = 4.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$	60		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 4.0 \text{ mA}, I_B = 0.4 \text{ mA}$		0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$I_C = 4.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$		0.95	V
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 4.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f = 100 \text{ MHz}$	650		MHz
C_{cb}	Collector-Base Capacitance	$V_{CB} = 10 \text{ V}, I_C = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$		0.7	pF
C_{fb}	Common-Base Feedback Capacitance	$V_{CB} = 10 \text{ V}, I_C = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$	0.35	0.65	pF
rb/C_c	Collector Base Time Constant	$I_C = 4.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f = 31.8 \text{ MHz}$		9.0	ps

* Pulse Test, Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle = 2.0%

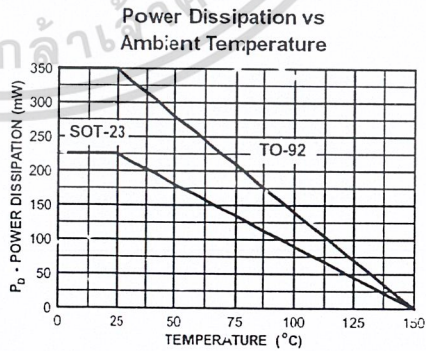
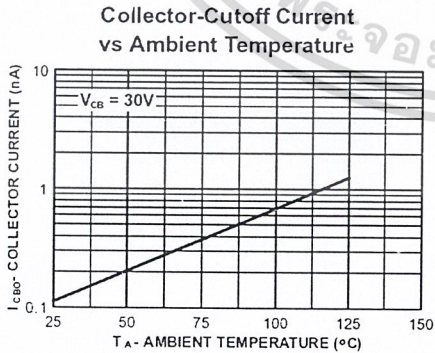
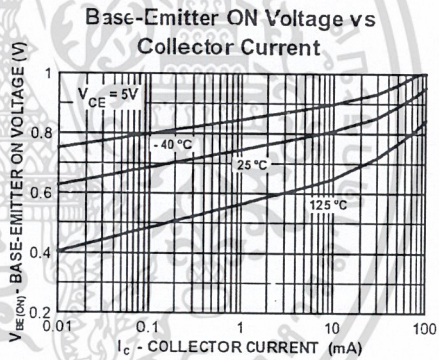
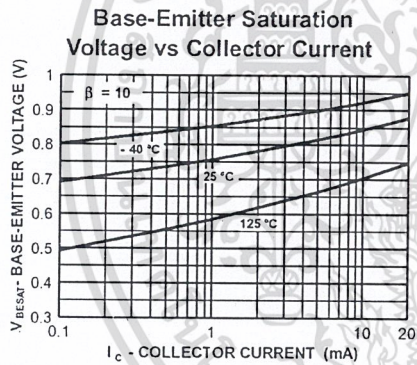
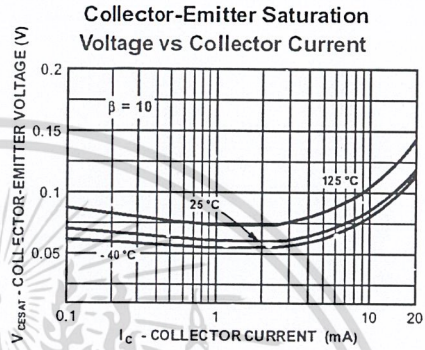
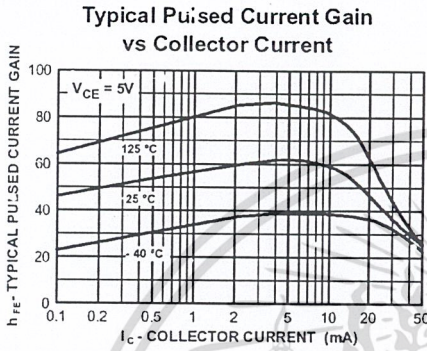
Spice Model

NPN (Is=69.28E-18 Xil=3 Eg=1.11 Val=100 Bf=308.6 Na=1.197 Ise=69.28E-18 Ikt=22.83m Xlb=1.5 Br=1.11 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rcs=1 Cjc=1.042p Mjc=.2468 Vjc=75 Fc=5 Cje=1.62p Mje=.3223 Vje=75 Tr=1.556n Tf=135.8p Ili=27 Vti=10 Xtl=30 Rb=10j)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN RF Transistor
(continued)

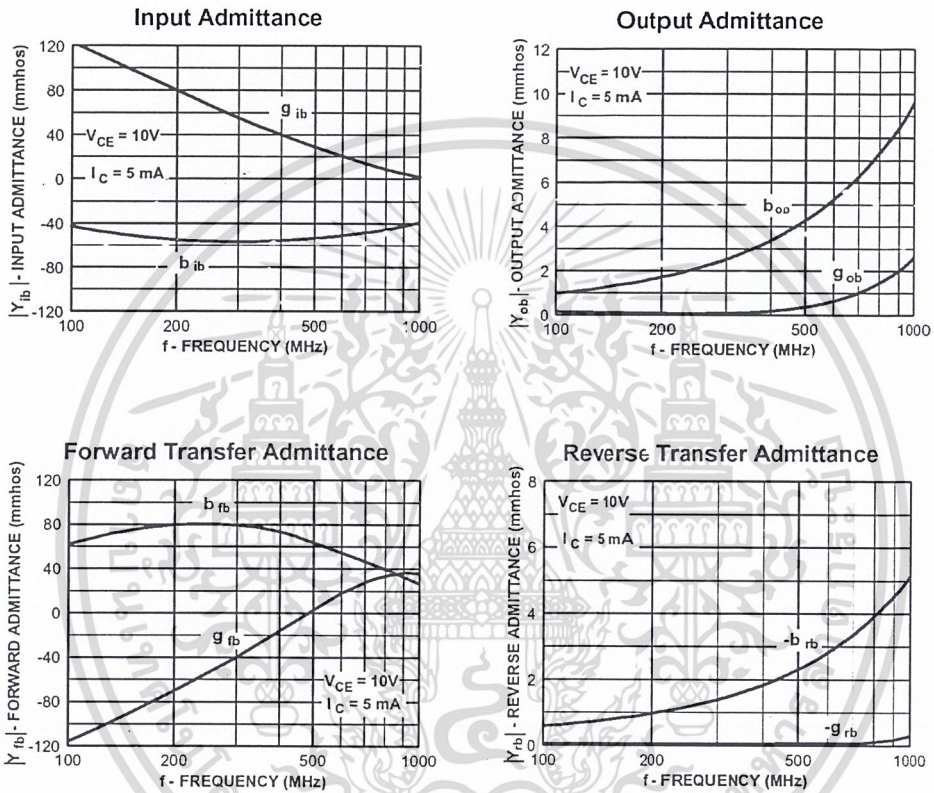
Typical Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN RF Transistor
(continued)

