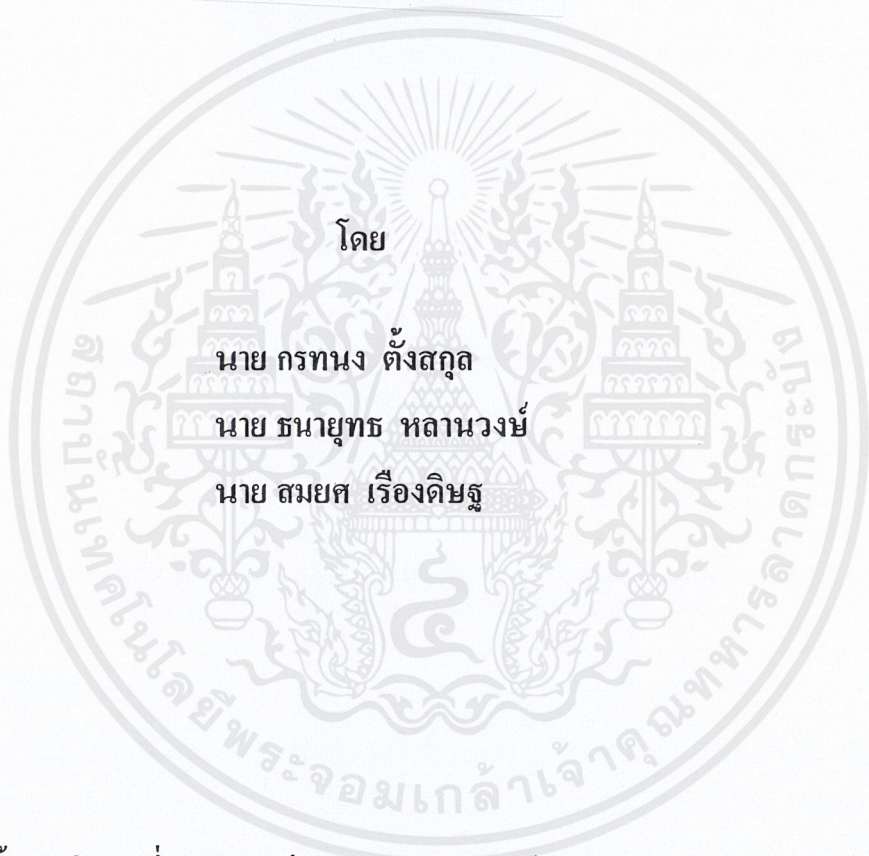


เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์  
C-BAND AND KU-BAND SATELLITE TELEVISION RECEIVER



โดย  
นาย กรทนต์ ตั้งสกุล  
นาย ธนายุทธ หลานวงษ์  
นาย สมยศ เรืองดิษฐ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เลขที่.....  
เลขทะเบียน...46563  
วัน, เดือน, ปี... 4 เม.ย. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์  
C-BAND AND KU-BAND SATELLITE TELEVISION RECEIVER

โดย

นาย กรทนต์ ตั้งสกุล 42015002

นาย ธนายุทธ หลานวงษ์ 42015019

นาย สมยศ เรืองดิษฐ์ 42015038

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. นิภา ดีลารุจิ

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

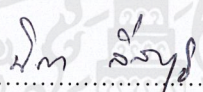
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์

C-BAND AND KU-BAND SATELLITE TELEVISION RECEIVER

ผู้จัดทำ

- 1.นาย กรทง ดั่งสกุล 42015002
- 2.นาย ธนายุทธ หลานวงษ์ 42015019
- 3.นาย สมยศ เรืองดิษฐ์ 42015038

  
.....  
(รศ. นิภา สีลาธุจิ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รศ. ณรงค์ เหมกรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์

### C-BAND AND KU-BAND SATELLITE TELEVISION RECEIVER

โดย นาย กรทง ตั้งสกุล 42015002  
นาย ธนายุทธ หลานวงษ์ 42015019  
นาย สมยศ เรืองดิษฐ์ 42015038

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. นิภา ลีลารุจิ

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

#### บทคัดย่อ

เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์ (TVRO) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณดาวเทียมในย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์ แล้วนำสัญญาณนี้ไปดีเทคให้ได้สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกมา เพื่อให้รับข้อมูลข่าวสารและความบันเทิงของสถานีโทรทัศน์ต่างประเทศที่ส่งในย่านนี้

ในโครงการนี้ได้นำเสนอหลักการสร้างเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์ โดยได้มีการพัฒนาระบบเสียงให้เป็นระบบสเตอริโอและได้นำวงจรรีโมทคอนโทรลเข้ามาเป็นตัวจูนเลือกช่องรับสัญญาณ ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

#### Abstract

C-band and Ku-band satellite television receive only (TVRO) is an equipment that uses for receive signal from satellite in C-band and Ku-band and detect the VDO signals and Audio signals so as to obtain news and entertainment from foreign television stations.

For this project , the principles of creating both C-band and Ku-band television signals receiver via satellite were presented. Including the explanation of developing old sound system into stereo and using remote control circuit as tuner for selecting signal receive channels which make the usage more convenient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม	1
1.2	โครงสร้างของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม	1
1.3	บริการหลักที่จัดให้มีขึ้นโดยการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ	1
1.4	ชนิดของดาวเทียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจำแนกตามวงโคจร	2
1.5	ย่านความถี่ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม	2
1.6	ระบบการรับสัญญาณ โทรศัพท์ผ่านดาวเทียม	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	
2.1	วงจรมอดูเลชันโดยใช้ทรานซิสเตอร์	8
2.2	วงจรมอดูเลชันโดยใช้ฮอปแอมป์	9
2.3	วงจรมอดูเลชัน	12
2.4	วงจรมอดูเลชันด้วยไดโอด	17
2.5	การควบคุมความถี่อัตโนมัติ	21
2.6	วงจรมอดูเลชัน	22
2.7	วงจรมอดูเลชันด้วยเฟรม	24
2.8	เทคนิคการติดตั้งงานรับสัญญาณดาวเทียม	29
บทที่ 3	เครื่องรับสัญญาณ โทรศัพท์ผ่านดาวเทียม	
3.1	การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ โทรศัพท์ผ่านดาวเทียมในรูปของการศึกษา บล็อกไดอะแกรม	33
3.1.1	จูนเนอร์	33
3.1.2	การทำงานของระบบภาพ	34
3.1.3	การทำงานของระบบเสียง	35
3.2	การออกแบบวงจรและอธิบายการทำงานของวงจรแต่ละภาค	36
3.2.1	รูปวงจรและการทำงานของระบบภาพ	36
3.2.2	รูปวงจรและการทำงานของวงจรรบบเสียง	40
บทที่ 4	รีโมทคอนโทรล	
4.1	หลักการของรีโมทคอนโทรล หรือ ระบบการควบคุมระยะไกล	48
4.2	วงจรและหลักการการทำงานของรีโมทคอนโทรลในโครงงานนี้	49
4.3	การปรับแต่งและการใช้งานเครื่องรับสัญญาณ โทรศัพท์ผ่านดาวเทียม เมื่อต่อร่วมกับชุดรีโมทคอนโทรล	53
บทที่ 5	ผลการทดลอง	
5.1	วงจรมอดูเลชันเสียง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 วงจร VCO	56
5.3 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์	58
5.4 วงจรมิกเซอร์ เซรามิกฟิลเตอร์ ดีเทคเตอร์ แอมพลิฟายเออร์	59
5.5 วงจรภาคควบคุม	60
5.6 รูปเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมและการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ	61
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	72

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 เบนด์วิธของการรับส่งในย่านความถี่ C- Band	3
รูปที่ 1.2 บล็อกโคออดิเนตของการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม	4
รูปที่ 2.1 วงจรขยายสัญญาณ โดยใช้ทรานซิสเตอร์	9
รูปที่ 2.2 วงจรอย่างง่ายของ ออปแอมป์	9
รูปที่ 2.3 วงจรขยายสัญญาณกลับเฟส	10
รูปที่ 2.4 วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส	11
รูปที่ 2.5 วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง	11
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน	12
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรรองความถี่สูงผ่าน	12
รูปที่ 2.8 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านเปรียบเสมือนการนำวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน มาต่ออนุกรมกับวงจรรองความถี่สูงผ่าน	13
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน	13
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรกรองตัดแถบความถี่	13
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบวงจรกรองในอุดมคติกับการใช้งานจริงทั้ง 4 แบบ	14
รูปที่ 2.12 ในการใช้งานจริงจะเกิดการส่งผ่านของแถบความถี่	15
รูปที่ 2.13 แสดงความถี่ตัดไว้ที่จุดการลดทอน-3dB	15
รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบให้เห็นลักษณะการส่งผ่านความถี่ต่อค่าโรลออฟที่เปลี่ยน	15
รูปที่ 2.15 แสดงการกระเพื่อมในแถบความถี่	15
รูปที่ 2.16 แสดงการกระเพื่อมในแถบตัดความถี่	15
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของวงจรกรองแบบพาสซีฟ ซึ่งประกอบได้ด้วย R, L และ C	16
รูปที่ 2.18 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น	17
รูปที่ 2.19 วงจรออสซิลเลเตอร์ใช้ฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์	19
รูปที่ 2.20 วงจร VCO แบบใช้ FET	20
รูปที่ 2.21 วงจร VCO ชนิดเป็น IC ของโมโตโรลาร์ เบอร์ MC1648	21
รูปที่ 2.22 วงจร AFC อย่างง่าย	22
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับอย่างง่าย ( ก ) และมิกเซอร์ของภาคเครื่องส่ง ( ข )	22
รูปที่ 2.24 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดพาสซีฟ	23
รูปที่ 2.25 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกทีฟ แบบใช้ IC	23
รูปที่ 2.26 วงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุล	24
รูปที่ 2.27 วงจรสโปลิตีเทคเตอร์	25
รูปที่ 2.28 วงจรดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลเบ็ลน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.29 วงจรควอดราเจอร์ทีเทคเตอร์ และการเทียบเฟส	27
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมจูนเนอร์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	33
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	34
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณเบสแบนด์	36
รูปที่ 3.4 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์	37
รูปที่ 3.5 วงจรดีเอ็มฟาซิส	37
รูปที่ 3.6 วงจรโลพาสฟิลเตอร์	38
รูปที่ 3.7 วงจรวีดีโอแอมพลิฟายเออร์	38
รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณภาพด้วยทรานซิสเตอร์	39
รูปที่ 3.9 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์ของภาคเสียง	40
รูปที่ 3.10 วงจรรองความถี่กลางผ่าน	40
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณความถี่แคร์เรียจของเสียง 5-8 MHz	41
รูปที่ 3.12 วงจร VCO	42
รูปที่ 3.13 วงจรมิกเซอร์	43
รูปที่ 3.14 วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์	43
รูปที่ 3.15 วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์	44
รูปที่ 3.16 วงจรขยายสัญญาณเสียงระบบสเตอริโอ	45
รูปที่ 3.17 วงจร RF.Modulator	46
รูปที่ 3.18 วงจรเครื่องรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมระบบเสียงสเตอริโอ	47
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรม โดยทั่วไปของรีโมทคอนโทรล	48
รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมของรีโมทคอนโทรล	49
รูปที่ 4.3 วงจรภาคส่งอินฟราเรด	49
รูปที่ 4.4 วงจรภาครับอินฟราเรด	50
รูปที่ 4.5 วงจรภาคควบคุมและขั้วปรับเลี้ยวควบคุม	51
รูปที่ 4.6 วงจรจูนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	53
รูปที่ 5.1 วงจรขยายสัญญาณเสียง	55
รูปที่ 5.2 รูปกราฟแสดงอัตราการขยายที่ความถี่ต่างๆ ของวงจรขยายสัญญาณเสียง	55
รูปที่ 5.3 รูปตัวอย่างแสดงสัญญาณอินพุท (CH1) และสัญญาณเอาต์พุท (CH2) ของวงจรขยายเสียง	56
รูปที่ 5.4 วงจร VCO	56
รูปที่ 5.5 รูปกราฟแสดงความถี่ของวงจร VCO ที่โวลต์เดจค่าต่างๆ	57
รูปที่ 5.6 รูปตัวอย่างแสดงสัญญาณที่วงจร VCO ผลิตออกมา	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ ( ต่อ )

	หน้า
รูปที่ 5.7 รูปวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์	58
รูปที่ 5.8 รูปกราฟแสดงผลการตอบสนองของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์	58
รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณ FM-MOD ความถี่แคร์เรีย 5.5 MHz ความถี่ขั้วสาร Sine Wave 3 KHz	59
รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณเอาต์พุต Sine Wave 3 KHz วัดที่ขา Audio Output Left	59
รูปที่ 5.11 รูปสัญญาณเอาต์พุต Sine Wave 3 KHz วัดที่ขา Audio Output Right	60
รูปที่ 5.12 รูปเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ประกอบสำเร็จแล้ว	62
รูปที่ 5.13 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-1 ทางช่อง AV	63
รูปที่ 5.14 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-2 ทางช่อง AV	64
รูปที่ 5.15 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CETV-1 ทางช่อง AV	64
รูปที่ 5.16 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CDTV-SD ทางช่อง AV	65
รูปที่ 5.17 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง ZTV ทางช่อง AV	65
รูปที่ 5.18 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง SDTV ทางช่อง AV	66
รูปที่ 5.19 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-1 ทางช่อง RF-MOD	66
รูปที่ 5.20 รูปสัญญาณที่ได้จาก LNB	67
รูปที่ 5.21 รูปสัญญาณที่ขา 1 ของ IC <sub>1</sub>	67
รูปที่ 5.22 รูปสัญญาณที่ขา 7 ของ IC <sub>1</sub>	68
รูปที่ 5.23 รูปสัญญาณที่จุด Video Output	68
รูปที่ 5.24 รูปสัญญาณที่ขา G1 ของ Q <sub>7</sub> (CH1 ซีกซ้าย) และที่ขา G1 ของ Q <sub>11</sub> (CH2 ซีกขวา)	69
รูปที่ 5.25 รูปสัญญาณที่ขา G2 ของ Q <sub>7</sub> (CH1 ซีกซ้าย) และที่ขา G2 ของ Q <sub>11</sub> (CH2 ซีกขวา)	69
รูปที่ 5.26 รูปสัญญาณที่ขา 8 ของ IC <sub>2</sub> (CH1 ซีกซ้าย) และที่ขา 8 ของ IC <sub>3</sub> (CH2 ซีกขวา)	70
รูปที่ 5.27 รูปสัญญาณที่จุด Output Audio Left (CH1) และสัญญาณที่จุด Output Audio Right (CH2)	70
รูปที่ 5.28 สัญญาณที่ขา 1 ของ IC <sub>5</sub>	71

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1	
แสดงแรงดันที่ขาต่างๆของ IC <sub>3</sub> และ IC <sub>4</sub> เมื่อกดสวิตช์เลือกช่อง และกดสวิตช์เพาเวอร์	60
ตารางที่ 5.2	
แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับช่องรายการ ของดาวเทียม APSTAR 1A ที่สามารถรับได้	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม

การสื่อสารผ่านดาวเทียมเริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณ พ.ศ. 2500 โดยรัสเซียเป็นประเทศแรกที่สามารถส่งดาวเทียมดวงแรกของโลกขึ้นโคจรอยู่ในอวกาศได้ ซึ่งนับเป็นความสำเร็จอีกขั้นหนึ่งของการพัฒนาทางเทคโนโลยีของโลก ดาวเทียมดวงแรกใช้ชื่อว่า สปุตนิก (Sputnik) หลังจากประสบความสำเร็จในการส่งดาวเทียมดวงนี้แล้ว ก็มีดาวเทียมอีกจำนวนนับร้อยถูกส่งขึ้นไปโคจรในอวกาศเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน มีผลทำให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอวกาศในสาขาต่าง ๆ เช่น การติดต่อสื่อสารผ่านอวกาศ อุตุนิยมวิทยา ฯลฯ เป็นไปอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น การพัฒนาของดาวเทียมไม่ได้เริ่มต้นจากการส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่อวกาศ แต่ได้เริ่มต้นจากวิวัฒนาการของเทคโนโลยีหลาย ๆ สาขา เช่น การพัฒนาของจรวดและอุปกรณ์การสื่อสาร รวมถึงความรู้อื่นๆ อีกมากมาย

#### 1.2 โครงสร้างของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

โครงสร้างของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมประกอบด้วย

1.2.1 ดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Satellite) โดยปกติจะมีสองดวง ดวงหนึ่งใช้การและอีกดวงหนึ่งสำรองไว้ (Backup) แต่ละดวงจะมีอายุการใช้งานประมาณ 7 – 15 ปี

1.2.2 สถานีควบคุมดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจรที่ถูกต้อง (Station Keeping, Master Control Station)

1.2.3 ชั้นบรรยากาศ (Free Space)

1.2.4 สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station)

1.2.5 การเชื่อมโยง (Link) ระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับผู้ใช้บริการ (User) เช่น ชุมสายโทรศัพท์ สถานีโทรทัศน์

1.2.6 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (Terrestrial Network)

เมื่อทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินขึ้นภายในพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area) แล้ว ก็จะสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินทั้งหมดได้ ข้อดีอันนี้เองทำให้ระบบมีความคล่องตัว และสามารถเสนอบริการใหม่ ๆ ได้เป็นอย่างดี

#### 1.3 บริการหลัก ๆ ที่จัดให้มีขึ้นโดยใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม

บริการหลัก ๆ ที่จัดให้มีขึ้นโดยใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม ได้แก่

1.3.1 การสื่อสารของระบบโทรศัพท์ซึ่งเป็นแบบจุดถึงจุด โดยใช้เป็นเครือข่ายเพิ่มเติมหรือทดแทนเครือข่ายการสื่อสารที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.2 การสื่อสารแบบจุดหนึ่งถึงหลาย ๆ จุด (Point to Multi-point Transmission)
- 1.3.3 การสื่อสารแบบที่เครือข่ายมีการสื่อสารไม่มากนัก (Thin Route) โดยใช้เป็นเครือข่ายเชื่อมโยงไปหาพื้นที่ที่อยู่โดดเดี่ยว เช่น ในหุบเขา หรือหมู่เกาะ เป็นต้น
- 1.3.4 การสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นแบบจุดถึงจุด หรือจุดถึงหลาย ๆ จุด
- 1.3.5 การบริการพิเศษ ได้แก่ การประชุมที่เห็นกันได้ (Video Conference) , โทรทัศน์เพื่อการศึกษ และการเชื่อมโยงเข้าวิทยุติดรถยนต์ วิทยุมือถือ หรือเรือ
- 1.3.6 การแพร่ภาพโทรทัศน์ (TV Broadcast)

#### 1.4 ชนิดของดาวเทียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจำแนกตามวงโคจร

- 1.4.1 ดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรทั่วไป มีวงโคจรเป็นรูปวงรีมีระยะนาบไม่แน่นอนตำแหน่งของดาวเทียมเมื่อเทียบกับโลกก็ไม่แน่นอน ใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการโคจรรอบโลกมักใช้งานในการสำรวจสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ แหล่งทรัพยากรธรณี และงานโครงการทางทหาร
- 1.4.2 ดาวเทียมค้างฟ้า เป็นดาวเทียมเพื่อการสื่อสารมีวงโคจรอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร โคจรรอบโลกใช้เวลาเท่ากับ 24 ชั่วโมงซึ่งเท่ากับเวลาที่โลกหมุนรอบตัวเอง อยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 36,000 - 38,000 กิโลเมตร จุดดังกล่าวนี้มีผลโดยตรงให้เกิดความเร็วของดาวเทียมสัมพันธ์กับการหมุนของโลกเมื่อเราดูขึ้นไปยังชั้นฟ้าจึงพบว่าดาวเทียมนั้นอยู่ในตำแหน่งเดิม

#### 1.5 ย่านความถี่ในการสื่อสารดาวเทียม

ดาวเทียมที่ใช้ในการสื่อสารจะมีอุปกรณ์การรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ภายในตัวดาวเทียมและอาศัยดาวเทียมทำหน้าที่ ถ่ายทอดทวนสัญญาณ (Repeater) ไปยังสถานีภาคพื้นดินที่ทำการส่งและรับสัญญาณ การส่งสัญญาณความถี่คลื่นไมโครเวฟจากสถานีภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณขาขึ้น เราเรียกว่า “ การเชื่อมโยงขาขึ้น ” (Up -Link) ซึ่งจากรับสัญญาณบนตัวดาวเทียมจะรับคลื่นสัญญาณข้อมูล ภาพ , เสียง แล้วนำไปขยายให้มีความแรงของสัญญาณมากขึ้นพอที่จะส่งมาถึงโลกเพื่อให้สถานีภาคพื้นดินรับได้ แล้วจึงส่งลงมายังสถานีภาคพื้นดินที่ต้องการ ซึ่งการส่งสัญญาณจากดาวเทียมลงมายังสถานีภาคพื้นดินเราเรียกว่า “ การเชื่อมโยงขาลง ” ( Down Link ) โดยความถี่คลื่นไมโครเวฟขาขึ้นจะแตกต่างกับความถี่ขาลงซึ่งจะไปตามหลักของระบบการถ่ายทอดความถี่ และหลักการรบกวนของสัญญาณที่ส่งขึ้นไปและส่งลงมา โดยความถี่ขาขึ้น จะสูงกว่าความถี่ขาลงเสมอ

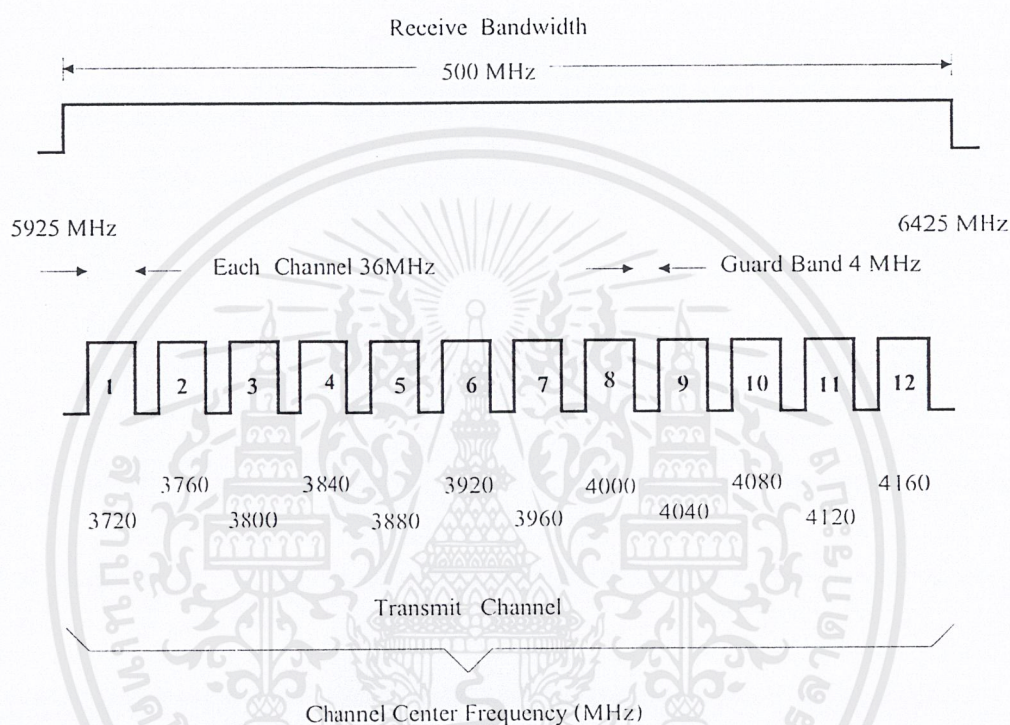
##### 1.5.1 ย่านความถี่ที่นิยมใช้มากที่สุดในการสื่อสารทางด้านโทรทัศน์ คือ

- 1.5.1.1 C-Band ซึ่งความถี่จะอยู่ในช่วง 3.4-6.425 GHz แต่ในการสื่อสารจะใช้ความถี่ขาขึ้นประมาณ 6 GHz และความถี่ขาลง 4 GHz การสื่อสารแบบนี้จะมีลำปีมกว้างมันครอบคลุมพื้นที่หลายประเทศ แบบตัววีซีของการรับส่งในย่านความถี่ในย่านความถี่ C-Band แสดงดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี : การใช้ดาวเทียมระบบนี้เหมาะที่จะใช้ในประเทศที่ใหญ่ ๆ เพราะส่งดาวเทียมดวงเดียวก็สามารถครอบคลุมได้ทั่วประเทศ

ข้อเสีย : เนื่องจากส่งครอบคลุมพื้นที่กว้าง ๆ ทำให้สัญญาณมีความเข้มข้นน้อยจึงจำเป็นต้องใช้จานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-12 ฟุต จึงจะรับภาพที่คมชัดได้



รูปที่ 1.1 แบนด์วิธของการรับส่งในย่านความถี่ C-Band

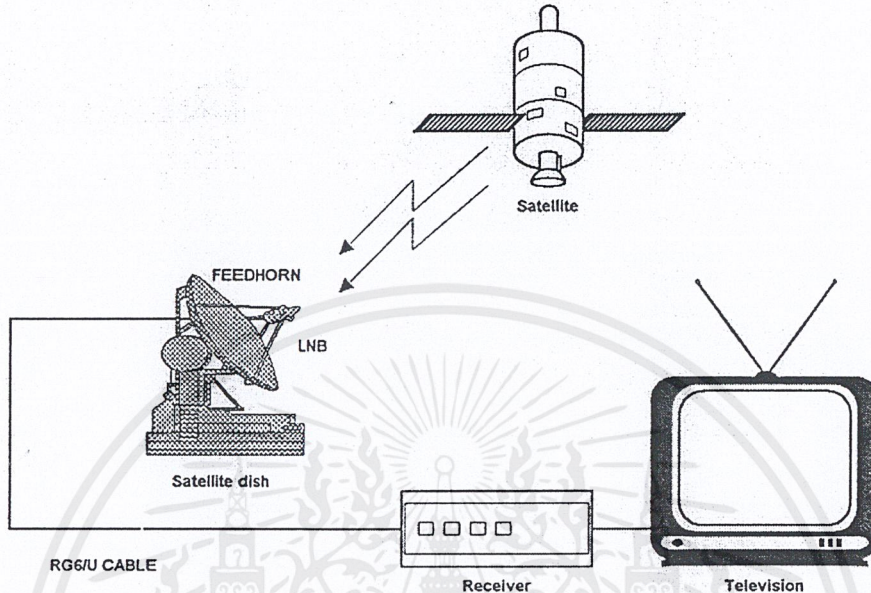
1.5.1.2 Ku -Band ซึ่งความถี่จะอยู่ในช่วง 10.95 -14.5 GHz แต่ในการสื่อสารจะใช้ความถี่สูงขึ้น 14 GHz ความถี่ขาลง 12 GHz สัญญาณที่ส่งจะครอบคลุมพื้นที่ได้ไม่มากเพราะมีลำบีมแคบเหมาะกับการสื่อสารภายในประเทศ

ข้อดี : ความเข้มของสัญญาณสูงมากใช้จานขนาดเล็ก ๆ 40 - 80 cm. ก็สามารรับสัญญาณได้แล้วเหมาะสำหรับส่งสัญญาณเฉพาะภายในประเทศ เช่น สัญญาณ Cable TV ผ่านดาวเทียม

ข้อเสีย : ฟุตปรินท์ของระบบ Ku -Band จะแคบโดยส่งเฉพาะจุดที่ต้องการ ครอบคลุมพื้นที่ได้น้อยทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ระบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

จากรูปที่ 1.2 การรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจะมีส่วนประกอบอยู่ 6 ส่วนด้วยกัน สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

### 1.6.1 งานรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (Satellite Dish Antenna)

1.6.1.1 ทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณไปรวมที่จุดโฟกัส และยังเป็นตัวเพิ่มอัตราขยายให้กับงานรับสัญญาณในเวลาเดียวกัน หากงานมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้อัตราการขยายมากขึ้นด้วย งานสายอากาศแบบง่ายที่สุดจะทำเป็นรูปจานโค้งหรือจานพาราโบลาร์ (Parabolar) แต่ไม่ใช่ว่าระบบงานที่มีใช้อยู่เป็นพาราโบลาร์อย่างเดียวยังมี งานแบบร่ม งานแบบแบน ฯลฯ

1.6.1.2 ประเภทของงานที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยมี 2 แบบคืองานโค้งแบบทึบ และงานโค้งแบบโปร่ง งานทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันดังนี้

ก. งานแบบทึบ มีน้ำหนักมาก ด้านลม แต่ต้นทุนในการผลิตจะต่ำเนื่องจากใช้กระบวนการผลิตด้วยการปั๊มขึ้นรูปผลิตในระบบโรงงานที่ใช้สายงานผลิตครั้งละมากๆ ความแน่นอนของส่วนโค้งจะมีความแน่นอนสูงเนื่องจากผลิตจากแม่แบบเดียวกันสามารถควบคุมคุณภาพได้แน่นอน

ข. งานแบบโปร่ง จะมีน้ำหนักเบา ไม่ด้านลม แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าหลายเท่าตัว เพราะงานแบบโปร่งใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียมมาเป็นตัวงาน อัตราขยายของงานแบบโปร่งจะดีกว่างานแบบทึบตามหลักการแพร่ขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการระบบการผลิตได้ทำอย่างพิถีพิถันจะมีส่วนทำให้คุณภาพของงานโปร่งสามารถเทียบเคียงกับงานทึบได้ หัวใจของงานโค้งอยู่ที่อัตราความโค้ง หากอัตราความโค้งถูกต้อง การรับสัญญาณก็จะมีอัตราขยายที่ดีตามไปด้วย อย่างไรก็ตามผู้ผลิตงานแบบโปร่งต้องคำนึงถึงรูตะแกรงของงานด้วย เพราะหากรูตะแกรงโตเกินไปการรับจะรับสัญญาณได้อ่อนลง รูตะแกรงที่ดีต้องมีขนาดน้อยกว่า  $1/12$  ของความยาวคลื่น งานรับที่ใหญ่จะให้ผลการสะท้อนของสัญญาณได้ดีกว่างานรับขนาดเล็ก ส่วนงานทึบ (Solid) จะสะท้อนได้ดีกว่างานโปร่ง (Mesh) ในขนาดงานที่เท่ากัน ซึ่งถือว่าขนาดของรูตะแกรงที่ใช้ในย่านความถี่ C-Band ควรจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.6 cm. และหากจะให้รับย่านความถี่ Ku-Band ต้องให้ขนาดของรูตะแกรงมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.3 cm

1.6.2 ตัวขยายสัญญาณหรือแอลเอ็นบี (LNB: Low Noise Block Down Convertor)

1.6.2.1 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้น โดยวงจรขยายสัญญาณแบบนี้ต้องมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด หากงานรับเป็นงานขนาดใหญ่จะช่วยให้สัญญาณรบกวนน้อยลงด้วย

1.6.2.2 ทำหน้าที่แปลงความถี่ในระบบดาวเทียมให้เป็นความถี่ต่ำลง เพราะถ้าหากจะส่งความถี่ไปกับสายส่งด้วยความถี่สูงหากเป็นสายโคแอกเซียลธรรมดา (Coaxial) ย่อมก่อให้เกิดการสูญเสียในสายมาก ต้องอาศัยตัวเวฟไกด์ (Wave Guide) มาทำการขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมในย่าน C-Band มีความถี่อยู่ในช่วง 3.4 -6.425 GHz และ Ku-Band มีความถี่อยู่ในย่าน 10.95-14.5 GHz ต้องมีการแปลงความถี่ลงมาให้เป็นความถี่ต่ำที่อยู่ในช่วง 950-2,050 MHz

1.6.2.3 ต้องเป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณรบกวนต่ำที่สุด ตัวของ LNB สมัยก่อนจะใช้เป็น LNA อันเป็นวงจรขยายแบบที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด การควบคุมอุปกรณ์ให้มีเสถียรภาพในการขยายสัญญาณโดยปราศจากการรบกวนจากระบบวงจรนั้น ต้องควบคุมอุณหภูมิหรือต้องหล่อเย็นให้กับอุปกรณ์เมื่อมาถึงของ แอลเอ็นเอ (LNA) บวกกับ บล็อกดาวน์คอนเวอร์เตอร์ (Block Down Convertor) จึงต้องกำหนดค่า NF (Noise Figure) ให้กับตัว LNB โดยทั่วไปค่า NF จะอยู่ในช่วง 25-40 °K ถ้า LNB ตัวใดมีค่า NF น้อยตัวนั้นจะมีคุณภาพ-เสถียรภาพในการทำงานดีกว่าและราคาแพงกว่าด้วย

1.6.2.4 อัตราขยาย (Gain) วัดอยู่ในหน่วยเดซิเบล เหมือนเครื่องขยายทั่วไป โดยจะมีค่าประมาณ 65 dB และเมื่อความถี่ของสัญญาณต่างกันอัตราการขยายก็จะไม่เท่ากัน

### 1.6.3 ฟีดฮอร์น (Feed Horn)

1.6.3.1 ทำหน้าที่เป็นตัวรวมสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนจากจานรับดาวเทียม ป้อนเข้าไปทางปากฮอร์น และส่งผ่านไปยังท่อนำสัญญาณ (Wave guide) เข้าไปยังโพรบสายอากาศทางเข้าของ แอลเอ็นบี ซึ่งตัวฟีดฮอร์นสามารถขยับให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ เหมือนกับเป็นตัวปรับโฟกัสของสัญญาณให้มีความแรงมากที่สุด โดยตำแหน่งการวางอุปกรณ์ฟีดฮอร์นจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน F/D

1.6.3.2 การปรับทิศทางการรับหรือระบบโพลาริเซชัน (Polarization) เนื่องจากการส่งสัญญาณความถี่วิทยุนั้นได้มีการจัดสรรความถี่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยไม่รบกวนกัน ระบบโพลาริเซชันจึงถูกกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ให้กับคลื่นความถี่ต่างๆ เช่น โพลาริเซชันแนวตั้ง (Vertical) โพลาริเซชันแนวนอน (Horizontal) ซึ่งถือว่าทั้งสองแบบดังที่มานี้เป็นการแพร่กระจายคลื่นที่เป็นสัดส่วนเชิงเส้น (Linear Polarization) และยังมี การแพร่กระจายคลื่นแบบอื่นอีก เช่น การแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลม หรือเซอร์กูลาร์โพลาริเซชัน (Circular Polarization) เป็นต้น

### 1.6.4 ขั้วต่อและสายนำสัญญาณ (Connector & Cable Finder)

เนื่องจากการเคลื่อนความถี่ในระบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่าน UHF จะเป็นความถี่สูงซึ่งจะเกิดการสูญเสียได้ง่าย ขั้วต่อและสายนำสัญญาณที่ใช้จึงต้องมีคุณภาพดี ปัจจุบันจะนิยมใช้ขั้วต่อสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมแบบ F-Type Connector เนื่องจากมีเกลียวภายในลึกลับจุดต่อทำให้ขั้วต่อแน่น มีความแข็งแรงทนทานและการทำงานง่ายไม่ต้องบัดกรี ส่วนใหญ่จะนิยมต่อใช้งานในช่วงความถี่สูง เช่น จากจุดที่ออกจาก LNB มายังทางเข้าของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม หรือต่อเข้ากับจุดต่อของ Booster ความถี่สูง

