ปริญญานิพนธ์

ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม

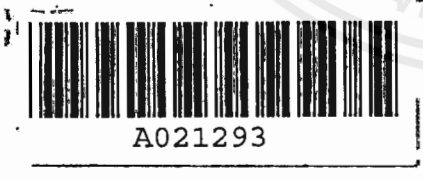
FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM BY COAXIAL CABLE

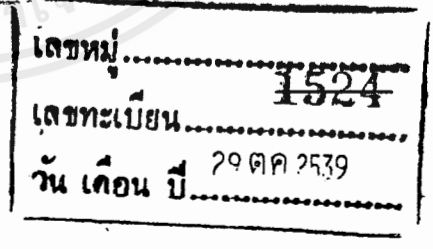
นายขจรศักดิ์ ป้อมสนาม

นายธีระชัย ประภาพรวรกุล

นายอนุชิต สาริพันธ์

นายอรัญ รัตนวงศ์





ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม

FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM BY COAXIAL CABLE

ชื่อนักศึกษา

1. นายขจรศักดิ์	ป้อมสนาม	รหัสประจำตัว	37031201
2. นายธีระชัย	ประภาพรวรกุล	รหัสประจำตัว	37031207
3. นายอนุชิต	สาริพันธ์	รหัสประจำตัว	37031230
4. นายอรัญ	รัตนวงศ์	รหัสประจำตัว	37031234

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์กิติพงค์ มะโน
2. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
3. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
4. ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
3. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
4. อาจารย์โกศล ตราชู	
5. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันที่ 5 พฤษภาคม 2539 เวลา 10.00 น. ถึง 11.30 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค. 303 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 22 เดือน พ.ค. พ.ศ. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม

FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM

BY COAXIAL CABLE

ผู้จัดทำ

1. นายขจรศักดิ์ ป้อมสนาม
2. นายธีระชัย ประภาพรวรกุล
3. นายอนุชิต สาริพันธ์
4. นายอรัญ รัตนวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์กิติพงค์ มะโน)

ลงนาม.....

(อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม

FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM BY COAXIAL CABLE

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ และกล้องถ่ายวิดีโอ
2. เพื่อสร้างระบบส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม
3. เพื่อออกแบบวงจรมอดดูเลตสัญญาณภาพและเสียง
4. เพื่อศึกษาการเดินทางของสัญญาณภาพและเสียงในสายเคเบิลแกนร่วม
5. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบส่งสัญญาณภาพ และเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม
6. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาการทำงานของระบบการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์
2. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ และกล้องถ่ายวิดีโอ
3. ส่งสัญญาณภาพ และเสียงระหว่างจุดสองจุดได้
4. ประยุกต์ใช้เป็นสื่อในระบบการเรียนการสอนได้
5. ใช้ความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์แก้ปัญหาในการปฏิบัติงานจริง
6. ใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม
7. ได้ระบบการสื่อสารที่ประหยัดสายเคเบิลแกนร่วม
8. เรียนรู้และเข้าใจระบบการปฏิบัติงานเป็นกลุ่ม
9. เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นระบบอื่นที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม

นายขจรศักดิ์ ป้อมสนาม
นายธีระชัย ประภาพรวรกุล
นายอนุชิต สาริพันธ์
นายอรัญ รัตนวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์กิติพงค์ มะโน
อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม0
ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอเครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ อาศัยหลักการมอดดูเลตสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกัน เพื่อรับส่งภาพและเสียงได้ในเวลาเดียวกัน โดยในระบบนี้ประกอบด้วยตัวรับส่งต้นทางและปลายทาง ซึ่งตัวต้นทางในระบบ VHF และปลายทางใช้ระบบ UHF ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถรับส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM BY COAXIAL CABLE