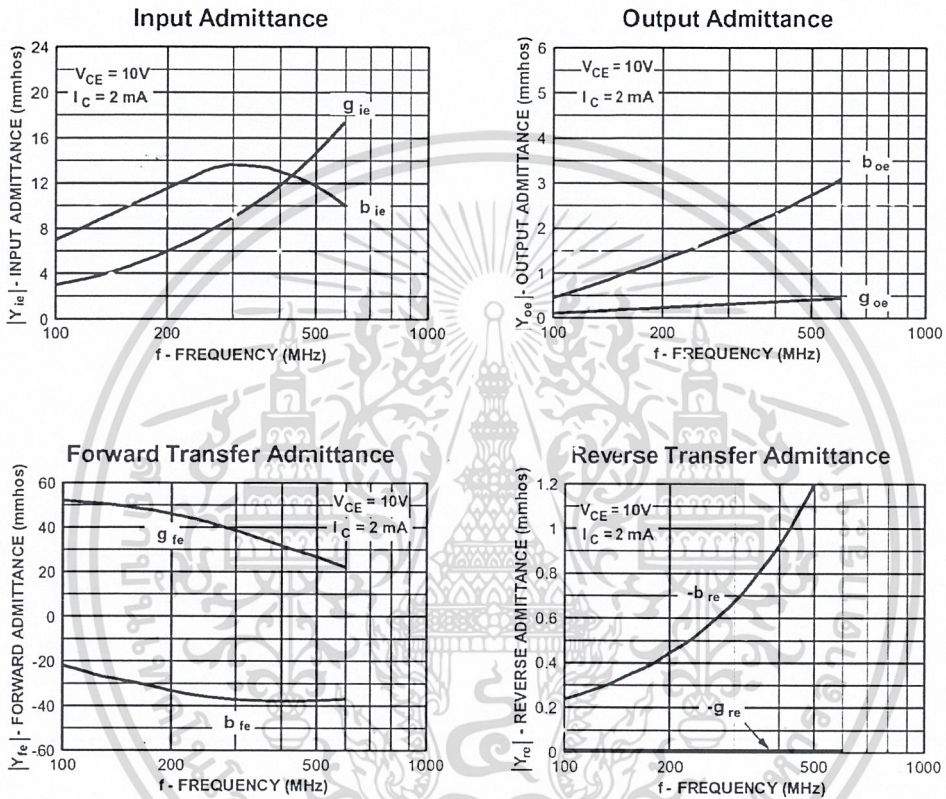
Common Base Y Parameters vs. Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN RF Transistor
(continued)

Common Emitter Y Parameters vs. Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN RF Transistor
(continued)

Test Circuits

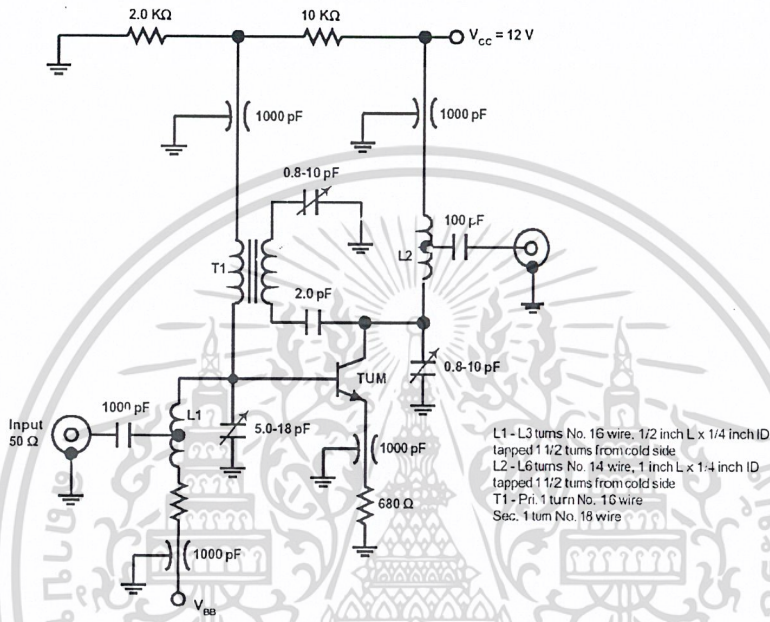


FIGURE 1: Neutralized 200 MHz PG and NF Circuit

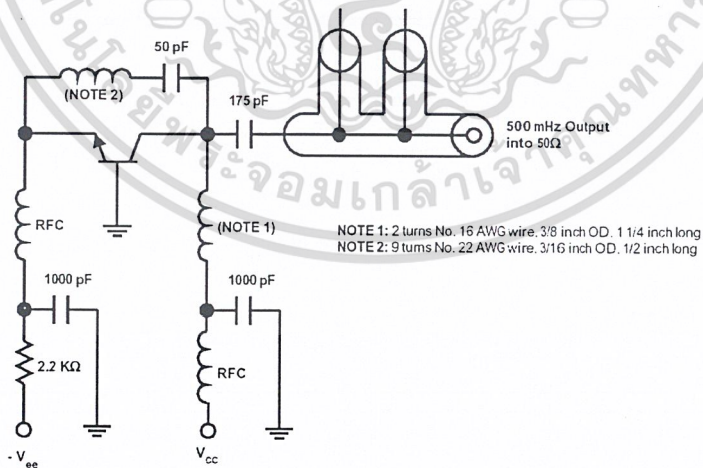


FIGURE 2: 500 MHz Oscillator Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers

General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (Bi-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

Features

Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers

- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

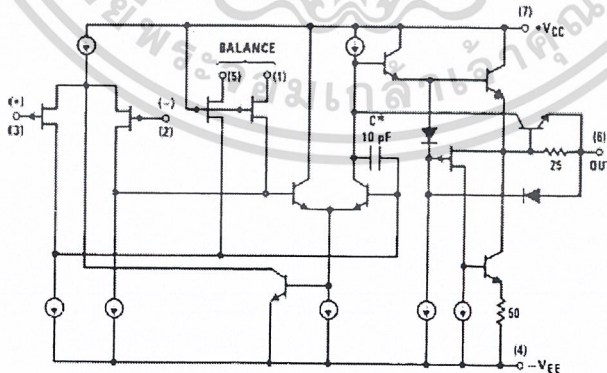
Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance: $10^{12}\Omega$
- Low input noise current: $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF356	LF357 (A _v =5)	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	μs
■ Fast slew rate	5	12	50	V/μs
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	nV/√Hz

Simplified Schematic



*3 pF in LF357 series.

Bi-FET™, Bi-FET® are trademarks of National Semiconductor Corporation.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

	LF155/6	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
T_{JMAX}			
H-Package	150 °C	115 °C	115 °C
N-Package		100 °C	100 °C
M-Package		100 °C	100 °C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1, 3)			
H-Package (Still Air)	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package		670 mW	670 mW
M-Package		380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) θ_{JA}			
H-Package (Still Air)	160 °C/W	160 °C/W	160 °C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65 °C/W	65 °C/W	65 °C/W
N-Package		130 °C/W	130 °C/W
M-Package		195 °C/W	195 °C/W
(Typical) θ_{JC}			
H-Package	23 °C/W	23 °C/W	23 °C/W
Storage Temperature Range	-65 °C to +150 °C	-65 °C to +150 °C	-65 °C to +150 °C
Soldering Information (Lead Temp.)			
Metal Can Package			
Soldering (10 sec.)	300 °C	300 °C	300 °C
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 sec.)	260 °C	260 °C	260 °C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 sec.)		215 °C	215 °C
Infrared (15 sec.)		220 °C	220 °C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD tolerance (100 pF discharged through 1.5 k Ω)	1000V	1000V	1000V