สายนำสัญญาณที่ใช้ในการติดตั้งการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม จะแตกต่างจากสาย Coaxial ธรรมดาที่ใช้ในการรับสัญญาณจากสายอากาศทีวี โดยสายนำสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมนี้จะส่งผ่านความถี่สูงย่านไมโครเวฟ ทำให้มีการสูญเสียง่ายจึงต้องมีการ Shield อย่างดีโดยทั่วไปจะเป็นแบบ Double Shield 75 โอห์ม Low Loss (Foam) มีทั้งแบบเดินภายนอกและภายในอาคาร การเลือกซื้อควรดูที่รายละเอียดของสาย เช่น ใช้กับความถี่เท่าใด มีการลดทอนสูญเสียสัญญาณกี่ dB สายชีลด์ดีก็มีมากหรือเปล่า ทำด้วยเงิน หรือทองแดง มีอลูมิเนียมฟรอยชีลด์ด้วยหรือไม่ และฉนวนที่กั้นระหว่างสายนำสัญญาณด้านใน กับสายชีลด์ทำด้วยอะไร เป็นต้น

สายที่ใช้ได้แก่สาย 5C, RG-11, RG-59 และสาย RG-6, RG-6/U สีดำ จะเป็นสายที่นิยมใช้กันมาก จะใช้ Code EX-50, EX-51 ซึ่ง EX-50 จะมีสายชีลด์มากกว่า EX-51 สำหรับการเดินสายนำสัญญาณจาก LNB มายังเครื่องรับไม่ควรยาวเกินกว่า 30 เมตร หากสายมีความยาวมากที่ปลายสายจะรับสัญญาณความถี่สูงไม่ดี

### 1.6.5 เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (Satellite Receiver)

ทำหน้าที่รับสัญญาณเข้ามาแล้วเปลี่ยนความถี่ IF (950-2,050 MHz) ให้เป็นความถี่ของภาพ (Video) และเสียง (Audio) โดยการควบคุมการเลือกช่องที่ภาคออสซิลเลเตอร์ สัญญาณภาพและเสียงที่ถูกดีเทคเตอร์ออกมาจะนำไปขยายแล้วทำการส่งออกจุดต่อเอาท์พุท สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะส่งเข้าภาค RF.Converter เพื่อแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้กลับเป็นคลื่นวิทยุ RF ความถี่ช่องโทรทัศน์ย่าน UHF. ประมาณช่องที่ 30-45 เครื่องรับรุ่นใหม่จะเป็นระบบดิจิทัล ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล บอกค่าความถี่เป็นตัวอักษรหน้าจอ ปัจจุบันแสดงผลเป็นภาษาไทยได้ สามารถรับสัญญาณเสียงได้หลายภาษามีทั้งระบบสเตอริโอและระบบโมโน มีจำนวนช่องตั้งโปรแกรมต่างๆได้มากมาย มีทั้งแบบรับสัญญาณจากดาวเทียมดวงเดียวและแบบรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายดวง ซึ่งจะมีอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งงานอยู่ภายในเครื่องรับด้วย

### 1.6.6 เครื่องรับโทรทัศน์ (Television)

ควรเป็นเครื่องรับโทรทัศน์ที่รับความถี่ย่าน UHF. ได้ มีจำนวนช่องรับสัญญาณหลายช่อง ถ้าเป็นแบบหลายระบบ (Multi System) คือ ระบบ NTSC , SECAM , PAL จะดีกว่าเพราะบางรายการอย่างเช่นรายการของพม่าจะส่งสัญญาณภาพในระบบ NTSC ซึ่งเครื่องรับโทรทัศน์ระบบ PAL ที่ใช้ในประเทศไทยจะไม่สามารถรับได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงงานนี้จะประกอบด้วยวงจรต่างๆหลายชนิดแตกต่างกันออกไป ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของวงจรเหล่านี้ ซึ่งวงจรบางวงจรที่นำมาอธิบายอาจจะเป็นวงจรที่ไม่ได้นำมาใช้ในโครงงานนี้ แต่เพื่อให้เข้าใจการทำงานเบื้องต้นจึงได้นำมาประกอบไว้ด้วย

#### 2.1 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์

การที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณได้นั้นจำเป็นต้องป้อนแรงดันที่เหมาะสมหรือที่เรียกว่า การจัดไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ซึ่งจะจัดได้ 3 แบบ คือ การจัดไบอัสแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ (Common Emitter), คอมมอนเบส (Common Base) และคอมมอนคอลเล็คเตอร์ (Common Collector)

รูปที่ 2.1 เป็นวงจรขยายแบบภาคเดียว สังเกตว่ามี  $C_1$  ต่อเข้าทางด้านสัญญาณเข้า  $C_2$  ต่อเข้าทางด้านสัญญาณออก  $C_1$  และ  $C_2$  ใส่เพื่อป้องกันกระแสไฟตรงจากเครื่องขยายไหลออกไปยังวงจรภาคข้างเคียงที่ติดกันหรือเป็นตัวกันกระแสไฟตรงของวงจรภาคขยายในภาคข้างเคียงไหลเข้ามารบกวนการทำงานของเครื่องขยาย ในบางกรณีเราต้องใส่  $C_3$  ซึ่งเรียกว่าตัวเก็บประจุบายพาส (Bypass Capacitor)

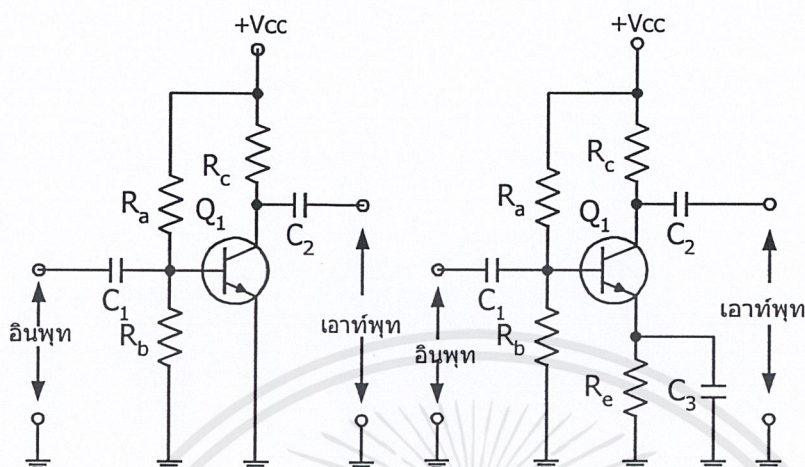
สัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้าไปยังวงจรขยายระหว่างเบสและกราวด์คร่อมตัวต้านทาน  $R_b$  สัญญาณเอาต์พุตออกที่คอลเล็คเตอร์และกราวด์ สัญญาณที่ป้อนเข้าทำโดยการบวกเข้าหรือหักออกจากระดับไฟตรงคร่อมตัวต้านทาน  $R_b$

เมื่อการเปลี่ยนแรงดันคร่อม  $R_b$  มีค่าสูงขึ้นจะทำให้กระแสเบสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อกระแสเบสเพิ่มขึ้นกระแสคอลเล็คเตอร์ก็เพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อม  $R_c$  ก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงดันคร่อม  $R_c$  รวมกับแรงดันจากคอลเล็คเตอร์ไปยังกราวด์เท่ากับ  $+V_{cc}$  ดังนั้นเมื่อแรงดันตกคร่อม  $R_c$  เพิ่มขึ้น แรงดันจากคอลเล็คเตอร์ ไปกราวด์ก็จะลดลง ส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้จะสามารถผ่าน  $C_2$  ออกไปได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเมื่อแรงดันเข้าที่เบสเพิ่มขึ้น แรงดันที่ออกจากคอลเล็คเตอร์จะลดลง เราเรียกสัญญาณที่มีลักษณะเพิ่มลดตรงกันข้ามนี้ว่ามีเฟสต่างกัน 180 องศา สัญญาณที่ออกจากคอลเล็คเตอร์นี้จะมีสัดส่วนเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเข้า

ถ้าไม่มี  $C_3$  กระแสที่ผ่านคอลเล็คเตอร์และเบสทั้งหมดจะต้องผ่าน  $R_c$  ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $R_c$  เพิ่มขึ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้จะหักล้างผลของแรงดันตกคร่อม  $R_b$  ที่มีต่อ  $V_{be}$  ทำให้  $V_{be}$  เหลือน้อยลงกว่าเมื่อไม่มี  $R_c$  ผลคือ กระแสเบสลดลงทำให้กระแสคอลเล็คเตอร์ลดลง นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อม  $R_c$  (เฉพาะส่วนที่เปลี่ยนแปลง) มีค่าน้อยลง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดจากการป้อนกลับแบบลบของสัญญาณจากเอาต์พุตมายังอินพุต โดยผ่านทาง  $R_c$  การป้อนกลับทำให้อัตราขยายมีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น แต่ก็ทำให้อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

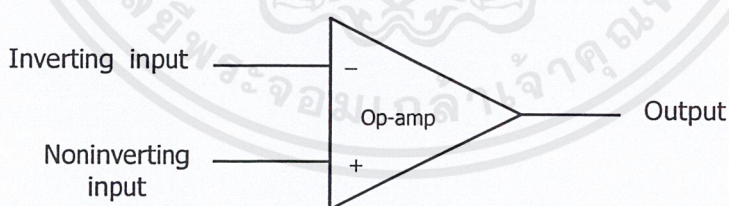
ขยายลดลง การป้อนกลับแบบลบทางอิมิตเตอร์นี้อาศัยกระแสที่ไหลออกจากอิมิตเตอร์เราจึงเรียกว่า “การป้อนกลับด้วยกระแส” (Current Feedback) และเป็นการป้อนกลับที่เกิดขึ้นที่ตัววงจรถายเอง เราจึงเรียกว่า “การป้อนกลับในตัว” (Stage Local Feedback)



รูปที่ 2.1 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์

## 2.2 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายและมีอิมพีแดนซ์อินพุต  $Z_i$  หรือ  $R_i$  สูงมาก (มักมีค่าเป็น  $M\Omega$ ) และมีอิมพีแดนซ์เอาต์พุต  $Z_o$  หรือ  $R_o$  ต่ำ (ต่ำกว่า  $100\Omega$ ) วงจรอย่างง่ายของออปแอมป์ประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้ว และขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรอย่างง่ายของออปแอมป์

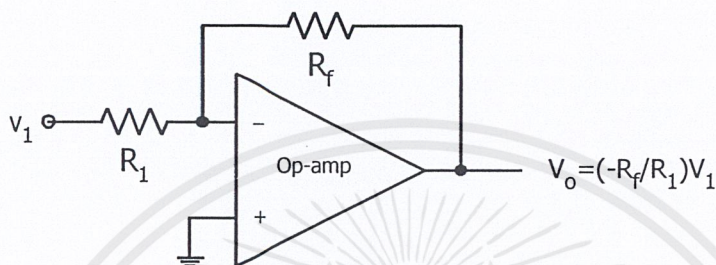
เราทราบว่าถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วบวกของออปแอมป์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมูมอินเฟสกับสัญญาณอินพุต แต่ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วลบของออปแอมป์จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมูมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศา หรือมีมูมตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานออปแอมป์นั้นสามารถนำมาประกอบได้หลายประเภท แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการนำออปแอมป์มาใช้ขยายสัญญาณ เช่น วงจรขยายกลับเฟส, วงจรขยายไม่กลับเฟส, วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง เป็นต้น

### 2.2.1 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจขยายซึ่งมีอัตราขยายคงที่และได้รับความนิยมมากแบบหนึ่งคือ วงจรขยายกลับเฟส ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรขยายสัญญาณกลับเฟส

จากรูปที่ 2.3 จะหาค่า  $V_0$  ได้โดยการคูณ  $V_1$  ด้วยอัตราส่วนของความต้านทานป้อนกลับ ( $R_f$ ) ต่อความต้านทานอินพุต ( $R_1$ ) ดังสมการ

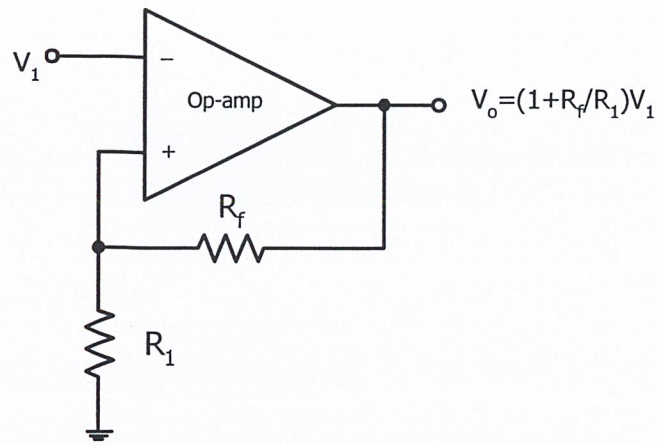
$$V_0 = (-R_f/R_1)V_1$$

เครื่องหมายลบในสมการแสดงว่า สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา

### 2.2.2 วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier)

วงจขยายสัญญาณไม่กลับเฟสมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าทางขา + (Noninverting Input) อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) หาได้จากสมการ

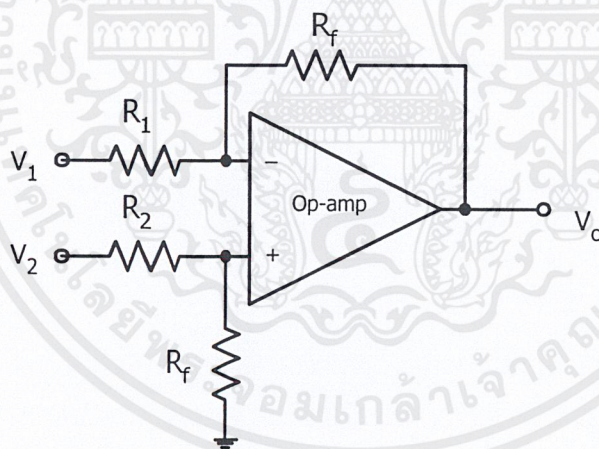
$$A_v = 1 + (R_f/R_1)$$



รูปที่ 2.4 วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส

### 2.2.3 วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างเป็นวงจรที่มีอินพุตเข้ามาที่ขาอินเวอร์ตติ้งและขาอนอินเวอร์ตติ้ง ถ้าสัญญาณเหมือนกันและมีขนาดเท่ากันเข้ามาที่ขาทั้งสอง จะทำให้ไม่มีการขยายและสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นศูนย์ แต่ถ้าเข้ามาที่ขาอินพุตทั้งสองไม่เท่ากันหรือไม่เหมือนกัน จะทำให้มีการขยายสัญญาณเฉพาะส่วนที่ต่างกันเท่านั้น



รูปที่ 2.5 วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง

จากรูปที่ 2.5 จะหาแรงดันเอาต์พุตได้จากสมการ

$$V_o = (R_2/R_1)(V_1 - V_2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 วงจรฟิลเตอร์ (Filter Circuit)

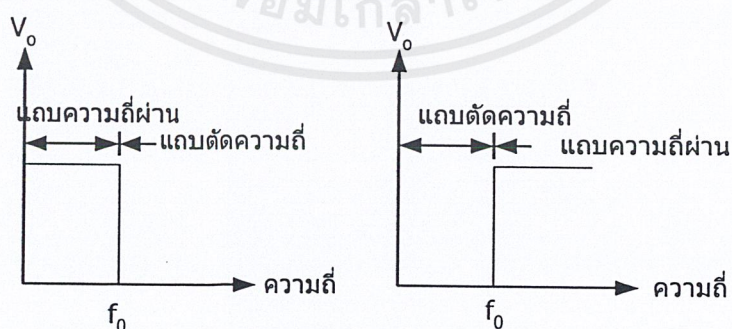
วงจรฟิลเตอร์หรือวงจรกรองมีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการทั้งอนาล็อกและดิจิทัล ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก (เช่น การตัดเสียงฮัม (Hum) ออกในวงจรขยายเสียง) และใช้แยกสัญญาณที่มีความซับซ้อนออกมาเป็นส่วน ๆ เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรต่าง ๆ ของระบบต่อไป เมื่อพิจารณาในด้านการใช้งานแล้ววงจรกรองจะถูกใช้งานใน 4 ลักษณะ ได้แก่

2.3.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งจะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ไปจนถึงความถี่ที่กำหนด ( $f_0$ ) ผ่านวงจรกรองไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ความถี่ที่กำหนดขึ้นไปจนถึงความถี่อนันต์จะถูกตัดทิ้ง ดังรูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณทางเอาต์พุต ( $V_o$ ) ต่อความถี่ที่เปลี่ยนไปของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

2.3.2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ซึ่งจะยอมให้ความถี่ผ่านได้ตั้งแต่ความถี่ที่กำหนด ( $f_0$ ) ไปจนถึงความถี่อนันต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่า  $f_0$  ลงมาจะถูกตัดทิ้ง

2.3.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter) เปรียบเสมือนนำวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมาอนุกรมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ดังรูปที่ 2.8 ความถี่ที่ผ่านได้จะต้องมีค่ามากกว่า  $f_{01}$  และมีค่าน้อยกว่า  $f_{02}$  ส่วนแถบความถี่ที่ต่ำกว่า  $f_{01}$  และสูงกว่า  $f_{02}$  จะถูกตัดทิ้ง พิจารณารูปที่ 2.9

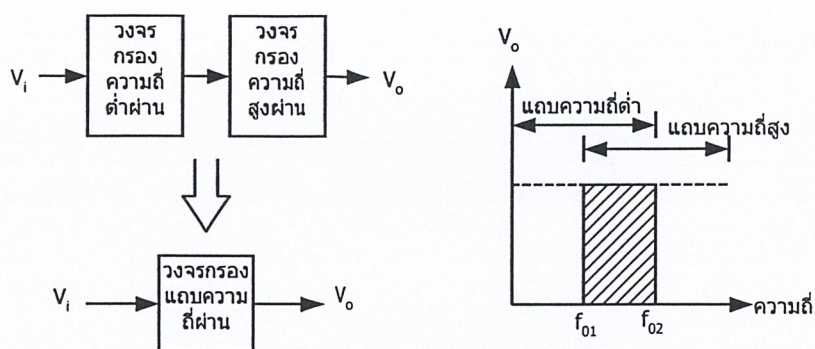
2.3.4 วงจรกรองตัดแถบความถี่ (Band Stop Filter) วงจรลักษณะนี้จะตรงข้ามกับการใช้งานในลักษณะแถบความถี่ผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ความถี่ในช่วงที่สูงกว่า  $f_{01}$  และต่ำกว่า  $f_{02}$  จะตัดทิ้งไป แต่ความถี่ที่ต่ำกว่า  $f_{01}$  และสูงกว่า  $f_{02}$  จะสามารถผ่านไปได้



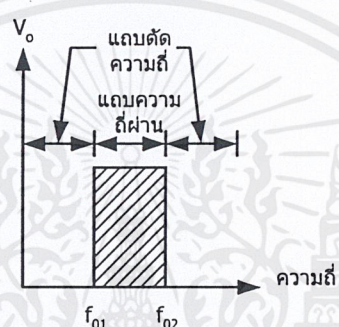
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการใช้งาน  
ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการใช้งาน  
ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

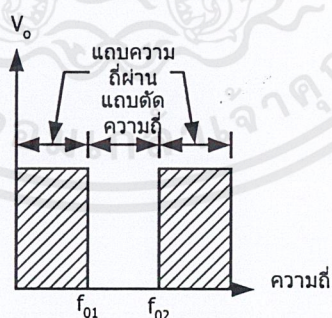
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านเปรียบเสมือนการนำวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มาต่ออนุกรมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน



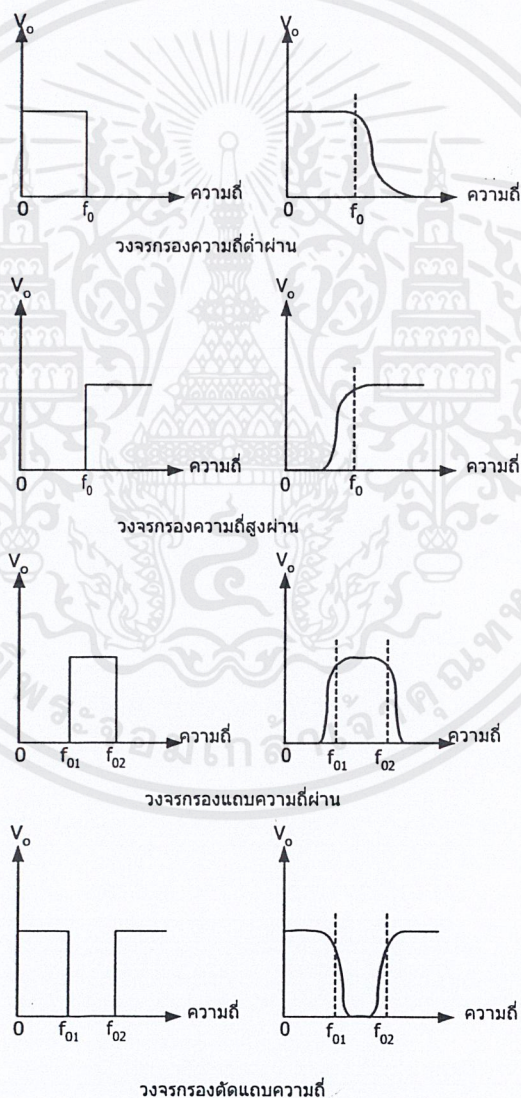
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการใช้งานของวงจรกรองตัดแถบความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 ถึง 2.10 แสดงการใช้งานของวงจรกรองในลักษณะต่าง ๆ เป็นวงจรกรองในอุดมคติ แต่ในการใช้งานจริง ๆ นั้นไม่สามารถใช้คุณสมบัติของวงจรกรองได้อย่างเต็มที่

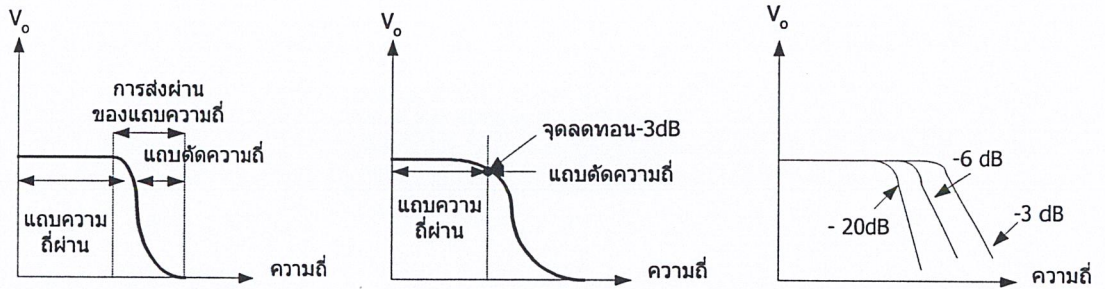
การเปรียบเทียบคุณลักษณะของวงจรกรองในอุดมคติและในการใช้งานจริง จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าในการใช้งานจริงจะเกิดปัญหาอยู่ 2 ประการใหญ่ ๆ นั่นก็คือ เกิดการส่งผ่าน (Transition) ของแถบความถี่ขึ้นและเกิดช่วงการกระเพื่อม (Ripple Band) ในการใช้งาน

รูปที่ 2.12 จะเป็นตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งลักษณะการส่งผ่านของแถบความถี่จะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของวงจรกรอง ถ้าการส่งผ่านมีช่วงแคบและมีลักษณะชันแสดงว่าวงจรกรองนั้นมีคุณภาพดี แต่ถ้าช่วงการส่งผ่านมีช่วงกว้างและลาดมากแสดงว่า วงจรกรองมีลักษณะการเลือกความถี่ที่เลว ดังนั้น ในการออกแบบจึงควรทำให้ช่วงการส่งผ่านชันและแคบให้ใกล้เคียงกับในอุดมคติมากที่สุด



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบวงจรกรองในอุดมคติกับการใช้งานจริงทั้ง 4 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ในการใช้งานจริงจะเกิดการส่งผ่านของแถบความถี่

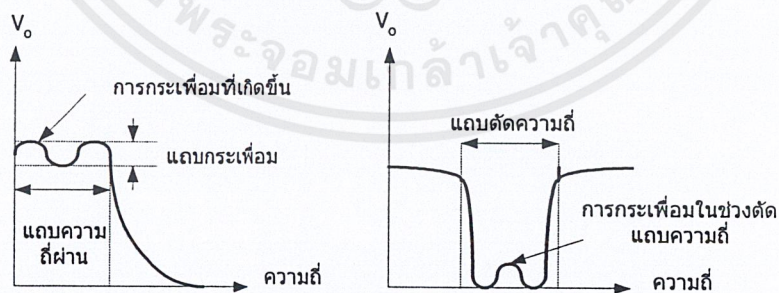
รูปที่ 2.13 แสดงความถี่ตัดซึ่งกำหนดไว้ที่จุดการลดทอน -3 dB

รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบให้เห็นลักษณะการส่งผ่านความถี่ต่อค่าโรลออฟที่เปลี่ยน

ก่อนที่จะกล่าวถึงเรื่องของค่าโรลออฟ (Roll Off) ซึ่งเป็นค่าแสดงลักษณะการส่งผ่านความถี่ของวงจรกรอง จะขอกำหนดถึงความถี่ตัด (Cutoff Frequency :  $f_0$ ) ก่อน ความถี่ตัดคือความถี่ค่าแรกสุดที่อยู่ในแถบตัดความถี่ เมื่อพิจารณารูปที่ 2.13 ความถี่ตัดจะเป็นตัวแบ่งแถบความถี่ผ่าน (Pass Band) และแถบตัดความถี่ (Stop Band) ออกจากกัน ซึ่งจะถูกกำหนดไว้ในช่วงการส่งผ่านที่มีค่าการลดทอน (Attenuation) เท่ากับ  $-3$  dB (การลดทอนคือ อัตราการลดลงของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ  $20\log(V_0/V_1)$ )

ส่วนโรลออฟคืออัตราการลดลงของสัญญาณต่อจำนวนความถี่ที่เปลี่ยนไป หรือ ก็ คือความชันของการส่งผ่านนั่นเอง ซึ่งมีหน่วยเป็น เดซิเบล/เดคาเดค (ได้มาจาก  $20\log_{10}(V_0/V_1)$ ) และเดซิเบล/ออกเทฟ (ได้จาก  $20\log_2(V_0/V_1)$ )

รูปที่ 2.14 แสดงการส่งผ่านที่ค่าโรลออฟต่าง ๆ กันเพื่อให้เห็นว่าการส่งผ่านที่ดีนั้นจะต้องมีค่าโรลออฟสูง ๆ



รูปที่ 2.15 แสดงการกระเพื่อมในแถบความถี่ผ่าน

รูปที่ 2.16 แสดงการกระเพื่อมในแถบตัดความถี่

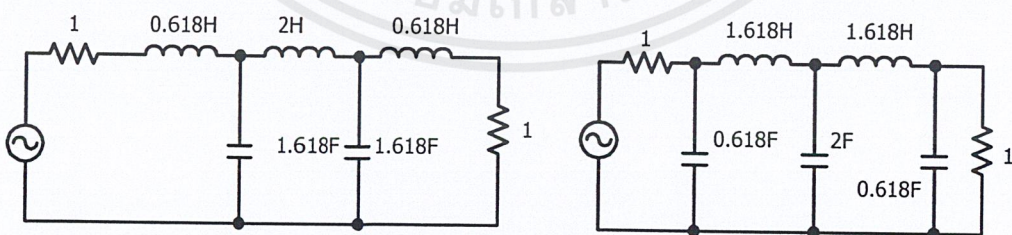
และในเรื่องการเกิดกระเพื่อมในแถบความถี่นั้น เนื่องจากวงจรกรองในอุดมคติจะมีความแรงของสัญญาณเท่ากันตลอดทุกความถี่ที่ยอมให้ผ่าน แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะให้วงจรกรองมีระดับเอาต์พุตเท่ากันตลอดนั้นเป็นไปได้ เพราะในความถี่บางค่าอาจมีผลกระทบที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนไป การที่วงจรกรองมีความแรงของสัญญาณทางเอาต์พุตไม่เท่ากันนั้น จึงทำให้เกิดการกระเพื่อมขึ้นในแถบความถี่ (Pass Band) ในรูปที่ 2.15 การกระเพื่อมนั้นไม่ได้มีแต่เพียงในแถบความถี่เท่านั้น แต่ยังสามารถเกิดในช่วงตัดแถบความถี่ (Stop Band) ได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งการกระเพื่อมในช่วงนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญในงานใด ๆ นัก แต่จะเกิดปัญหาเมื่อใช้งานในลักษณะของวงจรตัดแถบความถี่

นอกจากปัญหา 2 ประการใหญ่ ๆ นี้แล้ว ยังมีปัญหาที่สำคัญที่เกิดกับวงจรกรองอีกหลายปัญหา เช่น การเกิดความผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณอันเนื่องมาจากการเลื่อนเฟส (Phase Shift) และการหน่วง (Delay) เป็นต้น

วงจรกรองพื้นฐานจะมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ วงกรองแบบพาสซีฟ (Passive Filter) และวงจรกรองแบบแอคทีฟ ซึ่งวงจรกรองทั้งสองแบบนี้ถูกนำมาใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น การแยกเสียงทุ้มแหลมออกจากกัน และในการสื่อสารข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวเฉพาะวงจรกรองแบบพาสซีฟเท่านั้น

วงจรกรองแบบพาสซีฟจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางพาสซีฟ (Passive Device) เป็นหลัก ได้แก่ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ (บางครั้งอาจมีตัวต้านทานประกอบร่วมอยู่ด้วย) ดังรูปที่ 2.17 เนื่องจากวงจรกรองแบบนี้มีราคาแพง การออกแบบก็ซับซ้อนจึงไม่เป็นที่นิยมนัก แต่ก็มิใช่ว่าดีคือ สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงมาก ปัจจุบันสามารถพัฒนาให้ตอบสนองความถี่ได้ถึง 500 MHz นอกจากนี้ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟใด ๆ ทั้งสิ้น

ในความเป็นจริงแล้ว สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรกรองชนิดนี้จะเกิดการสูญเสีย (Loss) ขึ้นเนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร และเมื่อพิจารณาถึงการส่งผ่านของแถบความถี่จะบ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่า เป็นวงจรที่มีการส่งผ่านไม่ดัดนัก อย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขปรับปรุงค่าโรลออฟของวงจรได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์เข้าไป แต่สิ่งที่ตามมาก็คือการออกแบบที่ซับซ้อนยุ่งยากมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของวงจรกรองแบบพาสซีฟซึ่งประกอบไปด้วย R, L และ C

## 2.4 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit)

ความหมายของคำว่า ออสซิลเลเตอร์ ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงไปมาของแรงดันหรือกระแสระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด หรืออาจกล่าวได้ง่ายๆก็คือ เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ

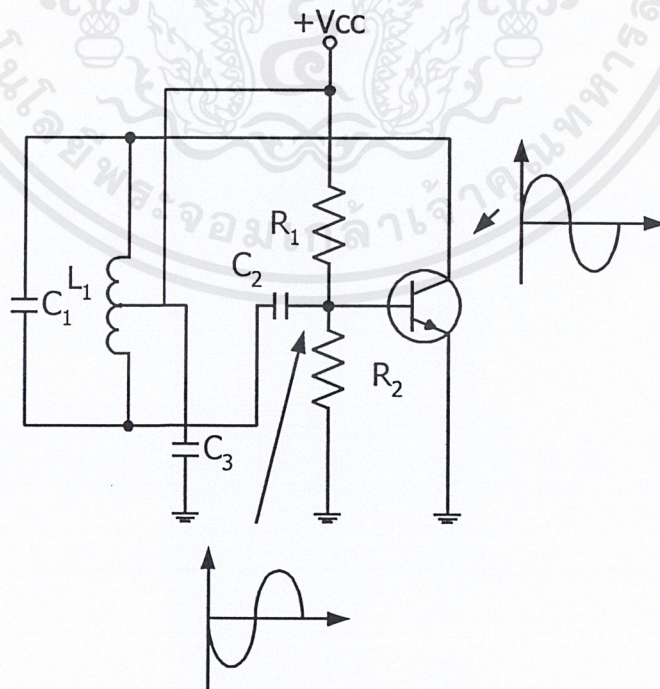
วงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณรูปไซน์ ดังนั้นวงจรออสซิลเลเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานในวงจรเครื่องส่ง วงจรสร้างสัญญาณเสียงดนตรี วงจรในเครื่องมือสร้างสัญญาณเสียงและเป็นวงจรต้นกำเนิดสัญญาณความถี่ต่าง ๆ นอกจากนี้วงจรออสซิลเลเตอร์ยังเป็นวงจรในส่วนประกอบย่อยของวงจรอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก

ในวงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปที่ใช้งานกันอยู่จะมีการออสซิลเลท (คือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุตจากค่าต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด มักจะเกิดการเปลี่ยนในลักษณะคลื่นรูปไซน์ ความถี่ของลูกคลื่นสามารถคำนวณได้จากค่าคงตัวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร) ได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องมีการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปเลยแม้แต่น้อย ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่กระตุ้นให้เกิดการออสซิลเลทในขณะเริ่มต้นนั้นคือ สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ภายในอุปกรณ์นั้นแล้ว และการออสซิลเลทจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟตรงเลี้ยงวงจร

วงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปมักจะมีการออสซิลเลทที่มีความถี่เดียว ทั้งนี้เพราะวงจรป้อนกลับที่สัญญาณจากเอาต์พุตมายังอินพุตมักจะเป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวก R , L และ C ซึ่งก็เป็นที่น่าอนว่าอุปกรณ์ L และ C ย่อมให้ผลทางค่านเฟสที่ได้กลับมาเสริมกับอินพุตเกิดการออสซิลเลท

### 2.4.1 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น

วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ทรานซิสเตอร์แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรออสซิลเลเตอร์ตามรูปที่ 2.18 นี้มีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า วงจรฮาร์ทเลย์ออสซิลเลเตอร์ การทำงานของวงจรอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจรีโชนาเนซซ์ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ  $C_1$  และตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  สัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตทางขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะป้อนกลับผ่านวงจรจน เมื่อกลับเฟส 180 องศาป้อนเข้ามาทางเบสของทรานซิสเตอร์

สำหรับทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  จะเป็นตัวไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในลักษณะวงจรขยายสัญญาณ ส่วนตัวเก็บประจุ  $C_2$  เปรียบเสมือนเป็นตัวคัปปลิงสัญญาณเข้ามาทางอินพุต โดยปกติวงจรขยายชนิดขาคอเล็กเตอร์ร่วมนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ทางขาคอลเล็กเตอร์ จะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุตอยู่แล้วคือมีเฟสต่างกัน 180 องศา ผลของสัญญาณป้อนกลับจะมีทิศทางในทางเสริมกับสัญญาณอินพุตทันที วงจรก็จะออสซิลเลทได้