MR.KAJONSAK POMSANAM

MR.THEERACHAI PRAPAPORNVORAKUL

MR.ANUCHIT SARIPAN

MR.ARUN RUTTANAWONK

ADVISOR

MR.KITIPONG MANO

MR.PEERAWUT SUWANJAN

MR.WISUIT ATIPORNTUM

MR.TEERAPOL TEPHUSSADINNA AYUTAYA

YEAR 1995

ABSTRACT

This thesis presents the FULL DUPLEX VIDEO-PHONE TRANSMISSION SYSTEM BY COAXIAL CABLE. It used the principal of video and audio signal modulation betaween video and audio signal transceiving in the same time. The system consists of the transceiver at the source desfination. The source transceiver used the VHF system and the desfination transceiver used the UHF system. The project can be suceess in the video and audio signal transceiver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องมาจากการให้ความช่วยเหลือของอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ในการให้ให้ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหาและความรู้ต่างๆ รวมทั้งห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ซึ่งอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าต่างๆ และเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การมอดดูเลชัน (Modulation)	3
2.2 กล้องถ่ายโทรทัศน์สัญญาณภาพ	8
2.3 ความคมชัดและแบนด์วิดธ์ของสัญญาณภาพ	13
2.4 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี	15
2.5 เครื่องรับโทรทัศน์	19
2.6 สายส่งสัญญาณ	20
2.6.1 เดซิเบลเปอร์ (Decibel Neper)	20
2.6.2 ค่าคงที่ปฐมภูมิและค่าคงที่ทุติยภูมิของสายส่งสัญญาณ	22
2.6.3 การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณและ SWR	24
2.6.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ถูกต่อด้วยตัวภาระ	27
2.6.5 สายโคแอกเชียล	31
2.6.6 การลดทอนของสัญญาณภายในสายสัญญาณ	32
บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน	37
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบส่งสัญญาณภาพและเสียง แบบฟูลดูเพล็กซ์โดยสายเคเบิลแกนร่วม	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
3.2 วงจรวีดีโอมอดดูเลเตอร์	38
3.2.1 การทำงานของวงจร	39
3.2.2 การสร้าง	40
3.2.3 การทดสอบและการปรับแต่ง	41
3.3 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ	42
3.3.1 การทำงานของวงจร	43
3.4 วงจรปรีไมค์	43
3.5 การทำงานของวงจรปรีไมค์ 2TR	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 ลักษณะการต่อใช้งาน	45
4.2 การทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงเพียงด้านเดียว	45
4.3 ผลการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่าน VHF ด้านเดียว	46
4.4 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียง 2 ด้านในเวลาเดียวกัน	52
4.5 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายเคเบิลแกนร่วม ที่มีความยาวของสายต่างกัน	60
4.5.1 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยไม่ผ่าน Booster	61
4.5.2 การทดลองรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยผ่าน Booster	62
4.6 การบันทึกสัญญาณภาพที่จอ Monitor เมื่อใช้งานจริง	62
บทที่ 5 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา	66
5.1 บทสรุป	66
5.2 ปัญหาในการทำงาน	68
5.3 แนวทางแก้ไข	69
5.4 แนวทางในการพัฒนา	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก. รายการอุปกรณ์	71
ภาคผนวก ข. IC MODULATE LM1889N	75
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญญาณ FM และ AM	3
รูปที่ 2.2 สเปคตรัมของสัญญาณก่อนและหลังการมอดดูเลชัน	
(ก) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน	5
(ข) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน	5
รูปที่ 2.3 สเปคตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดดูเลชัน	
(ก) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน	6
(ข) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน	6
(ค) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน	7
(ง) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน	7
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.5 สัญญาณที่เกิดจากส่วนต่าง ๆ ของภาพตามรูปที่ 2.4	
(ก) การกวาดของลำอิเล็กตรอน	9
(ข) สัญญาณภาพที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอน	10
(ค) สัญญาณภาพที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอนหลายๆ ครั้ง	10
รูปที่ 2.6 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน	
(ก) สัญญาณภาพที่ประกอบด้วยแบลงกิ้งพัลส์และสัญญาณสัมพัทธ์	11
(ข) สัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวนอน	12
(ค) สัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง	12
รูปที่ 2.7 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาด ที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย	13
รูปที่ 2.8 ความคมชัดของสัญญาณภาพ	14
รูปที่ 2.9 หลักการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์สี	16
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับโทรทัศน์	18
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลย์ของสายส่งสัญญาณ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ	23
รูปที่ 2.13 สายส่งสัญญาณที่ต่อกับตัวภาระ Z_R	25
รูปที่ 2.14 การต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณและ Standing Wave	
(ก) การต่อสายอากาศพอดีได้สมดุลย์กับสายส่งสัญญาณ	29
(ข) การต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณและ Standing Wave ที่เกิดขึ้น	30
รูปที่ 2.15 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ยาว 1 เมตร เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ Z_R	30
รูปที่ 2.16 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาวต่างๆ กัน ขณะที่เปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่	31
รูปที่ 2.17 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาวต่างๆ กัน ขณะที่ปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่	31
รูปที่ 2.18 สายส่งนั้น เมื่อ $I = n\lambda/2$ แล้วจะให้ค่า $Z_i = Z_R$	32
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสายโคแอกเชียล	33
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ L/C	34
รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำ loading ให้กับสายส่งสัญญาณ	35
รูปที่ 2.22 ค่าการลดทอนของสายเคเบิลขนาด 0.9 มิลลิเมตรทำการ loading และภาพหลังที่ได้ทำการ loading แล้ว	36
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียง แบบฟลูดูเพล็กซ์โดยสายเคเบิลแกนร่วม	37
รูปที่ 3.2 วงจรวีดีโอมอดดูเลเตอร์	38
รูปที่ 3.3 ลายวงจรพิมพ์	40
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ	42
รูปที่ 3.5 วงจรปรีไมค์ 2TR	44
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดลองส่งภาพและเสียง	46
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-1	46
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-2	47
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-3	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-4	49
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-5	50
รูปที่ 4.7 ผังการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงสวนกัน	51
รูปที่ 4.8 ผังการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงสองทางในเวลาเดียวกัน	52
รูปที่ 4.9 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-1	53
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-2	54
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-3	55
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-4	56
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-5	57
รูปที่ 4.14 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-6	58
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-7	59
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP-8	60
รูปที่ 4.17 จอโทรทัศน์ทางด้านเครื่องรับที่ 2	61
รูปที่ 4.18 จอโทรทัศน์ทางด้านเครื่องรับที่ 1	64
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายด้านหน้าของเครื่องที่ประกอบเสร็จ	65
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายด้านหลังของเครื่องที่ประกอบเสร็จ	65
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณภาพประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ ด้วยสายตาต่อความยาวของสายนำสัญญาณ	67
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณเสียงประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ ด้วยการฟังต่อความยาวของสายนำสัญญาณ	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 SWR ในสภาวะต่างๆ	28
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองรับสัญญาณของจอโทรทัศน์ที่ความยาวของสายต่างๆ กัน	61
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการรับสัญญาณของจอโทรทัศน์ ที่ถูกส่งผ่าน Booster ที่ความยาวของสายต่างๆ กัน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ระบบการสื่อสารในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวางขึ้น รวมทั้งประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารมีการพัฒนาดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการดำเนินชีวิตจึงเป็นเหตุให้เกิดการศึกษาค้นคว้า และทดลองเพื่อคิดค้นระบบสื่อสารใหม่ๆ ที่ทันสมัยขึ้นมา เพื่อสนองความต้องการในการใช้ระบบการสื่อสารต่อมนุษย์ดังกล่าว ซึ่งระบบการสื่อสารที่ทันสมัย เช่น ระบบไมโครเวฟ ระบบการสื่อสารดาวเทียมและการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารจนทำให้ทั่วโลกสามารถติดต่อถึงกันได้โดยใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆ

จากวิวัฒนาการของการสื่อสารจะเห็นว่าการติดต่อสื่อสารเป็นไปด้วยความลำบากและล่าช้าเสียเวลาเป็นเพราะการสื่อสารยังล้าสมัย ระบบการสื่อสารใหม่ๆ ยังไม่เกิดขึ้นแต่ปัจจุบันนี้ การสื่อสารได้ถูกพัฒนาให้มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การส่งข่าวสารข้อมูลหรือการติดต่อเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว, ได้ข่าวสารครบถ้วนและการพัฒนาระบบการสื่อสารก็ยังได้รับการพัฒนายิ่งขึ้นไป ซึ่งสิ่งที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงในการพัฒนาระบบสื่อสารอีกอย่างคือ ประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสาร ซึ่งสามารถติดต่อสื่อสารได้สะดวกรวดเร็ว, ข้อมูลข่าวสารที่มีความผิดพลาดน้อยและใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุด

องค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบสื่อสาร คือ ย่านความถี่ที่ใช้ทำงาน ซึ่งการส่งข่าวสารข้อมูลส่วนใหญ่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณข่าวสารที่ต้องการส่งให้เป็นสัญญาณความถี่ทางไฟฟ้า ซึ่งก็คือความถี่ของข้อมูลข่าวสารแล้วส่งผ่านสายนำสัญญาณหรือเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปในอากาศแล้วแต่การออกแบบและเพื่อป้องกันการรบกวนของความถี่ข่าวสารที่ส่ง ข่าวสารแต่ละข่าวสารที่จะทำการส่งเข้าระบบจะต้องอยู่คนละช่วงความถี่กันจะต้องมีการเว้นช่องว่างระหว่างสองความถี่ที่ทำการส่งเพื่อป้องกันการรบกวนของข้อมูลข่าวสารซึ่งเรียกช่องว่างนี้ว่า ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งาน (Gardband)

วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารโดยใช้ความถี่ ช่วงแรกจะเป็นการสื่อสารระบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว โดยจะมีสถานีสำหรับแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นข้อมูลข่าวสารของเครื่องส่ง และเครื่องรับข่าวสาร ทางด้านส่งก็จะทำการส่งกระจายคลื่นข่าวสารอย่างเดียว ส่วนเครื่องรับก็จะรับข้อมูลข่าวสารอย่างเดียว เครื่องรับและเครื่องส่งไม่สามารถโต้ตอบกันได้ ตัวอย่างของการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ เช่น การกระจายเสียงของสถานีวิทยุ ซึ่งยังมีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ต่อมาได้พัฒนาระบบการสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบสองทิศทางแต่กระทำคนละเวลา คือ ถ้าฝ่ายหนึ่งส่ง ฝ่ายหนึ่งจะต้องรับไม่สามารถที่จะส่งสัญญาณสวนทางกันในเวลาเดียวกันได้ ตัวอย่างของระบบสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ เช่นวิทยุรับส่ง ซึ่งเป็นระบบที่ให้ความสะดวกในการติดต่อสื่อสารไม่เต็มที่ และยังใช้ในระยะใกล้ๆ ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นระบบการสื่อสารที่ทันสมัยขึ้นมาอีก คือ ระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารที่สามารถส่งข่าวสารสวนทางกันภายในสายนำสัญญาณเพียงเส้นเดียว ซึ่งเป็นระบบที่ลดความสิ้นเปลืองสายนำสัญญาณลง

สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอระบบการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นการส่งข่าวสารที่ประกอบไปด้วยสัญญาณสองสัญญาณ คือ สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง โดยทำการมอดดูเลตแล้วส่งสวนทางกัน ซึ่งสายนำสัญญาณที่ใช้เป็นสายนำสัญญาณแบบแกนร่วม ซึ่งได้ประยุกต์จากการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ธรรมดาจากที่มีการส่งเฉพาะสัญญาณเสียงอย่างเดียวมาเป็นการส่งทั้งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมๆ กัน ทำให้ผู้ใช้ระบบนี้สามารถเห็นทั้งภาพและได้ยินเสียง ซึ่งเป็นผลให้สามารถเข้าใจข่าวสารได้ดีขึ้น และสัญญาณที่จะทำการส่งทั้งสองด้านจะต้องผ่านกระบวนการมอดดูเลตให้อยู่คนละช่วงความถี่ หรือเว้นช่วงว่างระหว่างความถี่ทั้งสองเอาไว้เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณ ช่องว่างที่เว้นไว้สำหรับป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกันของทั้งสองความถี่ คือ ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งาน เมื่อสัญญาณทั้งสองด้านอยู่คนละช่วงความถี่และมีช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานป้องกันการรบกวนแล้ว ดังนั้น จึงไม่มีการรบกวนกันของสัญญาณในการส่งสัญญาณสวนทางกัน

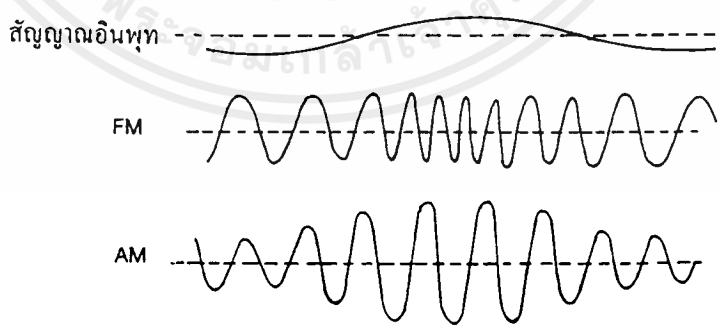
ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย กล้องถ่ายวิดีโอ 2 ตัว, เครื่องรับโทรทัศน์, ระบบการมอดดูเลต, แมทชิ่งทรานฟอร์เมอร์ (Maching Transfrom), สายนำสัญญาณ, อุปกรณ์ขยายสัญญาณภาพ, อุปกรณ์ขยายสัญญาณเสียงและอุปกรณ์เชื่อมต่อ ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์รวบสัญญาณ (Combiner), อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Spriter) ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวในบทต่อๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การมอดดูเลชัน (Modulation)

การมอดดูเลชัน คือ การฝากข้อมูลไปกับคลื่นพาห์ ซึ่งคลื่นพาห์นี้จะเป็นตัวช่วยนำสัญญาณข้อมูลนั้นผ่านสายอากาศของเครื่องส่งออกอากาศไปยังสายอากาศของเครื่องรับได้ การมอดดูเลชันที่นิยมใช้กันอยู่ในระบบวิทยุและโทรทัศน์ทั่วไปนั้น มีอยู่ 2 แบบ คือ AM (Amplitude Modulation) และ FM (Frequency Modulation) ความแตกต่างของกระบวนการมอดดูเลชันทั้งสองนี้ คือ ขบวนการมอดดูเลชันแบบ AM นั้นเป็นการฝากข้อมูลไปกับขนาดของคลื่นพาห์เป็นการทำให้ขนาดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามความแรงของสัญญาณข้อมูล โดยยังคงรักษาความถี่ของคลื่นพาห์นั้นให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา ส่วนกระบวนการมอดดูเลชันแบบ FM นั้นเป็นการฝากข้อมูลไปกับความถี่ของคลื่นพาห์ เป็นกระบวนการที่ทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามความแรงของสัญญาณข้อมูล โดยยังคงรักษาขนาดของคลื่นพาห์ไว้ให้มีค่าคงที่อยู่เสมอ ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 สัญญาณ FM และ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของกระบวนการมอดดูเลชันที่สำคัญคือทำให้เกิดการย้ายสเปคตรัม (Spectrum) ของสัญญาณขึ้น และทำให้สัญญาณข้อมูลถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกน้อยลง

การย้ายสเปคตรัมของสัญญาณข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบ AM สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ คือ สมมติว่าทั้งสัญญาณข้อมูลและคลื่นพาห์เป็นสัญญาณรูปไซน์ทั้งคู่ คือ

$$\text{สัญญาณข้อมูล} : g_m(t) = A\cos(2\pi f_m t) \quad (2.1)$$

$$\text{คลื่นพาห์} : g_c(t) = B\cos(2\pi f_c t) \quad (2.2)$$

ตามคำจำกัดความของ AM ที่กล่าวมาแล้ว คือ การทำให้ขนาด B ของคลื่นพาห์ $g_c(t)$ เปลี่ยนแปลงไปตามความแรงของสัญญาณข้อมูล $g_m(t)$ กล่าวคือ $B = kg_m(t)$ เมื่อ k คือค่าคงที่ซึ่งเกิดขึ้นโดยกระบวนการมอดดูเลชันนั้น ดังนั้น คลื่นที่เกิดขึ้นหลังจากการมอดดูเลชันแล้วจะเป็นได้ดังต่อไปนี้ คือ

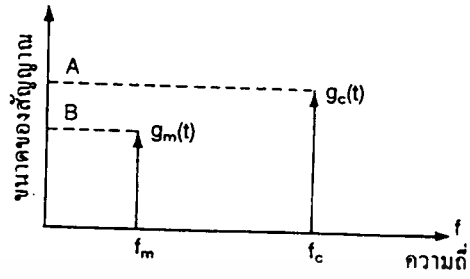
$$\begin{aligned} g_{AM}(t) &= \{kg_m(t)\}\cos(2\pi f_c t) \\ &= kA\cos(2\pi f_m t)\cos(2\pi f_c t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อใช้ความรู้ทางตรีโกณมิติ คือ $\cos(x)\cos(y) = \{\cos(x-y) + \cos(x+y)\}/2$ มาช่วยแล้วจะได้

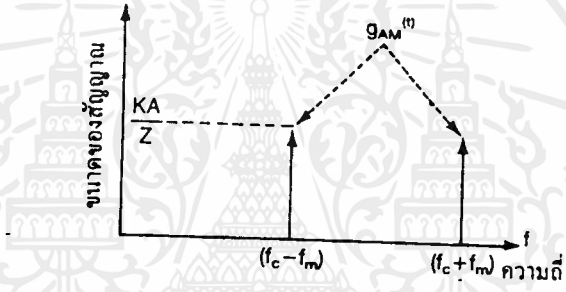
$$g_{AM}(t) = \frac{kA}{2}\cos\{2\pi(f_c - f_m)t\} + \frac{kA}{2}\cos\{2\pi(f_c + f_m)t\} \quad (2.4)$$