DC Electrical Characteristics

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5		3	5		3	10	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$		5			5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta TC/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with V_{OS} Adjust	$R_S=50\Omega$ (Note 4)		0.5			0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
I_{OS}	Input Offset Current	$T_J=25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20		3	20		3	50	pA
I_B	Input Bias Current	$T_J=25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100		30	100		30	200	pA
R_{IN}	Input Resistance	$T_J=25^\circ\text{C}$		10^{12}			10^{12}			10^{12}		Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Electrical Characteristics (Continued)												
(Note 3)												
Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$ $V_O = \pm 10V, R_L = 2k$ Over Temperature	50	200		50	200		25	200		V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V, R_L = 10k$ $V_S = \pm 15V, R_L = 2k$	± 12 ± 10	± 13 ± 12		± 12 ± 10	± 13 ± 12		± 12 ± 10	± 13 ± 12		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 11	+15.1 -12		± 11	± 15.1 -12		+10	+15.1 -12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		80	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		80	100		dB

DC Electrical Characteristics											
$T_A = T_J = 25^\circ C, V_S = \pm 15V$											
Parameter	LF155		LF355		LF156/356B		LF356		LF357		Units
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	
Supply Current	2	4	2	4	5	7	5	10	5	10	mA

AC Electrical Characteristics											
$T_A = T_J = 25^\circ C, V_S = \pm 15V$											
Symbol	Parameter	Conditions	LF155/355	LF156/356B	LF156/356/ LF356B	LF357	Units				
			Typ	Min	Typ	Typ					
SR	Slew Rate	LF155/6: $A_V = 1$, LF357: $A_V = 5$	5	7.5	12	50	V/ μs				
GBW	Gain Bandwidth Product		2.5		5	20	MHz				
t_s	Settling Time to 0.01%	(Note 7)	4		1.5	1.5	μs				
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$	25 20		15 12	15 12	nV/ \sqrt{Hz} nV/ \sqrt{Hz}				
i_n	Equivalent Input Current Noise	$f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$	0.01 0.01		0.01 0.01	0.01 0.01	pA/ \sqrt{Hz} pA/ \sqrt{Hz}				
C_{IN}	Input Capacitance		3		3	3	pF				

Notes for Electrical Characteristics			
Note 1: The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by $T_{JM,MAX}$, θ_{JA} , and the ambient temperature, T_A . The maximum available power dissipation at any temperature is $P_d = (T_{JM,MAX} - T_A) \theta_{JA}$, or the 25°C $P_{d,MAX}$, whichever is less.			
Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.			
Note 3: Unless otherwise stated, these test conditions apply:			
	LF155/156	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage, V_S	$\pm 15V \leq V_S \leq \pm 20V$	$\pm 15V \leq V_S \leq \pm 20V$	$V_S = \pm 15V$
T_A	$-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$
T_{HIGH}	+125°C	+70°C	+70°C

and V_{OS} , I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 4: The Temperature Coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount (0.5 $\mu V/^\circ C$ typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes for Electrical Characteristics (Continued)

Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_d . $T_J = T_A + \theta_{JA} P_d$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

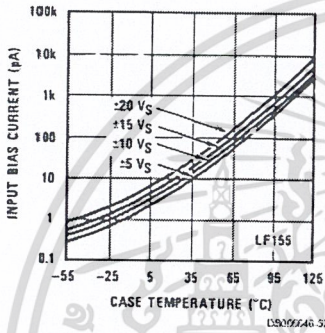
Note 6: Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

Note 7: Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2 kΩ resistors for the LF155/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF357, $A_v = -5$, the feedback resistor from output to input is 2 kΩ and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

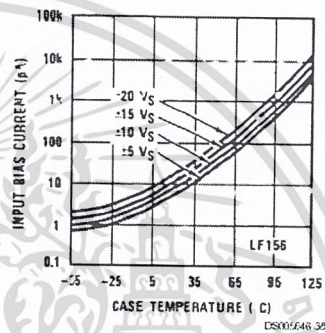
Note 8: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

Typical DC Performance Characteristics Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified.

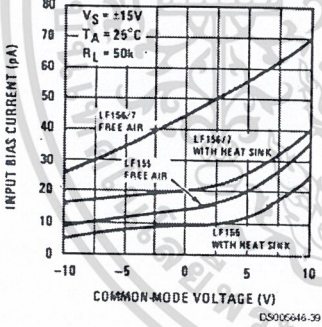
Input Bias Current



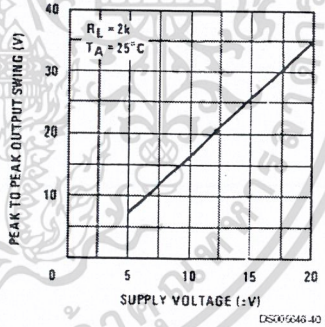
Input Bias Current



Input Bias Current



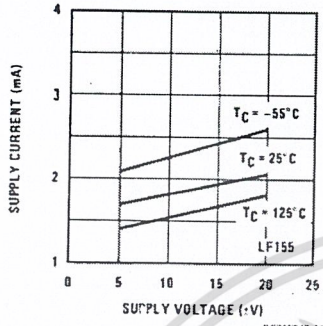
Voltage Swing



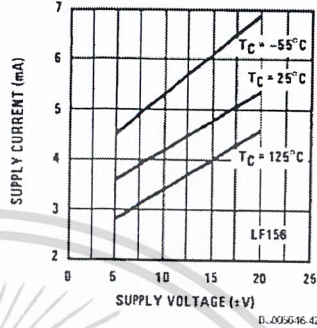
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical DC Performance Characteristics Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

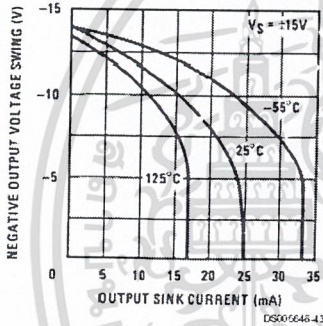
Supply Current



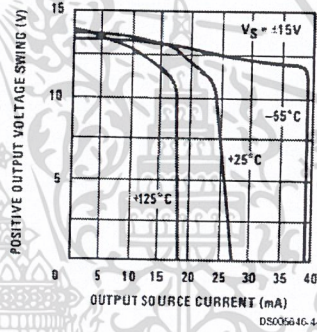
Supply Current



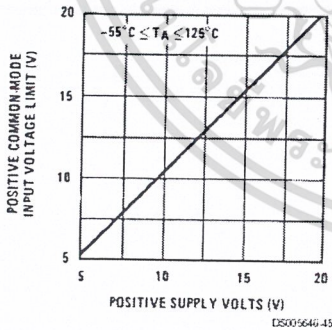
Negative Current Limit



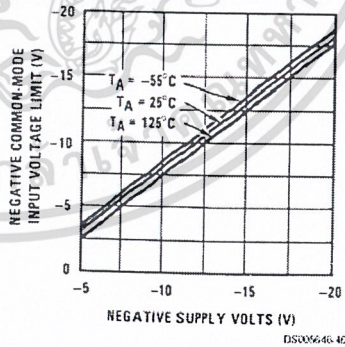
Positive Current Limit



Positive Common-Mode Input Voltage Limit



Negative Common-Mode Input Voltage Limit

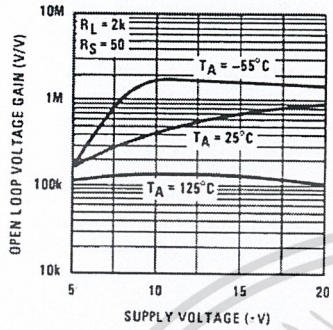


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

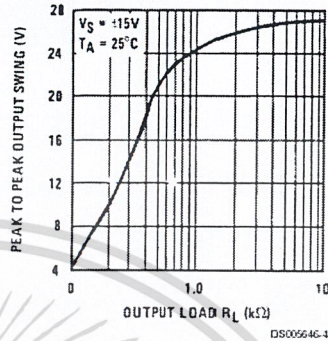
LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