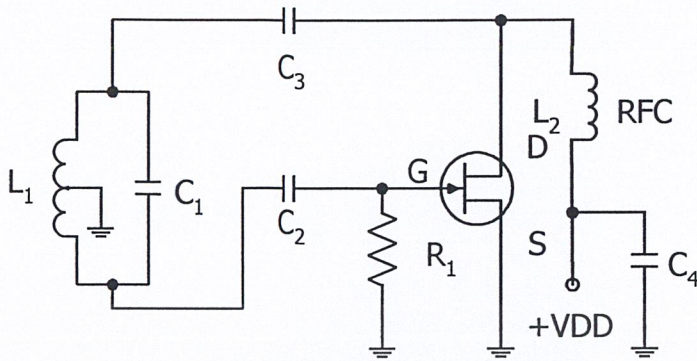
การทำงานในแต่ละรอบของการออสซิลเลทพอจะอธิบายได้ดังนี้ ในขณะเริ่มแรกของการออสซิลเลทจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเล็กเตอร์ซึ่งเป็นผลป้อนกลับมาจากด้านอินพุตทางเบส กระตุ้นที่เบส โดยถ้ากระแสคอลเล็กเตอร์เพิ่มขึ้นทางค่ามากจะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ลดลง การป้อนกลับจะกระตุ้นเข้ามาที่เบสด้วยค่าแรงดันน้อยลงเป็นผลทำให้กระแสลดลงและแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะสูงขึ้นเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ตัวเก็บประจุ  $C_3$  ของวงจรตามรูปที่ 2.18 เป็นทางผ่าน (Bypass) ของสัญญาณไฟสตั๊บและในทำนองเดียวกันก็จะเป็นตัวกันแรงดันไฟตรงเพื่อไม่ให้ลัดลงกราวนด์ ความถี่ของวงจรได้จากความถี่รีโชนาเนซซ์ของ  $L_1$  และ  $C_1$  ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่รีโชนาเนซซ์ได้ด้วยการปรับค่าของ  $L_1$  หรือ  $C_1$  นั้นเอง

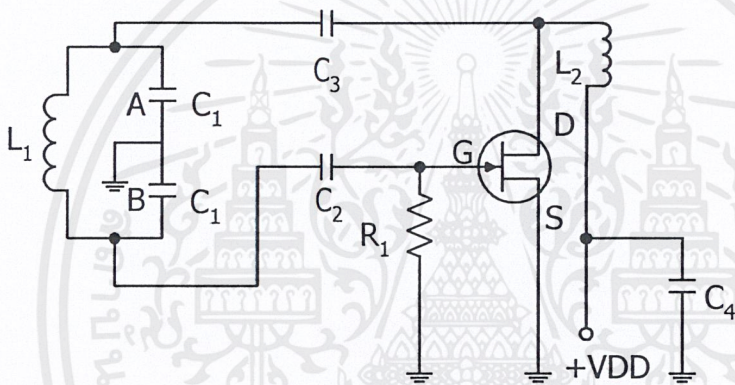
#### 2.4.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับวงจรทรานซิสเตอร์ ซึ่งต้องอาศัยการป้อนกลับเช่นเดียวกัน แต่ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์มีข้อเหนือกว่าทรานซิสเตอร์ในลักษณะทางด้านอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากเช่นเดียวกับหลอดสุญญากาศ แต่ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์ให้ข้อดีกว่าหลอดสุญญากาศคือ ตัวฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์ไม่ต้องมีวงจรจุดไส้หลอดเหมือนกับหลอดสุญญากาศ

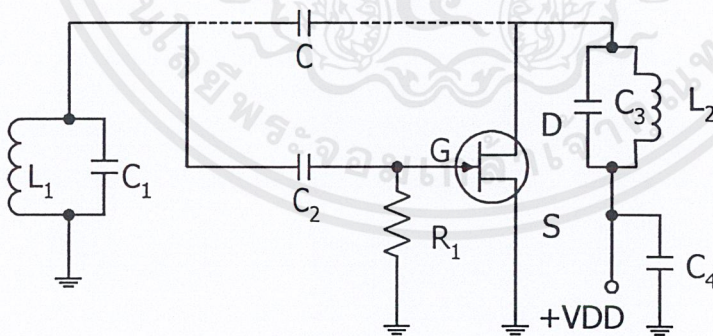
วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.19 ในส่วนของเกทฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์จะต้องอยู่ในสภาวะไบอัสกลับระหว่างขั้วเกทกับขั้วซอร์ส ซึ่งก็เหมือนกับกรไบอัสวงจรหลอดสุญญากาศนั่นเอง



วงจรฮาร์ตลีย์ออสซิลเลเตอร์



วงจรโคพิทท์ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ขนิดจูนอินพุท  
จูนเอาต์พุท

รูปที่ 2.19 วงจรออสซิลเลเตอร์ใช้ฟิลต์เอพเฟคทรานซิสเตอร์

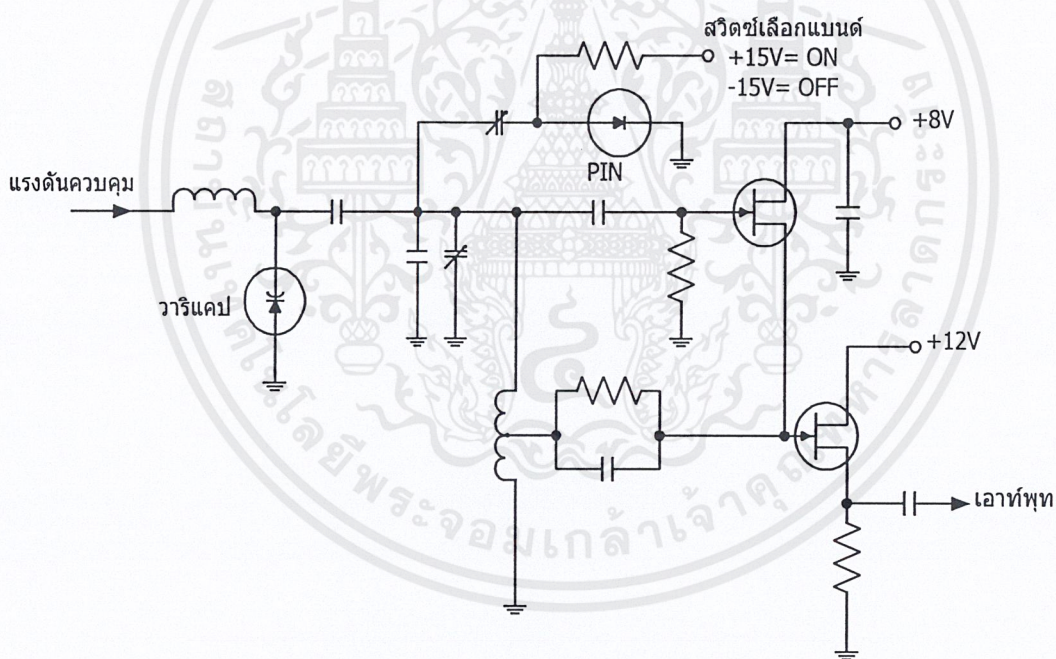
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 วงจร VCO (Voltage Control Oscillator)

วงจร VCO โดยทั่วไปเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่ใช้วาเรกเตอร์หรือวารีแคปเป็นส่วนหนึ่งในวงจรจูน ดังเช่นรูปที่ 2.20 คุณสมบัติที่สำคัญของวงจร VCO ที่ต้องคำนึงถึงก็คือเฟสลอยส์ซึ่งเกิดในตัววาเรกเตอร์, ค่า Q เลื่อนไหลของวงจรจูน (Drift) และคุณสมบัติในตัวอุปกรณ์แอกทีฟไม่คงที่

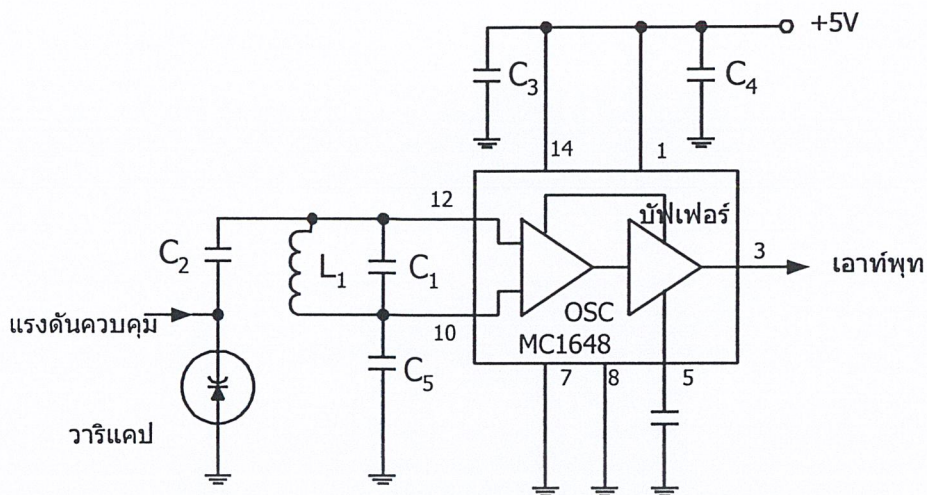
วงจร VCO นิยมใช้ FET เนื่องจากมีนอยส์ต่ำและอินพุทอิมพีแดนซ์มีค่าสูง แต่บางครั้งอาจใช้ไอซี เช่น เบอร์ MC 1648 ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ ECL โดยจะให้เอาต์พุตประมาณ 900 มิลลิโวลท์ที่พีคทูพีค ซึ่งเพียงพอสำหรับเป็นโลคอลลออสซิลเลเตอร์ แต่อย่างไรก็ดีคุณสมบัติด้านนอยส์ของออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ FET ไม่ได้

สังเกตว่าความถี่ของวงจร VCO ถูกควบคุมด้วยแรงดันที่ป้อนมาไบอัสให้แก่วารีแคปในวงจรจูน ถ้าแรงดันที่ไบอัสแก่วารีแคปเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่วงจร VCO จะมีความถี่สูงขึ้น แต่ก็มีบางวงจร VCO บางชนิด ที่ทำให้ความถี่ลดลง (เป็นส่วนน้อย เช่นในกรณีที่ใช้วงจรขยายอินเวอเตอร์มาขยายแรงดันควบคุมก่อน)



รูปที่ 2.20 วงจร VCO แบบใช้ FET

ในรูปที่ 2.20 จะมีการใช้ไดโอด PIN ในการสวิตช์เลือกแบนด์ เพื่อเพิ่มความจุไฟฟ้าให้แก่วงจร VCO ให้สามารถทำงานในย่านความถี่กว้างขึ้นได้



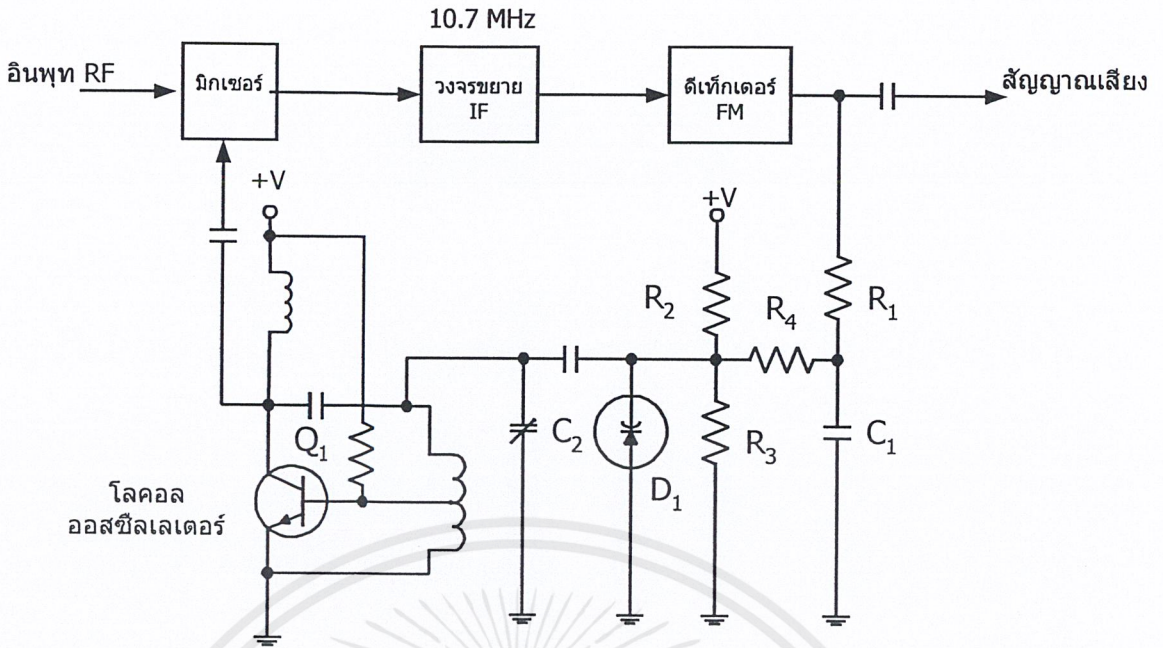
รูปที่ 2.21 วงจร VCO ชนิดเป็น IC ของโมโตโรลาร์ เบอร์ MC 1648

## 2.5 การควบคุมความถี่อัตโนมัติ (AFC)

หลักการของ AFC คือการใช้วารีแคปเป็นส่วนหนึ่งของวงจรแท่งค้ำของโลคอลออสซิลเลเตอร์ ค่าความจุของวารีแคปจะถูกควบคุมโดยการไบอัสจากแรงดันคลาดเคลื่อน เนื่องจากการที่ออสซิลเลเตอร์มีความถี่เลื่อนไป แรงดันคลาดเคลื่อนนี้ต่อมาจากเอาต์พุตของวงจรดิสคริเมเนเตอร์ (วงจรดีเทคสัญญาณ FM) เมื่อออสซิลเลเตอร์มีความถี่ที่ถูกต้องเอาต์พุตจากวงจรดิสคริเมเนเตอร์จะเป็นศูนย์ เมื่อความถี่ของออสซิลเลเตอร์เลื่อนสูงขึ้นหรือต่ำลง แรงดันคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ การเป็นบวกหรือลบจะแสดงความคลาดเคลื่อนทางความถี่ของออสซิลเลเตอร์ว่ามากหรือน้อย

เอาต์พุตจากวงจรดิสคริเมเนเตอร์จะมีสัญญาณเสียงปนอยู่ด้วย ดังนั้นก่อนที่จะป้อนมาให้ออสซิลเลเตอร์จะต้องเอาส่วนสัญญาณเสียงออกไปเสียก่อนโดยใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดโลพาส เพื่อให้เฉพาะแรงดัน DC และความถี่ต่ำ ๆ ใกล้เคียง ๆ กับ DC มาป้อนให้วารีแคป

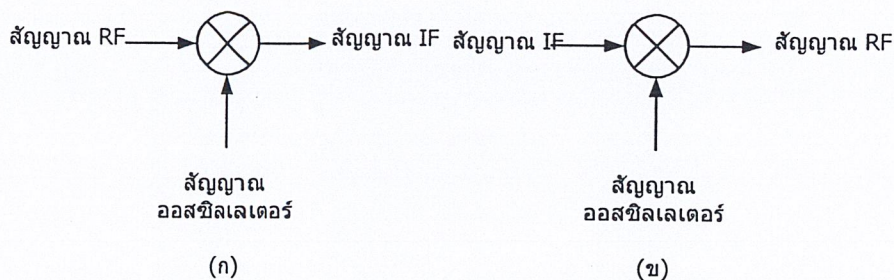
ตัวอย่างวงจร AFC ดังรูปที่ 2.22 จะใช้  $Q_1$  เป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์  $C_2$  เป็นวงจรจูนซึ่งมี  $D_1$  (วารีแคป) ต่อขนานเป็นส่วนหนึ่งของวงจรจูนด้วย เอาต์พุตจากวงจรดีมอด FM จะป้อนสัญญาณไปให้วงจรของเสียงและป้อนให้วงจร AFC ด้วย สัญญาณเสียงจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์  $R_1, C_1$  เหลือแต่เฉพาะแรงดันคลาดเคลื่อนที่มีความถี่ต่ำมาก ๆ มาเสริมหรือลดกับแรงดันที่ไบอัสให้แก่วารีแคป วงจรที่ไบอัสให้แก่วารีแคปประกอบด้วย  $R_2, C_3$  ส่วน  $R_4$  ทำหน้าที่กั้นระหว่างวงจรรออสซิลเลเตอร์ เมื่อวารีแคปมีความจุเปลี่ยนไปความถี่ของออสซิลเลเตอร์จะเปลี่ยนไปด้วย



รูปที่ 2.22 วงจร AFC อย่างง่าย

2.6 วงจรมิกเซอร์

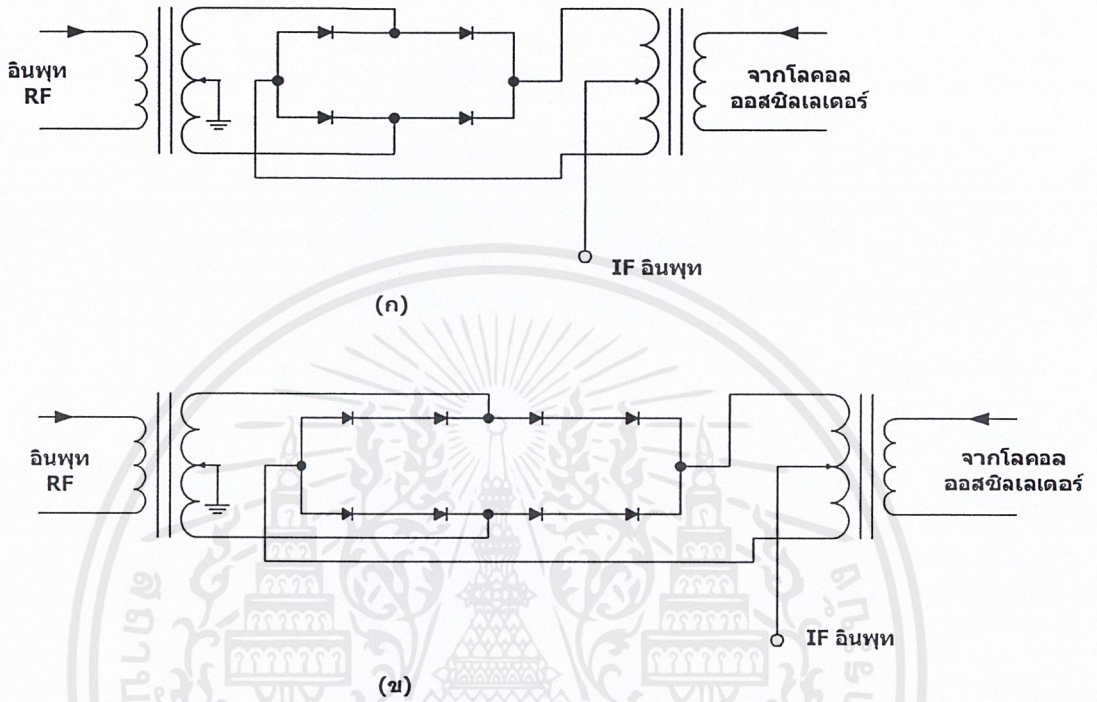
แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแอคทีฟ (Active) จะใช้ทรานซิสเตอร์หรือไอซี รวมทั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ที่สามารถขยายสัญญาณได้ และประเภทพาสซีฟ (Passive) จะใช้ไดโอด ซึ่งไม่มีการขยายสัญญาณ นอกจากนี้อาจแบ่งวงจรมิกเซอร์ได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบสมดุลหรือบาลานซ์ กับแบบไม่สมดุลหรืออิมบาลานซ์ วงจรมิกเซอร์แบบสมดุลนี้ จะต่อวงจรให้ขั้วอินพุตหรือเอาต์พุตของวงจรมิกเซอร์ ไม่เกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน (สัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว) คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแยกระหว่างขั้วหรือไอโซเลชัน (Isolation) ขั้วอินพุตของวงจรมิกเซอร์มี 2 ขั้วคือ สัญญาณ RF (หรือ IF) กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ และมีขั้วเอาต์พุต 1 ขั้วคือสัญญาณ IF (หรือ RF) รูปที่ 2.20 พิจารณาในกรณีของภาคเครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้ว RF และขั้วออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับไปในสายอากาศ และการแยกระหว่างขั้ว RF กับขั้ว IF จะช่วยไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่ตรงกับความถี่ IF เล็ดลอดเข้าไปสู่วงจรขยาย IF ได้



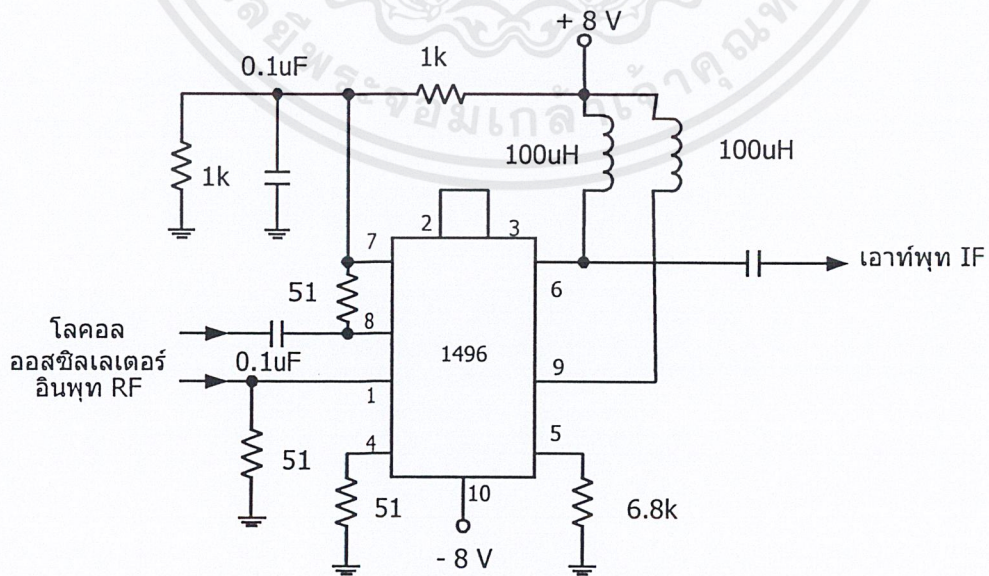
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับ (ก) และมิกเซอร์ของภาคเครื่องส่ง (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลนั้น มีคุณสมบัติการแยกแยะระหว่างขั้วไม่ดีเหมือนกับแบบสมดุล  
 ถ้าต้องการให้มีการแยกสัญญาณดีต้องใช้ฟิลเตอร์ช่วยในการกรองสัญญาณต่างหาก  
 ตัวอย่างวงจรมิกเซอร์



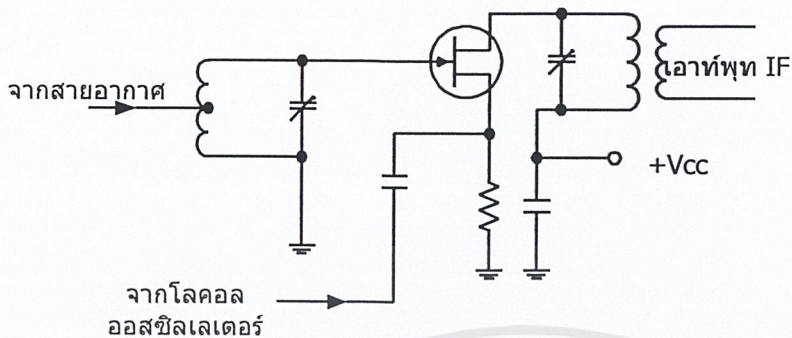
รูปที่ 2.24 วงจรมิกเซอร์ชนิดพาสซีฟ



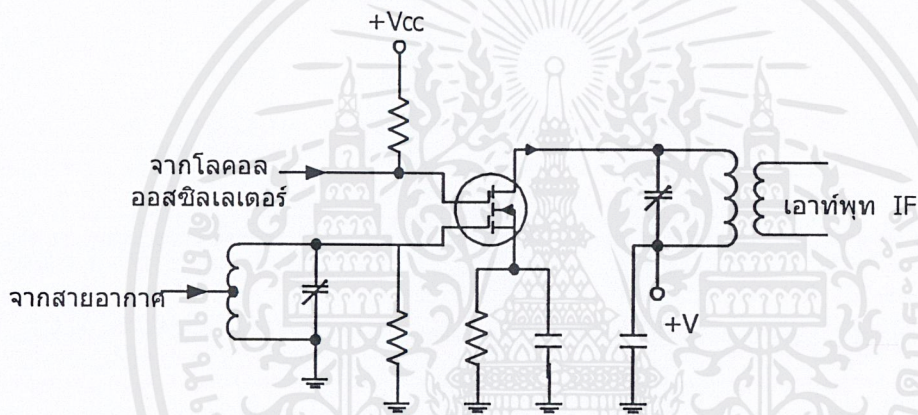
รูปที่ 2.25 วงจรมิกเซอร์ชนิดแอทีฟ แบบใช้ IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุล



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.26 วงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุล

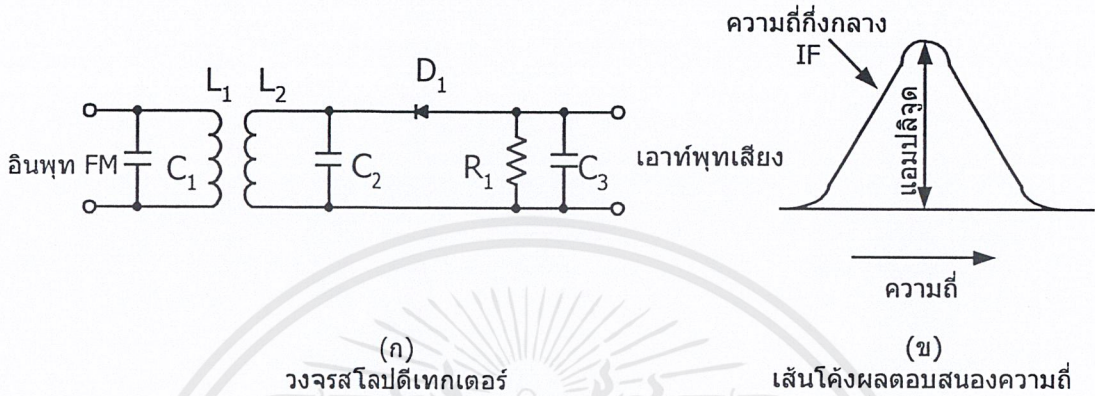
โดยใช้ MOSFET คุณสมบัติของวงจรคือมีการแยกระหว่างขั้วออสซิลเลเตอร์กับสายอากาศค่อนข้างดี แต่ระหว่างขั้ว RF และขั้ว IF ไม่ค่อยดีจำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์ช่วยกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณ RF มิให้เล็ดลอดเข้าสู่ขั้วของ IF ได้

## 2.7 การตีเทคสัญญาณเอฟเอ็ม

วิธีการตีเทคสัญญาณเอฟเอ็มมีด้วยกันหลายแบบ ในแต่ละแบบก็ใช้หลักการการเปลี่ยนจากความถี่ให้เป็นแรงดัน โดยใช้หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนค่ารีแอกแตนซ์ด้วยความถี่ของอุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถประกอบเป็นวงจรเปลี่ยนความถี่ให้เป็นแอมพลิจูด ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงการตีเทคเตอร์บางชนิด ดังนี้

### 2.7.1 สโลปดีเทคเตอร์

วงจรดีเทคเตอร์ FM ที่ง่ายที่สุดเรียกว่า วงจรสโลปดีเทคเตอร์ (slop detector) ดังรูปที่ 2.27 (ก) ใช้วงจรรีโซแนนซ์ 2 ชุดคือ  $L_1$   $C_1$  กับ  $L_2$   $C_2$  จนให้การตอบสนองเป็นลักษณะเส้นโค้งตามรูปที่ 2.27 (ข) จะเห็นว่า การจูนของเส้นโค้งไม่ได้จูนความถี่กลางไว้ที่ยอดของเส้นโค้ง แต่ในความถี่กลางจะอยู่ในส่วนไหล่ลาดหรือ สโลปของเส้นโค้ง



(ก) วงจรสโลปดีเทคเตอร์

(ข) เส้นโค้งผลตอบสนองความถี่

รูปที่ 2.27 ตัวอย่างวงจรสโลปดีเทคเตอร์

สมมติว่าสัญญาณอินพุต IF ความถี่กลาง ๆ ป้อนเข้ามา สัญญาณเอาต์พุตจะมีแอมพลิจูดอยู่ที่ค่าเฉลี่ยเมื่อผ่านการดีเทคที่ไดโอด  $D_1$  ถ้าสัญญาณ IF มีความถี่สูงขึ้น แอมพลิจูดที่ไดโอดจะสูงขึ้น (ดูรูปที่ 2.28) ดังลักษณะเส้นโค้ง เมื่อสัญญาณ IF มีความถี่ต่ำลง แอมพลิจูดที่ป้อนให้ไดโอดและดีเทคออกมาได้สัญญาณที่มีค่าน้อยลง

สรุปได้ว่าเมื่อความถี่ของสัญญาณ IF เปลี่ยนแปลง (เป็นสัญญาณ FM) เอาต์พุตที่ได้จะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามความถี่ การดีเทควิธีนี้เสมือนเปลี่ยนสัญญาณ FM ให้เป็นสัญญาณ AM เสียก่อนแล้วจึงดีเทคสัญญาณ AM ด้วยดีเทคเตอร์ซึ่งจะใช้ไดโอดธรรมดา

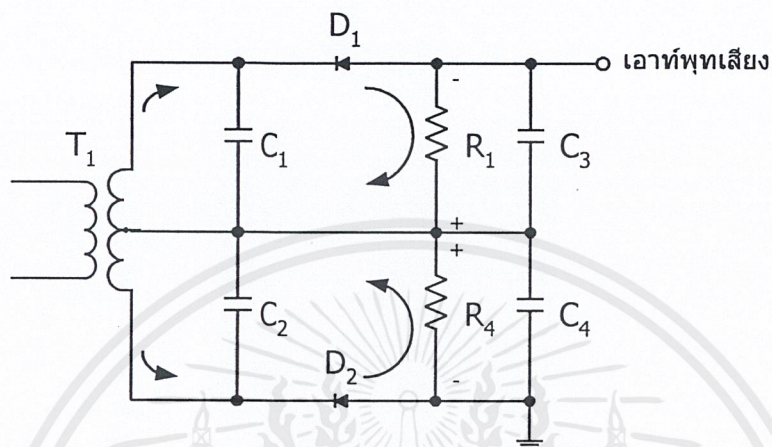
วิธีมอดแบบนี้เราต้องพิจารณาเส้นโค้งผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยาย IF ก่อนหน้าสโลปดีเทคเตอร์ด้วย โดยปกติการจูนเบี่ยงไปจากความถี่รีโซแนนซ์ทำให้อัตราการขยายภาครับไม่ได้เต็มที่ (เพราะไม่จูนที่ขอดี) นอกจากนี้ความเป็นลิเนียร์ของส่วนลาด (สโลป) ของเส้นโค้งในการเปลี่ยนสัญญาณ FM เป็น AM ก็ไม่ค่อยจะเป็นเส้นตรง วงจรชนิดนี้จึงไม่ค่อยได้รับความนิยม

### 2.7.2 ดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน

วงจรดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน (Double-Tuned Detector) ประกอบด้วยวงจรจูน 2 ชุดเช่นกัน ดูรูปที่ 2.28 กล่าวคือ ขดเซคันดารีของหม้อแปลง  $T_1$  จะแยกเป็น 2 ชุด ขดที่อยู่เหนือจุดกลางจะจูนกับ  $C_1$  ให้ความถี่รีโซแนนซ์สูงกว่าความถี่ IF เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณ IF ป้อนเข้าที่อินพุท สมมติว่า IF มีความถี่อยู่กลาง วงจรรีโซแนนซ์ทางด้านเซคันดารีทั้ง 2 ชุดจะไม่จูนกับรีโซแนนซ์ความถี่นี้ (เพราะวงจรรีโซแนนซ์ทั้ง 2 ชุดนี้จูนเบี่ยงไปจากความถี่ IF ทางบวกและลบ) ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  จะนำกระแสเท่า ๆ กัน เกิดแรงดันคร่อม  $R_1$  และ  $R_2$  ในทิศทางตรงข้าม ทำให้เอาต์พุทเป็นศูนย์



รูปที่ 2.28 ดีเทคเตอร์ชนิดดับเบิลจูน

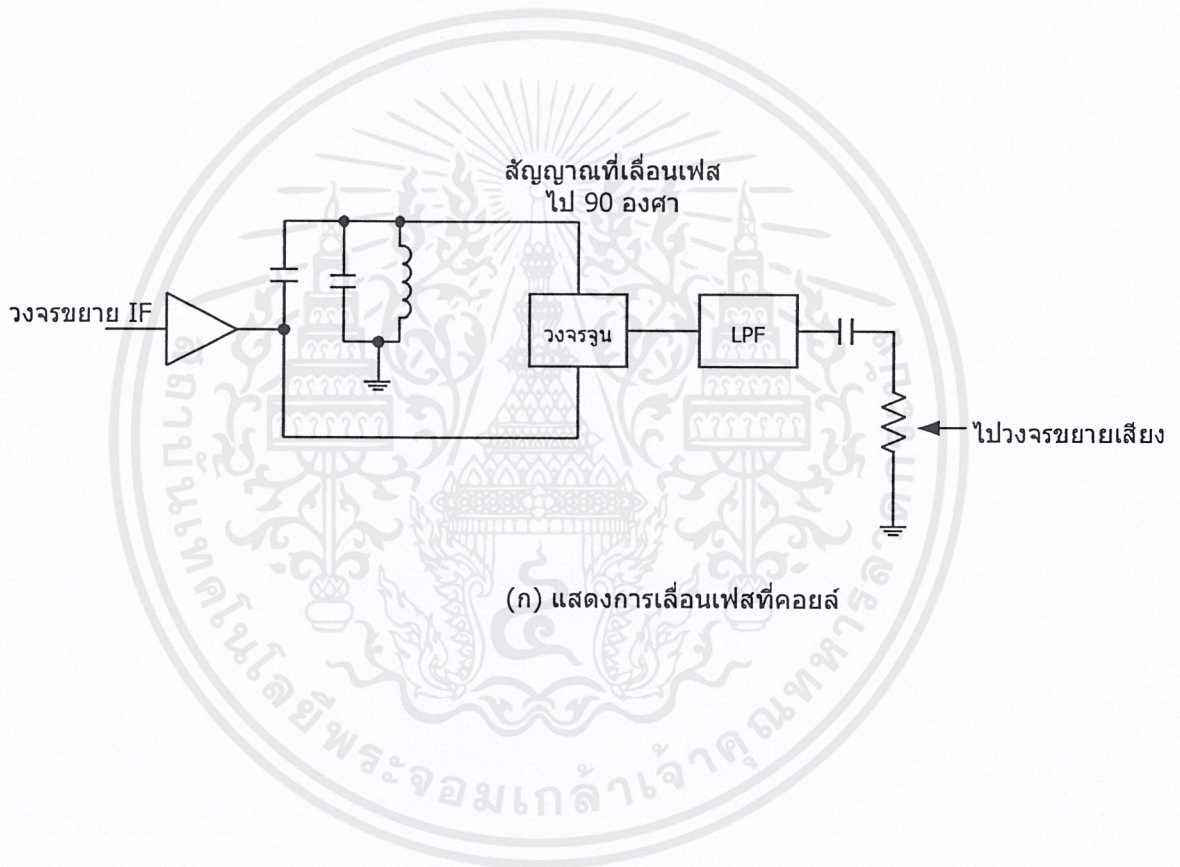
ถ้าสัญญาณ IF มีความถี่สูงกว่าความถี่กลาง สัญญาณจะเข้าใกล้ความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรจูนชุดบน ฉะนั้นสัญญาณในวงจรชุดบนจะแรง ไดโอด  $D_1$  จะนำกระแสมากกว่าและจะทำให้แรงดันคร่อม  $D_1$  จะมากกว่า  $D_2$  แรงดันคร่อม  $R_1$  เอาต์พุทที่ได้จะมีค่าลบ เพราะแรงดันคร่อม  $R_1$  เป็นลบมีค่ามากกว่าแรงดันที่คร่อม  $R_2$  ซึ่งเป็นบวก