จาก (2.1), (2.2) และ (2.4) เราจะเห็นว่า เดิมทีสัญญาณข้อมูลมีความถี่ f_m และคลื่นพาห์มีความถี่ f_c แต่เมื่อสัญญาณทั้งสองมอดดูเลตกันแล้ว จะได้สัญญาณ $g_{AM}(t)$ ออกมา โดยมีความถี่เกิดขึ้นใหม่ 2 ความถี่ คือ $(f_c - f_m)$ และ $(f_c + f_m)$ ดังนั้น ถ้าเราเขียนสเปคตรัมก่อนและหลังการมอดดูเลชันนั้นจะได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสเปคตรัมของสัญญาณข้อมูล $g_m(t)$ ถูกย้ายจากความถี่ f_m ไปอยู่ที่ความถี่ $(f_c - f_m)$ และ $(f_c + f_m)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน



(ข) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน

รูปที่ 2.2 สเปคตรัมของสัญญาณก่อนและหลังการมอดดูเลชัน

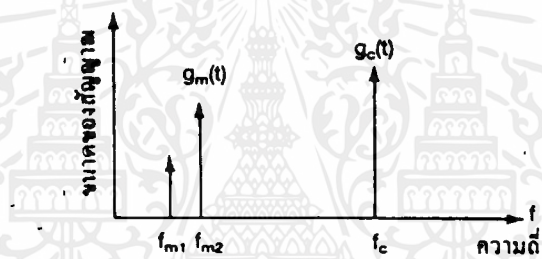
ต่อไปถ้าเราสมมติว่า สัญญาณข้อมูล $g_m(t)$ มีส่วนประกอบของสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกเป็น 2 ความถี่ คือ f_{m1} และ f_{m2} ตามสเปคตรัมที่แสดงในรูปที่ 2.3 (ก) กล่าวคือ

$$g_m(t) = A_1\cos(2\pi f_{m1}t) + A_2\cos(2\pi f_{m2}t) \qquad (2.5)$$

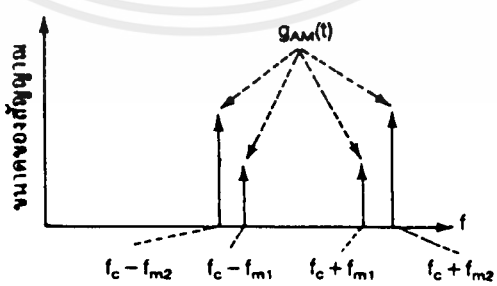
โดยทั่วไป สัญญาณข้อมูลโดยจะประกอบขึ้นมาจากสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ต่างๆ มากมาย ดังนั้นสมมติว่า สัญญาณข้อมูล $g_m(t)$ มีสเปคตรัมดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ค) แล้ว สัญญาณ $g_{AM}(t)$ ที่เกิดจากการมอดดูเลชัน $g_m(t)$ เข้ากับคลื่นพาห์ $g_c(t)$ จะมีสเปคตรัมออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ง) เพราะฉะนั้น เราจะเห็นว่าในระบบ AM นั้น สเปคตรัมของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายหลังจากการมอดดูเลชันแล้วจะมีเป็นกลุ่ม กลุ่มหนึ่งจะเกิดขึ้นในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของคลื่นพาห์ f_c และมีลักษณะของสเปคตรัมเหมือนสเปคตรัมของสัญญาณเดิมทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการ สัญญาณกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกเฉพาะว่าสัญญาณ อัพเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Side Band) ส่วนสัญญาณอีกกลุ่มหนึ่งเกิดขึ้นในย่านความถี่ซึ่งต่ำกว่าความถี่ f_c จะมีลักษณะของสเปคตรัมเหมือนกับเงาสะท้อนของ อัพเปอร์ไซด์แบนด์ สมมาตรกันโดยเสมือนมีระนาบความถี่ f_c เป็นแนวอ้างอิงกลุ่มของสัญญาณกลุ่มนี้มีชื่อว่า โลเวอร์ไซด์แบนด์ (Lower Side Band) ขอให้สังเกตว่า การมอดดูเลชันแบบนี้จะไม่มีคลื่นพาห์ที่ความถี่ f_c ปรากฏออกมาในสเปคตรัม เสมือนกับว่า การมอดดูเลชันแบบนี้ได้ทำการกดคลื่นพาห์ให้หายไป ดังนั้นการมอดดูเลชันแบบนี้จึงมีชื่อเรียกโดยเฉพาะลงไปอีกว่า AM - Double Side Band -Suppressed Carrier (AM-DSB-SC)

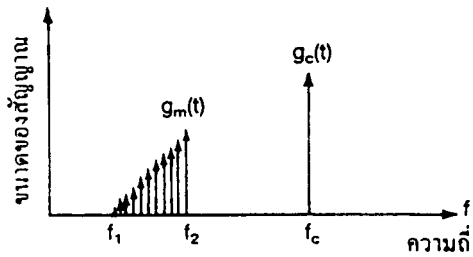


(ก) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน

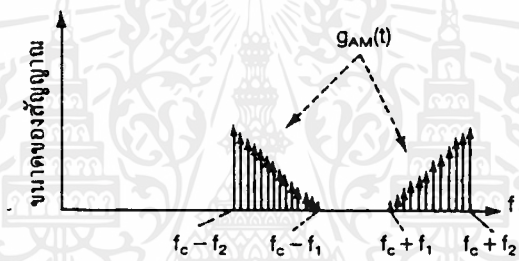


(ข) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สเปคตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดดูเลชัน



(ง) สเปคตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดดูเลชัน

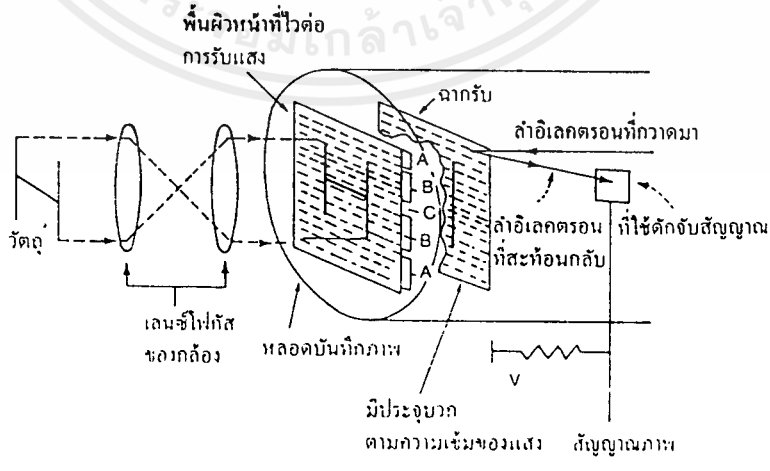
รูปที่ 2.3 สเปคตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดดูเลชัน

เป็นที่น่าสังเกตว่า AM-DSB-SC นั้นทำให้เกิดการกระจายสเปคตรัมเป็นสองไซด์แบนด์และไซด์แบนด์นั้นต่างก็มีข้อมูลของสัญญาณอินพุตอยู่อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสงวนย่านความถี่การใช้งานภายในช่องสัญญาณหรือภายในตัวกลางไว้จึงได้เกิดการส่งสัญญาณ AM นี้ออกไปเพียงไซด์แบนด์ข้างใดข้างหนึ่งเพียงไซด์แบนด์เดียว โดยใช้ฟิลเตอร์กรองสัญญาณในแบนด์ที่ไม่ต้องการทิ้งออกไปสัญญาณ AM ที่มีไซด์แบนด์เพียงข้างเดียวนี้มีชื่อว่า ซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band) ซึ่งเขียนย่อๆ ว่า SSB . SSB นั้นมีประโยชน์มากในการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กล้องถ่ายสัญญาณภาพโทรทัศน์