Typical DC Performance Characteristics Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

Open Loop Voltage Gain

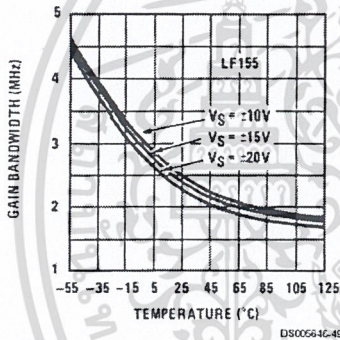


Output Voltage Swing

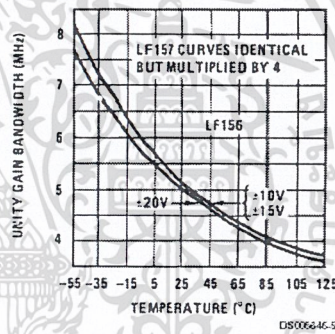


Typical AC Performance Characteristics

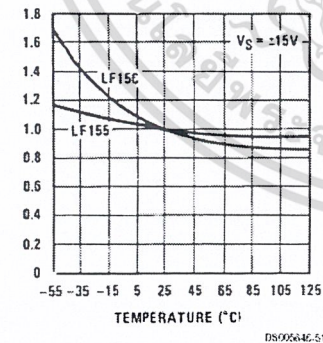
Gain Bandwidth



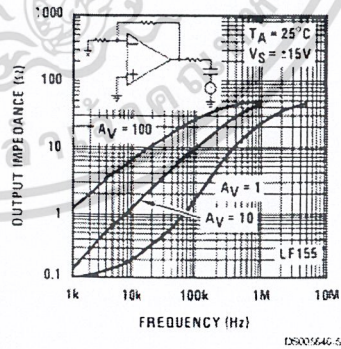
Gain Bandwidth



Normalized Slew Rate



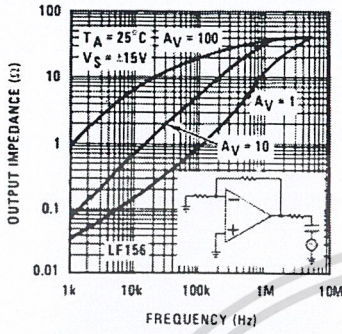
Output Impedance



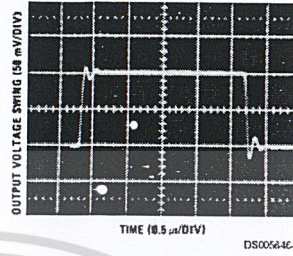
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical AC Performance Characteristics (Continued)

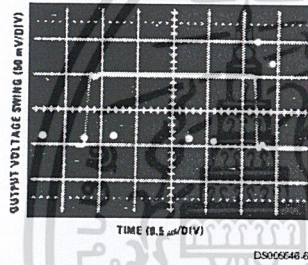
Output Impedance



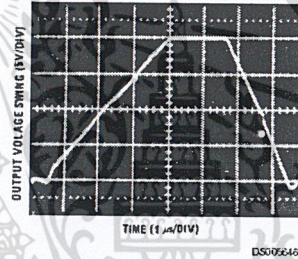
LF155 Small Signal Pulse Response, $A_V = +1$



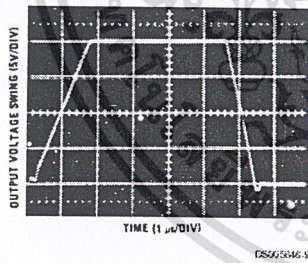
LF156 Small Signal Pulse Response, $A_V = +1$



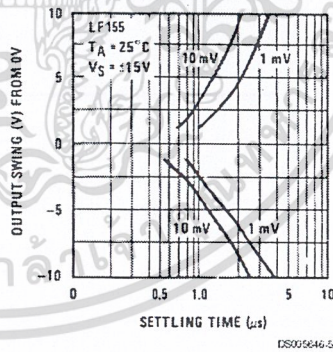
LF155 Large Signal Pulse Response, $A_V = +1$



LF156 Large Signal Puls Response, $A_V = +1$



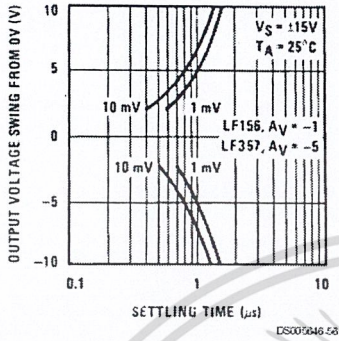
Inverter Settling Time



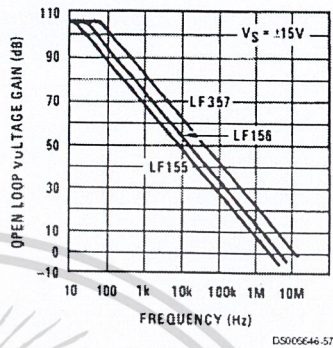
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical AC Performance Characteristics (Continued)

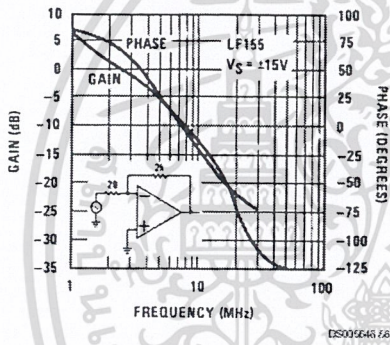
Inverter Settling Time



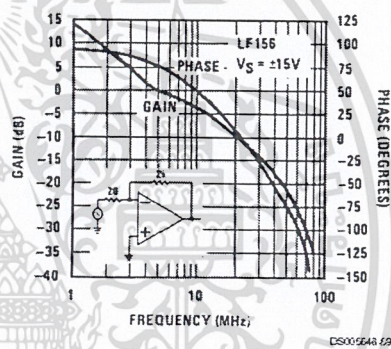
Open Loop Frequency Response



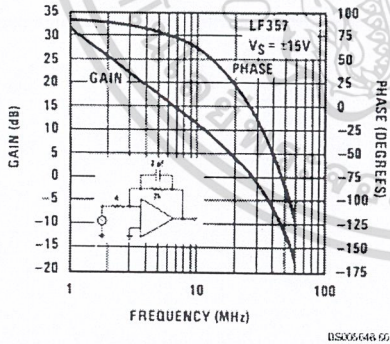
Bode Plot



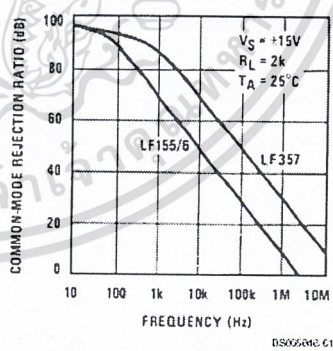
Bode Plot



Bode Plot



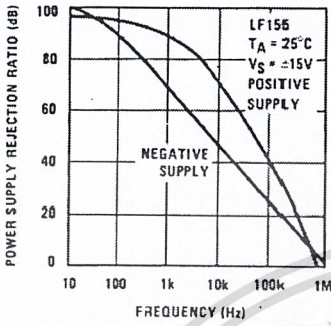
Common-Mode Rejection Ratio



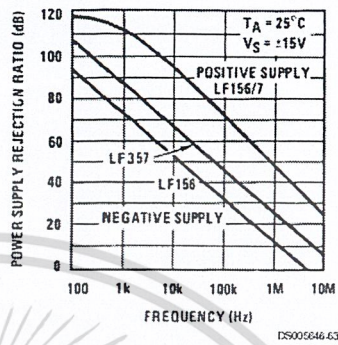
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical AC Performance Characteristics (Continued)