### 2.7.3 ควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์

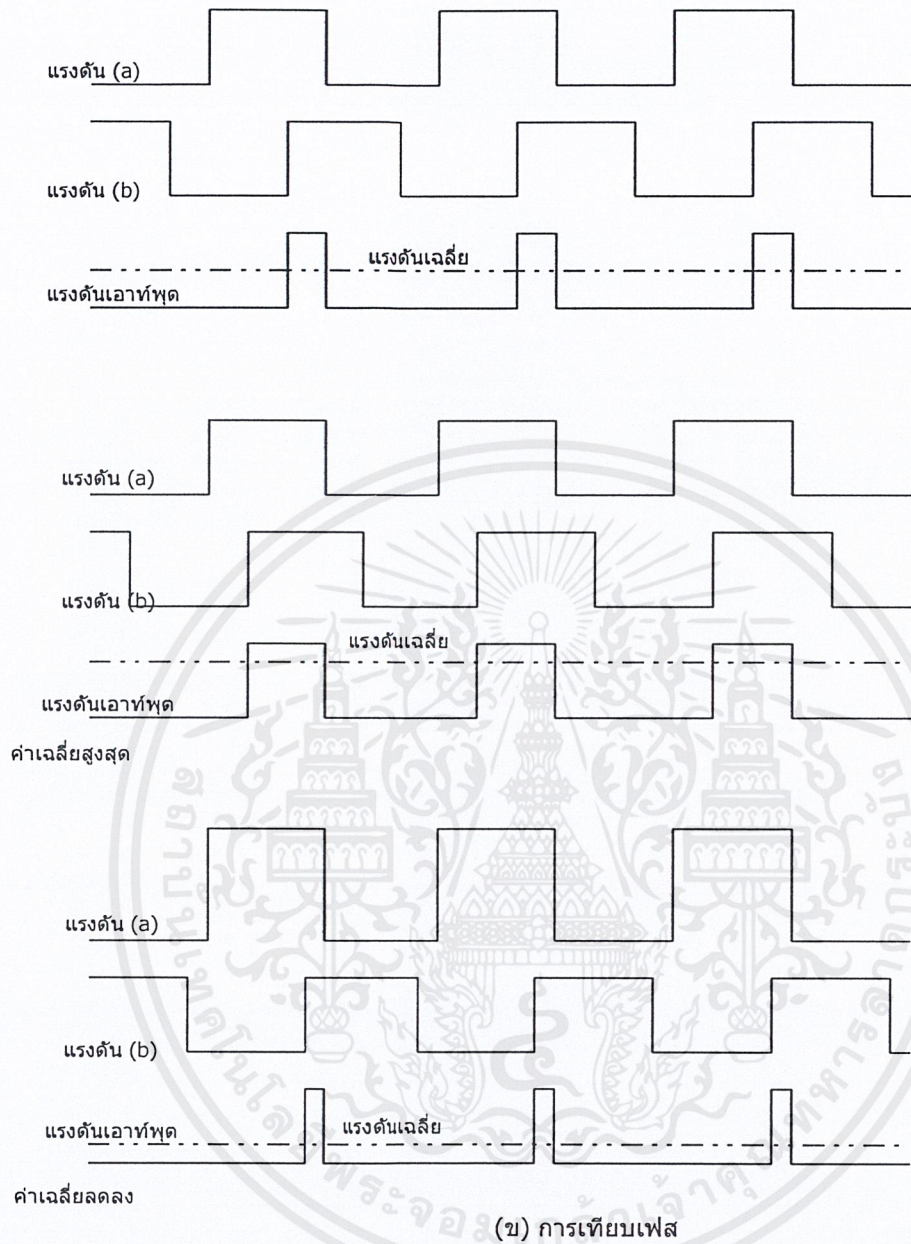
วงจรดีเทคเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการคูณสัญญาณ FM กับสัญญาณ FM ตัวเดิมแต่เลื่อนเฟสไป 90 องศา ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณมอดูเลท (สัญญาณเสียง) จากรูปที่ 2.29 (ก) กระแสที่ไหลในคอยล์จะมีเฟสต่างจากแรงดันคร่อมคอยล์อยู่ 90 องศา กระแสนี้จะป้อนไปให้วงจรรีโซแนนซ์ขนานแบบ Z ซึ่งจูนความถี่ไว้ที่ความถี่กลางของสัญญาณ FM แรงดันคร่อมวงจรรีโซแนนซ์จะมีเฟสเลื่อนไปตามค่าความถี่พาหะที่เบี่ยงเบนไป สัญญาณ FM ที่ผ่านวงจรรีโซแนนซ์จะกลายเป็นสัญญาณ PM หลังจากที่ได้สัญญาณ FM และสัญญาณ FM คูณกัน (ทำงานในช่วงนอนลิเนียร์) จากรูปที่ 2.29 (ข) ผลลัพธ์จากการคูณจะเป็นสัญญาณความถี่สูงกับสัญญาณความถี่ต่ำ (คือสัญญาณมอดูเลท) สัญญาณแรกจะถูกรองทิ้งไปโดยฟิลเตอร์ชนิดโลพาส เอาต์พุทจึงเป็นสัญญาณเสียงตามต้องการ

ความจริงแล้ววงจรควอดราเจอร์ตีเทคเตอร์ทำหน้าที่เสมือนวงจรเทียบเฟสของสัญญาณ FM สองสัญญาณซึ่งมีเฟสต่างกัน 90 องศา รูปที่ (ข) ในที่นี้เราเขียนเป็นพัลซ์เพื่อความสะดวก สัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองทิ้งไป คงเหลือแต่สัญญาณความถี่ต่ำ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในรูปคลื่น 1, 2 และ 3) ซึ่งเป็นสัญญาณเสียง สังเกตว่าค่าเฉลี่ยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่เบี่ยงเบนของพาหะ (เพราะเมื่อสัญญาณ FM มีความถี่ต่ำลง พัลซ์เอาท์พุทจะแคบลง ค่าเฉลี่ยจะน้อยลง) นั่นคือค่าเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียง

โดยทั่วไปวงจรควอดราเจอร์ตีเทคเตอร์มักจะทำเป็นไอซี ซึ่งจะรวมวงจรขยาย IF วงจรขยายอิมิตเตอร์และวงจรอื่น ๆ ไว้ในไอซีตัวเดียว โดยต่อกออล์ซึ่งใช้เลื่อนเฟสไว้ภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 วงจรควอดราเจอร์ตีเทคเตอร์และการเทียบเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 เทคนิคการติดตั้งงานรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

### 2.8.1 การประกอบชุดจาน

การประกอบจานนั้นต้องดูว่าจานเหล่านั้นแยกออกมาเป็นชิ้นส่วนแบบใด บางแบบทำโครงขึ้นมาให้ประกอบโครงก่อนแล้วนำเอาตะแกรง (จานโปร่ง) สอดเข้าไป หรืออาจจะทำให้เป็นชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 ชิ้นให้ประกอบชิ้นส่วนทั้ง 6 เข้าไปก็จะได้เป็นจานขึ้นมา

ขั้นตอนการประกอบจานสามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1. ประกอบจานทีละชั้นในจำนวน 6 ชั้น โดยการคว่ำจานลงบนวัสดุอ่อนเพื่อป้องกันหน้าจานเป็นรอย

2. ร้อยน๊อตของตัวโครงงานเข้ากับแป้นรับซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางของตัวจานและขอบจานก่อนแล้วจึงร้อยน๊อตโครงภายหลัง การร้อยน๊อตเพื่อสะดวกในการแก้ไขปัญหาส่วนโค้งของจานบิดเบี้ยว ซึ่งอาจจะมาจากขั้นตอนการผลิตหรืออาจจะมาจากขั้นตอนการขนส่ง เวลาที่ร้อยน๊อตหากเป็นไปได้ควรจะร้อยน๊อตและขันสกรูไปในทิศทางเดียวกัน

3. ระวังในการประกอบอย่าให้จานบิดผิดรูปและเมื่อประกอบขึ้นรูปเป็นตัวงานได้แล้ว ต้องยึดน๊อตสกรูให้แน่น

เมื่อประกอบตัวงานขึ้นมาแล้วขั้นตอนต่อมาคือการประกอบขาตั้งจาน โดยหันหน้าจานไปทางทิศใต้ เนื่องด้วยประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ซึ่งตัวงานและขาตั้งจานเมื่อติดตั้งเข้าด้วยกันแล้วงานต้องสามารถหมุนไปมาได้ ก้มเงยได้ เพื่อหาดำแหน่งดาวเทียมที่ทำให้รับสัญญาณได้แรงที่สุด

### 2.8.2 การประกอบพีคฮอρν-แอลเอ็นบี

จากหลักการของงานรับ การที่งานรับสัญญาณได้นั้นอาศัยผลการสะท้อนคลื่นที่ผิวงาน เพื่อเอาคลื่นสัญญาณที่ส่งเข้ามานั้นสะท้อนเข้าสู่จุดรวมของสัญญาณที่เรียกว่า พีคฮอρν ตัวพีคฮอρνต่อเข้ากับวงจรรขยายสัญญาณที่เรียกว่าแอลเอ็นบี หากระยะของพีคฮอρν ไม่ถูกต้องย่อมส่งผลต่อการรับสัญญาณ มีผลทำให้สัญญาณอ่อนหรืออาจจะรับไม่ได้เสียก็ได้ โดยปกติระยะโฟกัสหรือโฟคอลของพีคฮอρν ทางบริษัทผู้ผลิตจะทำเครื่องหมายไว้เพื่อลดความยุ่งยากให้กับผู้ประกอบจาน ต่อไปก็นำสายสัญญาณ RG6/U หรือ 5C-FB ต่อเข้ากับแจ็คเสียบแบบตัวเอฟ (F. Connector) แล้วนำไปต่อเข้ากับตัวแอลเอ็นบี และต่อสายเข้าโพลาริเซอร์ในกรณีที่มีพีคฮอρνนั้นมีโพลาริเซอร์

### 2.8.3 การหาดำแหน่งดาวเทียม

เมื่อติดตั้งจานและประกอบพีคฮอρνเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ถึงตอนนี้เราจะตั้งหน้าจานหาทิศทางหรือตำแหน่งดาวเทียมดวงต่างๆ ซึ่งเป็นดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ในพื้นที่ของประเทศไทย เครื่องมือที่ต้องใช้ประกอบด้วย

1. เข็มทิศ
2. เครื่องมือวัดมุม
3. แซทเทลไลท์ซิกแนล สเตรงค์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. มัลติมิเตอร์

ก่อนที่จะไปถึงขั้นตอนของการหาตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ให้มาทำความเข้าใจเกี่ยวกับมุมของดาวเทียมตามหลักการเคลื่อนที่โดยแรงดึงดูดใจกลางโลกเสียก่อนมุมแรกที่ต้องทราบ คือมุมอะซิมุม (Azimuth) หรือมุม AZ ถือว่าเป็นมุมแนวระดับ (Horizontal) ด้วยการใช้วิธีการอ้างอิงมุม 0 องศาขึ้นเหนือและขั้วใต้คือมุม 180 องศา การคิดมุมคิดตามเข็มนาฬิกา ถ้าให้ 12 นาฬิกา เป็นขั้วเหนือ จะพบว่า ณ เวลา 3 นาฬิกาคือมุม 90 องศา เวลา 6 นาฬิกาคือมุม 180 องศา เวลา 10 นาฬิกาคือมุม 270 องศา เป็นต้น ค่ามุมอะซิมุม คือมุมที่คิดจากตำแหน่งของดาวเทียมเทียบความสัมพันธ์กับพื้นที่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก โดยตำแหน่งของดาวเทียมสากลคิดจากมุมอ้างอิงจากเมืองกรีนิชประเทศอังกฤษ เมื่อทราบว่าดาวเทียมดวงไหนมีมุมอะซิมุมเท่าไร สิ่งที่ต้องทราบประการต่อมาก็คือพื้นที่ ที่กำลังตั้งฐานนั้นอยู่ในตำแหน่งเส้นแวงที่เท่าไร

ยกตัวอย่างเช่นกรุงเทพฯอยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวงที่ 100.5 องศาตะวันออก หากมีดาวเทียมดวงหนึ่งยิงขึ้นไป ณ ตำแหน่งเท่ากับ 100.5 องศา นั้นหมายความว่าง่าย ๆ ว่าหากตั้งจานรับที่กรุงเทพฯ โดยการหันหน้าจานไปทางทิศใต้จะรับสัญญาณจากดาวเทียมดวงนั้นได้พอดี นี่คือการสัมพันธ์กันระหว่างมุมอะซิมุมกับเส้นแวง ถือว่าตอนนี้มุมอะซิมุมคือ 180 องศา

มุมต่อมาเรียกว่ามุมเงย เพราะตำแหน่งที่หันหน้าจานไปยังดาวเทียมดวงต่าง ๆ สามารถหาได้แล้ว มุมเงยเท่าไรต้องตั้งให้ถูกต้องด้วย มุมเงยจะถูกเรียกว่า มุมอีลีเวชัน (Elevation) หรือ EL โดยมุมอีลีเวชันนี้ หากหันจานไปทางทิศที่เป็นตำแหน่งของดาวเทียมแล้วกระโดงของพีคฮอร์นขนานกับพื้นโลก หรือจุดโฟกัสเมื่อมองจากกันจานก้านกระโดงไปขนานกับพื้นผิวโลก ถือว่านั่นคือ 0 องศา และหากให้เงนหน้าจนคอดตั้งบ่าถือว่ามุมนั้นคือมุมอีลีเวชัน 90 องศา ค่าของมุม EL มีค่าไม่เกิน 90 องศา

#### 2.8.4 สูตรเพื่อการคำนวณ

การหามุมอะซิมุมและมุมอีลีเวชัน สามารถหาได้จากสูตรคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{มุมเงย : EL} &= \tan^{-1} \left( \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{\sin^2 \lambda + \cos^2 \lambda \sin^2 \phi}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มุมอะซิมุม : AZ} &= \tan^{-1} \left( \frac{\sin \lambda}{\cos \lambda \sin \phi} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\tan \lambda}{\sin \phi} \right) \end{aligned}$$

โดยที่  $\phi$  คือตำแหน่งเส้นรุ้งหรือละติจูดของจานสายอากาศรับ

$\lambda$  คือตำแหน่งเส้นแวงของจานสายอากาศรับลบด้วยตำแหน่งเส้นแวงของดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ถ้าต้องการตั้งงานสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งอยู่ ณ ตำแหน่งเส้นรุ้ง  $13^{\circ} 45' 37''$  เหนือ เส้นแวง  $100^{\circ} 48' 19''$  ตะวันออกรับสัญญาณจากดาวเทียมอินเทลแซท V ซึ่งอยู่ ณ ตำแหน่ง  $60^{\circ}$  ตะวันออก จะต้องตั้งงานสายอากาศมีมุมเงยและมุมอะซิมุท เป็นเท่าไร

วิธีทำ    เส้นรุ้ง  $13^{\circ} 45' 37'' = 13.76$  องศา

เส้นแวง  $100^{\circ} 48' 19'' = 100.80$  องศา

$$\lambda = 100.80^{\circ} - 60^{\circ} = 40.80^{\circ}$$

คำนวณหามุมเงย

$$\begin{aligned} EL &= \tan^{-1} \left( \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\cos 40.8^{\circ} \cos 13.76^{\circ} - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 40.8^{\circ} * \cos^2 13.76^{\circ}}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{(0.757 * 0.971) - 0.1508}{\sqrt{1 - (0.573 * 0.943)}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{0.5842}{0.678} \right) \\ &= \tan^{-1} 0.8617 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{มุมเงย : } EL = \tan^{-1} 0.8617 = 40.75^{\circ}$$

คำนวณหามุมอะซิมุท

$$\begin{aligned} AZ &= \tan^{-1} \left( \frac{\tan \lambda}{\sin \phi} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\tan 40.80^{\circ}}{\sin 13.76^{\circ}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{0.863}{0.238} \right) \\ &= \tan^{-1} 3.626 \end{aligned}$$

$\therefore$  มุมอะซิมุท :  $AZ = \tan^{-1} 3.626 = 74.58$  องศาเทียบกับทิศใต้หรือ 254.58 องศาเทียบกับทิศเหนือ

### 2.8.5 การติดตั้งงานแบบฟิกซ์

การติดตั้งงานแบบคงที่ (Fixed) เราจะเริ่มจากการต่อสายนำสัญญาณเข้ากับเครื่องวัดความแรงสัญญาณที่เรียกว่าสเตรกมิเตอร์ ซึ่งหากไม่มี สเตรกมิเตอร์ ต้องใช้วิธีการจับสัญญาณจากจุด AGC ของเครื่องรับด้วยโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติจะรับดาวเทียมเอเชีย 1

1.รับที่กรุงเทพฯ คำนวณ  $AZ = 159.9^\circ$   $EL = 72.8^\circ$

1.1ตั้งหน้าจานหาทิศได้ก่อน

1.2หันหน้าจานทวนเข็มนาฬิกาหรือไปทางทิศตะวันออกจนเข็มทิศอ่านค่ามุม 159.9 องศา

1.3 ปรับมุมเงยอยู่ในช่วง  $70-75^\circ$  โดยการใช้สเตรงต์มิเตอร์ หรืออ่านค่าแรงดันไฟเอจีส ให้ได้ค่ามากที่สุด แล้วปรับละเอียดอีกครั้ง

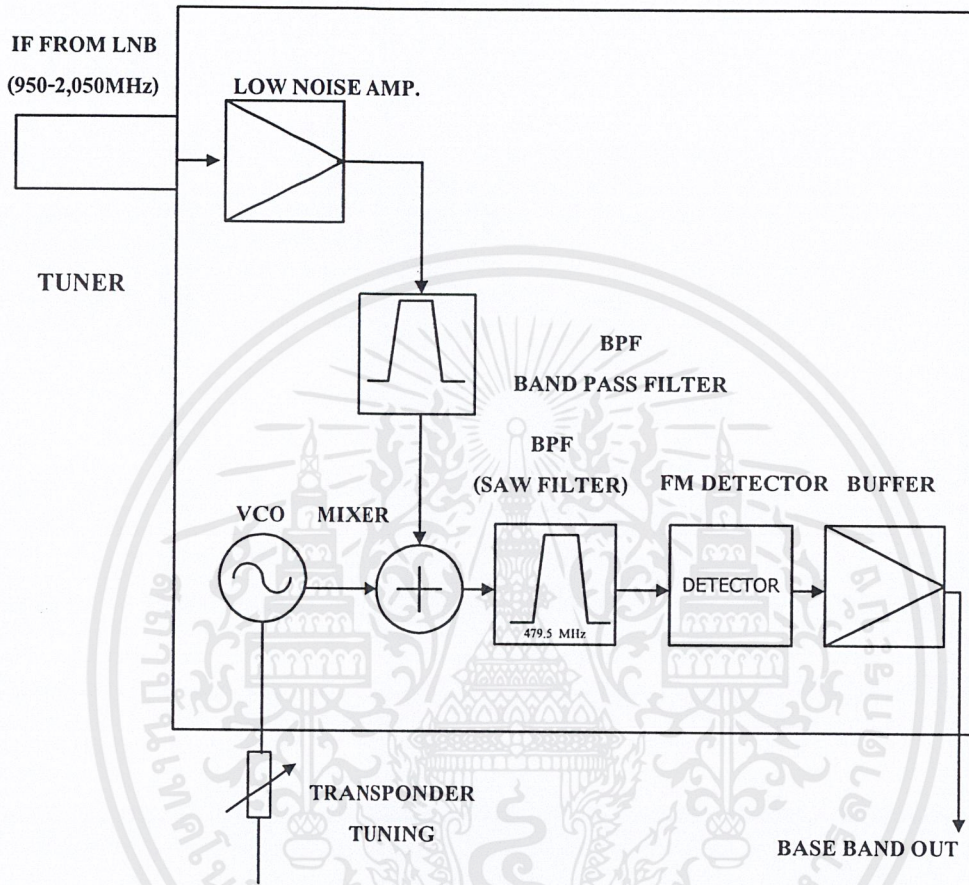


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

## เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

## 3.1 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในรูปของการศึกษาจากบล็อกไดอะแกรม

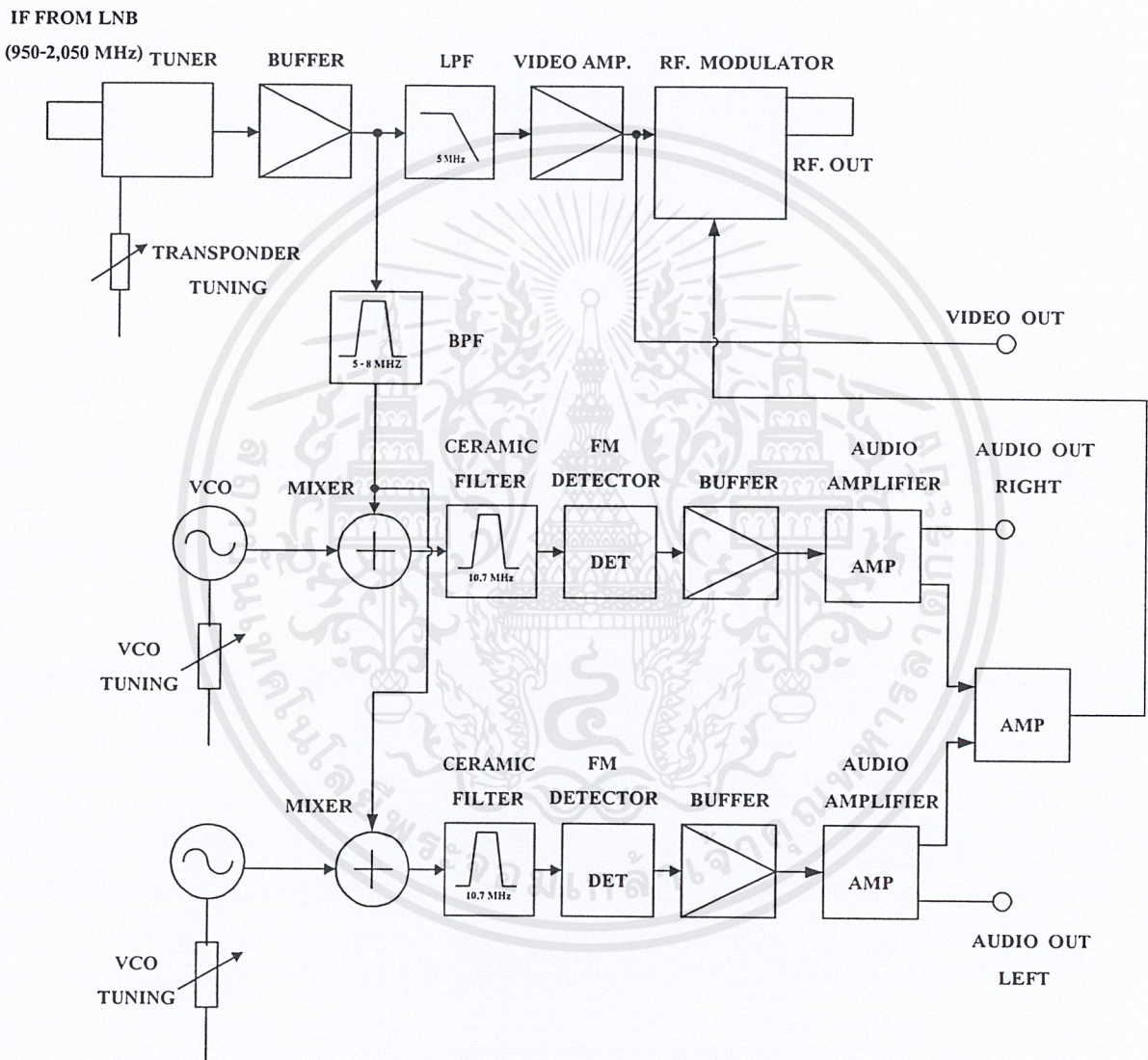


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมจูนเนอร์เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

3.1.1 จูนเนอร์ (Tuner) จะรับสัญญาณมาจาก LNB โดยจูนเนอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้สามารถรับสัญญาณ IF จาก LNB อยู่ในช่วงความถี่ 950-2,050 MHz ซึ่งแสดงว่าจูนเนอร์ตัวนี้สามารถรับสัญญาณได้ทั้ง C-Band (950-1,450 MHz) และ Ku-Band (1,450-2,050 MHz) สัญญาณที่รับเข้ามาจะถูกขยายให้มีความแรงขึ้น โดยวงจรขยายตัวนี้จะเป็นชนิดขยายสัญญาณโดยกำจัดสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยที่สุด (Low Noise Amplifier) แล้วสัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ไปผสมกับสัญญาณที่สร้างขึ้นจากวงจร VCO (Voltage Control Oscillator) ซึ่งอยู่ภายในตัวจูนเนอร์ วงจร VCO คือวงจรสร้างความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดันนั่นเอง ถ้าแรงดันมากมันจะออกซิเลตมาก แรงดันน้อยมันจะออกซิเลตน้อย และสัญญาณที่ได้จากการผสมจะได้เป็นความถี่ IF ซึ่งเป็นความถี่ผลต่างของความถี่ทั้งสองที่ผสมกัน หลังจากนั้นก็จะไปเข้าวงจร Saw Filter เพื่อกรองเอาความถี่ IF (479.5 MHz) ไปใช้งานสัญญาณ IF ที่ออกจาก Saw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter ถูกส่งไปยังวงจร FM Demodulator (เนื่องจากสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมนี้ระบบการผสมสัญญาณภาพจะเป็นแบบ FM เช่นเดียวกับในเครื่อง Laser Disc ดังนั้นสัญญาณภาพที่ได้จะมีความคมชัดสูงแตกต่างจากการรับสัญญาณโทรทัศน์แบบปกติที่มีการผสมสัญญาณแบบ AM จึงถูกรบกวนได้ง่าย) สัญญาณที่ได้จากวงจร FM Demodulator จะมีทั้งสัญญาณภาพและเสียง ผสมกันอยู่เรียกว่า B.B. Out (Base Band Out Put) จะถูกส่งออกจากตัวจูนเนอร์เพื่อป้อนไปยังวงจรภาคต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

3.1.2 การทำงานของระบบภาพ สัญญาณจาก B.B. Out จากจูนเนอร์จะถูกส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) เพื่อให้มีความแรงพอที่จะส่งไปยังวงจรอื่นๆ เริ่มจากผ่านวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณภาพซึ่งคุณสมบัติของวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์นี้ จะยอมให้ความถี่ตั้งแต่ 0-5 MHz ผ่านไปได้ อย่างเป็นสะดวกแต่จะขจัดสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 5 MHz ไม่ให้ผ่านเข้าไปได้ สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 MHz จะเป็นความถี่ย่อยของเสียง (Sub Carrier) ถ้าหากออกแบบวงจรไม่ดีแล้วจะเกิดปัญหาตามมาคือ ถ้าสัญญาณที่สูงกว่า 5 MHz ผ่านเข้าไปได้จะเกิดปัญหามากคือ ภาพที่ได้จะดูหยาบมาก (Gain ของสีจะแตก) โดยทั่วไปควรจัดสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 5 MHz ให้ได้มากกว่า 20 dB และถ้าหากออกแบบวงจร โลว์พาสฟิลเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ไม่เหมาะสม เช่น ใช้ Capacitor , Inductor ที่มีค่ามากเกินไป ถึงแม้จะจัดสัญญาณที่สูงกว่า 5 MHz ได้ดีก็ตามแต่ก็จะเกิดปัญหาแทรกซ้อนคือ ค่าหน่วงเวลา หรือ Group Delay มากเกินไป (โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 20ns ) ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นเงายาวหรือในบางครั้งจะมีลักษณะภาพไม่สไลด์มีหมอกลง และสัญญาณที่ออกจากวงจร โลว์พาสฟิลเตอร์ จะถูกป้อนเข้าไปยังวงจรขยายสัญญาณภาพ (Video Amp) เพื่อขยายสัญญาณภาพให้มีความแรงขึ้นแล้วเราก็จะได้สัญญาณภาพ หรือ Video Out สามารถต่อเข้ากับช่อง Video In ของ TV ได้เลย ถ้า TV ที่ไม่มีระบบ AV ก็สามารถดูได้เพราะสัญญาณอีกส่วนหนึ่งถูกส่งไปยังตัว RF. Modulator ซึ่งทำหน้าที่ผสมสัญญาณภาพและเสียงเข้ากับความถี่ RF (UHF CH36) เพื่อป้อนให้กับ TV ทางช่องเสียบเสาอากาศ

3.1.3 การทำงานของระบบเสียง ระบบเสียงจะมี 2 ส่วน ที่เหมือนกันเพราะระบบเสียงเป็นแบบ สเตอริโอแต่จะขออธิบายครั้งเดียวเพราะหลักการทำงานเหมือนกัน อธิบายการทำงานได้ดังนี้ สัญญาณที่มาจาก B.B. Out ของตัวจูนเนอร์เข้าสู่ฟิเตอร์ เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงเพียงพอที่จะส่งไปยังวงจร โลว์พาสฟิลเตอร์ในส่วนของภาพแล้ว สัญญาณอีกส่วนหนึ่งก็ถูกส่งมายังวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (BPF: Band Pass Filter) ในส่วนของเสียงด้วยซึ่งวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์นี้ จะทำหน้าที่กรองสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 5-8 MHz ให้ผ่านไปได้สะดวก แต่จะจัดสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 5MHz และความถี่ที่สูงกว่า 8 MHz ไม่ให้ผ่านไปได้ เนื่องจากความถี่แคร์เรียของเสียงมีความถี่อยู่ในช่วง 5-8 MHz ถ้าหากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์มีคุณภาพไม่ดีจะทำให้เกิดปัญหาคือ สัญญาณภาพจะเข้ามาจนสัญญาณเสียงได้ซึ่งมีอาการคือ จะมีเสียงรบกวนดังฮัมขณะที่ภาพมีความสว่างมากหรือมีสีจืดๆ สัญญาณที่มาจากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์จะถูกส่งไปยังวงจรผสมสัญญาณที่ออกมาจากวงจร VCO ทั้งนี้เนื่องจากช่องสัญญาณความถี่เสียงของระบบโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมนั้นจะสามารถส่งได้มากกว่า 1 ช่อง และมีระบบการผสมสัญญาณแบบ FM ดังนั้นส่วนของวงจรภาคเสียงก็จะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องรับวิทยุ FM ทั่ว ๆ ไปจะรับสัญญาณได้ในช่วง 88-108 MHz แต่สำหรับวงจรภาคเสียงของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม นั้น สามารถรับสัญญาณได้ในช่วง 5-8 MHz เท่านั้น สำหรับการจูนหาช่องเสียงนั้นเราสามารถทำได้โดยการปรับแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร VCO ซึ่งจะมีผลทำให้ความถี่ที่ออกมาจากวงจร VCO เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน หลังจากสัญญาณที่มาจากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ถูกผสมกับความถี่ที่มาจากวงจร VCO จะได้ความถี่ผลรวมและความถี่ผลต่าง (IF) ส่งไปยังตัวเซรามิกฟิลเตอร์ ซึ่งจะกรองให้ผ่านเฉพาะความถี่ผลต่าง มีค่าเท่ากับ 10.7MHz ซึ่งเป็น IF ของสัญญาณเสียงระบบ FM หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าวงจรดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) ซึ่งจะทำหน้าที่แยกสัญญาณเสียงออกจากแคร์เรีย (Carrier) เมื่อได้สัญญาณเสียงออกมาจะถูกส่งไปยังวงจรขยายเสียงเพื่อให้ความแรงพอที่จะส่งให้กับช่อง Audio In ของ TV และถ้าระบบที่ไม่มีช่อง AV จะมีสัญญาณอีกส่วนหนึ่งส่งเข้าวงจร RF. Modulator ทำให้สามารถรับสัญญาณได้ทางช่องเสียบเสาอากาศ

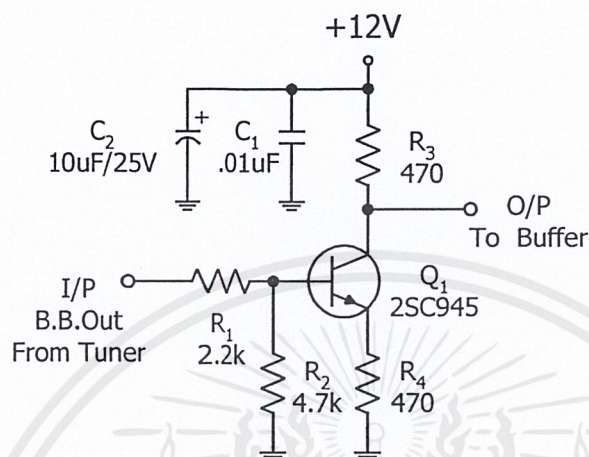
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบวงจรและอธิบายการทำงานของวงจรแต่ละภาค

#### 3.2.1 รูปวงจรและการทำงานของวงจรระบบภาพ

##### 3.2.1.1 วงจรขยายสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Amplifier)

วงจรมีจะใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เบอร์ 2SC945 ต่อแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 3.3

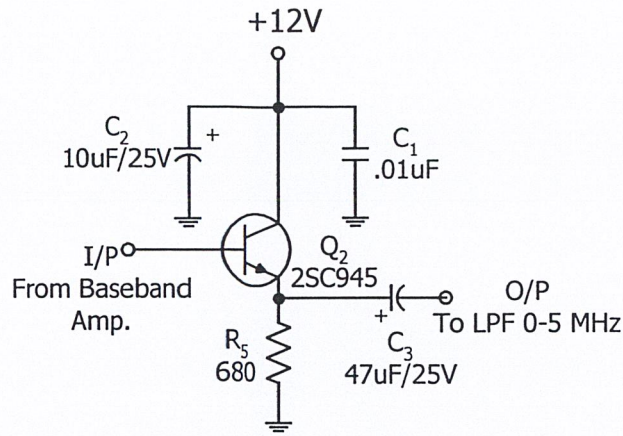


รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณเบสแบนด์

โดยสัญญาณเบสแบนด์ที่มาจากขา B.B. Out ของจูนเนอร์จะประกอบไปด้วยสัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) และสัญญาณแคร์เรียของเสียงจะถูกส่งเข้าขาเบส (Base) ของ  $Q_1$  เพื่อทำการขยายเพื่อให้สัญญาณมีความแรงมากขึ้น สัญญาณที่ถูกขยายเรียบร้อยแล้วจะถูกส่งออกจากคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_1$  เพื่อจะส่งต่อไปยังวงจร Base Band Buffer ซึ่งการส่งผ่านสัญญาณระหว่าง 2 ภาคนี้จะเป็นแบบ Direct Coupling

##### 3.2.1.2 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์ (Base Band Buffer)

วงจรมีจะใช้ ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เบอร์ 2SC945 ต่อแบบคอมมอนคอลเล็กเตอร์ ดังรูปที่ 3.4

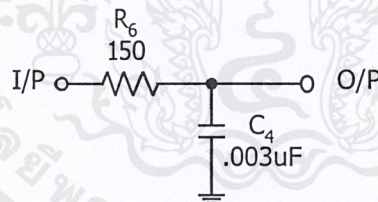


รูปที่ 3.4 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์

สัญญาณเบสแบนด์ที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกส่งเข้าขาเบส ของ  $Q_2$  ซึ่งเป็นวงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์มีหน้าที่คือ ป้องกันไม่ให้สัญญาณมีความแรงลดลงเมื่อมีการต่อแยกสัญญาณไปหลายๆ ทาง สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งออกทางขาอิมิตเตอร์ หลังจากนั้นถูกส่งไปยังวงจรดีเอ็มฟาซิส และวงจรบัฟเฟอร์ของภาคเสียง