รูปที่ 2.4 จะช่วยแสดงให้เราเข้าใจว่ากล้องถ่ายภาพโทรทัศน์นั้นมีหลักการทำงานอย่างไร ในรูปนี้สมมติว่า เรากำลังถ่ายภาพตัวอักษร H อยู่ เลนซ์หน้ากล้องถ่ายภาพจะทำการโฟกัสภาพของตัวอักษร H ลงบนหน้าจอของหลอดเก็บภาพ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ข้างหลังของจอหลอดเก็บภาพนี้จะฉาบด้วยสารที่มีความไวต่อแสงอยู่ภายในหลอดเก็บภาพซึ่งเป็นสูญญากาศ ภายในหลอดเก็บภาพนี้จะมีการควบคุมลำอิเล็กตรอนให้กวาดผ่านไปบนสารไวแสงซึ่งฉาบอยู่ กระแสที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงบนจอหลอดเก็บภาพนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีแสดงมากระทบสารไวแสงที่ฉาบอยู่หลังจอก็จะเกิดทำให้มีอิเล็กตรอนกระเด็นออกไปจากบริเวณที่แสงตกกระทบนั้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแสง ดังนั้น เมื่อมีการควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านจอของหลอดเก็บภาพจากซ้ายไปขวาในแนวนอน พร้อมกับการ กวาดเลื่อนลงเบื้องต่ำอย่างช้าๆ นั้น ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบกับส่วนของสารไวแสง ที่ไม่มีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกมาปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนก็จะสะท้อนกลับออกมาสู่ส่วนที่ใช้เป็นที่ดักจับสัญญาณได้ทั้งหมด แต่ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงซึ่งมีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกไปบ้าง ก็จะทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนมีการสะท้อนออกไปยังส่วนที่ใช้ดักจับสัญญาณได้น้อยลง



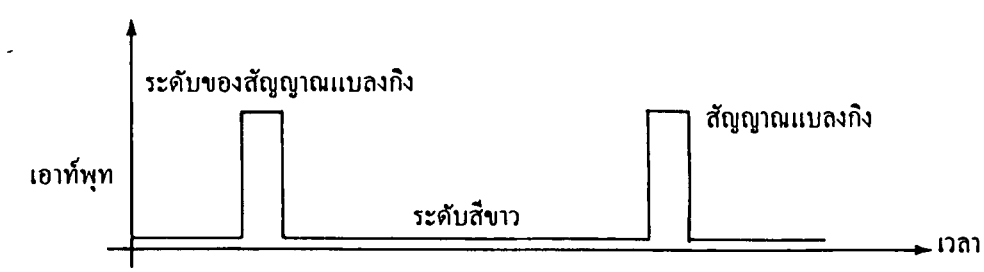
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น เราจะพบว่าในส่วนของภาพที่สว่างมากจะมีกระแสที่ตรวจจับออกมาได้น้อย แต่ส่วนของภาพที่มืดกลับทำให้กระแสจากส่วนที่ใช้ดักจับออกมาได้มาก กระแสซึ่งตรวจจับออกมาได้นี้จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณโวลเตจ เพื่อนำไปใช้เป็นเอาต์พุตของหลอดภาพ

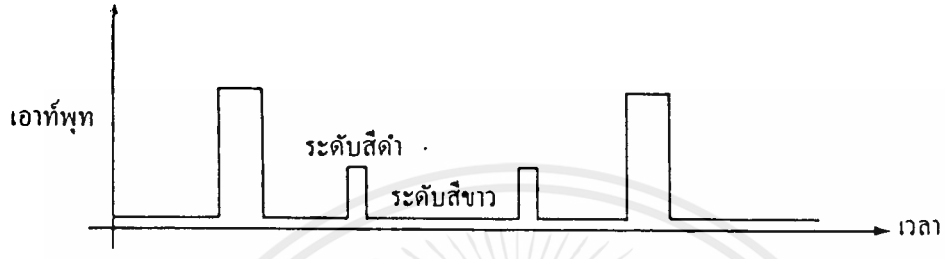
ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น จะกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจอด้วยความเร็วที่คงที่ค่าหนึ่ง เมื่อถึงส่วนขวาสุดของขอบจอแล้วลำอิเล็กตรอนจะกวาดสะบัดกลับไปยังส่วนซ้ายสุดของขอบจออย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับความเร็วในการกวาดจากซ้ายไปขวาช่วงการกวาดสะบัดกลับนี้มีชื่อเรียกว่า ฟลายแบค (Fly Back) หลังจากช่วงฟลายแบคแล้ว ลำอิเล็กตรอนก็จะเริ่มกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจออีก แต่ว่าจะกวาดในแนวที่ต่ำลงมากว่าแนวในการกวาดครั้งก่อน เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ซ้ำแล้วซ้ำอีกจนถึงส่วนที่เป็นขอบล่างของจอก็เป็นอันว่าจะได้สัญญาณภาพออกมาหนึ่งชุด หลังจากนั้นก็จะมีการสะบัดกลับของลำอิเล็กตรอนจากขอบล่างขึ้นไปเริ่มที่ขอบบนของจอของหลอดเก็บภาพใหม่ เพื่อจะได้ทำการเริ่มเก็บสัญญาณภาพชุดใหม่อีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

อย่างไรก็ดี ในช่วงเวลาของการฟลายแบคหรือการสะบัดกลับของลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของจอ และจากขอบล่างของหลอดจอไปยังขอบบนจะมีการยกเว้นที่จะทำการตรวจจับเอาสัญญาณภาพออกมา และจะมีการควบคุมบังคับทำให้ค่าเอาต์พุตของสัญญาณในช่วงเวลานี้มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ โดยเหตุผลเพราะต้องการที่จะใช้สัญญาณในช่วงเวลานี้เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อที่จะให้รู้ว่า

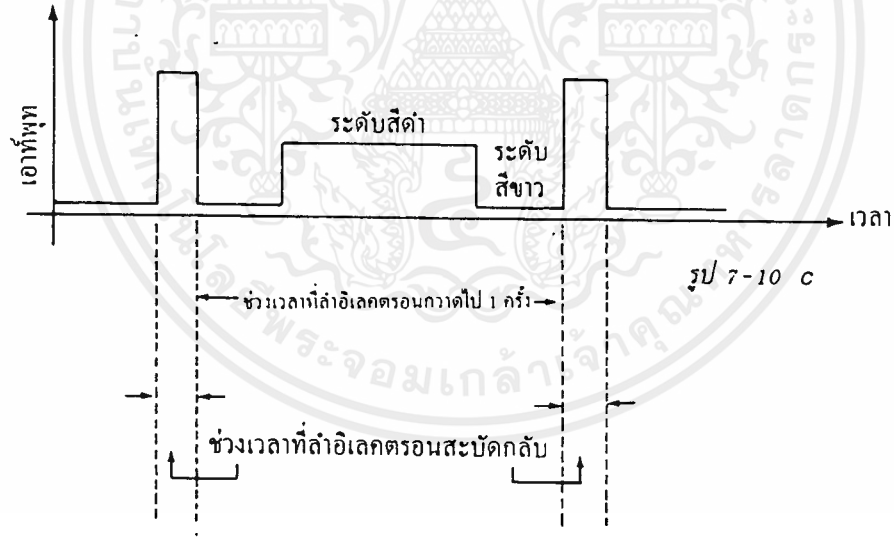


(ก) การกวาดของลำอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญญาณภาพที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอน



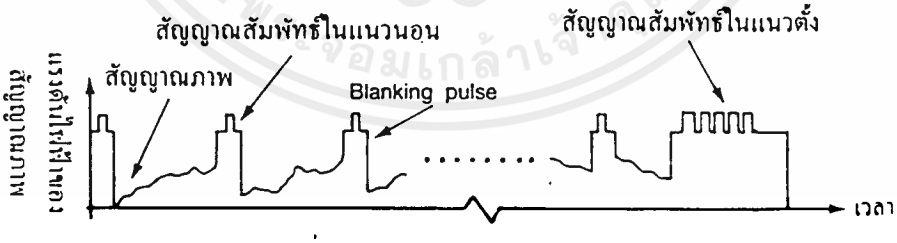
(ค) สัญญาณภาพที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอนหลายๆ ครั้ง

รูปที่ 2.5 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนต่าง ๆ ของภาพตามรูปที่ 2.4

การกวาดเก็บภาพในแนวนั้นได้สิ้นสุดไปแล้วตรงจุดนั้น และจะใช้ระดับเอาต์ พุตที่สูงสุดที่มีอยู่นี้เพื่อเป็นระดับเปรียบเทียบว่าส่วนที่มืดดำที่สุดของภาพนั้นอยู่ในระดับใด สัญญาณส่วนนี้มีชื่อว่า สัญญาณแบลงกิ้ง หรือแบลงกิ้งพัลส์ (Blanking Pulse) ซึ่งหมายถึงพัลส์ที่ทำ

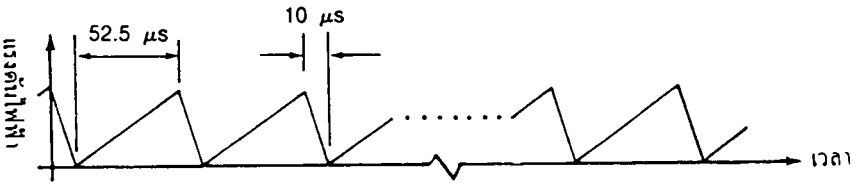
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สัญญาณภาพว่างไป ดังนั้น ถ้าเราจะพิจารณาถึงสัญญาณภาพที่เกิดขึ้นจากภาพตามรูปที่ 2.4 โดยอาศัยตามคำอธิบายดังกล่าวมาแล้วนี้จะเห็นได้ว่า สัญญาณโวลเตจที่ปรากฏออกมาโดยการกวาดของลำอิเล็กตรอนในบริเวณส่วนสูงสุด คือบริเวณ A ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นั้น จะมีลักษณะดังแสดงในรูป 2.5 (ก) ครั้นเมื่อลำอิเล็กตรอนทำการกวาดต่อไปจนถึงส่วนบนของตัวอักษร H คือ บริเวณ B ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ก็จะเกิดมีสัญญาณภาพปรากฏออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ทั้งนี้ เพราะว่าส่วนที่เป็นขาของตัวอักษร H จะมีความดำกว่าบริเวณส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพ ดังนั้น บริเวณส่วนขาของตัว H ซึ่งมีอยู่สองข้างจะให้ค่าความแรงของระดับสัญญาณเอาต์พุตออกมามากกว่าค่าของสัญญาณที่เกิดจากบริเวณซึ่งเป็นพื้นหลังของภาพ สัญญาณภาพในการกวาดของลำอิเล็กตรอนแต่ละครั้งจะเกิดซ้ำ เช่นนี้เรื่อยๆ ลงมาจนกระทั่งลำอิเล็กตรอนได้กวาดมาถึงบริเวณกลางตัวอักษร H คือ ในบริเวณระดับ C ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ในบริเวณนี้ภาพจะมีลักษณะเป็นเส้นทึบอยู่ระหว่างขาทั้งสองข้างของตัวอักษร H ดังนั้น สัญญาณภาพที่ได้ออกมาจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) จากนั้นสัญญาณภาพก็จะเกิดคล้ายๆ กับที่เกิดมาแล้วในส่วนบนของภาพ กล่าวคือสัญญาณที่เกิดจากส่วนบริเวณ B และ A ของด้านล่างของภาพ จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณภาพที่ได้จากบริเวณ B และ A ส่วนบนของภาพทุกประการ

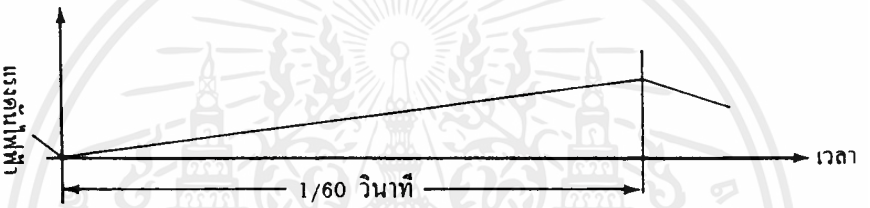


(ก) สัญญาณภาพที่ประกอบด้วยแบลงกิ้งพัลส์ และสัญญาณสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวนอน

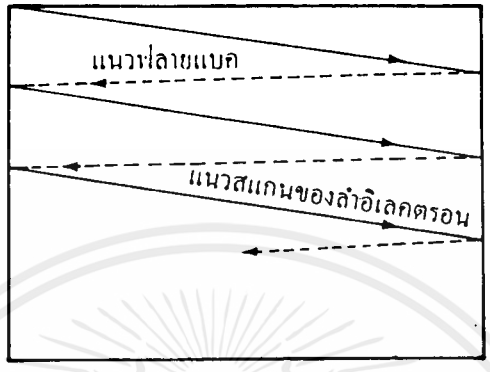


(ค) สัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง

รูปที่ 2.6 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน

การที่จะให้เครื่องรับโทรทัศน์สร้างภาพจากสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีส่วนของสัญญาณ ในสัญญาณภาพที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิง คอยกระตุ้นให้เครื่องรับจัดภาพได้อย่างถูกต้อง โดยส่วนของสัญญาณดังกล่าวนั้นจะทำหน้าที่อ้างอิงให้เครื่องรับโทรทัศน์ทำการจัดภาพให้สอดคล้องหรือสัมพันธ์ (Synchronize) กับเครื่องส่ง ส่วนของสัญญาณนี้มีชื่อว่า สัญญาณสัมพันธ์ (Synchronization Signal) สัญญาณสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นพัลส์ใส่เพิ่มเข้าไปบนสัญญาณภาพในช่วงเวลาฟลายแบค ตัวอย่างของสัญญาณภาพชุดหนึ่งที่สมบูรณ์แบบจะมีลักษณะคล้ายดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) สำหรับในการปฏิบัติจริง แนวการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นไม่ได้กวาดอยู่ในแนวที่ขนานกับแนวนอนพอดี ดังอธิบายมาแล้วตามรูปที่ 2.4 แต่จะมีลักษณะกวาดทะแยงขนานกันลงมา ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น กล่าวคือ ทำให้สามารถใช้สัญญาณในลักษณะฟันเลื่อย 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) และ 2.6 (ค) มาควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นได้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