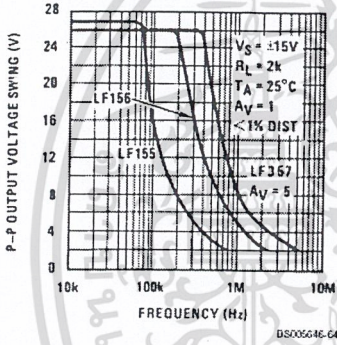
Power Supply Rejection Ratio



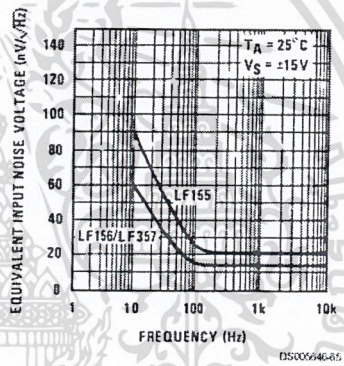
Power Supply Rejection Ratio



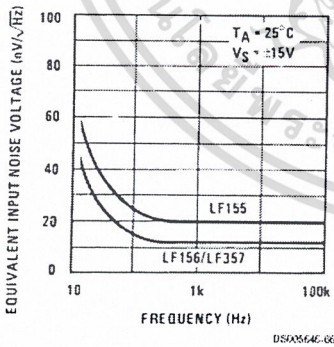
Undistorted Output Voltage Swing



Equivalent Input Noise Voltage



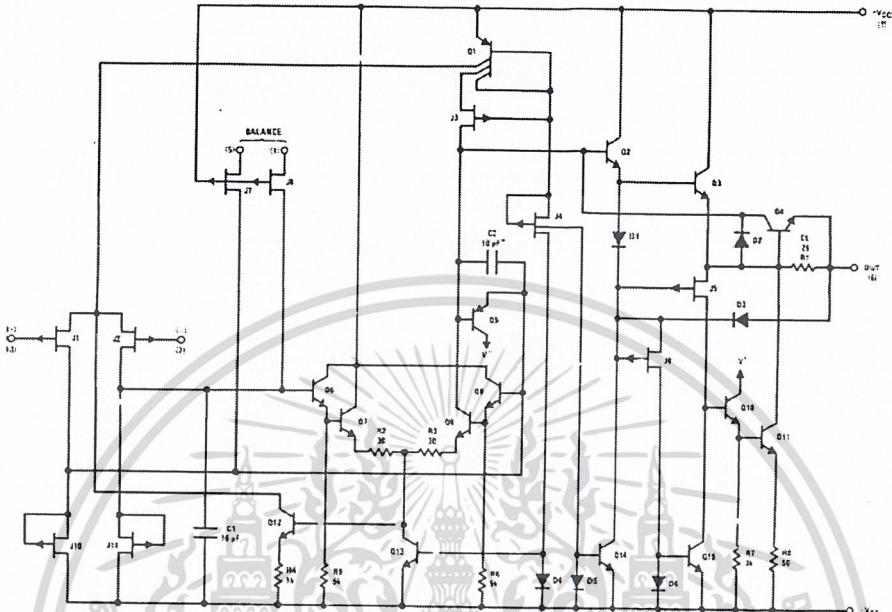
Equivalent Input Noise Voltage (Expanded Scale)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

Detailed Schematic

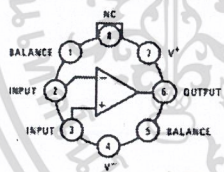


*C = 3 pF in LF357 series.

DS005646-13

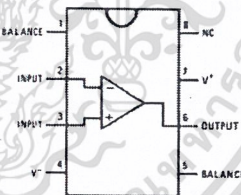
Connection Diagrams (Top Views)

Metal Can Package (H)



DS005646-14

Dual-In-Line Package (M and N)



DS005646-29

*Available per JM39510/11401 or JM39510/11402

Order Number LF155H, LF156H, LF356BH, LF356H, or LF357H

See NS Package Number H08C

Order Number LF356M, LF356MX, LF355N, or LF356N

See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints

These are op amps with JFET input devices. These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

These amplifiers will operate with the common-mode input voltage equal to the positive supply. In fact, the common-mode voltage can exceed the positive supply by approximately 100 mV independent of supply voltage and over the full operating temperature range. The positive supply can therefore be used as a reference on an input as, for example, in a supply current monitor and/or limiter.

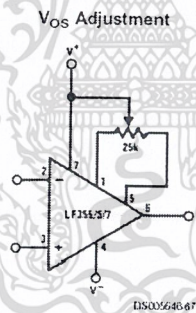
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

All of the bias currents in these amplifiers are set by FET current sources. The drain currents for the amplifiers are therefore essentially independent of supply voltage.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pickup" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to ac ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately six times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

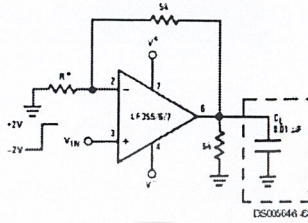
Typical Circuit Connections



- V_{OS} is adjusted with a 25k potentiometer
- The potentiometer wiper is connected to V^+
- For potentiometers with temperature coefficient of 100 ppm/°C or less the additional drift with adjust is $\pm 0.5 \mu\text{V}/\text{C/mV}$ of adjustment
- Typical overall drift: $5 \mu\text{V}/\text{C} \pm (0.5 \mu\text{V}/\text{C/mV of adj.})$

Typical Circuit Connections (Continued)

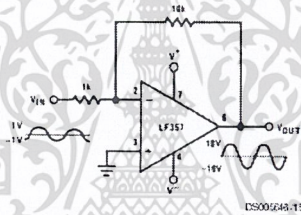
Driving Capacitive Loads



- LF155/6 R = 5k
- LF357 R=1.25k

Due to a unique output stage design, these amplifiers have the ability to drive large capacitive loads and still maintain stability.
 $C_{L(MAX)} \approx 0.01 \mu F$
 Overshoot $\leq 20\%$
 Settling time (t_s) = 5 μs

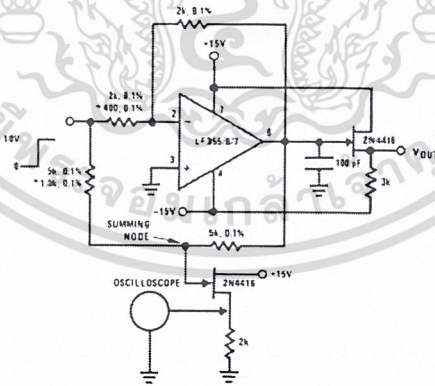
LF357. A Large Power BW Amplifier



For distortion $\leq 1\%$ and a 20 Vp-p V_{OUT} swing, power bandwidth is: 500 kHz.