### 3.2.1.3 วงจรดีเอ็มฟาซิส (De-emphasis)

วงจรนี้จะประกอบด้วย รีซิสเตอร์ (R) และ คาปาซิเตอร์ (C) ต่อกันดังรูปที่ 3.5

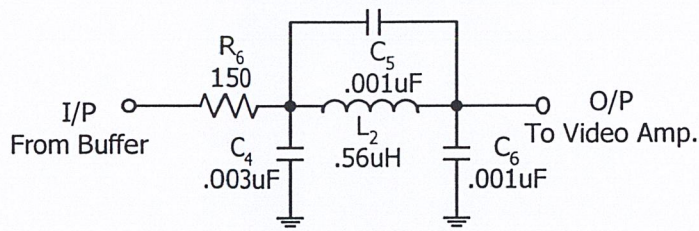


รูปที่ 3.5 วงจรดีเอ็มฟาซิส

ในวงจรที่เกี่ยวกับระบบภาพจะต้องมีวงจรดีเอ็มฟาซิส เพราะว่าการส่งสัญญาณภาพนั้นจะผ่านวงจรดีเอ็มฟาซิส เพื่อรักษาระดับของอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวนให้มีคุณภาพที่ดี ซึ่งทำได้โดยการลดระดับสัญญาณความถี่ที่ต่ำกว่าสัญญาณที่ต้องการและยกระดับสัญญาณที่ต้องการให้มีระดับที่สูงขึ้น ดังนั้นในส่วนที่เป็นภาครับจึงต้องมีการดึงระดับสัญญาณให้กลับมาอยู่ในระดับปกติ โดยการใช้วงจรดีเอ็มฟาซิส สัญญาณจากขาอิมิตเตอร์ ของ  $Q_2$  จะกลับปลีงผ่าน  $C_3$  ไปเข้าสู่วงจรดีเอ็มฟาซิส และส่งต่อไปยังวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์

### 3.2.1.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรนี้จะประกอบด้วย อินдукเตอร์ (L) และ คาปาซิเตอร์ (C) ต่อกันดังรูปที่ 3.6

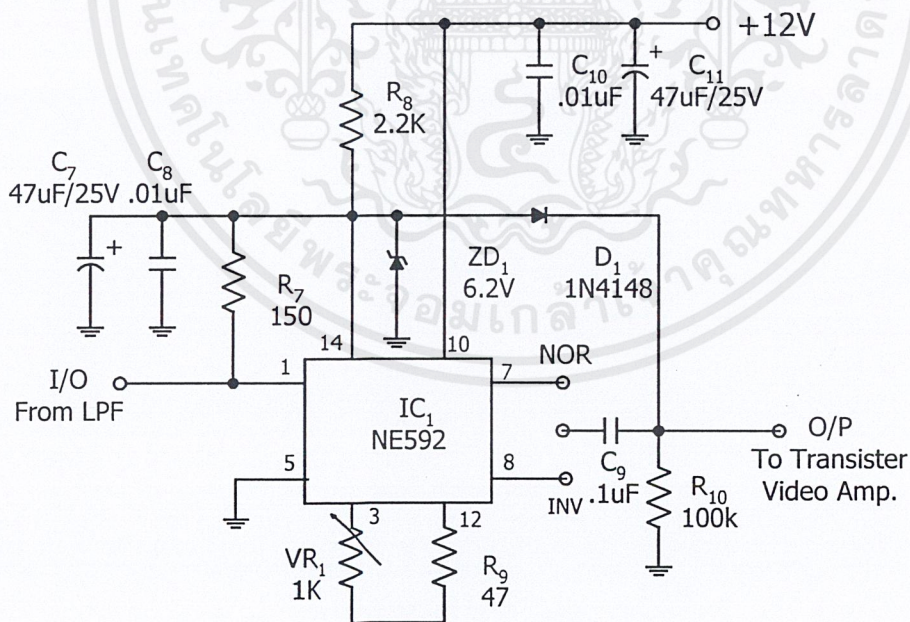


รูปที่ 3.6 วงจรโลว์พาสฟิลเตอร์

จากวงจรเป็นฟิลเตอร์แบบพาย ( $\pi$ -Filter) ซึ่งประกอบด้วย  $C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_6$  และ  $L_2$  เป็นวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ที่กรองเอาความถี่ในช่วง 0-5 MHz ให้ผ่านไปได้ สูงกว่านี้จะไม่ยอมให้ผ่านเพราะเป็นความถี่แคร์เรียของเสียง เอาท์พุทที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังวงจรวิดีโอแอมพลิฟายเออร์

### 3.2.1.5 วงจรวิดีโอแอมพลิฟายเออร์ (Video Amplifier)

วงจรวิดีโอแอมพลิฟายเออร์ ในวงจรนี้ใช้ เบอร์ NE592 ใช้ในการขยายสัญญาณภาพมีวงจรดังรูปที่ 3.7



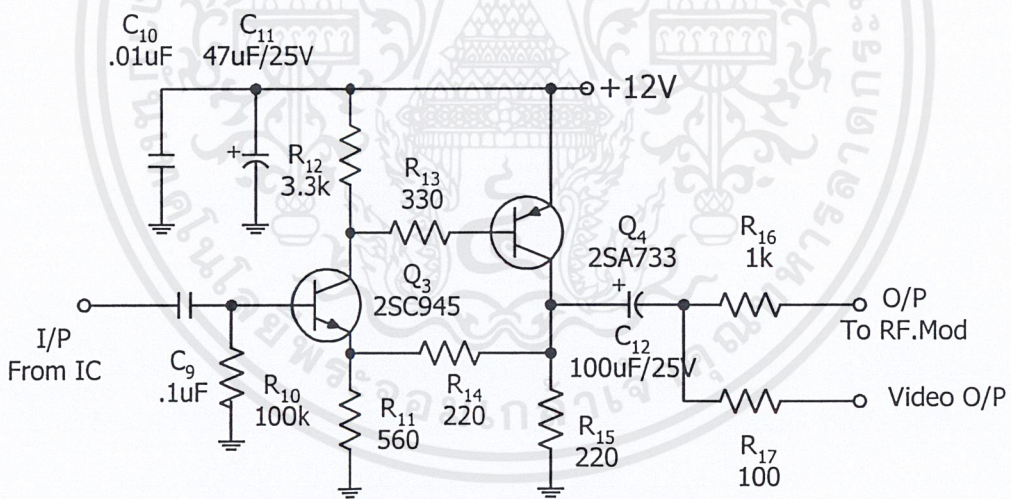
รูปที่ 3.7 วงจรวิดีโอแอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ได้มาจากวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์จะถูกส่งเข้าขา 1 ของ IC<sub>1</sub> NE592 เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงมากขึ้น ซึ่งสามารถขยายให้แบนด์วิดท์กว้างถึง 120 MHz นอกจากนี้เราสามารถควบคุมอัตราการขยายได้จากรีซิสเตอร์จากภายนอกตัว IC<sub>1</sub> ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 3 และขา 12 เราสามารถปรับ VR<sub>1</sub> ได้เพื่อเพิ่มอัตราการขยาย เช่น เมื่อสัญญาณอ่อนเกินไปเราสามารถปรับได้โดยมันสามารถให้อัตราการขยายสูงสุดได้ถึง 400 เท่า และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะออกที่ขา 7 และขา 8 ซึ่งสัญญาณที่ออกจากขา 7 นั้นจะเป็นสัญญาณแบบ Normal เป็นสัญญาณของระบบ C-Band ส่วนเอาต์พุตที่ขา 8 จะเป็นแบบ Invert เป็นสัญญาณของระบบ Ku-Band ซึ่งสัญญาณที่ออกจากขา 7 และขา 8 นี้จะมีเฟสตรงข้ามกัน ในโครงการนี้จะใช้ทั้งสองระบบโดยการใช้สวิตช์เลือก สัญญาณที่ออกจาก IC<sub>1</sub> นี้จะถูกส่งไปขยายต่อที่วงจรขยายสัญญาณภาพด้วยทรานซิสเตอร์ (Transister Video Amplifier) อีก เพื่อให้ได้สัญญาณภาพที่คมชัด

### 3.2.1.6 วงจรขยายสัญญาณภาพด้วยทรานซิสเตอร์

ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ 2SC945 และทรานซิสเตอร์ชนิด PNP เบอร์ 2SA733 เพื่อขยายสัญญาณภาพอีกครั้ง ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.8



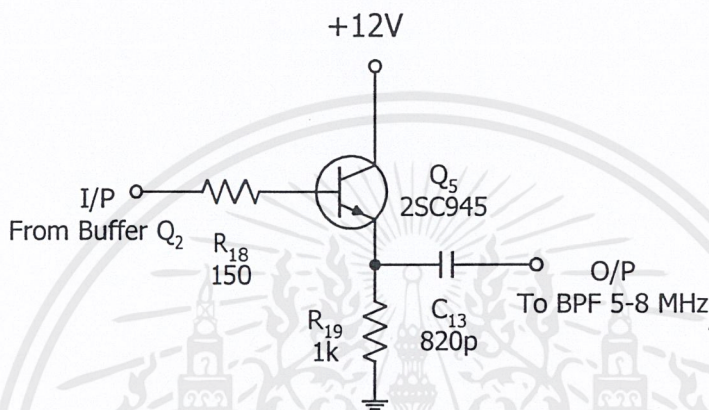
รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณภาพด้วยทรานซิสเตอร์

สัญญาณที่เอาต์พุตของ IC<sub>1</sub> คัปปลิ่งผ่าน C<sub>9</sub> ไปเข้าขาเบสของ Q<sub>3</sub> ซึ่งมันจะทำการขยายให้สัญญาณมีความแรงเพิ่มขึ้นแล้วส่งออกไปยังขาคอลเล็กเตอร์ของ Q<sub>3</sub> และส่งต่อไปเข้าขาเบสของ Q<sub>4</sub> เพื่อทำการขยายอีกครั้งได้เอาต์พุตออกที่ขาคอลเล็กเตอร์โดยมี R<sub>14</sub> ทำหน้าที่เป็นเส้นทางเชื่อมต่อสัญญาณจากเอาต์พุต Q<sub>3</sub> มาเข้าขาเบสของ Q<sub>4</sub> เพื่อควบคุมอัตราการขยายของวงจรนี้ให้คงที่ R<sub>14</sub> นี้เรียกว่าเส้นทางป้อน

กลับ (Feed Back) เมื่อได้ความแรงของสัญญาณที่เพียงพอแล้วก็จะส่งเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ โดยการ คัปปลิ่งผ่าน  $C_{12}$  และผ่าน  $R_{17}$  ไปเข้าสู่ช่อง Video In ของเครื่องรับโทรทัศน์ อีกส่วนหนึ่งจะผ่าน  $R_{16}$  ส่ง เข้า RF. MOD

### 3.2.2 รูปวงจรและการทำงานของวงจรระบบเสียง

#### 3.2.2.1 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์ของภาคเสียง วงจรจะมีลักษณะดังรูปที่3.9

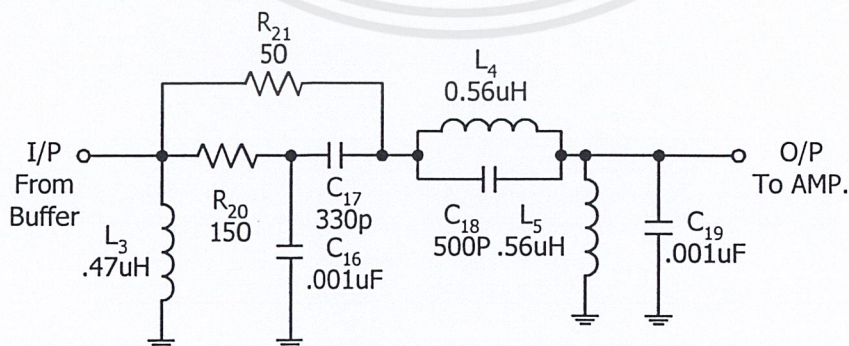


รูปที่ 3.9 วงจรกันชนสัญญาณเบสแบนด์ของภาคเสียง

โดยสัญญาณจะมาจากขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_2$  มาเข้าขาเบสของ  $Q_5$  โดยผ่าน  $R_{18}$  แล้วเอาที่พู่ทไป ออกที่ขาอิมิตเตอร์ และคัปปลิ่งผ่าน  $C_{13}$  ไปยังวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

#### 3.2.2.2 วงจรกรองความถี่กลางผ่าน

วงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.10



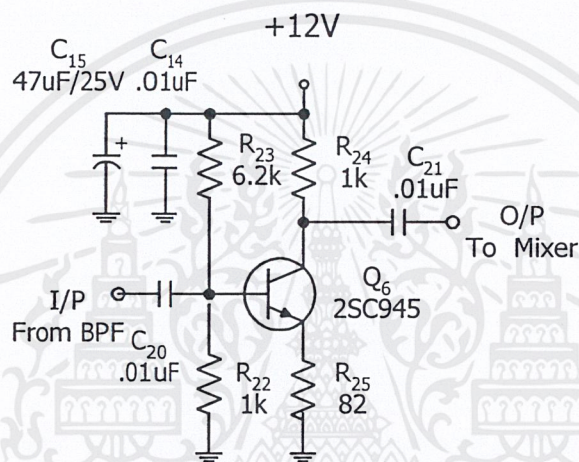
รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่กลางผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่มาจากบัพเฟอร์จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย  $L_3-L_5$ ,  $C_{17}$ - $C_{19}$  และ  $R_{20}-R_{21}$  โดยวงจรนี้จะยอมให้ความถี่แคร์เรียจของสัญญาณเสียงผ่านไปได้นั้นซึ่งอยู่ในช่วง 5-8 MHz และสัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่วงจรมิกเซอร์

### 3.2.2.3 วงจรมิกเซอร์สัญญาณความถี่แคร์เรียจของเสียง 5-8 MHz

วงจรมิกเซอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.11

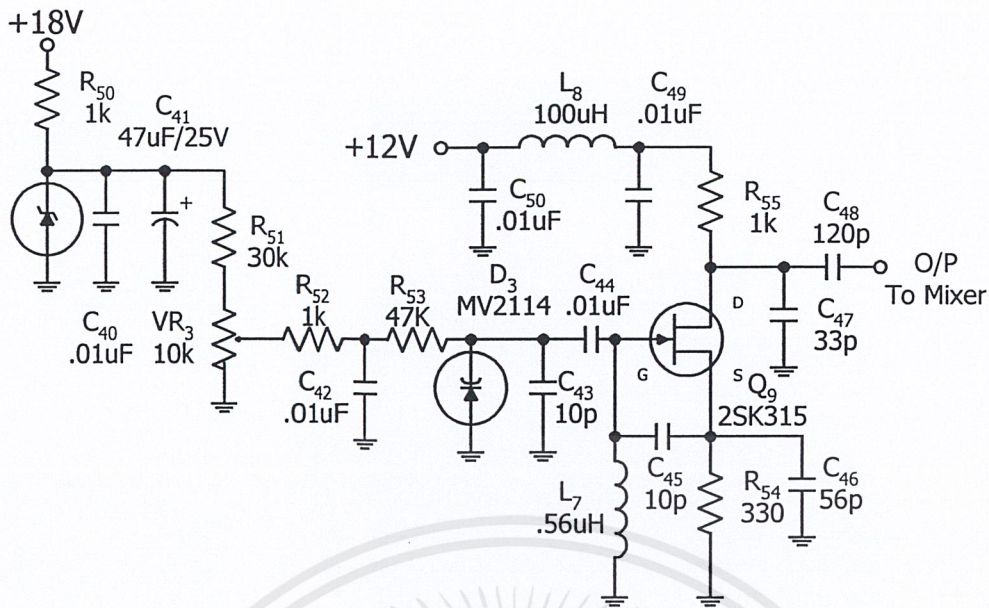


รูปที่ 3.11 วงจรมิกเซอร์สัญญาณความถี่แคร์เรียจของเสียง 5-8MHz

เนื่องจากสัญญาณผ่านมามากหลายภาคความแรงของสัญญาณก็จะลดลงมากดังนั้นจึงต้องทำการขยายก่อนส่งเข้าสู่วงจรมิกเซอร์ (Mixer) วงจรนี้จะทำการขยายสัญญาณที่มาจากเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดยคัปปลิ่งผ่าน  $C_{20}$  เข้าขาเบสของ  $Q_6$  สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วส่งออกขาคอลเล็กเตอร์ และส่งต่อไปยังวงจรมิกเซอร์

### 3.2.2.4 วงจรVCO (Voltage Control Oscillator)

วงจรVCOในโครงการนี้ จะมี 2 วงจรที่เหมือนกัน เพราะเป็นระบบเสียงสเตอริโอ แต่จะอธิบายการทำงานเพียงแค่วงจรเดียว ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.12

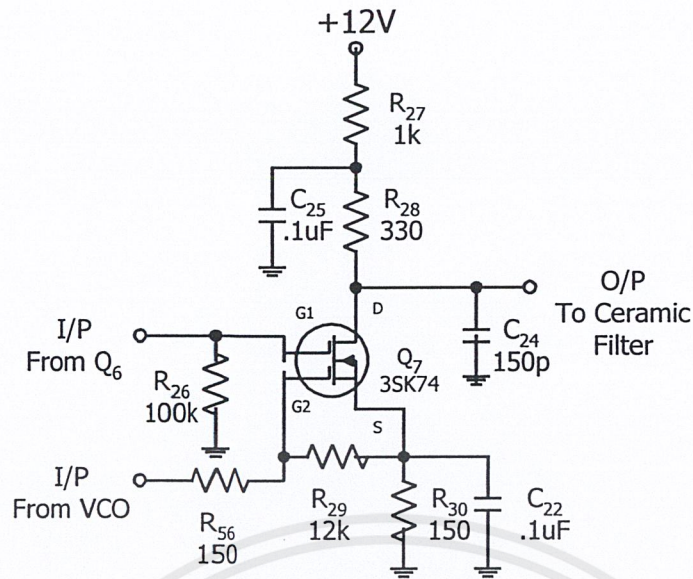


รูปที่ 3.12 วงจร VCO

วงจร VCO ของโครงการนี้จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ความถี่อยู่ระหว่าง 15-20 MHz เพราะวงจร VCO นั้นต้องผลิตความถี่ที่สูงกว่าความถี่แคร์เรียจของเสียงที่รับเข้ามาประมาณ 10.7 MHz ในเมื่อความถี่แคร์เรียจของเสียงที่รับเข้ามาอยู่ระหว่าง 5-8 MHz ดังนั้นวงจร VCO นี้ผลิตความถี่ 15-20 MHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่รับเข้ามาได้ทั้งหมด การทำงานของวงจร VCO นั้นจะมี  $L_7$  และ  $C_{44}$   $C_{43}$  เป็นอุปกรณ์หลักในการกำหนดความถี่โดยมีวารีแคป  $D_3$  เป็นตัวเปลี่ยนแปลงความถี่ และขั้วเฟสจากการปรับ  $VR_3$  การผลิตความถี่จะมากขึ้นเมื่อวารีแคปได้รับไบอัสกลับมาก การควบคุมการผลิตความถี่ ควบคุมโดยการปรับ  $VR_3$  สัญญาณที่ผลิตขึ้นมานั้นจะถูกขยายโดย  $Q_9$  ซึ่งเป็นเฟท เบอร์ 2SK315 จะได้สัญญาณออกที่ขาเดรนเพื่อนำไปผสมกับแคร์เรียจของเสียงเพื่อให้ได้ความถี่ผลรวมและความถี่ผลต่างอีกทางหนึ่งจะถูกส่งออกทางขาซอร์สเพื่อป้อนกลับในรูปแบบของการป้อนกลับเชิงบวก (Positive Feed Back) เพื่อรักษาระดับความแรงของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ให้มีแอมพลิจูดคงที่

### 3.2.2.5 วงจรมิกเซอร์ (Mixer)

วงจรมิกเซอร์ในโครงการนี้ จะมี 2 วงจรที่เหมือนกัน เพราะเป็นระบบเสียงสเตอริโอ แต่จะอธิบายการทำงานเพียงวงจรเดียว ลักษณะวงจรดังรูปที่ 3.13

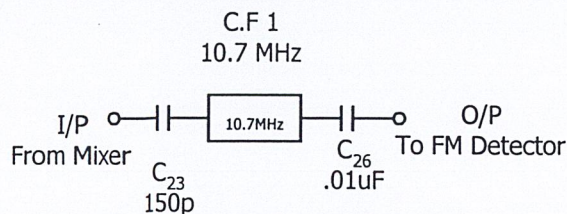


รูปที่ 3.13 วงจรมิกเซอร์

วงจรนี้ทำหน้าที่นำสัญญาณ 2 สัญญาณมาผสมทำให้ได้ความถี่ผลต่าง และความถี่ผลรวมออกมา แต่จะนำเอาเฉพาะความถี่ผลต่างเท่านั้นไปใช้งาน โดยการทำงานของวงจรนี้จะรับสัญญาณความถี่แคร์เรียร์ของเสียงมาจากขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_6$  โดยคัปปลิ่งผ่าน  $C_{21}$  มาเข้าสู่ขา  $G_1$  ของ  $Q_7$  ซึ่งเป็นมอสเฟตชนิดเกทคู เบอร์ 3SK74 สัญญาณอีกส่วนหนึ่งมาจากขาเกรนของ  $Q_9$  ซึ่งเป็นสัญญาณของวงจร VCO ถูกคัปปลิ่งผ่าน  $C_{48}$ ,  $R_{56}$  เข้าสู่ขา  $G_2$  ของ  $Q_7$  สัญญาณทั้งสองจะถูกนำมาผสมกันทำให้ได้ความถี่ผลรวม และความถี่ผลต่างออกมาแต่เรานำเอาเฉพาะความถี่ผลต่างเท่านั้นไปใช้งานสำหรับวงจรนี้ได้ความถี่ผลต่างประมาณ 10.7MHz มาจากวงจร VCO ผลิตสัญญาณความถี่สูงกว่าความถี่แคร์เรียร์ของเสียงอยู่ 10.7MHz นั้นเอง เพราะฉะนั้นความถี่ผลต่างที่ได้จากทุกสถานีที่เรารับสัญญาณจะเท่ากับ 10.7 MHz เสมอ เอาท์พุทที่ได้จะออกที่ขาเกรนเพื่อส่งต่อไปยังเซรามิกฟิลเตอร์ 10.7MHz

### 3.2.2.6 เซรามิกฟิลเตอร์ (Ceramic Filter)

วงจรเซรามิกฟิลเตอร์ในโครงงานนี้ จะมี 2 วงจรที่เหมือนกัน เพราะเป็นระบบเสียงสเตอริโอ จะอธิบายการทำงานเพียงวงจรเดียว ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.14



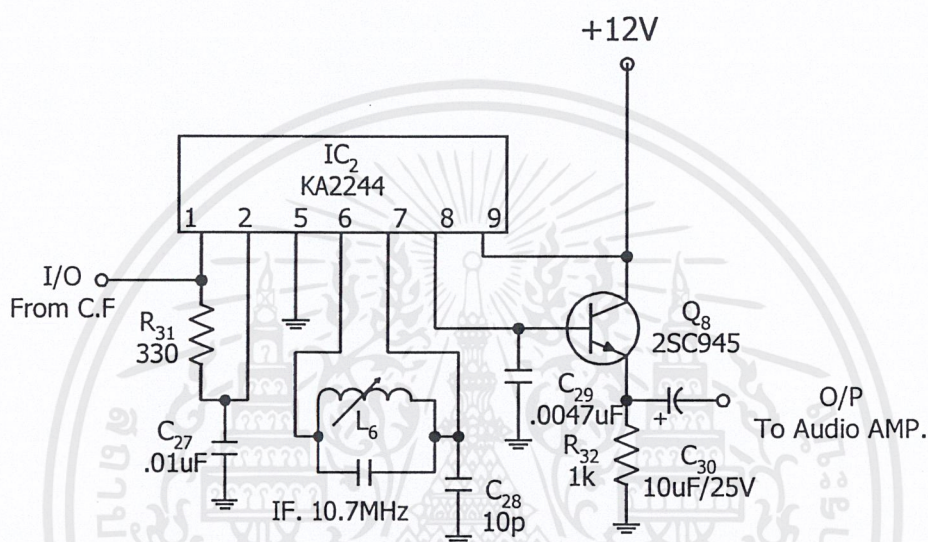
รูปที่ 3.14 วงจรเซรามิกฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรมิกเซอร์ผลจากการผสมของสัญญาณ 2 สัญญาณ ทำให้ได้ความถี่ผลรวม และความถี่ผลต่างแต่ต้องการเฉพาะความถี่ผลต่างจึงใช้เซรามิกฟิลเตอร์กรองให้ผ่านเฉพาะความถี่ 10.7MHz เท่านั้นเพื่อนำไปเข้าสู่วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์ต่อไป

### 3.2.2.7 วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์

วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์ในโครงงานนี้จะมี 2 วงจรที่เหมือนกัน เพราะเป็นระบบเสียงสเตอริโอ แต่จะอธิบายการทำงานเพียงวงจรเดียวโดยใช้ IC เบอร์ KA2244 ทำหน้าที่แยกเสียงออกมา ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.15



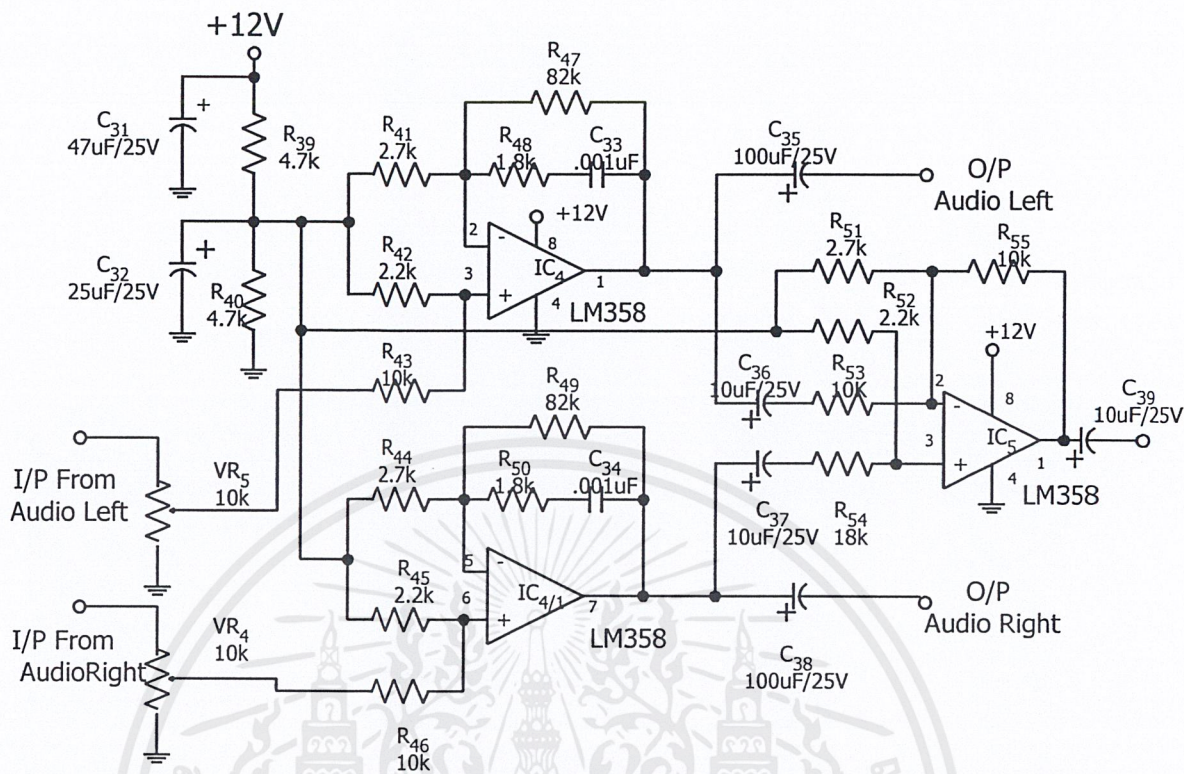
รูปที่ 3.15 วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์

วงจรเอฟเอ็มดีเทคเตอร์หรือเอฟเอ็มดีมอดูเลเตอร์คือ วงจรที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณเสียงออกจากแคร์เรีย การทำงานของวงจรนี้ IC<sub>2</sub> จะรับสัญญาณ IF 10.7 MHz มาจากเซรามิกฟิลเตอร์สัญญาณนี้ถูกป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ IC<sub>2</sub> และวงจรภายใน IC<sub>2</sub> ก็จะทำการแยกสัญญาณเสียงออกมาโดยมีวงจรจูน ต่ออยู่ที่ขา 6 และขา 7 ของ IC<sub>2</sub> ซึ่งส่วนนี้สามารถปรับได้ปรับเพื่อให้สัญญาณ IF 10.7 MHz ลงกราวด์ให้หมดให้เหลือเพียงสัญญาณเสียงอย่างเดียวส่งออกขา 8 ของ IC<sub>2</sub> สัญญาณเสียงที่ได้จะส่งเข้าขาเบสของ Q<sub>8</sub> ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์โดยเอาท์พุทออกขาอิมิตเตอร์แล้วส่งต่อไปยังวงจรขยายเสียง

### 3.2.2.8 วงจรขยายสัญญาณเสียง (Audio Amplifier)

วงจรนี้จะเป็นวงจรขยายเสียงแบบสเตอริโอ เพราะในโครงงานนี้เป็นเครื่องรับที่มีระบบเสียงแบบสเตอริโอ ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรขยายสัญญาณเสียงระบบสเตอริโอ

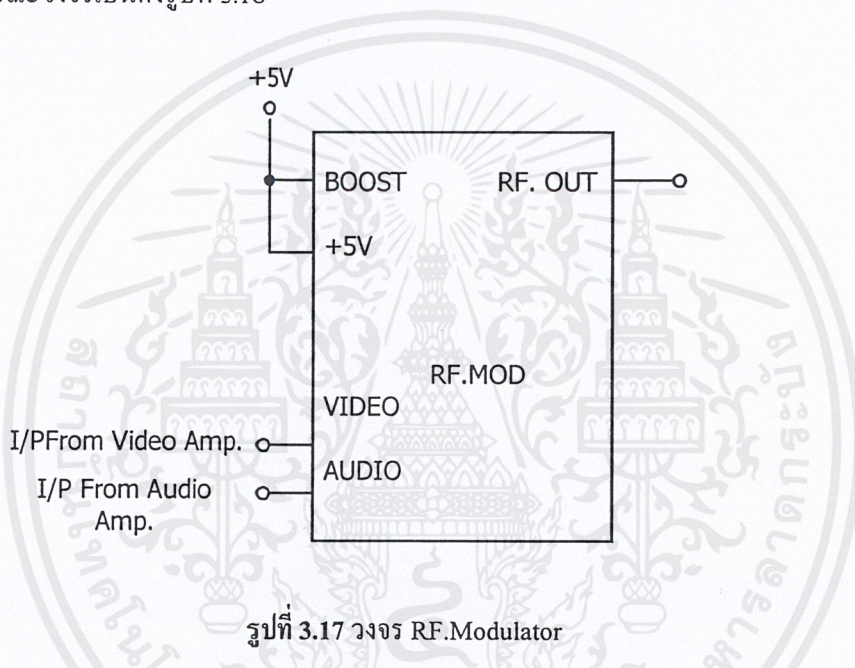
วงจรนี้ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงให้มีความแรงเพียงพอและยังทำการชดเชยความถี่เสียงพร้อมกับขจัดสัญญาณรบกวนที่ติดออกมากับสัญญาณเสียงเพื่อให้คุณภาพของเสียงมีความคมชัดสมบูรณ์ก่อนส่งออกช่องเสียง Audio Out ซึ่งเป็นสัญญาณที่สามารถนำไปป้อนเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์เพื่อรับฟังเสียงจากสถานีที่เราต้องการได้ สัญญาณเสียงนี้จะมี 2 ข้างคือ เสียงข้างซ้าย (Audio Out Left) และเสียงข้างขวา (Audio Out Right) ซึ่งถ้าเครื่องรับโทรทัศน์เป็นแบบสเตอริโอก็สามารถรับสัญญาณเสียงที่เป็นสเตอริโอจากเครื่องรับดาวเทียมเครื่องนี้ได้ แต่ถ้าเครื่องรับไม่มีระบบ AV IN เราก็สามารถรับสัญญาณเสียงได้จาก RF.MOD เพราะเสียงอีกทางหนึ่งถูกส่งเข้า RF. MOD การทำงานของวงจรจะรับสัญญาณเสียงมาจาก ขาอิมิตเตอร์ ของ Q<sub>8</sub> โดยคัปปลิ่งผ่าน C<sub>30</sub> และมาเข้า VR<sub>5</sub> ซึ่งเป็นระบบเสียงข้างซ้ายของเครื่องรับ VR<sub>5</sub> จะทำหน้าที่ปรับระดับความแรงของสัญญาณก่อนส่งเข้าสู่วงจรขยาย สัญญาณเสียงจะผ่านทางขากลางของ VR<sub>5</sub> ผ่าน R<sub>37</sub> เข้าขา 3 ของ IC<sub>4</sub> LM358 เป็นการขยายสัญญาณที่ไม่กลับเฟส และมี R<sub>41</sub> เป็นเส้นทางป้อนกลับ และเอาที่พุดอกขา 1 แล้วจะคัปปลิ่งผ่าน C<sub>35</sub> ไปเข้า Audio Out Left หลักการทำงานของระบบเสียงข้างขวามันจะรับสัญญาณเสียงมาจากภาคคิเทคเตอร์ข้างขวาผ่าน VR<sub>4</sub> ผ่าน R<sub>40</sub> ไปเข้าขา 6 ของ IC<sub>4/1</sub> LM358 ขยายแบบไม่กลับเฟส และมี R<sub>43</sub> เป็นเส้นทางป้อนกลับ เอาที่พุดอกขา 7 และคัปปลิ่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_{38}$  ไปเข้าช่องเสียบ Audio Out Right ในส่วนของสัญญาณที่จะป้อนเข้าสู่ RF.MOD นั้นมาจากสัญญาณที่มาจากข้างขวา คัปปลิ่งผ่าน  $C_{37}$ ,  $R_{48}$  เข้าขา 3 ของ  $IC_5$  LM358 และสัญญาณจากข้างซ้ายคัปปลิ่งผ่าน  $C_{36}$ ,  $R_{47}$  เข้าขา 2 ของ  $IC_5$  ซึ่ง  $IC_5$  นี้ทำหน้าที่ขยายความแตกต่างระหว่างสัญญาณข้างซ้าย และสัญญาณข้างขวา เอาท์พุทออกมา 1 และมี  $R_{49}$  เป็นเส้นทางกรป้อนกลับของ  $IC_5$  สัญญาณเอาท์พุทจากขา 1 จะคัปปลิ่งผ่าน  $C_{39}$  ไปเข้าสู่ RF.MOD