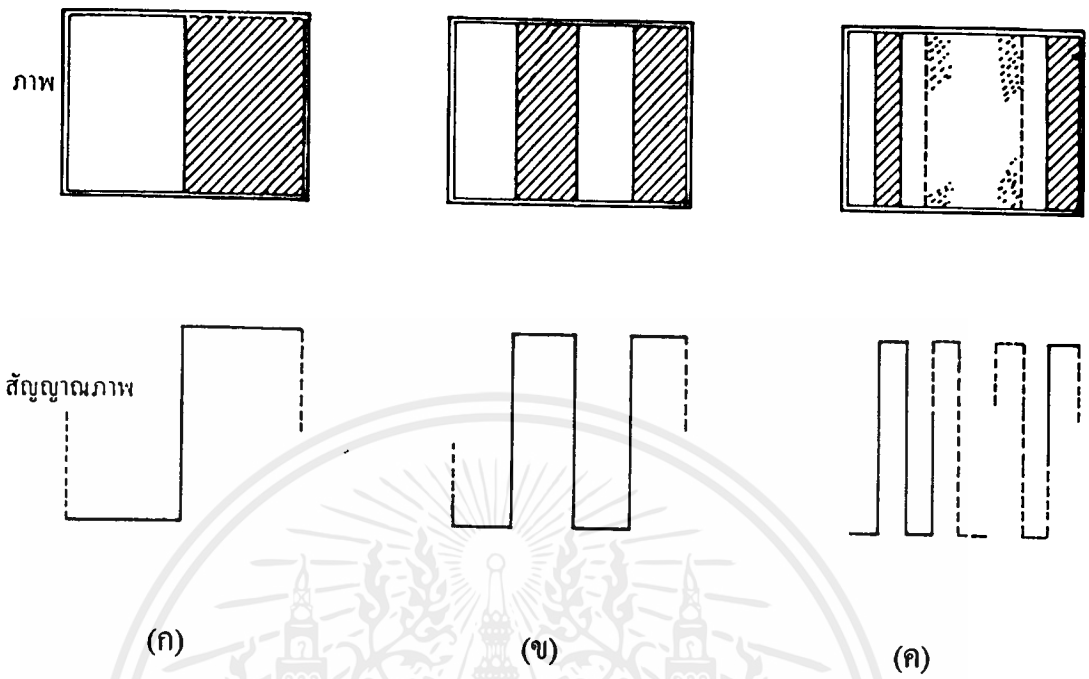


รูปที่ 2.7 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย

2.3 ความคมชัดและแบนด์วิดธ์ของสัญญาณภาพ

ความคมชัด (Resolution) ของภาพเป็นตัวการสำคัญที่จะกำหนดแบนด์วิดธ์ของสัญญาณภาพ ทั้งนี้เพราะภาพที่มีความคมชัดของภาพมากๆ นั้นย่อมจะให้รายละเอียดของภาพได้มากซึ่งก็หมายความว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับรายละเอียดในสัญญาณภาพนั้นเกิดขึ้นมากด้วย เพื่อความกระจ่างในเรื่องนี้ขอให้พิจารณาการเกิดสัญญาณภาพต่างๆ ในรูปที่ 2.8 สำหรับรูปที่ 2.8 (ก) มีแถบขาว-ดำอยู่อย่างละครึ่ง ดังนั้นสัญญาณภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงหนึ่งรอบต่อหนึ่งครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของภาพ และสำหรับภาพ 2.8 (ข) นั้นมีแถบขาว-ดำอยู่ 2 คู่ ดังนั้นทุกๆ ครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น 2 รอบและย่อมเป็นการแน่นอนว่า ถ้าภาพนั้นมีแถบขาว-ดำเพิ่มขึ้นเป็น n คู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ค) แล้ว ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนหนึ่งครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น n รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ความคมชัดของสัญญาณภาพ

เราจะเห็นได้ว่าเมื่อภาพมีรายละเอียดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพก็จะมีมากขึ้น อย่างไรก็ดี ถ้าสัญญาณนี้ถูกจำกัดโดยให้มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดได้เพียง m รอบต่อการกวาดของลำอิเล็กตรอน 1 ครั้ง นั่นก็หมายความว่า ความคมชัดของสัญญาณภาพนั้นมีอยู่เทียบเท่ากับมีแถบขาว-ดำอยู่ m คู่ หรือ 2m แถบเท่านั้น ดังนั้นถ้าสมมติว่า ภาพจริงเกิดมีรายละเอียดมากกว่า 2m แถบ กล้องก็จะไม่สามารถแยกรายละเอียดได้มากกว่านี้ เนื่องจากขีดจำกัดของสัญญาณภาพที่มีอยู่ดังกล่าวมาแล้ว ในกรณีเช่นนี้เรากล่าวว่าความคมชัดของสัญญาณภาพมีค่าเท่ากับ 2m pels พิกเจอร์อิลิเมนต์ (Picture Elements) ต่อหนึ่งเส้นสแกน (Scanning Line) ของลำอิเล็กตรอน คำว่า พิกเจอร์อิลิเมนต์นั้น หมายถึง ส่วนประกอบของภาพที่เล็กที่สุดที่สัญญาณภาพนั้นสามารถแยกแยะรายละเอียดออกได้ ปกติแล้ว อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของจอโทรทัศน์จะมีค่าเท่ากับ 4:3 เราเรียกว่า “Aspect Ratio” ดังนั้นถ้าความคมชัดของสัญญาณภาพในแนวนอนมีค่าเท่ากับ 2m pels จำนวนเส้นสแกนของลำอิเล็กตรอนทั้งหมดก็ควรจะมีอย่างน้อยเท่ากับ 2m x 3/4 = 3m/2 เส้น ซึ่งจะทำให้เกิดความคมชัด หรือรายละเอียดของภาพทั้งหมดเท่ากับ 2m x 3m/2 = $3m^2$ pels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป136ร 2538

ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

การส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยทั่วไปนั้น จะมีอัตราการส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที และสำหรับโทรทัศน์ระบบ PAL ซึ่งใช้อยู่ในประเทศไทยเราใช้จำนวนเส้นสแกน 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ ซึ่งก็หมายความว่า ความคมชัดหรือความละเอียดของภาพในแนวตั้งอาจทำให้มีได้มากถึง 620 pels แต่โดยความจริงแล้ว เส้นสแกนมีลักษณะเฉียงลงตามอธิบายในรูปที่ 2.7 จึงทำให้รายละเอียดของภาพลดลงไปอีก จะเหลืออยู่ประมาณ 450 pels ในแนวตั้ง ซึ่งหมายความว่าความคมชัดในแนวนอนจะมีค่าประมาณ 600 pels (450 x 4/3) ซึ่งเทียบได้ว่าภาพสร้างแถบขาว-ดำได้ 600 แถบหรือ 300 คู่เป็นอย่างมาก ซึ่งความหมายอีกนัยหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพนั้นจะเกิดขึ้นได้อย่างมากที่สุด 300 รอบ ใน 1 เส้นสแกน ดังนั้น ใน 1 วินาที ส่วนประกอบของสัญญาณภาพที่ละเอียดที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้เท่ากับ 300x625x25 = 4,687,500 รอบ ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ความถี่สูงสุดที่มาประกอบเป็นสัญญาณภาพนั้นจะมีค่าเท่ากับ 4.6875 MHz นั่นคือแบนด์วิดธ์ของสัญญาณภาพจะต้องมีค่าสูงมาก เท่ากับประมาณ 4.7 MHz นั่นเอง