Typical Applications

Settling Time Test Circuit

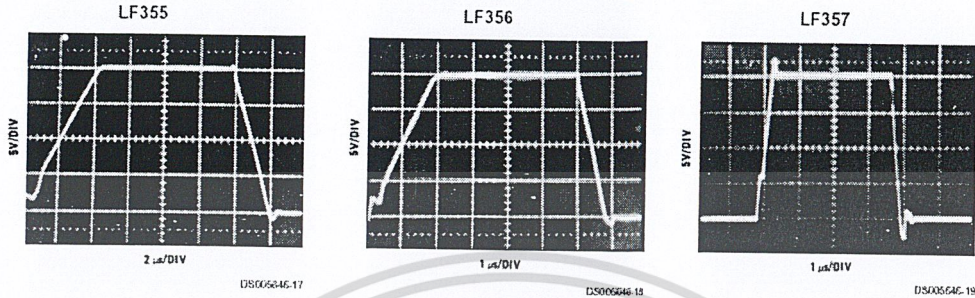


- Settling time is tested with the LF155/6 connected as unity gain inverter and LF357 connected for $A_V = -5$
- FET used to isolate the probe capacitance
- Output = 10V step
- $A_V = -5$ for LF357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

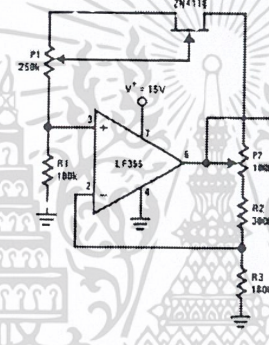
Typical Applications (Continued)

Large Signal Inverter Output, V_{OUT} (from Settling Time Circuit)



LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

Low Drift Adjustable Voltage Reference



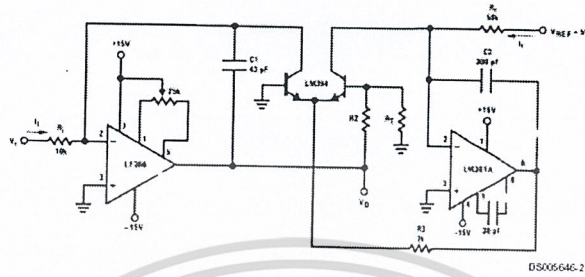
- $\Delta V_{OUT}/\Delta T = \pm 0.002\%/^{\circ}C$
- All resistors and potentiometers should be wire-wound
- P1: drift adjust
- P2: V_{OUT} adjust
- Use LF155 for
 - Low I_B
 - Low drift
 - Low supply current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

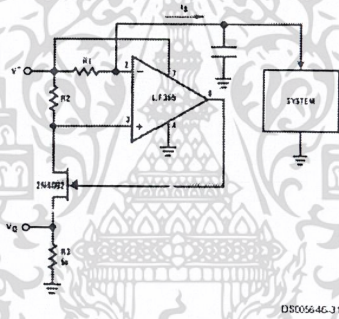
Typical Applications (Continued)

Fast Logarithmic Converter



- Dynamic range: $100 \mu\text{A} \leq I_i \leq 1 \text{ mA}$ (5 decades), $|V_{O1}| = 1\text{V/decade}$
 - Transient response: $3 \mu\text{s}$ for $\Delta I_i = 1$ decade
 - C1, C2, R2, R3: added dynamic compensation
 - V_{OS} adjust the LF156 to minimize quiescent error
 - R_T : Tel Labs type Q81 + 0.3% C
- $$|V_{out}| = \left[1 + \frac{R_2}{R_T} \right] \frac{kT}{q} \ln V_i \left[\frac{R_T}{V_{REF} R_1} \right] = \log V_i \frac{1}{R_T} R_2 = 15.7\text{k}, R_T = 1\text{k}, 0.3\%/^{\circ}\text{C (for temperature compensation)}$$

Precision Current Monitor

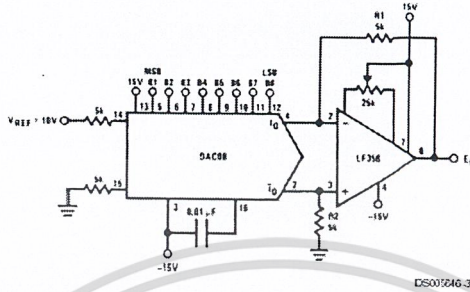


- $V_O = 5 R_1/R_2 (V/mA \text{ of } I_S)$
- R1, R2, R3: 0.1% resistors
- Use LF155 for
 - Common-mode range to supply range
 - Low I_B
 - Low V_{OS}
 - Low Supply Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

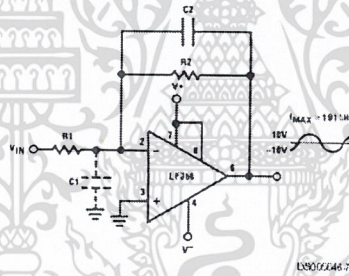
8-Bit D/A Converter with Symmetrical Offset Binary Operation



- R1, R2 should be matched within ±0.05%
- Full-scale response time: 3 μs

E _o	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Comments
+9.920	1	1	1	1	1	1	1	1	Positive Full-Scale
+0.040	1	0	0	0	0	0	0	0	(+) Zero-Scale
-0.040	0	1	1	1	1	1	1	1	(-) Zero-Scale
-9.920	0	0	0	0	0	0	0	0	Negative Full-Scale

Wide BW Low Noise, Low Drift Amplifier

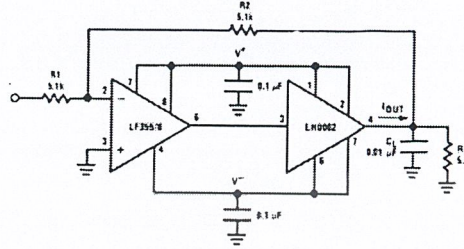


- Power BW: $f_{MAX} = \frac{S_f}{2\pi V_p} \cong 191 \text{ kHz}$
- Parasitic input capacitance C1 ≈ (3 pF for LF155, LF156 and LF357 plus any additional layout capacitance) interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate add C2 such that: $R2 C2 \approx R1 C1$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

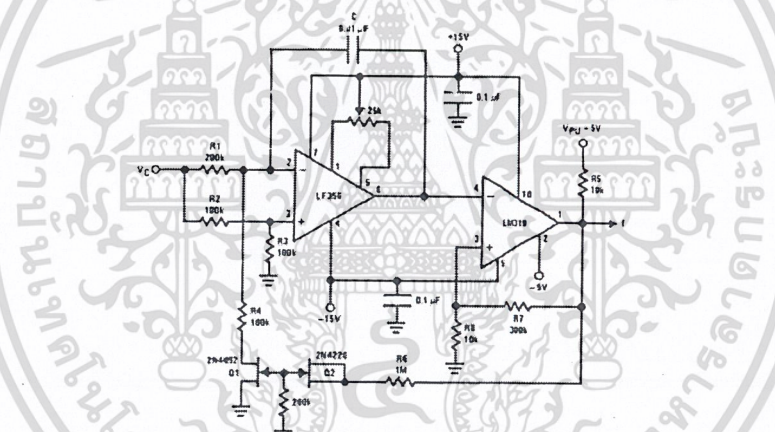
Boosting the LF156 with a Current Amplifier



DS005646-73

- $I_{OUT(MAX)} = 150 \text{ mA}$ (will drive $R_L \geq 100\Omega$)
- $\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T} = \frac{0.15}{10^{-2}} \text{ V}/\mu\text{s}$ (with C_L shown)
- No additional phase shift added by the current amplifier

3 Decades VCO



DS005646-24

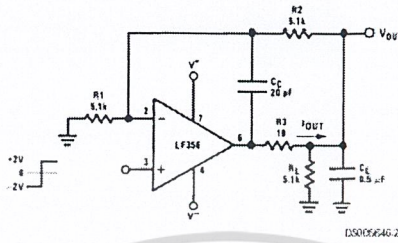
$$f = \frac{V_C (R_8 + R_7)}{(8 V_{PU} R_8 R_1) C} \quad 0 \leq V_C \leq 30V, 10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$$