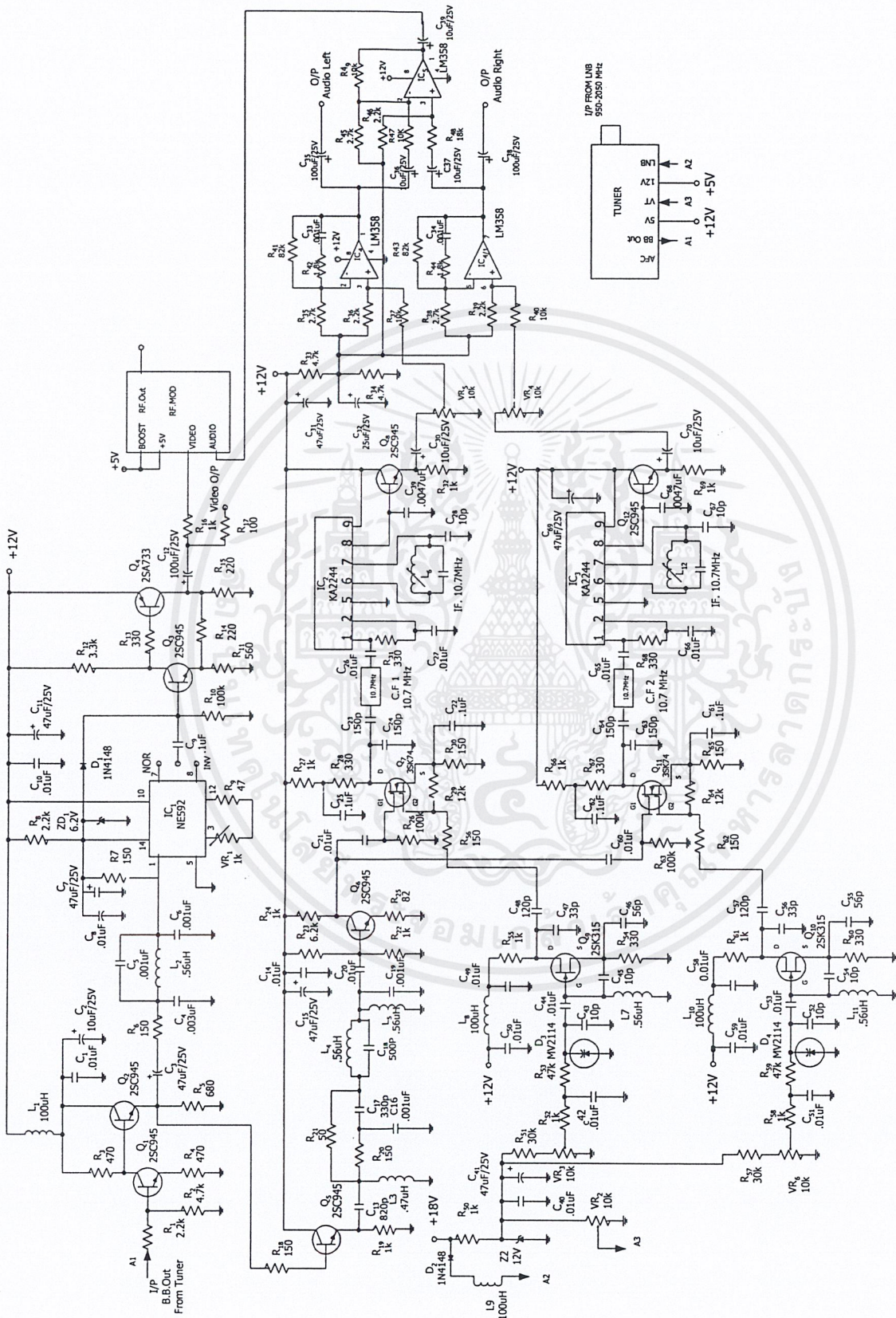
### 3.2.2.9 RF.Modulator

ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 วงจร RF.Modulator

วงจรมีจะรับสัญญาณเสียงมาจาก  $IC_5$  ขา 1 ป้อนเข้าสู่ขา AUDIO ของ RF.MOD และสัญญาณภาพจากขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_4$  มาป้อนเข้าสู่ขา VIDEO ของ RF.MOD สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกนำไปมอดูเลท กับความถี่ย่าน VLF ทำให้ได้สัญญาณภาพและเสียงที่ผ่านการมอดูเลทแล้วออกทางขา RF.Out ของกระป๋อง RF.MOD ซึ่งก็พร้อมที่จะนำไปป้อนเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ทางช่องเสียบสายอากาศ

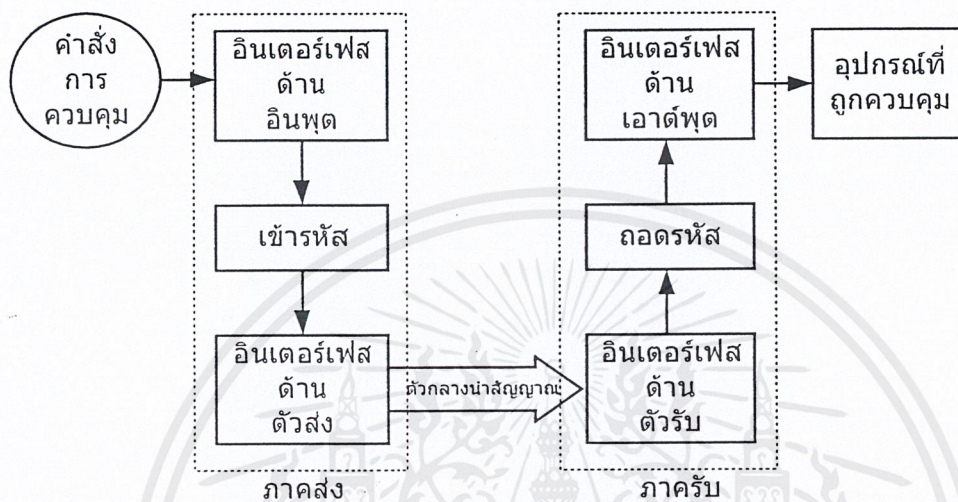


รูปที่ 3.18 วงจรเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านความถี่ระบบเสียงสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 รีโมทคอนโทรล

### 4.1 หลักการของรีโมทคอนโทรลหรือระบบการควบคุมระยะไกล



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปของรีโมทคอนโทรล

จากรูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบควบคุมระยะไกลโดยทั่วไป ในลักษณะของการควบคุมทางเดียว เริ่มจากตัวกำหนดคำสั่งที่ใช้สำหรับการควบคุมว่ามีคำสั่งอะไรบ้าง ชุดคำสั่งทั้งหมดมีที่คำสั่ง เมื่อมีการกำหนดรูปแบบของคำสั่งแล้ว รูปแบบของคำสั่งที่ถูกเลือกจะถูกส่งไปยังภาคส่งสัญญาณที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ หรือรวมสัญญาณควบคุมให้มีรูปแบบที่เหมาะสมกับวงจร

โดยทำการเข้ารหัสสัญญาณให้แต่ละคำสั่งมีรหัสเฉพาะของตัวเองให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ก่อนที่จะส่งออกไปยังภาครับโดยอินเตอร์เฟสด้านตัวส่งเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ภาครับต้องเข้าใจได้ นั่นคือต้องเป็นระบบเดียวกัน สัญญาณที่ส่งออกมาจะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณแสง หรือสัญญาณเสียงความถี่สูง สัญญาณนี้สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นสายนำสัญญาณ หรือผ่านตัวกลางอากาศ ขึ้นอยู่กับระบบที่ถูกออกแบบ

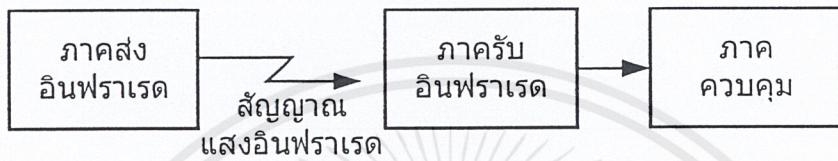
หากใช้สายสัญญาณเป็นตัวนำสัญญาณจะเรียกว่า “ระบบใช้สาย” ซึ่งถ้าใช้สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณควบคุม (ที่มีการจัดรูปแบบหรือเข้ารหัสแล้ว) ก็จะใช้สายไฟฟ้าเป็นสายนำสัญญาณ แต่ถ้าหากใช้สัญญาณแสงเป็นตัวควบคุม ตัวนำสัญญาณจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติก ในกรณีที่สัญญาณควบคุมถูกส่งไปในอากาศ เพื่อเดินทางไปยังเครื่องรับ เช่น การใช้สัญญาณไฟฟ้าในรูปของคลื่นวิทยุ หรือการใช้สัญญาณแสงอินฟราเรดโดยตรง ระบบจะมีชื่อเรียกว่า “ระบบไร้สาย” เป็นระบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เข้ามายังเครื่องรับหรือภาครับ จะถูกตัวอินเตอร์เฟสทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณ ไฟฟ้าที่เข้ากับระบบของตัวรับ ก่อนถูกลดครหัสเพื่อทราบวัตถุประสงค์ของคำสั่ง จากนั้นส่วนอินเตอร์เฟสด้านเอาต์พุตจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการ ตามลักษณะคำสั่งที่ได้รับ

4.2 วงจรและหลักการการทำงานของรีโมทคอนโทรลในโครงงานนี้

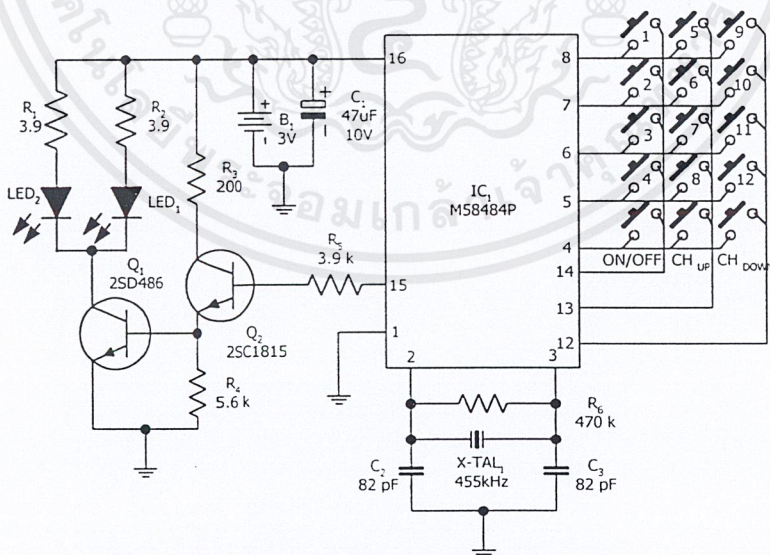
4.2.1 การทำงานของวงจร



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมของรีโมทคอนโทรล

สำหรับการทำงานก็จะอธิบายเป็นส่วน ๆ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ด้วยกันดังรูปที่ 4.2 นั่นก็คือ ภาคส่งอินฟราเรด, ภาครับอินฟราเรด, ภาคควบคุม ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้เมื่อนำมาต่อรวมกันแล้วจะสามารถควบคุมเครื่องรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้

4.2.1.1 ภาคส่งอินฟราเรด



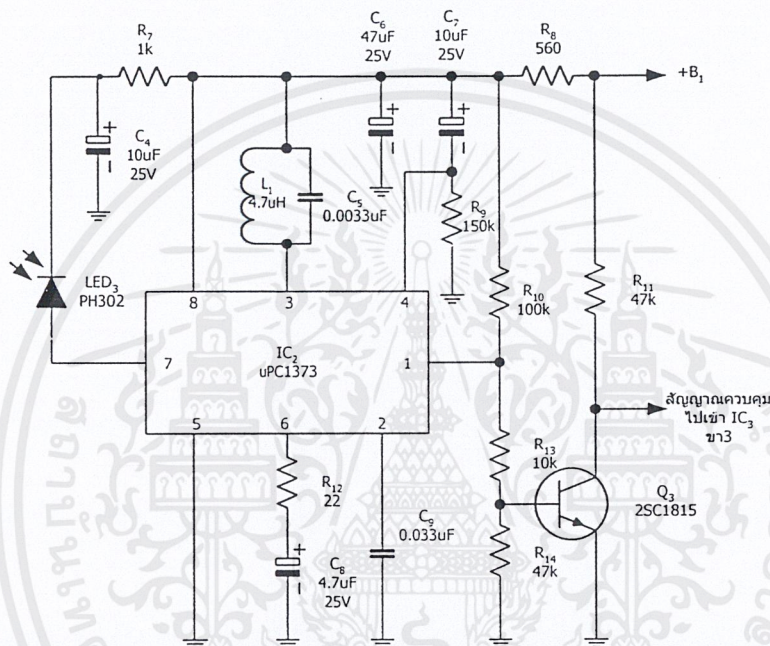
รูปที่ 4.3 วงจรภาคส่งอินฟราเรด

การทำงานของภาคส่งอินฟราเรด โดยวงจรนี้จะควบคุมการทำงานด้วยไอซีตัวเดียวคือ IC<sub>1</sub> เบอร์ M58484P ซึ่งจะเป็นตัวส่งสัญญาณพัลส์ที่เป็นความถี่ที่แตกต่างกันตามการกดปุ่มควบคุมทางอินพุตคือ ชุดแปดทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวค้นหาช่อง 1-12 ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่อง, การควบคุมช่อง ขึ้น-ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

( $CH_{UP}$  และ  $CH_{DOWN}$ ), วงจรภาคส่งอินฟราเรด จะมี คริสตัล X-TAL, เป็นตัวกำเนิดความถี่ฐานเวลาให้กับ  $IC_1$ , ความถี่ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าไปทางขา 2 และ 3 ไฟเลี้ยงวงจรเข้าที่ ขา 16 ของ  $IC_1$ , และเอาท์พุทพัลส์ความถี่ที่ได้ จะออกมาทางขา 15 ของ  $IC_1$ , ผ่านการขยายด้วยทรานซิสเตอร์  $Q_2$  และ  $Q_1$ , เพื่อขยายกระแสพัลส์ความถี่ให้กับหลอดอินฟราเรดตัว ส่ง  $LED_1$ ,  $LED_2$  ส่วน  $R_1$ ,  $R_2$  จำกัดกระแสให้กับหลอดอินฟราเรด วงจรภาคส่งนี้ใช้แรงดัน 3 โวลต์ จากถ่านไฟฉายก้อนเล็ก(AAA) ก็สามารถทำงานได้ ( $B_1$ ) มี  $C_1$  เป็นตัวกรองแรงดัน

#### 4.2.1.2 ภาครับอินฟราเรด

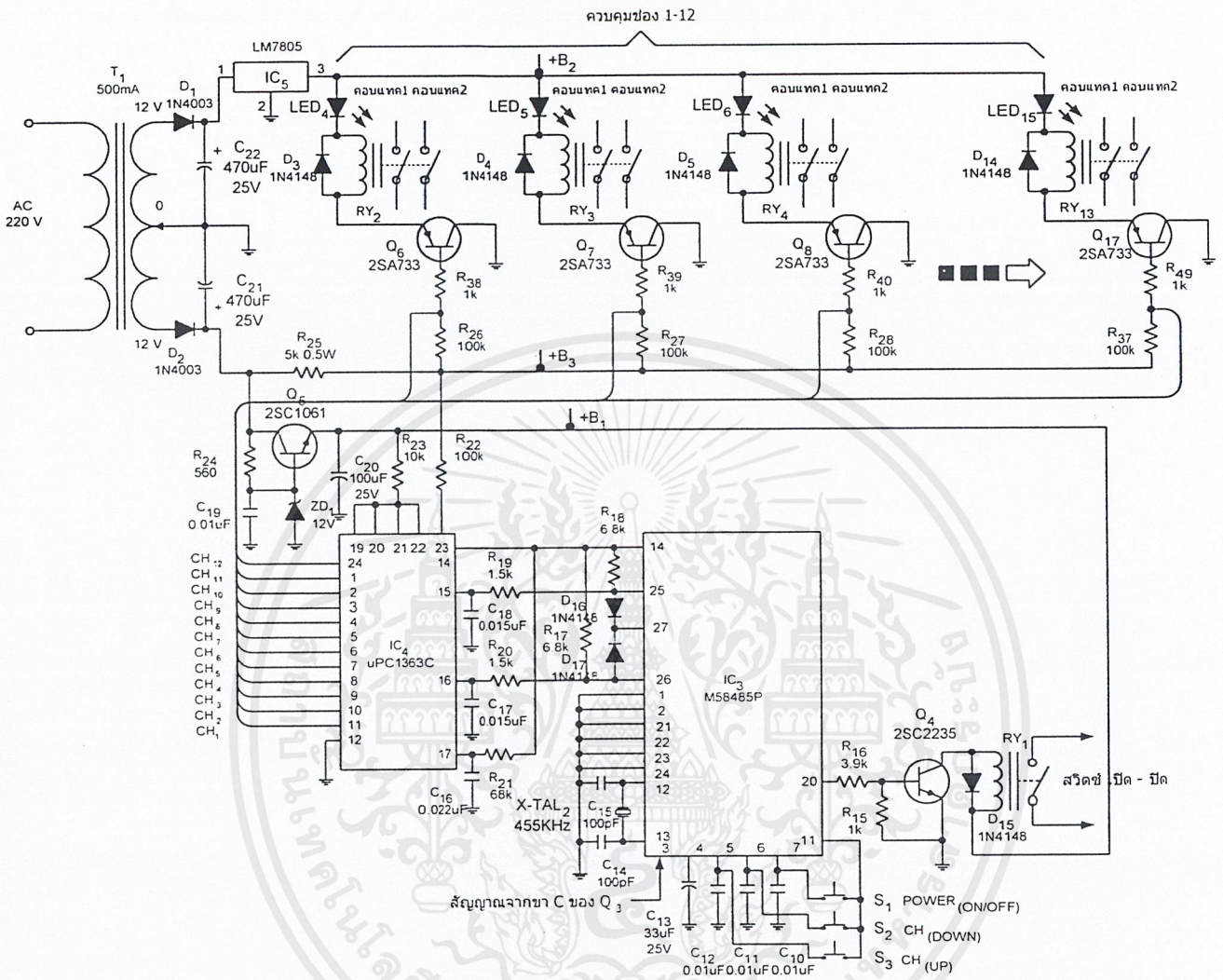


รูปที่ 4.4 วงจรภาครับอินฟราเรด

ในส่วนภาครับอินฟราเรดนั้นจะเป็นส่วนที่รับพัลส์ความถี่ที่ส่งมาในลักษณะแสงอินฟราเรด และทำการขยายพัลส์ความถี่นั้น ซึ่งทำงานโดย  $IC_2$  เบอร์ UPC1373 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นภาครับอินฟราเรด แสงอินฟราเรดที่ส่งมาจะเข้ามาที่ตัวรับ  $LED_2$ , ซึ่งเป็นตัวรับแสงอินฟราเรดสัญญาณพัลส์ความถี่จาก  $LED_2$  จะเข้าไปทำการขยายใน  $IC_2$  ที่ขา 7 โดยมี  $L_1$  และ  $C_1$  เป็นตัวปรับให้ภาคส่งกับภาครับแมตช์กัน  $R_{12}$  และ  $C_8$  เป็น R-C ขายพาส  $C_6$  เป็นตัวกรองไฟเลี้ยงวงจร และไอซีได้รับไฟเลี้ยงทางขา 8 เอาท์พุทพัลส์ความถี่ได้จากขา 1 ของ  $IC_2$  ซึ่งจะถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์  $Q_3$  โดยมี  $R_{10}$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  เป็นตัวไบแอสให้กับขาเบสของ  $Q_3$  และสัญญาณเอาท์พุทออกทางขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_3$  ไปต่อเข้ากับขา 3 ของ  $IC_3$  ในภาคควบคุมต่อไป แรงดันไฟเลี้ยงวงจรภาครับได้มาจากแรงดันไฟ + $B_1$  จากภาคควบคุม โดยมี  $R_6$  เป็นตัวจำกัดกระแสเลี้ยงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ภาคควบคุม



รูปที่ 4.5 วงจรภาคควบคุมและขับรีเลย์ควบคุม

ส่วนวงจรถามควบคุมนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเป็นส่วนถอดรหัสและขับรีเลย์เพื่อควบคุมช่องเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม ในส่วนควบคุมนี้จะขอกกล่าวถึงภาคเพาเวอร์ซัพพลายก่อนอันดับแรก เพราะจะมีอยู่หลายชุดด้วยกันที่ต้องจ่ายออกไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของวงจร ซึ่งก็เริ่มโดยที่หม้อแปลง  $T_1$  เป็นตัวลดแรงดัน 220 โวลต์ลงมาเหลือ 12 โวลต์ และจะแยกออกเป็น 2 ชุด คือ จ่ายไฟ 5 โวลต์ ได้จาก  $IC_5$  เพื่อเลี้ยงตัวรีเลย์  $RY_2-RY_{17}$  โดย  $D_1$  และ  $C_{22}$  เป็นตัวกรองแรงดันให้เรียบขึ้นซึ่งแรงดันไฟที่ได้จาก  $IC_5$  เรียกว่า  $+B_2$  และอีกชุดหนึ่งคือ แรงดันไฟ 12 โวลต์ ได้จาก  $D_2$  และมี  $C_{21}$  เป็นตัวกรองไฟให้เรียบ โดยมี  $R_{25}$  เป็นตัวจำกัดกระแสเพื่อไปแอสกับขามเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_5-Q_{17}$  ซึ่งแรงดันไฟ 12 โวลต์ ที่ได้จากเซตนี้เรียกว่า แรงดันไฟ  $+B_3$  และขณะเดียวกันแรงดันไฟจาก  $D_2$   $C_{21}$  นี้ก็จะถูกแยกมาทำการเรกูเลตแรงดันไฟให้เรียบและคงที่ยิ่งขึ้น โดยทรานซิสเตอร์  $Q_5$ ,  $ZD_1$ ,  $R_{24}$  โดยมี  $C_{20}$  เป็นตัวกรองไฟให้เรียบ  $Q_5$  จะทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

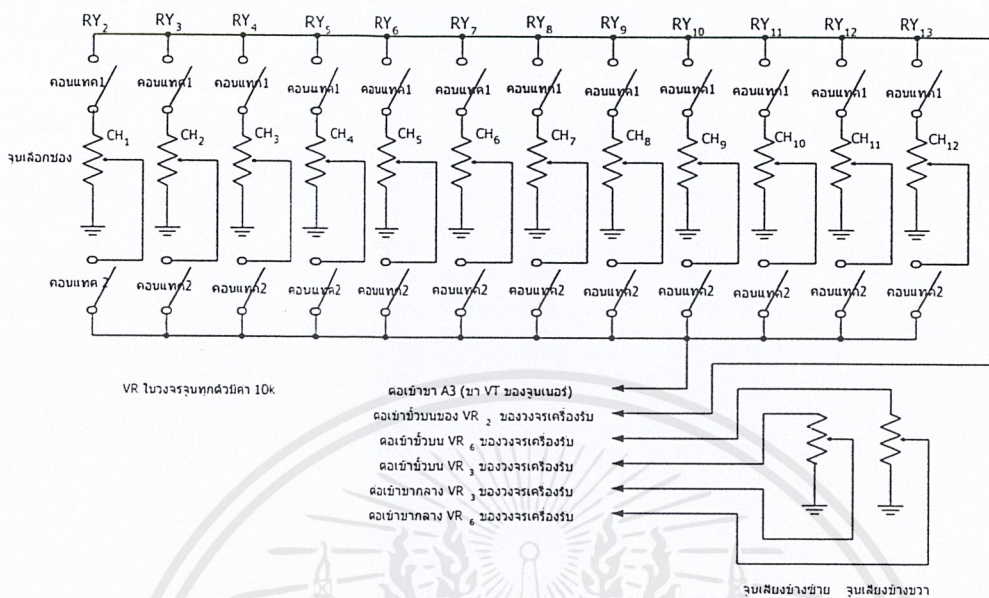
ที่ขยายกระแสและจำกัดกระแสไว้ที่ค่าหนึ่ง เพื่อจ่ายไปเลี้ยงวงจรในส่วนต่างๆ โดยมีซีเนอร์ไดโอด  $ZD_1$  เป็นตัวรักษาระดับแรงดันไฟ 12 โวลต์ ให้คงที่และแรงดันไฟที่ได้จากจุดนี้เรียกว่า แรงดันไฟ  $+B$ , เหตุที่ต้องแยกเพาเวอร์ซัพพลายออกเป็น 3 ชุด ก็เพื่อป้องกันผลอันเนื่องมาจากการทำงานของรีเลย์ ซึ่งจะต้องการกระแสมากอาจทำให้แรงดันไฟตกได้ และจะกระทบกระเทือนกับการทำงานของวงจรในส่วนอื่น

สัญญาณอินฟราเรดที่ถูกขยายแล้วจากภาครับอินฟราเรด ( $IC_2$ ) ที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_3$  นั้น จะถูกส่งมาเข้าที่ขาสัญญาณอินพุทขา 3 ของ  $IC_3$  เบอร์ MS8485P ซึ่งเป็นไอซีเข้ารหัสและควบคุมส่วนต่างๆ ของภาคควบคุม เมื่อสัญญาณอินพุทเข้ามาแล้ว การที่จะถอดรหัสได้ต้องมีความถี่ฐานเวลาเท่ากันหรือตรงกัน ก็ต้องอาศัยการควบคุมจากคริสตอล X-TAL<sub>2</sub> ความถี่ 455 กิโลเฮิรตซ์ ที่ขา 12, 13 ของ  $IC_3$  และสัญญาณถอดรหัสของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจะถูกส่งออกจาก  $IC_3$  ออกไปทางขา 25, 26 ไปเข้าขา 15 และ 16 ของ  $IC_4$  โดยมี  $R_{17}$ ,  $R_{18}$ ,  $R_{19}$ ,  $R_{20}$  เป็นตัวไบแอส และสัญญาณพัลส์ความถี่ที่ถูกถอดรหัสแล้วจะออกไปทางขา 1- ขา 11 และขา 24 ซึ่งจะต่อไปควบคุมการเลือกช่องของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมช่อง 1-12 แบบสลับสับ การสแกนช่องจะเป็นแบบเรียงไปตั้งแต่ช่อง 1 จนถึงช่อง 12 และจะวนใหม่

สัญญาณควบคุมช่องเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ได้จาก  $IC_4$  ทั้ง 12 ช่องนั้นจะไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์  $Q_6$ - $Q_{17}$  ซึ่งทรานซิสเตอร์เหล่านี้จะได้รับแรงดันไฟในลักษณะพัลส์จาก  $IC_4$  มา ไบแอสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์เหล่านี้ เพื่อให้เกิดการขับรีเลย์ให้ทำงาน และหน้าสัมผัสรีเลย์  $RY_2$ - $RY_{13}$  นั้น จะไปต่อแทนสวิตช์คเปลี่ยนช่องในเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เมื่อรีเลย์  $RY_2$ - $RY_{13}$  ทำงานนั้น จะมีไดโอด  $D_3$ - $D_{14}$  ค่อยขนานรีเลย์อยู่ เพื่อป้องกันกระแสย้อนกลับจากขดลวดคอยล์รีเลย์  $R_{38}$ - $R_{49}$  และ  $R_{26}$ - $R_{37}$  เป็นตัวต้านทาน ไบแอสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ และยังมี  $LED_4$ - $LED_{15}$  ต่ออนุกรมกับรีเลย์เป็นตัวแสดงช่องโดยจะต่อออกมาติดไว้ที่ด้านหน้าของเครื่องรับและเขียนหมายเลข  $CH_1$ - $CH_{12}$  กำกับตามลำดับ นอกจากการเปลี่ยนช่อง การเปิด-ปิด เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจะได้รับการครีโมท แล้วการเปลี่ยนช่อง การเปิด-ปิด ที่ตัวเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมโดยไม่ใช้รีโมท ก็สามารถทำได้ เพราะที่ขา 5, 6, 7 และ 11 ของ  $IC_3$  นั้นจะใช้ควบคุมสวิตช์เพาเวอร์ของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมและการเลือกช่องสถานีขึ้น-ลง แบบเรียงลำดับไปเรื่อยๆ โดยการควบคุมที่สวิตช์  $S_1$ - $S_3$  ตามลำดับโดยสวิตช์นี้จะติดอยู่ที่ตัวเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

#### 4.2.2 วงจรจูน

วงจรจูนของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในโครงงานนี้มีลักษณะดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรจูนของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

หลักการต่อชุดรีโมทร่วมกับวงจรถ่ายส่งและชุดเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมโดยการนำวงจรถ่ายส่งต่อเข้ากับวงจรถ่ายส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมการต่อขึ้นเราจะ ถอด VR<sub>2</sub>, VR<sub>3</sub>, VR<sub>6</sub> ออกแล้วนำวงจรถ่ายส่งเข้าไปต่อแทนตามที่บอกไว้ในวงจรถ่ายส่งว่าขาไหนเข้ากับส่วนไหนของเครื่องรับ และในส่วนของวงจรถ่ายส่งต่อเข้ากับชุดรีโมทโดยจะมีการต่อดังนี้ คอนแทก 1 คอนแทก 2 ของ RY<sub>1</sub> ในวงจรถ่ายส่ง (รูปที่ 4.6) นำไปต่อเข้ากับคอนแทก 1 คอนแทก 2 ของ RY<sub>1</sub> ในวงจรถ่ายส่งและวงจรถ่ายส่งรีเลย์ควบคุม (รูปที่ 4.5) ให้ตรงกัน ส่วนช่องอื่นๆ ก็ต่อเหมือนกันเรียงกันไปจนครบ 12 ช่อง ส่วนกราวด์ในวงจรถ่ายส่งและวงจรถ่ายส่งจะต่อรวมกัน และในส่วนของสวิตช์ เปิด - ปิด เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเราจะใช้ RY<sub>1</sub> แทนสวิตช์ เปิด - ปิด ธรรมดา การต่อขึ้นใช้ คอนแทกของ RY<sub>1</sub> (รูปที่ 4.5) มาต่อแทนสวิตช์ธรรมดา

#### 4.3 การปรับแต่งและการใช้งานเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเมื่อต่อร่วมกับชุดรีโมทคอนโทรล

เมื่อเราต่อวงจรถ่ายส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมร่วมกับวงจรถ่ายส่งและชุดวงจรถ่ายส่งรีโมทคอนโทรลเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเราก็นำเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมไปต่อรับสัญญาณจากจานดาวเทียมและต่อเครื่องรับเข้ากับโทรทัศน์ทางช่อง AV เปิดโทรทัศน์ ช่อง AV ให้เรียบร้อย แล้วเปิดเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมโดยการเปิดจะเปิดที่ตัวเครื่องรับหรือที่ตัวรีโมทก็ได้ เมื่อเปิดเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเรียบร้อยแล้วต่อไปก็ลองกดเปลี่ยนช่องดูที่ตัวเครื่องรับหรือที่ตัวรีโมทว่าสามารถกดเปลี่ยนช่องได้หรือเปล่าถ้าเปลี่ยนได้ ต่อไปก็ให้กดช่อง 1 แล้วทำการจูนจูนรับสัญญาณภาพจากดาวเทียมได้ชัดเจน หลังจากนั้นก็ไปจูนเสียงทั้งข้างซ้าย และข้างขวา จนได้เสียงที่ชัดเจนต่อไปก็กดช่อง 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจูนจูนรับสัญญาณภาพจากดาวเทียมได้ชัดเจน(สัญญาณภาพช่องใหม่)ส่วนสัญญาณเสียงจะจูนแค่ครั้งเดียว เพราะความถี่ที่ส่งมาจากดาวเทียมทุกช่องจะใช้ความถี่แคเรียร์เสียงเท่ากันทุกช่องในโครงการนี้ ความถี่เสียงเท่ากับ 6.60 MHz การจูนและตั้งช่องนั้น เราจะทำแบบเดียวกันจนครบทุกช่องของสัญญาณดาวเทียมที่จะรับได้ เมื่อเราตั้งช่องไว้เรียบร้อยแล้วต่อไปเราสามารถเปลี่ยนช่องจากตัวรีโมท หรือ จากตัวเครื่องรับได้อย่างสะดวก

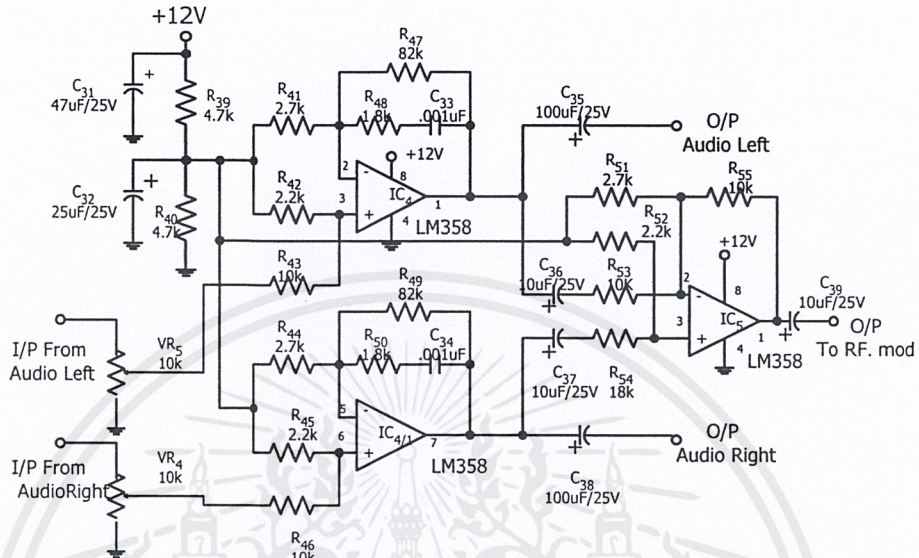


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

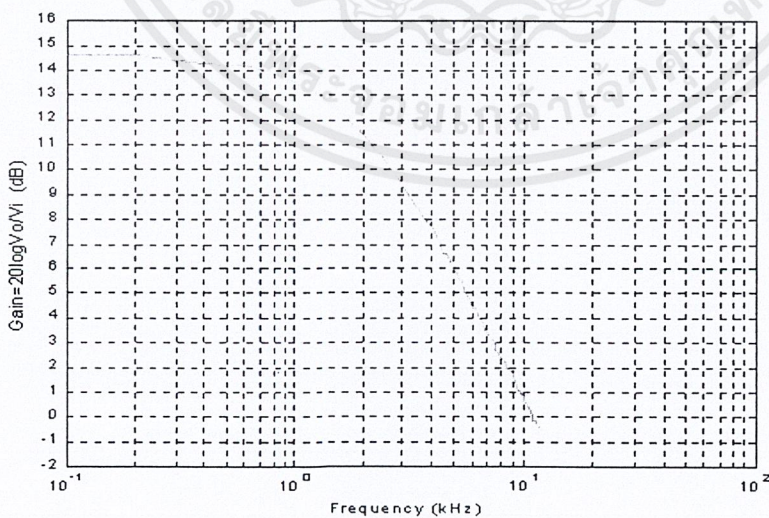
ผลการทดลอง

5.1 วงจรขยายสัญญาณเสียง



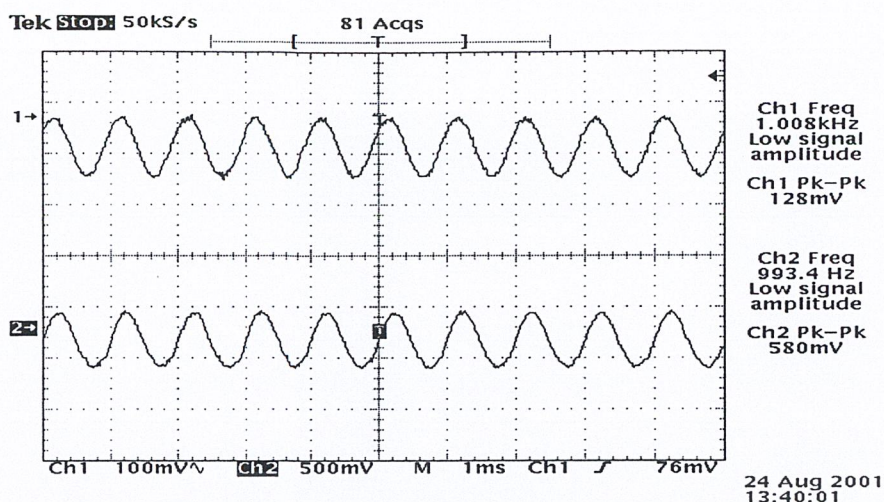
รูปที่ 5.1 วงจรขยายสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 5.1 ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณ Sine Wave ความถี่ 100 Hz -12KHz ขนาด 130 mV เข้าที่ขา กลาง ของ VR<sub>4</sub> , VR<sub>5</sub> แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด O/P Audio Right O/P Audio Left O/P To RF-mod สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ของแต่ละจุดจะมีค่าเอาต์พุตใกล้เคียงกันจึงนำเอาสัญญาณเอาต์พุตเพียงจุดเดียวนำไปพล็อตกราฟที่ความถี่ต่างๆ จะได้อัตรการขยายดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 รูปกราฟแสดงอัตรการขยายที่ความถี่ต่างๆของวงจรขยายสัญญาณเสียง

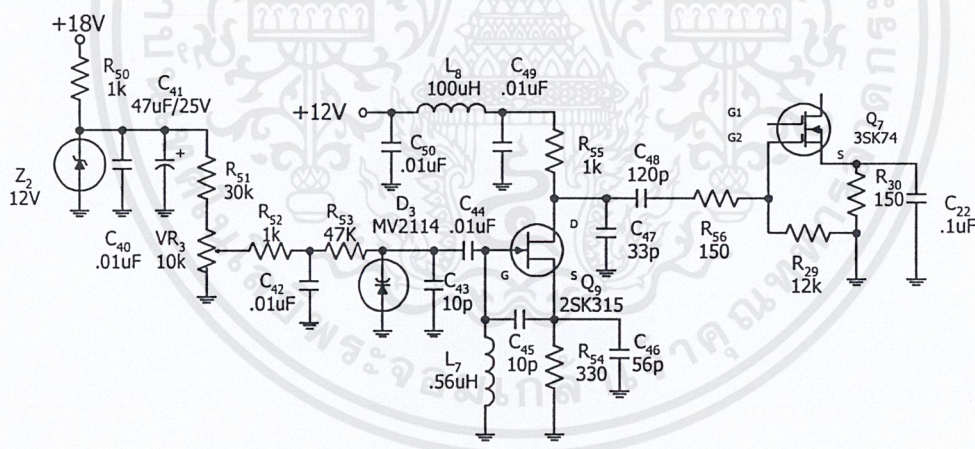
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปตัวอย่างแสดงสัญญาณอินพุต (CH1) และสัญญาณเอาต์พุต(CH2)ของวงจรขยายเสียง

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำๆนั้นมันจะขยายสัญญาณ ได้ดีกว่าที่ความถี่สูงๆซึ่งในโครงการนี้ถือว่ามีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณเสียงเพราะสัญญาณเสียงจากเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมส่วนใหญ่จะเป็นเสียงพูด แต่ที่ความถี่สูงกว่านี้มันก็ยังขยายได้

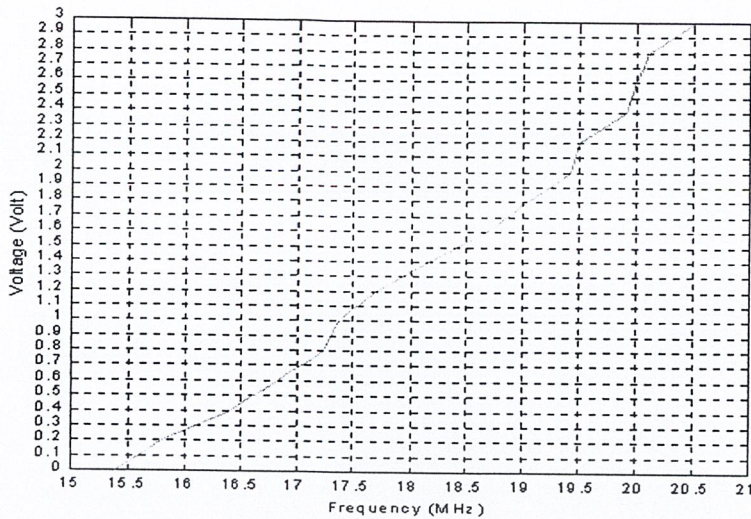
5.2 วงจร VCO



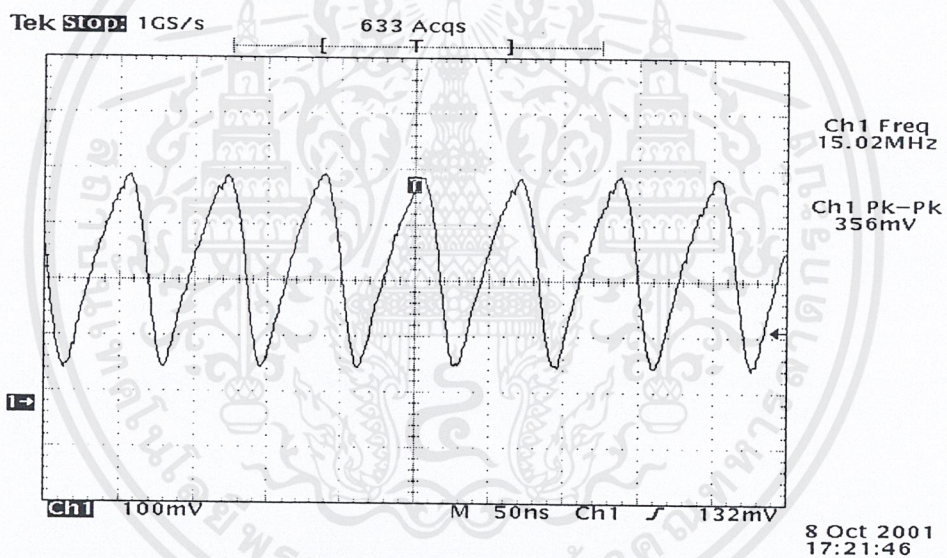
รูปที่ 5.4 วงจร VCO

จากรูปที่ 5.4 ทำการทดลองโดยปรับโวลต์เดจที่ป้อนให้กับวงจรVCO โดยปรับที่ขา VR<sub>3</sub>โวลต์เดจตั้งแต่ 0-3 V แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา G2 ของ Q<sub>7</sub> แล้วนำโวลต์เดจที่ป้อนเข้าไปและความถี่ที่ผลิตออกมา นำไปพล็อตกราฟจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 รูปกราฟแสดงความถี่ของวงจร VCO ที่โวลต์เดจค่าต่างๆ

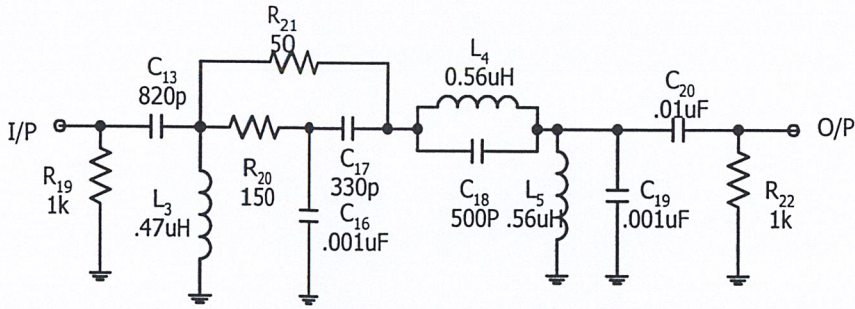


รูปที่ 5.6 รูปตัวอย่างแสดงสัญญาณที่วงจร VCO ผลิตออกมา

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อเราเพิ่มโวลต์เดจให้กับวงจร VCO เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความถี่เอาท์พุทที่ผลิตออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากกราฟความถี่ที่ได้จากการปรับ VCO จะอยู่ในช่วง 15 - 20MHz ซึ่งความถี่นี้มันครอบคลุมความถี่แคร์เรียเสียงที่เข้ามาได้ทั้งหมดความถี่แคร์เรียเสียงของสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่เข้ามาจะอยู่ในช่วง 5-8 MHz ซึ่ง VCO ต้องสร้างความถี่ให้สูงกว่าที่รับเข้ามา 10.7MHz

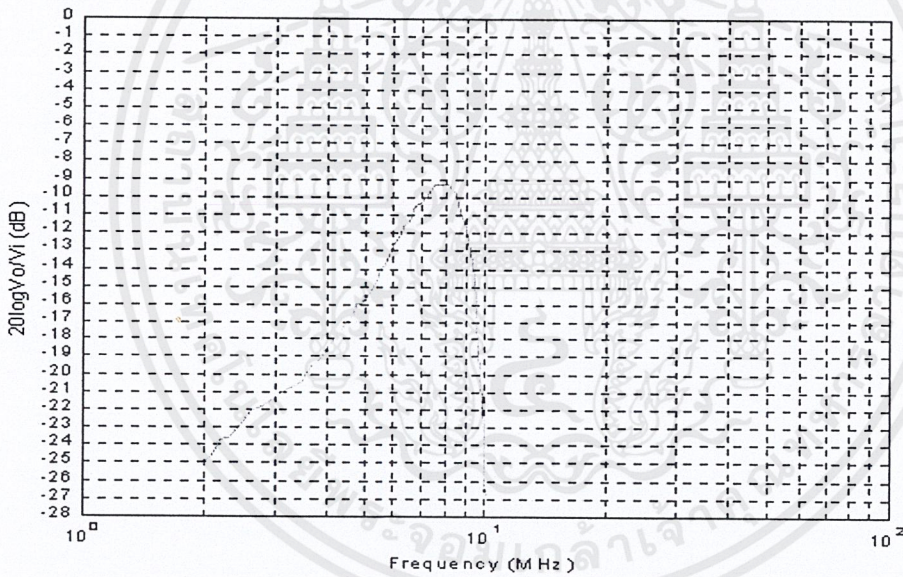
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์



รูปที่ 5.7 รูปวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

จากรูปที่ 5.7 ทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave ความถี่ 2-10MHz ขนาด  $500\text{mV}_{\text{p-p}}$  เข้าที่จุด I/P แล้ววัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด O/P แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.8



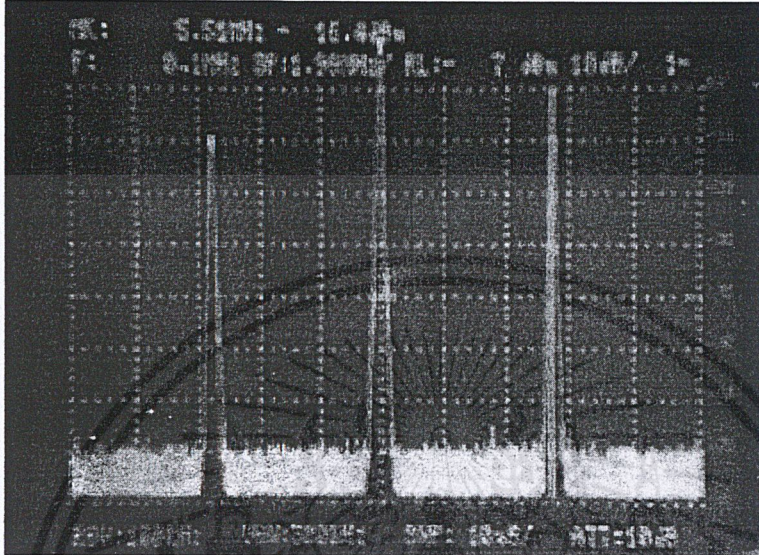
รูปที่ 5.8 รูปกราฟแสดงผลตอบสนองของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าเมื่อเราขีดเส้นที่ระดับต่ำลงมา 6dB จากค่าสูงสุด จะได้ความถี่คัทออฟ อยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 5-9.5 MHz

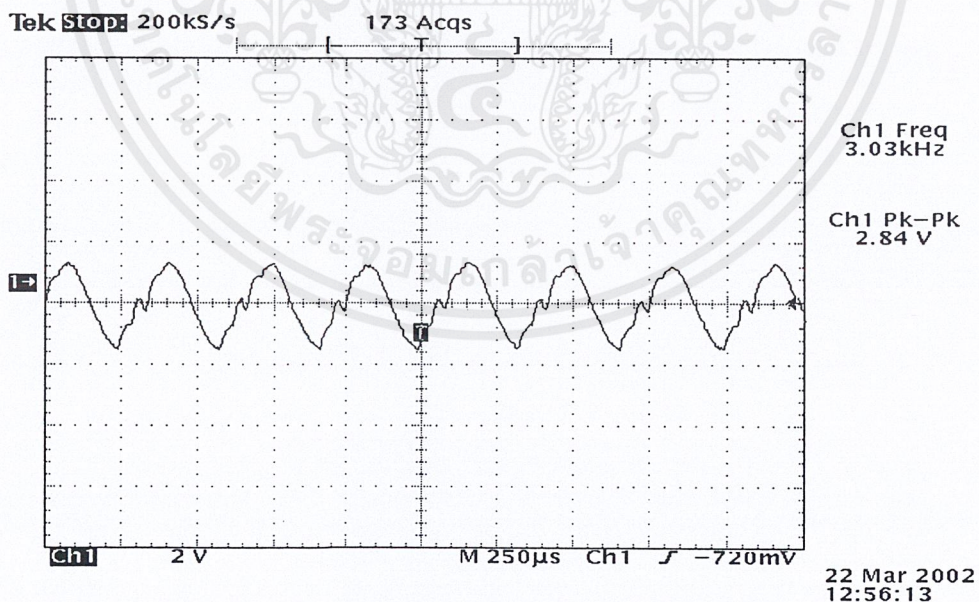
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 วงจร มิกเซอร์ เซรามิกฟิลเตอร์ ดีเทคเตอร์ แอมพลิฟายเออร์

การทดลองคือป้อนสัญญาณ FM-MOD แคร่เรีย 5.5 MHz สัญญาณข่าวสารแทนด้วย SineWave 3 KHz ขนาด 232 mVp-p ดังรูปที่ 5.9 ป้อนเข้าที่ขา G2 ของวงจรมิกเซอร์ (รูปที่ 3.18) แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา Audio Output จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11

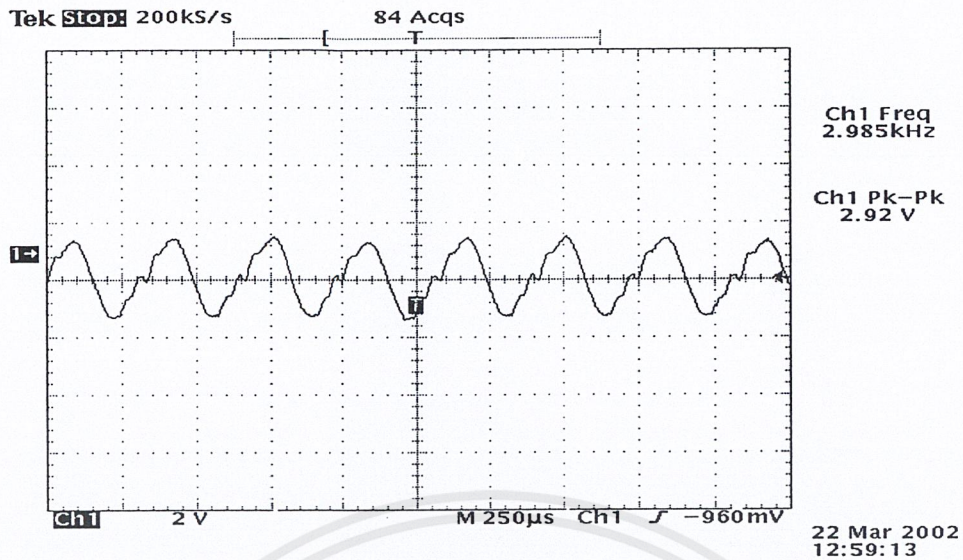


รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณ FM-MOD ความถี่แคร่เรีย 5.5MHz ความถี่ข่าวสาร Sine Wave 3 KHz



รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณเอาต์พุต Sine Wave 3 KHz วัดที่ขา Audio Output Left

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 รูปสัญญาณเอาต์พุต Sine Wave 3 KHz วัดที่ขา Audio Output Right

จากรูปผลการทดลองจะเห็นว่าวงจรนี้สามารถทำงานได้ทั้งหมดตั้งแต่ มิกเซอร์จนถึงแอมพลิฟายเออร์ เพราะว่าสามารถแยกสัญญาณข่าวสารออกจากแคร์เรียร์ได้ และยังสามารถขยายสัญญาณให้มีความแรงมากขึ้นได้

#### 5.5 วงจรภาคควบคุม

การทดลองโดยการกดช่องที่ตัวเครื่องรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมหรือที่ตัวรีโมทคอนโทรลแล้ววัดแรงดันที่ขา 1-11 และขา 24 ของ IC<sub>4</sub> และวัดแรงดันที่ขา 20 ของ IC<sub>3</sub> จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงแรงดันที่ขาต่างๆของ IC<sub>3</sub> และ IC<sub>4</sub> เมื่อกดสวิทช์เลือกช่องและกดสวิทช์เพาเวอร์

เอาต์พุต กดสวิทช์	เอาต์พุต											
	ขา1	ขา2	ขา3	ขา4	ขา5	ขา6	ขา7	ขา8	ขา9	ขา10	ขา11	ขา24
ช่อง1	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V
ช่อง2	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V
ช่อง3	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V
ช่อง4	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V
ช่อง5	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง6	12V	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง7	12V	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

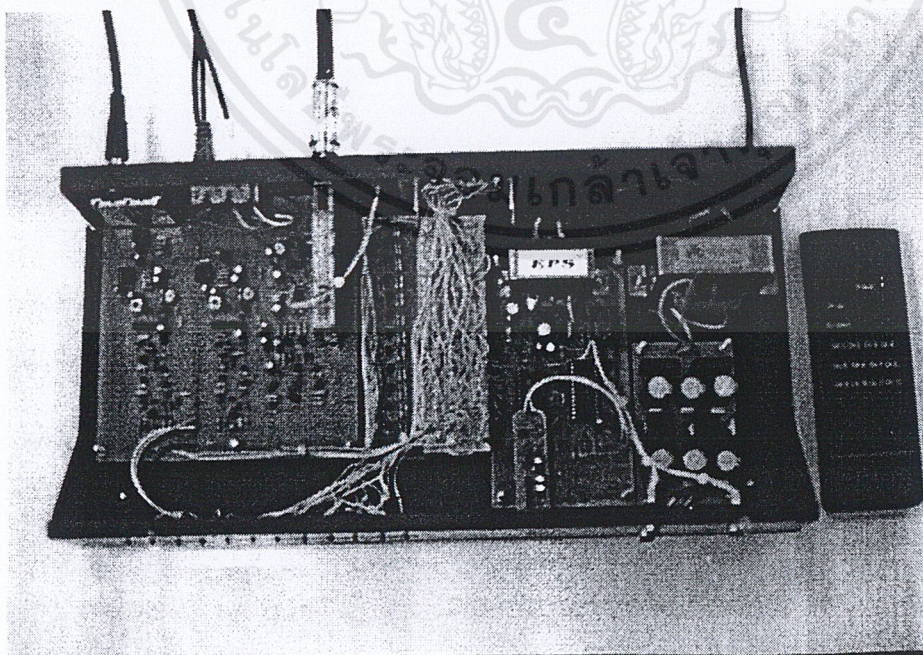
กดสวิตช์ \ เอาท์พุท	เอาท์พุท											
	ขา1	ขา2	ขา3	ขา4	ขา5	ขา6	ขา7	ขา8	ขา9	ขา 10	ขา 11	ขา 24
ช่อง8	12V	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง9	12V	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง10	12V	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง11	0V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V
ช่อง12	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	12V	0V

กดสวิตช์เฟาเวอร์	เอาท์พุท ขา20
เปิด	12 V
ปิด	0 V

จากตารางจะเห็นว่าเมื่อกดช่องก็จะมีแรงดันเป็น 0V และ 12 V ออกที่ขา 1-11 และขา 24 ของ IC<sub>4</sub> ซึ่งแรงดันที่ขาต่างๆนี้เองเป็นแรงดันที่ไปควบคุมการเปลี่ยนช่อง จากผลการทดลองมันจะทำงานเมื่อแรงดันเป็น 0V จากตารางจะเห็นว่าเมื่อกดเลือกช่องจะมีแรงดันเป็น 0 V เพียงขาเดียวเท่านั้น

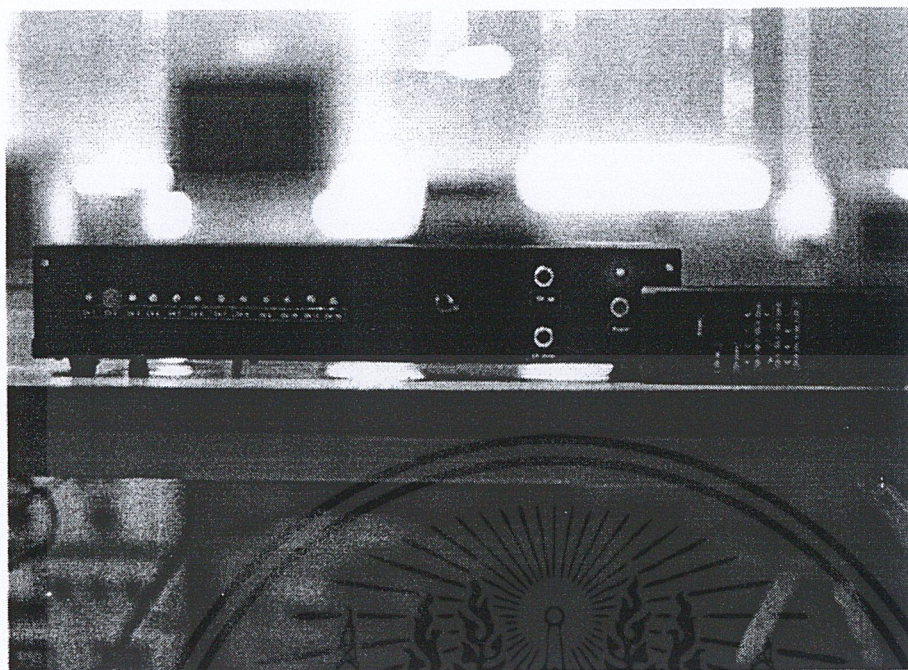
ส่วนการกดสวิตช์เปิด-ปิด นั้น เมื่อเปิดแรงดันที่ขา 20 ของ IC<sub>3</sub> เป็น 12 V เมื่อปิด แรงดันที่ ขา 20 ของ IC<sub>3</sub> เป็น 0 V

#### 5.6 รูปเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมและการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ

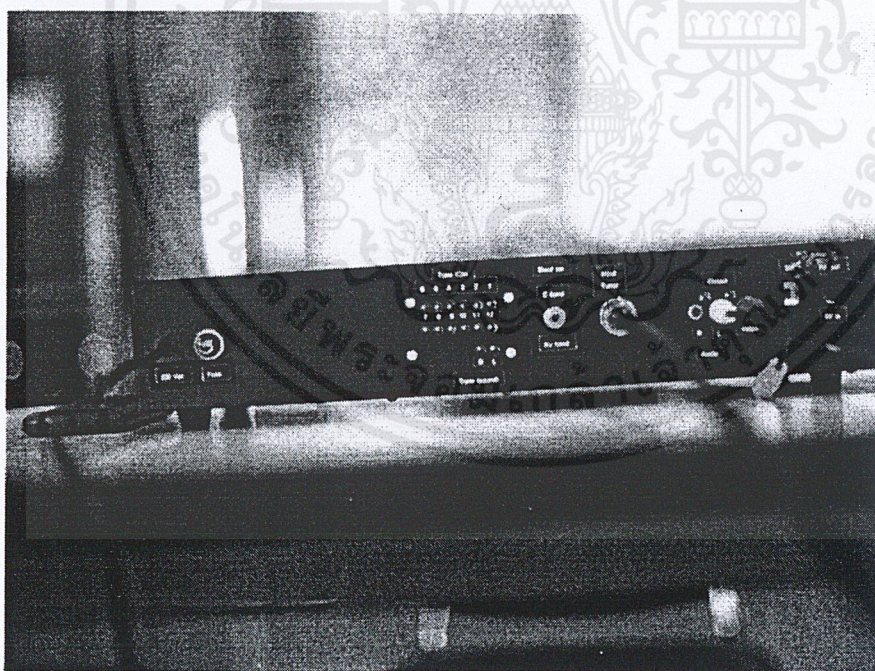


ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ด้านหน้า



ด้านหลัง

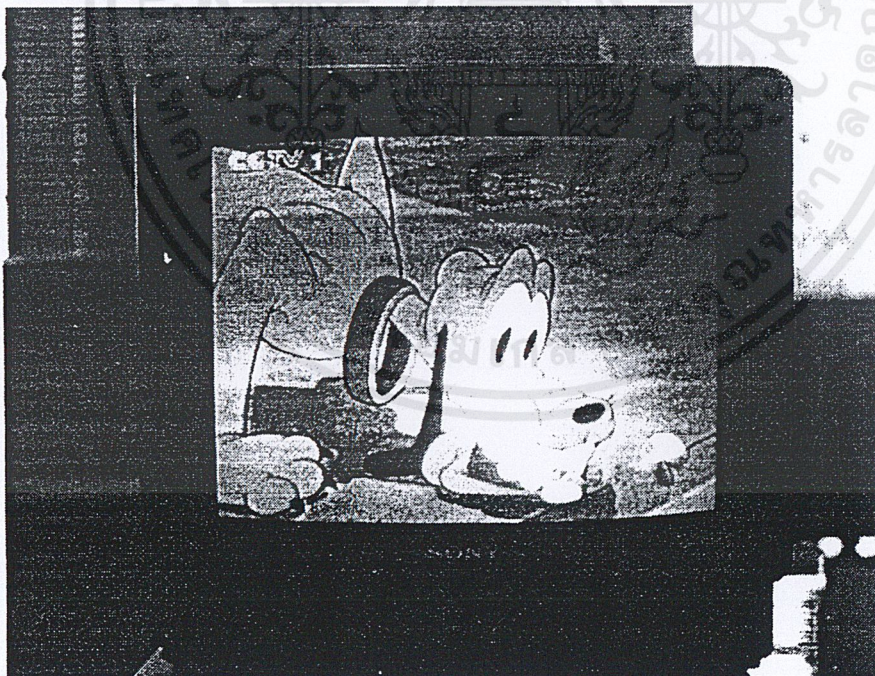
รูปที่ 5.12 เป็นรูปเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ประกอบสำเร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมนั้นเราจะทดลองรับสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียม APSTAR 1A ซึ่งสามารถรับช่องต่างๆได้ดังตารางที่ 5.2

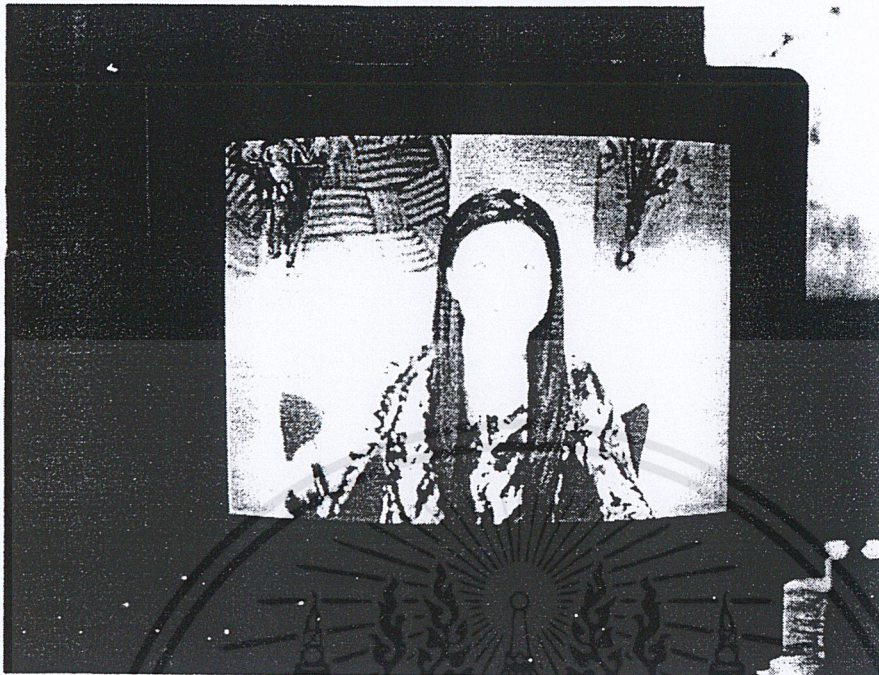
ดาวเทียม	รายการ	ประเทศ	ประเภทรายการ	ความถี่ภาพ RF	ความถี่ภาพ IF	ความถี่เสียง (MHz)
APSTAR 1A 134.0 °E	CDTV-SD	จีน	การศึกษา	V-3820	V-1330	6.60
	CCTV-1	จีน	ข่าว,บันเทิง	V-3860	V-1290	6.60
	CETV-1	จีน	การศึกษา	V-3980	V-1170	6.60
	ZTV	จีน	บันเทิง	V-4020	V-1130	6.60
	SDTV	จีน	บันเทิง	V-4100	V-1050	6.60
	CCTV-2	จีน	ข่าว,บันเทิง	V-4180	V-970	6.60

ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับช่องรายการของดาวเทียม APSTAR 1A ที่สามารถรับได้

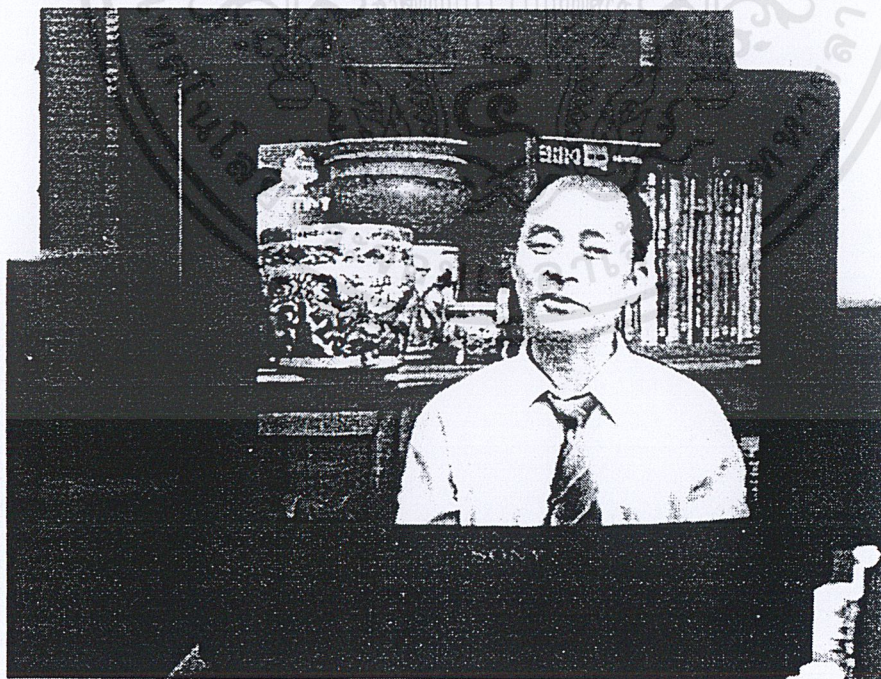


รูปที่ 5.13 รูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-1ทางช่อง AV

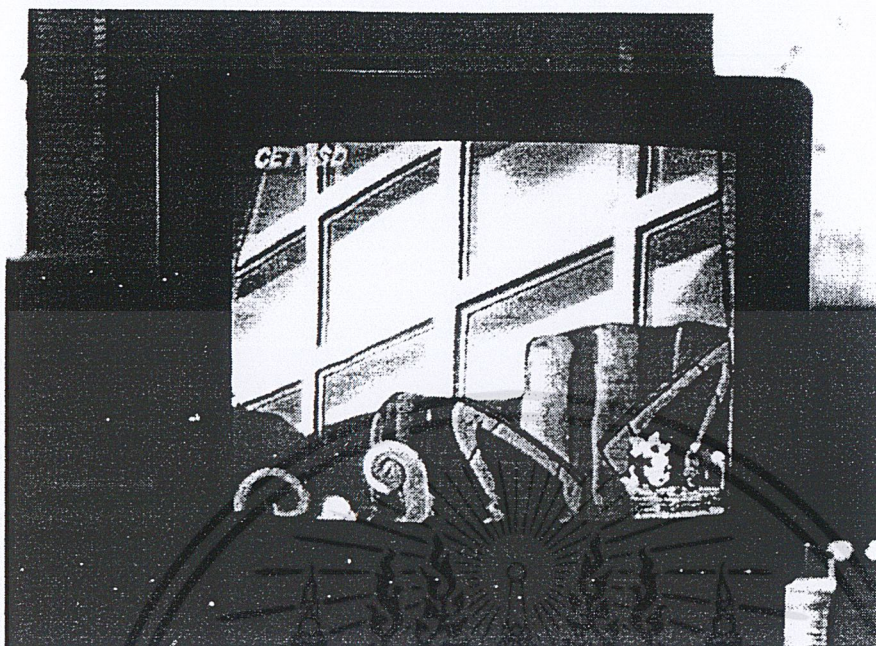
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 เป็นรูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-2 ทางช่อง AV



รูปที่ 5.15 เป็นรูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-1 ทางช่อง AV  
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวินโสภาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 เป็นรูปสัญลักษณ์ภาพที่รับได้จากช่อง CDTV-SD ทางช่อง AV



รูปที่ 5.17 เป็นรูปสัญลักษณ์ภาพที่รับได้จากช่อง ZTV ทางช่อง AV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



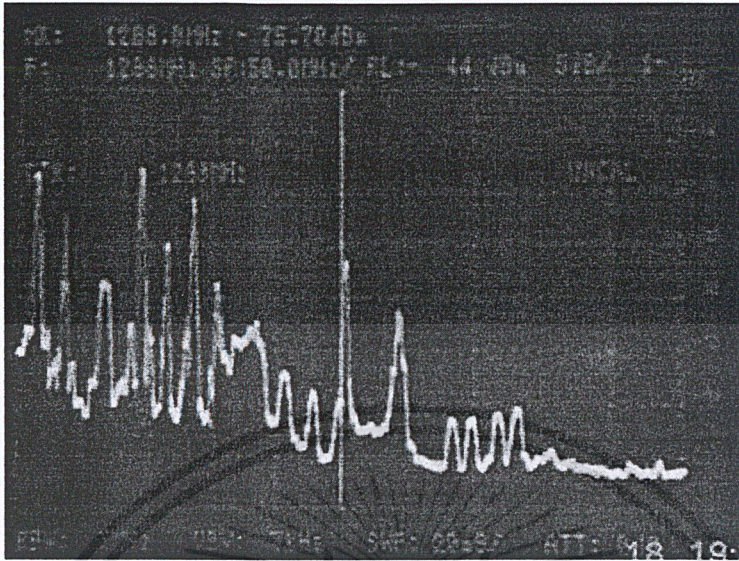
รูปที่ 5.18 เป็นรูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง SDTV ทางช่อง AV