R1, R4 matched. Linearity 0.1% over 2 decades.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

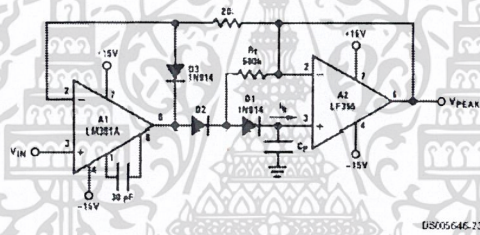
Isolating Large Capacitive Loads



- Overshoot 6%
- t_s 10 μs
- When driving large C_L , the V_{OUT} slew rate determined by C_L and $I_{OUT(MAX)}$:

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T} = \frac{I_{OUT}}{C_L} \cong \frac{0.02}{0.5} \text{ V}/\mu s = 0.04 \text{ V}/\mu s \text{ (with } C_L \text{ shown)}$$

Low Drift Peak Detector



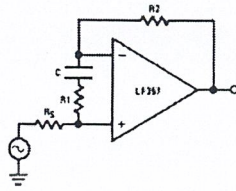
- By adding D1 and R_f , $V_{D1}=0$ during hold mode. Leakage of D2 provided by feedback path through R_f .
- Leakage of circuit is essentially I_L (LF155, LF156) plus capacitor leakage of C_p .
- Diode D3 clamps V_{OUT} (A1) to $V_{IN}-V_{D2}$ to improve speed and to limit reverse bias of D2.
- Maximum input frequency should be $\ll \frac{1}{2\pi R_1 C_{D2}}$ where C_{D2} is the shunt capacitance of D2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

Typical Applications (Continued)

Non-Inverting Unity Gain Operation for LF157



DS005646-75

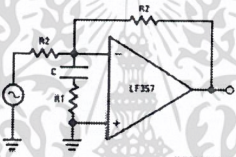
$$R1C \approx \frac{1}{(2\pi)(5 \text{ MHz})}$$

$$R1 = \frac{R2 + RS}{4}$$

$$A_{V(DC)} = 1$$

$$f_{-3dB} \approx 5 \text{ MHz}$$

Inverting Unity Gain for LF157



DS005646-25

$$R1C \approx \frac{1}{(2\pi)(5 \text{ MHz})}$$

$$R1 = \frac{R2}{4}$$

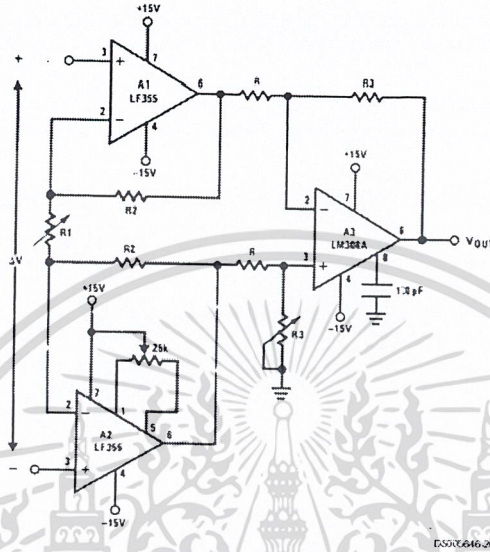
$$A_{V(DC)} = -1$$

$$f_{-3dB} \approx 5 \text{ MHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

High Impedance, Low Drift Instrumentation Amplifier



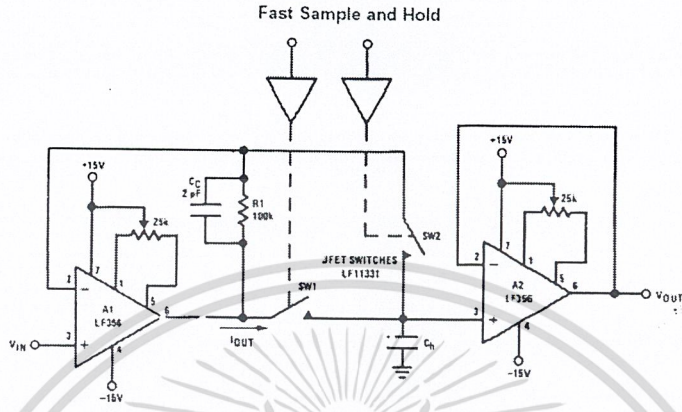
$$V_{OUT} = \frac{R3}{R} \left[\frac{2R2}{R1} + 1 \right] \Delta V, V^- + 2V \leq V_{IN \text{ common-mode}} \leq V^+$$

- System V_{OS} adjusted via A2 V_{OS} adjust.
- Trim R3 to boost up CMRR to 120 dB. Instrumentation amplifier resistor array recommended for best accuracy and lowest drift

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



- Both amplifiers (A1, A2) have feedback loops individually closed with stable responses (overshoot negligible)
- Acquisition time T_A estimated by:

$$T_A \cong \left[\frac{2R_{ON} \cdot V_{IN} \cdot C_h}{S_r} \right]^{1/2} \text{ provided that:}$$

$$V_{IN} < 2\pi S_r R_{ON} C_h \text{ and } T_A > \frac{V_{IN} C_h}{I_{OUT(MAX)}}, \text{ } R_{ON} \text{ is of SW1.}$$

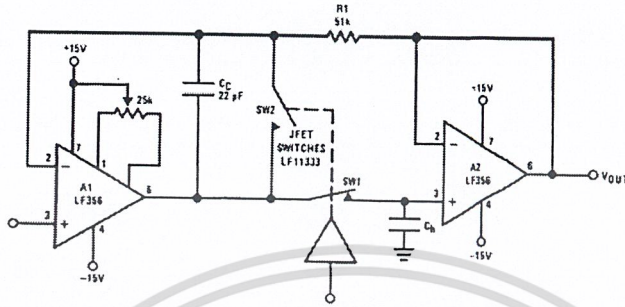
If inequality not satisfied: $T_A \cong \frac{V_{IN} C_h}{20 \text{ mA}}$

- LF156 develops full S_r output capability for $V_{IN} \geq 1V$
- Addition of SW2 improves accuracy by putting the voltage drop across SW1 inside the feedback loop
- Overall accuracy of system determined by the accuracy of both amplifiers, A1 and A2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

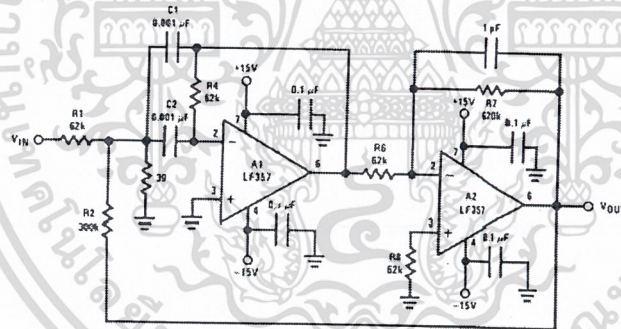
High Accuracy Sample and Hold



DS00646.27

- By closing the loop through A2, the V_{OUT} accuracy will be determined uniquely by A1. No V_{OS} adjust required for A2.
- T_A can be estimated by same considerations as previously but, because of the added propagation delay in the feedback loop (A2) the overshoot is not negligible.
- Overall system slower than fast sample and hold
- R1, C_C : additional compensation
- Use LF156 for
 - Fast settling time
 - Low V_{OS}

High Q Band Pass Filter



DS005046.28

- By adding positive feedback (R2)
- Q increases to 40
- $f_{BP} = 100$ kHz

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 10\sqrt{Q}$$

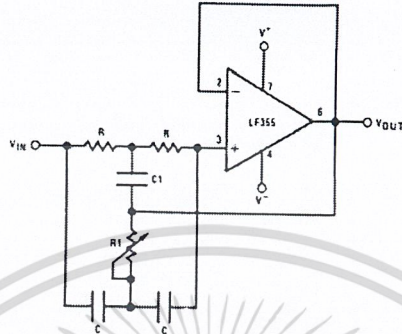
- Clean layout recommended
- Response to a 1 Vp-p tone burst: 300 μ s

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

High Q Notch Filter

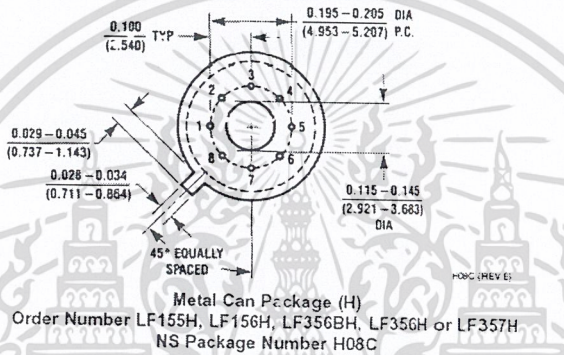
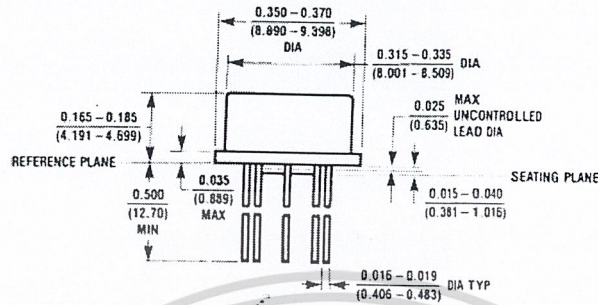


DS00564A-34

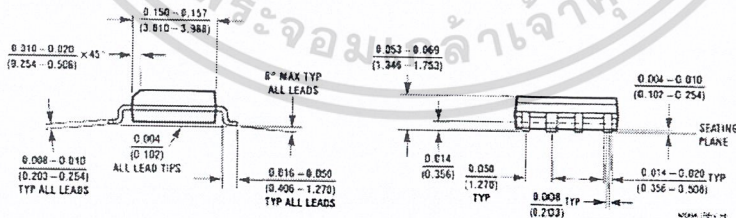
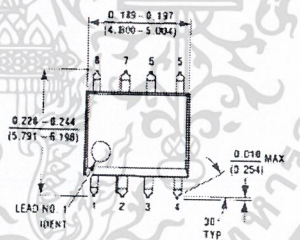
- $2R1 = R = 10 \text{ M}\Omega$
- $2C = C1 = 300 \text{ pF}$
- Capacitors should be matched to obtain high Q.
- $f_{\text{NOTCH}} = 120 \text{ Hz}$, notch = -55 dB , $Q > 100$
- Use LF155 for
 - Low I_B
 - Low supply current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Metal Can Package (H)
 Order Number LF155H, LF156H, LF356BH, LF356GH or LF357H
 NS Package Number H08C

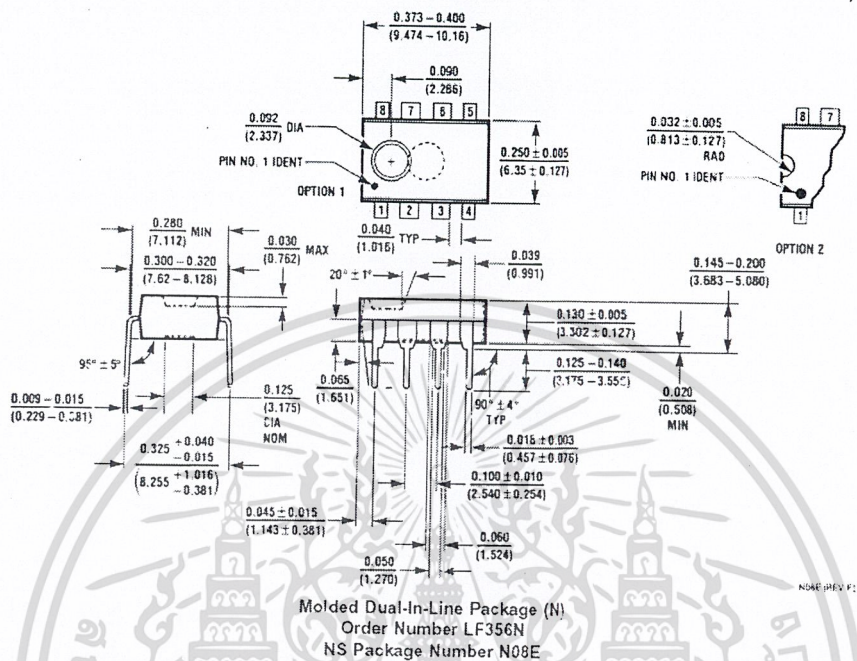


Small Outline Package (M)
 Order Number LF356M or LF356MX
 NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers


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



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

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

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 88
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 01 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-254-4466
Fax: 65-250-4466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7500
Fax: 81-3-5639-7507

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชูเกียรติ จันทรานี. ทฤษฎีตรวจสอบโทรทัศน. ฝ่ายวิชาการ โรงเรียนช่างเทคนิคเทพนิมิตร, 2533
ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ. หลักการระบบสื่อสาร. กทม: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2540
ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์. เครื่องส่งวิทยุและโทรทัศน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง, 2532



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์	นายนพรัตน์ อ่อนยิ่ง
วันเดือนปีเกิด	10 สิงหาคม พ.ศ.2523
สถานที่เกิด	จังหวัดพิษณุโลก
ภูมิลำเนาเดิม	165/6 หมู่ 2 ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก
ที่อยู่ปัจจุบัน	165/6 หมู่ 2 ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก
โทรศัพท์	055-218001
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนโรจนวิทย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีพิษณุโลก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ฝันให้ไกลแล้วไปให้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์	นายณัฐวัฒน์ วรรณอนุสรณ์
วันเดือนปีเกิด	16 มกราคม พ.ศ.2523
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ภูมิลำเนาเดิม	68 หมู่ 4 ต.ห้วยพระ อ.ดอนตูม จ.นครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	68 หมู่ 4 ต.ห้วยพระ อ.ดอนตูม จ.นครปฐม
โทรศัพท์	034-381586
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดสามง่าม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนเทคโนโลยีหมู่บ้านครู
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ความพยายามทำให้ได้มาซึ่งทุกสิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์

นายภาคภูมิ พลธร

วันเดือนปีเกิด

10 มกราคม พ.ศ.2524

สถานที่เกิด

จังหวัดกาญจนบุรี

ภูมิลำเนาเดิม

99/3 หมู่ 4 ต.จี่วราย อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม

ที่อยู่ปัจจุบัน

99/3 หมู่ 4 ต.จี่วราย อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม

โทรศัพท์

034-299879

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนวัดจี่วราย

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม

ปริญญาตรี

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับ

-

ทุนการศึกษา

-

คติพจน์

ตราบไคยังมีชีวิต ตราบนั้นยังมีความหวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้