รูปที่ 5.19 เป็นรูปสัญญาณภาพที่รับได้จากช่อง CCTV-1 ทาง RF - MOD

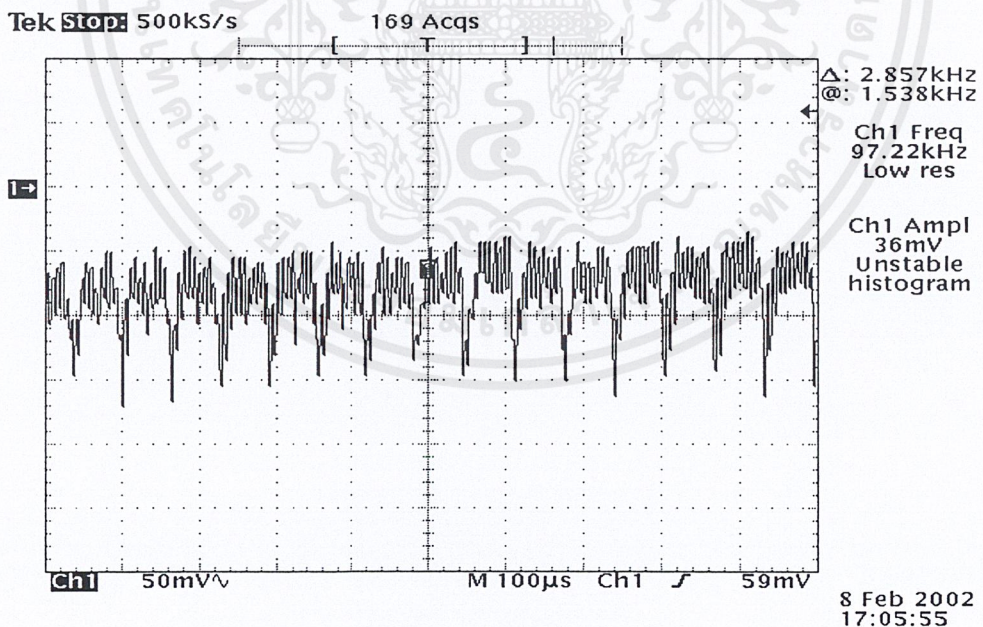
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมรูปที่ 3.18 ได้ดังนี้



รูปที่ 5.20 รูปสัญญาณที่ได้จาก LNB

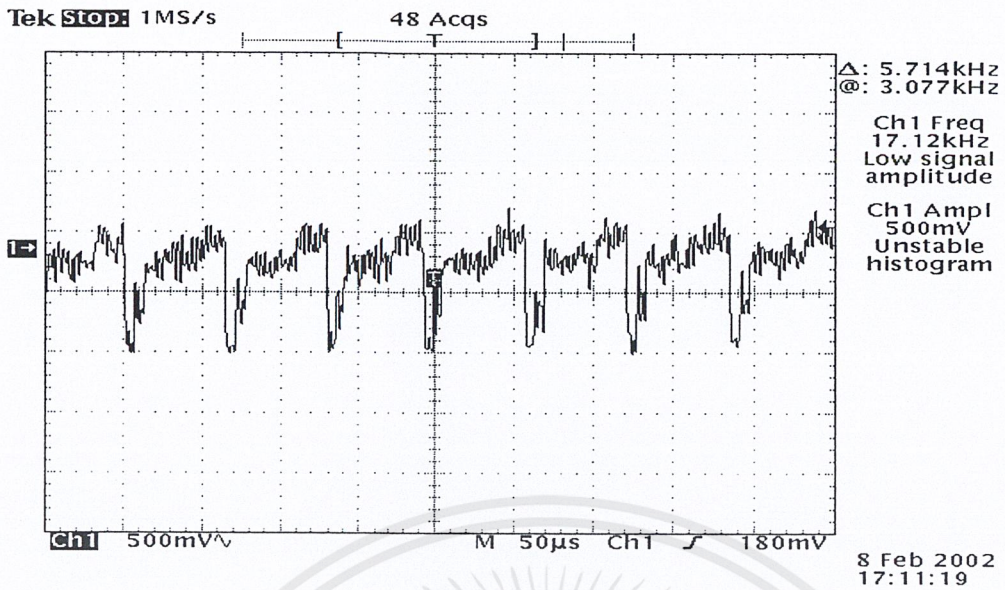
จากรูปที่ 5.20 จะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณจาก LNB จะอยู่ในช่วง 950 – 1450MHz ซึ่งเป็นความถี่ของย่านซีแบนด์ที่ถูกลดความถี่ลงมา



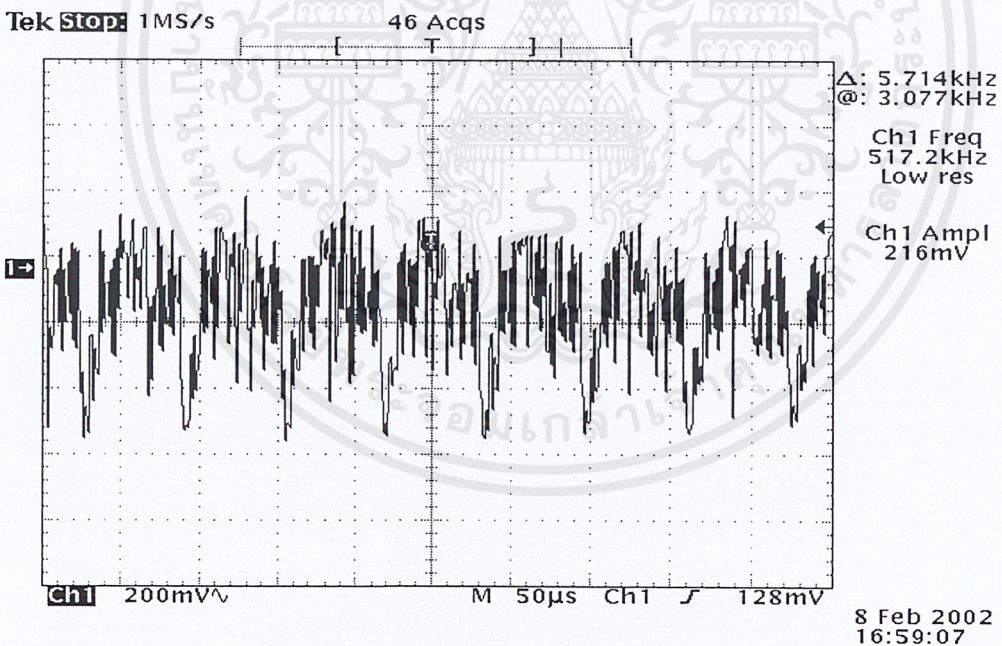
รูปที่ 5.21 รูปสัญญาณที่ขา1 ของIC<sub>1</sub>

จากรูปที่ 5.21 นี้เป็นสัญญาณภาพที่ผ่านวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์แล้วซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 0-5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.22 รูปสัญญาณที่ขา 17 ของ IC<sub>1</sub>

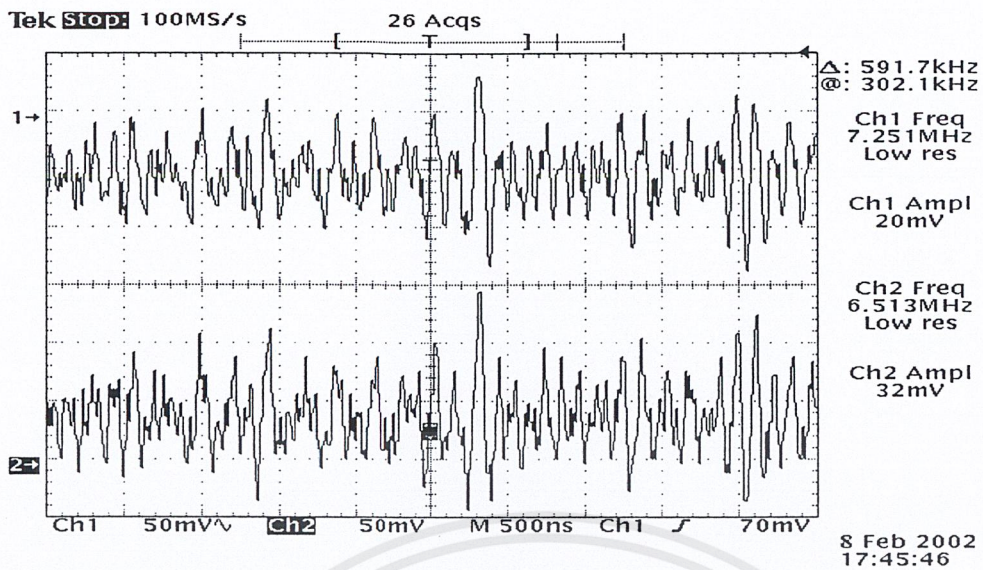
จากรูปที่ 5.22 เป็นสัญญาณภาพที่ผ่าน IC ขยายให้มีความแรงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.23 รูปสัญญาณที่จุด Video Output

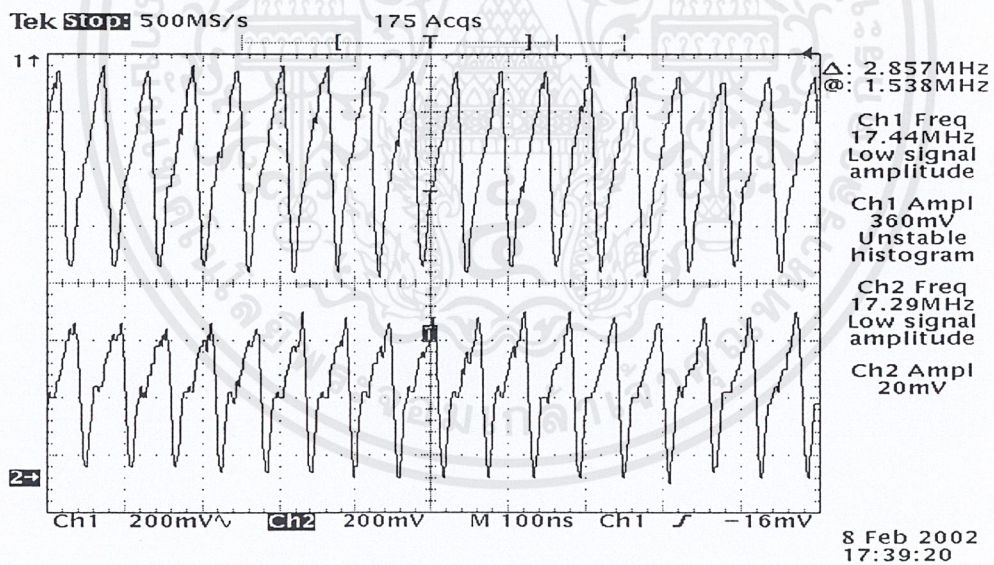
จากรูปที่ 5.23 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของสัญญาณภาพความถี่จะคงอยู่ในช่วง 0 – 5MHz พร้อมทั้งจะต่อเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 รูปสัญญาณที่ขา G1 ของ  $Q_7$  (CH1 ซีกซ้าย) และที่ขา G1 ของ  $Q_{11}$  (CH2 ซีกขวา)

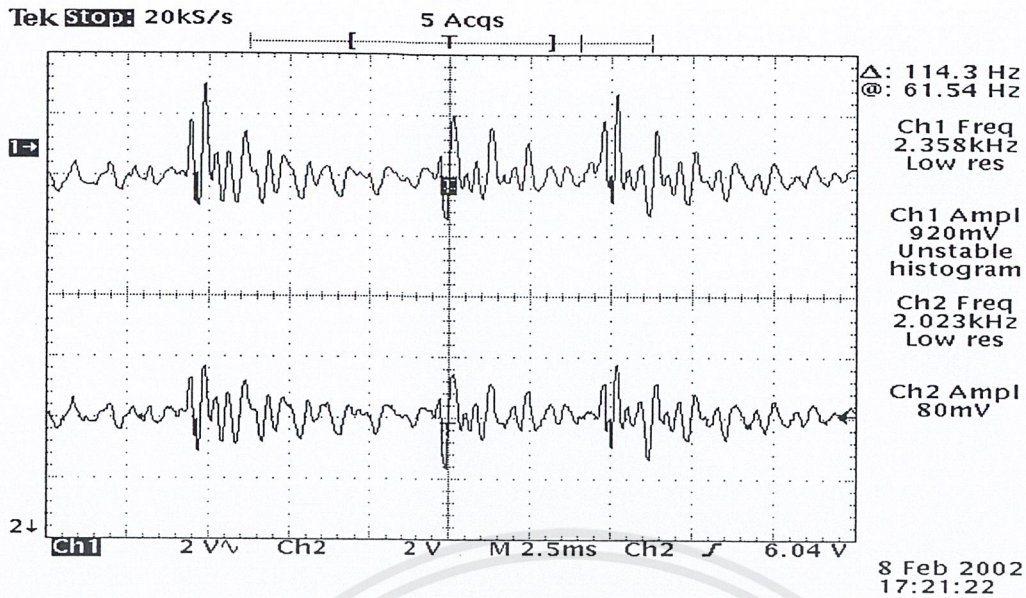
จากรูปที่ 5.24 เป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์แล้วพร้อมที่จะส่งเข้าวงจรมิกเซอร์ ความถี่จะอยู่ในช่วง 5 – 8MHz ซึ่งเป็นความถี่แคร์เรียของสัญญาณเสียง



รูปที่ 5.25 รูปสัญญาณที่ขา G2 ของ  $Q_7$  (CH1 ซีกซ้าย) และที่ขา G2 ของ  $Q_{11}$  (CH2 ซีกขวา)

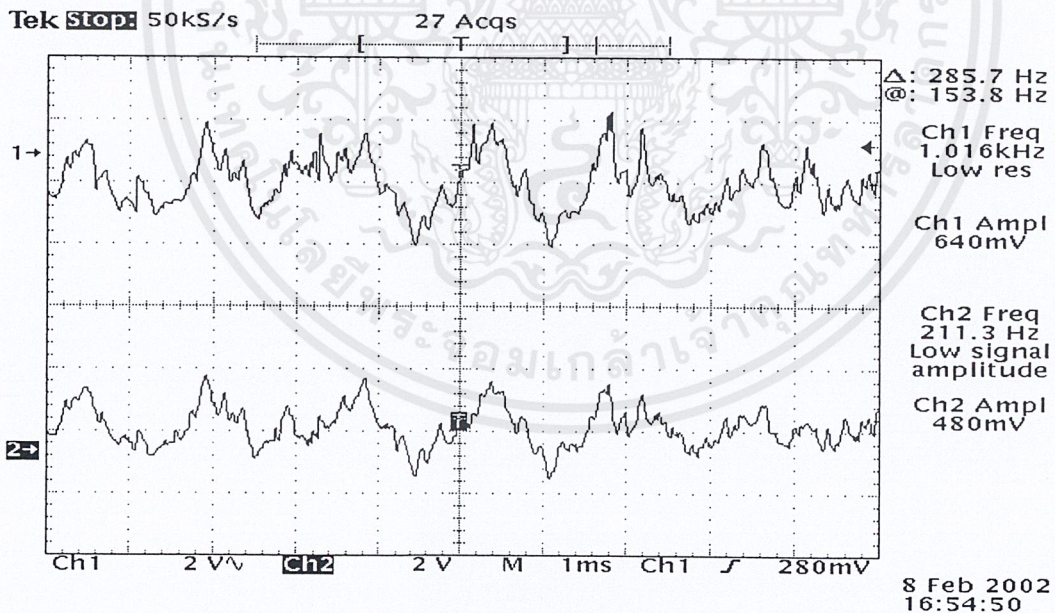
จากรูปที่ 5.25 เป็นสัญญาณจากวงจร VCO ผลิตออกมาเพื่อนำไปผสมกับแคร์เรียของสัญญาณเสียง ซึ่งจะเห็นว่าความถี่ของ VCO จะสูงกว่าความถี่แคร์เรียสัญญาณเสียง ประมาณ 10.7 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 รูปสัญญาณที่ขา 8 ของ IC<sub>2</sub> (CH1 ชิกซ้าย) และ ที่ขา 8 ของ IC<sub>3</sub> (CH2 ชิกขวา)

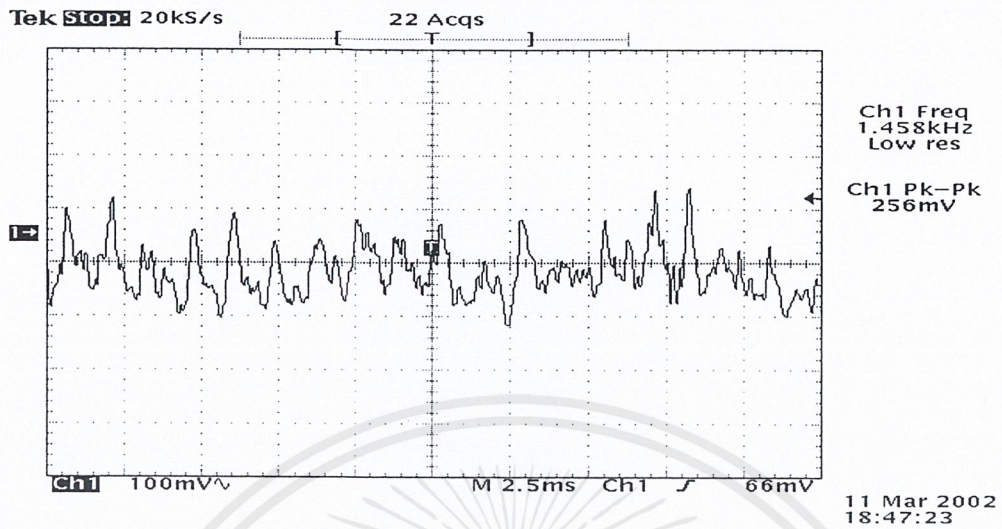
จากรูปที่ 5.26 เป็นสัญญาณเสียงที่ผ่านการดีเทคเตอร์เรียบร้อยแล้วแต่ยังมีความแรงของสัญญาณน้อย ความถี่ของสัญญาณจะอยู่ในช่วงความถี่เสียง



รูปที่ 5.27 รูปสัญญาณที่จุด Output Audio Left (CH1) และสัญญาณที่จุด Output Audio Right (CH2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.27 เป็นสัญญาณเสียงที่ผ่านการขยายเรียบร้อยแล้วพร้อมที่จะนำไปต่อเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์



รูปที่ 5.28 รูปสัญญาณที่ขา 1 ของ IC<sub>5</sub>

รูปที่ 5.28 เป็นสัญญาณเสียงก่อนเข้าขา Audio In ของ RF-MOD ความถี่นั้นก็ยังคงอยู่ในช่วงความถี่เสียง

## บทที่ 6

### บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นโครงการที่ทำเกี่ยวกับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่านซีแบนด์และเคยูแบนด์พร้อมชุดรีโมทคอนโทรลควบคุมการทำงานของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมระยะไกลเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ต่อไปจะอธิบาย วิธีการทดลอง และผลที่ได้จากการทดลอง ของวงจรต่างๆ ตามรูปที่ 3.18 รูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 ในรูปที่ 3.18 เป็นส่วนของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนประมวลผลสัญญาณภาพ และส่วนประมวลผลสัญญาณเสียง การทดลองนั้นจะทดลองโดยใช้สัญญาณจาก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และสัญญาณจริงจากดาวเทียม

ในการทดลองภาคประมวลผลสัญญาณภาพนั้น จะใช้สัญญาณจริงจากดาวเทียม โดยจะรับสัญญาณจากดาวเทียม APSTAR 1A 134.0 °E ซึ่งเป็นดาวเทียมของประเทศจีน เป็นสัญญาณย่านซีแบนด์ระบบอนาล็อก เมื่อสัญญาณที่รับเข้ามาผ่านจูนเนอร์ผ่านวงจรต่างๆของภาคประมวลผลสัญญาณภาพ จนถึง Video Output เมื่อนำสัญญาณภาพที่ได้ไปต่อเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.13 – รูปที่ 5.18 ซึ่งเป็นสัญญาณภาพของช่องต่างๆที่รับได้ และสัญญาณภาพที่ได้จาก RF-MOD รูปที่ 5.19 จะเห็นว่าสัญญาณที่รับได้แต่ละช่องจะมีความชัดเจนดี ส่วนสัญญาณดาวเทียมในย่านเคยูแบนด์นั้นไม่สามารถทดลองได้เพราะไม่สามารถหาดาวเทียมที่ส่งสัญญาณในย่านเคยูแบนด์ระบบอนาล็อกได้ แต่โครงการนี้ก็มีส่วนของการรับสัญญาณย่านเคยูแบนด์ไว้เรียบร้อยแล้ว และได้ทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆของส่วนประมวลผลสัญญาณภาพได้สัญญาณดังรูปที่ 5.21 – รูปที่ 5.23

ในส่วนของภาคประมวลผลสัญญาณเสียงนั้น จะมีซิกซาย และ ซิกขวา การทดลองนั้นใช้สัญญาณจริงจากดาวเทียม และสัญญาณจาก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ การทดลองโดยใช้สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ได้ใช้ทดลองในส่วนของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ มิกเซอร์ เซรามิกฟิลเตอร์ ดีเทคเตอร์ แอมพลิฟายเออร์ การทดลองวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์นั้น ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณ Sine wave ขนาดคงที่ และเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ เข้าวงจรตามรูปที่ 5.7 แล้ววัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต แล้วนำขนาดสัญญาณอินพุต และขนาดสัญญาณเอาต์พุต หารกันแล้วนำไปเทค 20log แล้วนำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าเมื่อวัดจากจุดสูงสุดลงมา 6 dB จะได้จุดคัทออฟอยู่ในช่วง ประมาณ 5-9.5 MHz ในส่วนของการทดลองวงจร มิกเซอร์ เซรามิกฟิลเตอร์ ดีเทคเตอร์ แอมพลิฟายเออร์ โดยการป้อนสัญญาณ FM-MOD ความถี่ข่าวสาร Sine Wave 3 KHz มอดกับแครี่เรีย Sine Wave 5.5 MHz ดังรูปที่ 5.9 ป้อนเข้าที่ขา G1 ของ Q<sub>7</sub> และขา G1 ของ Q<sub>11</sub> แล้ววัดสัญญาณที่จุด Audio Output Left และ Audio Output Right แล้วทำการจูนวงจร VCO จนได้เอาต์พุตสัญญาณ Sine Wave ความถี่ 3 KHz ออกมาดังรูปที่ 5.10 และ รูปที่ 5.11 จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมานั้นจะมีรูปร่างไม่เป็นสัญญาณ Sine wave ที่สมบูรณ์ สาเหตุเกิดจากวงจร VCO ผลิตความถี่ออกมามีรูปร่างไม่เป็นสัญญาณ Sine wave ที่สมบูรณ์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเราก็สามารถดีเทคสัญญาณข่าวสารออกมาได้ การทดลองในส่วนของภาคขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียง จะทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave ขนาดคงที่ แล้วเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ เข้าสู่ วงจรรูปที่ 5.1 แล้ววัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต ของวงจรที่จุดต่างๆ แล้วนำขนาดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้หารกับขนาดสัญญาณอินพุต แล้วนำไปเทค 20log จะได้เกณฑ์การขยายที่ความถี่ต่างๆ ดังรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำมันจะขยายสัญญาณได้ดีกว่าที่ความถี่สูง แต่ที่ความถี่สูงมันก็ยังขยายสัญญาณได้อยู่ การทดลองภาคประมวลผลสัญญาณเสียง โดยรับสัญญาณจริงจากดาวเทียมสัญญาณจะผ่านวงจรต่างๆ ในภาคประมวลผลสัญญาณเสียงจนถึงภาคเอาต์พุตของสัญญาณเสียงข้างซ้ายและข้างขวา เมื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้ไปต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์จะได้สัญญาณเสียงอยู่ในระดับดี และได้ทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ได้ดังรูปที่ 5.24 – รูปที่ 5.28 ซึ่งเราพอสรุปได้ว่าการทดลองภาคประมวลผลสัญญาณเสียงโดยใช้สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ถึงค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีบ้างแต่ก็ไม่เป็นผลกับการทดลองเมื่อรับสัญญาณจริง ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากความผิดพลาดจากการเก็บผลการทดลอง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมในโครงการนี้สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้จริง ทั้งภาพและเสียง

การทดลองในส่วนของรีโมทคอนโทรลทั้งหมด เมื่อประกอบชุดรีโมทคอนโทรลเสร็จทุกส่วน เราทดลองจ่ายไฟให้กับวงจรทั้งหมด ตามรูปที่ 4.3 – รูปที่ 4.5 แล้วทำการกด เปิด - ปิด กดเปลี่ยนช่อง ที่ตัวรีโมท หรือที่ตัวเครื่อง ผลจากการทดลองการทำงานของชุดรีโมทคอนโทรลสามารถทำงานได้หมดทั้งเปิด - ปิด และเปลี่ยนช่อง และสามารถวัดแรงดันที่ขาต่างๆ ของ IC เมื่อทำการเปิด - ปิด และเปลี่ยนช่อง ได้ดังตารางที่ 5.1 พร้อมคำอธิบายเกี่ยวกับการทำงาน เมื่อนำชุดรีโมทคอนโทรล ไปต่อร่วมกับวงจรจูน และต่อร่วมกับเครื่องรับ แสดงวิธีการต่อตามหัวข้อที่ 4.3 (การปรับแต่งและการใช้งานเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเมื่อต่อร่วมกับชุดรีโมทคอนโทรล) และผลการต่อคือเราสามารถควบคุมเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมโดยรีโมทคอนโทรลได้ ทั้ง เปิด - ปิด และเปลี่ยนช่องทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น จากการสร้างโครงการนี้เราสามารถสร้างส่วนต่างๆ ตามที่ได้วางไว้ และชิ้นงานที่เราสร้างขึ้นมาก็สามารถทำงานได้จริงตามเป้าหมายอย่างสมบูรณ์

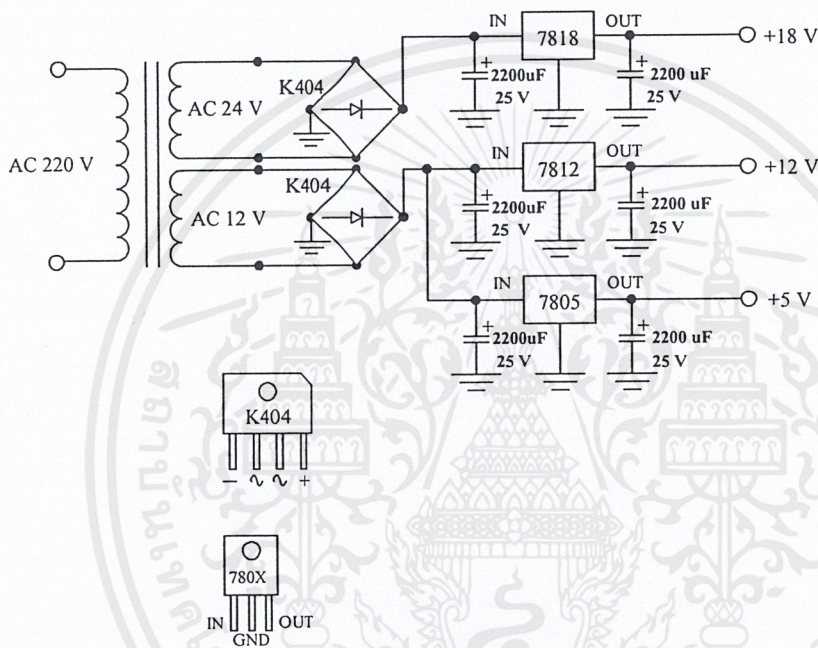
แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. ออกแบบวงจรทั้งหมดให้อยู่บนแผ่น PCB แผ่นเดียว เพื่อความสะดวกในการประกอบลงกล่อง และทำให้มีความกะทัดรัดมากขึ้น
2. พัฒนาระบบรีโมทคอนโทรลโดยใช้ MCS - 51 เป็นตัวควบคุมการทำงาน ให้มีหน้าที่การทำงานได้มากขึ้น เช่น ตั้งเวลา เปิด - ปิด ควบคุมการปรับสี จูนตั้งช่องการรับสัญญาณจากตัวรีโมท



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Video amplifier

# NE592

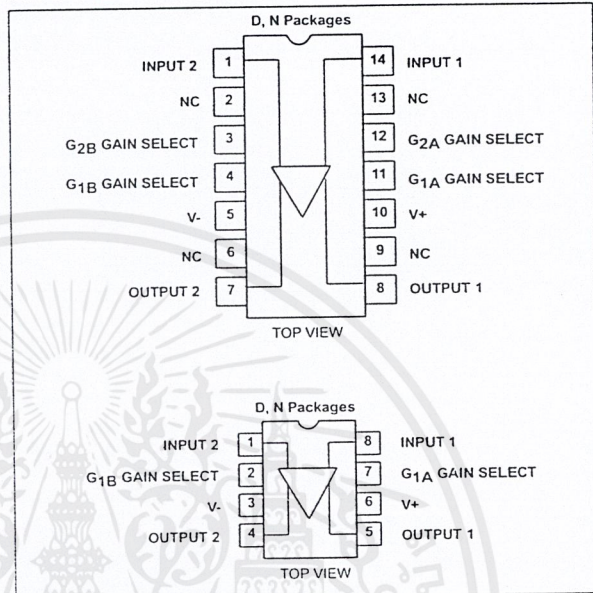
## DESCRIPTION

The NE592 is a monolithic, two-stage, differential output, wideband video amplifier. It offers fixed gains of 100 and 400 without external components and adjustable gains from 400 to 0 with one external resistor. The input stage has been designed so that with the addition of a few external reactive elements between the gain select terminals, the circuit can function as a high-pass, low-pass, or band-pass filter. This feature makes the circuit ideal for use as a video or pulse amplifier in communications, magnetic memories, display, video recorder systems, and floppy disk head amplifiers. Now available in an 8-pin version with fixed gain of 400 without external components and adjustable gain from 400 to 0 with one external resistor.

## FEATURES

- 120MHz unity gain bandwidth
- Adjustable gains from 0 to 400
- Adjustable pass band
- No frequency compensation required
- Wave shaping with minimal external components
- MIL-STD processing available

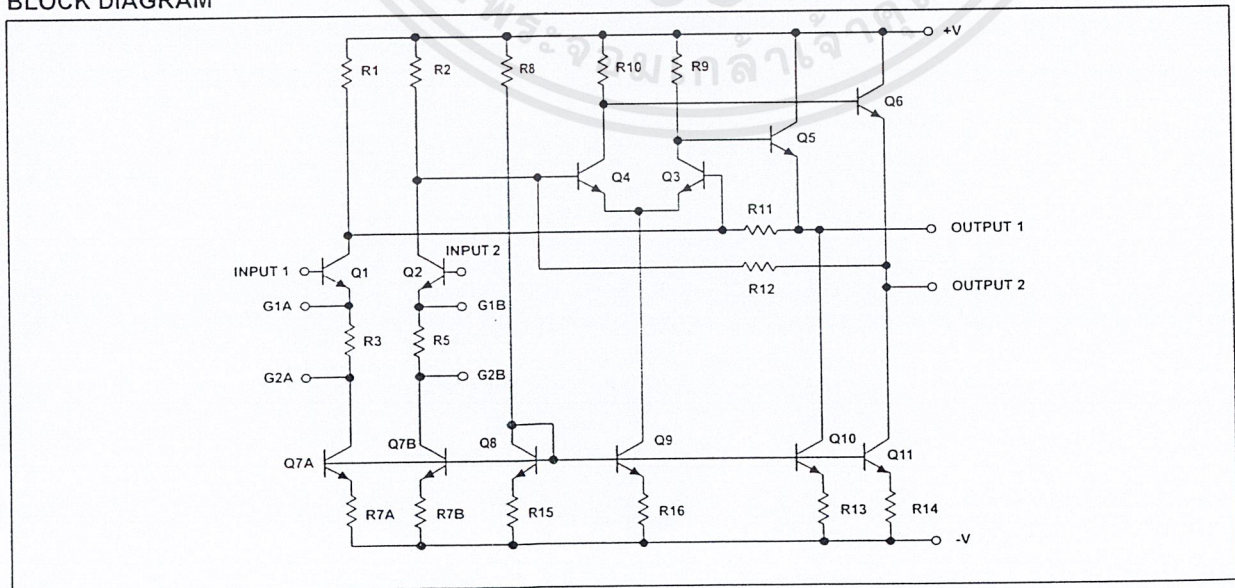
## PIN CONFIGURATIONS



## APPLICATIONS

- Floppy disk head amplifier
- Video amplifier
- Pulse amplifier in communications
- Magnetic memory
- Video recorder systems

## BLOCK DIAGRAM



# LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

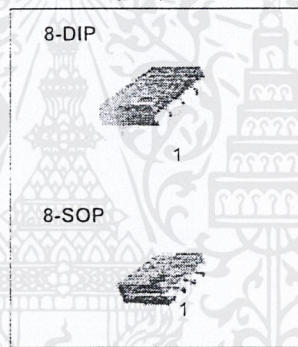
## Dual Operational Amplifier

### Features

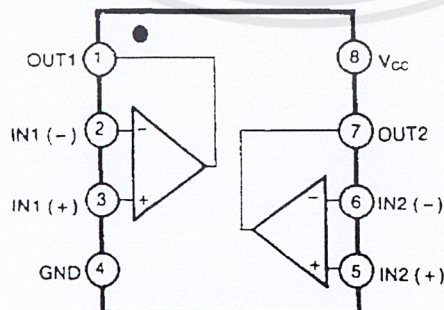
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide power supply range:  
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or  $\pm 1.5V \sim 16V$ )  
LM2904 : 3V~26V (or  $\pm 1.5V \sim 13V$ )
- Input common mode voltage range Includes ground
- Large output voltage swing: 0V DC to  $V_{cc} - 1.5V$  DC
- Power drain suitable for battery operation.

### Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



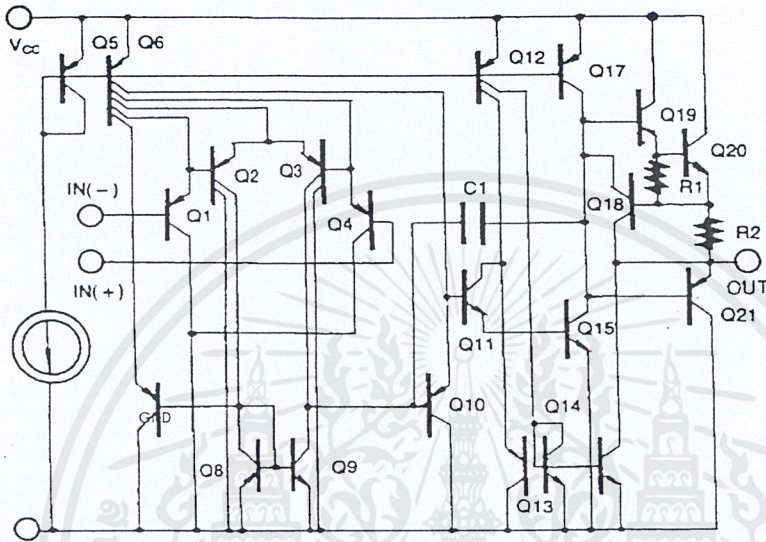
### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

## Schematic Diagram

(One section only)



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	$V_{CC}$	$\pm 16$ or 32	$\pm 16$ or 32	$\pm 13$ or 26	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	32	32	26	V
Input Voltage	$V_I$	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND $V_{CC} \leq 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	$T_{OPR}$	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	$^\circ C$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	$^\circ C$

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากบุคคลหลายๆท่าน ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการทำโครงการ ตลอดจนการทำรายงานนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ

รศ. นิภา ทีลารุจิ

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

รศ.ดร. ปัญญา ฐิติภักดิ์

นาย แก้วทงศ์ สอนสังข์

นาย อนันต์ธนา มงคลศิริ

นาย อนุรักษ์ จันทพงษ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. ยืน ภู่วรรณ , “ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ ,2536.
2. สุชาติ กังวารจิตต์ , “เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ ,2532.
3. เจน สงสมพันธ์ , “โทรคมนาคมยุคความถี่วม” , สำนักพิมพ์สถาบันอิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพฯ , 2538.
4. อภิคม ฤกษ์บุตร, “รีโมทเครื่องควบคุมไร้สาย” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ, 2538.
5. อภิชาติ ศิริบุญกุลชร , “วงจรกรองความถี่” , เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 96, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ, ตุลาคม – พฤศจิกายน 2532.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้