2.4 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี

โดยอาศัยความรู้ที่ว่า แม่สีของแสงนั้นมีเพียง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ดังนั้น ถ้าเราแยกส่วนประกอบของแสงที่เป็นแสงแม่สีนี้ออกมา โดยใช้ฟิลเตอร์กรองแยกแสงที่เป็นแม่สีทั้ง 3 นั้นออกมาบันทึกภาพไว้ โดยหลอดบันทึกภาพ 3 หลอด หรือใช้หลอดบันทึกภาพ 3 หลอด ที่มีความไวเฉพาะต่อแสงที่เป็นแสงแม่สีทั้ง 3 มาบันทึกภาพแล้ว เราก็จะได้สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนประกอบของแสงที่เป็นแม่สีทั้ง 3 นั้น ออกเป็น 3 ชุด และโดยการอาศัยวงจรเมตริกซ์สี (Color Matrix) จะทำให้เราสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตจากหลอดบันทึกภาพทั้ง 3 นี้ ออกไปพร้อมๆ กันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

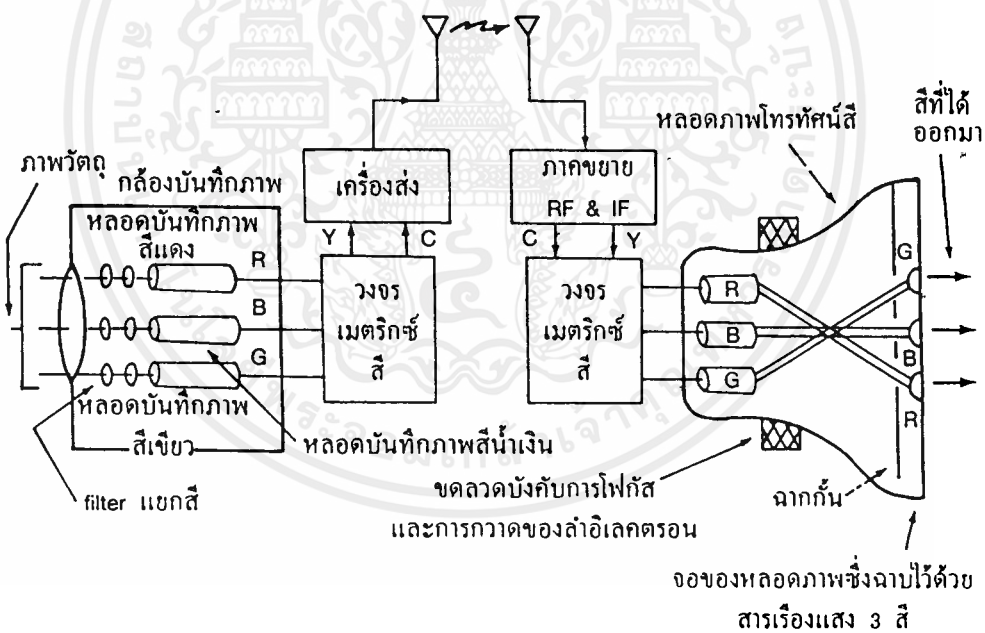
เมื่อสัญญาณภาพสีถูกส่งไปถึงเครื่องรับ เครื่องรับจะมีวงจรเมตริกซ์สีที่ใช้แยกสัญญาณภาพที่เกิดจากแม่สีทั้ง 3 นั้น ออกไปยังปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) แต่ละตัวในหลอดภาพของเครื่องรับ ปืนอิเล็กตรอนทั้ง 3 ตัวนี้ จะมีแนวการยิงของลำอิเล็กตรอนที่ถูกบังคับให้พุ่งออกไปยังหน้าจอของหลอดภาพเฉพาะตรงตำแหน่งที่มีสารเรืองแสงสีเดียวกันกับสัญญาณสีนั้นฉาบอยู่พอดี ทำให้แสงที่เรืองออกมานั้นมีสีเดียวกับแสงแม่สีเดิม และมีความสว่างเป็นไปตามความแรงของกระแสสัญญาณในลำอิเล็กตรอนนั้น แต่เนื่องจาก สารเรืองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ฉาบอยู่บนจอของหลอดภาพนี้มีลักษณะเป็นจุด หรือเป็นแถบเล็กๆ ที่อยู่ชิดกันมาก ดังนั้น เมื่อมันต่างเรืองแสงขึ้นมาพร้อมๆ กันแล้ว ก็จะเกิดเสมือนกับว่า มีการผสมสีของแสงทั้ง 3 สี ขึ้น และจะพอดีได้เป็นแสงสีต่างๆ เหมือนกับสีของภาพเดิมที่ได้ทำการถ่ายสัญญาณภาพนั้นออกมา

พลังงานแสงสว่างตามธรรมชาติที่มีอยู่นั้น สามารถที่จะแยกออกเป็นพลังงานของแสงที่เป็นแม่สีเป็นสัดส่วนได้ดังนี้ คือ

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \qquad (2.5)$$



รูปที่ 2.9 หลักการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้ Y คือ ค่าพลังงานของ สัญญาณส่องสว่าง (Luminance Signal) R, G และ B คือ ค่าพลังงานของแสงสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ อธิบายดังสมการ 2.5 ได้ว่า เมื่อนำแสงสีแดงที่มีพลังงาน 0.3 ส่วน , แสงสีเขียวที่มีพลังงาน 0.59 ส่วน และแสงสีน้ำเงินที่มีพลังงาน 0.11 ส่วน มาผสมรวมกันแล้วจะได้เป็นแสงสว่างสีขาวใสที่มีพลังงาน 1 ส่วนซึ่งจะกล่าวให้ถูกต้องแล้ว Y เป็นระดับของความสว่าง-มืดของภาพไม่ใช่สีขาว-ดำ ดังนั้นสัญญาณ Y จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเก็บข้อมูลรายละเอียดของภาพสำคัญมากกว่าสัญญาณR,G และ B ทั้งนี้เพราะ พิกเจอร์อิลิเมนต์มีขนาดเล็กมากพอสมควรถึงแม้ว่ามันจะมีสีอยู่โดยธรรมชาติ แต่ประสาทตาของคนเรานั้นก็จะไม่มีความสามารถพอที่จะแยกความรู้สึกได้ว่ามันมีสีอะไร คงรู้สึกได้แต่เพียงว่า พิกเจอร์อิลิเมนต์นั้นมีความสว่างออกมามากหรือน้อยเท่านั้น ดังนั้นในทางปฏิบัติ การส่งสัญญาณภาพนั้นจึงเลือกใช้สัญญาณ Y เป็นสัญญาณหลักที่ใช้ส่งไปพร้อมกับสัญญาณ R-Y และ B-Y ซึ่งเป็นสัญญาณรอง โดยใช้วงจรเมตริกซ์สีเป็นตัวจัดการเกี่ยวกับการรวมส่งสัญญาณเหล่านั้น ซึ่งในกระบวนการนี้สัญญาณ R-Y และ B-Y จะถูกมอดดูเลตกับคลื่นพาห์รองความถี่ 4.43 MHz ที่มีความต่างเฟสกัน 90° สองคลื่น จากนั้นจึงนำเอาสัญญาณที่ได้นี้มารวมกันเข้าเป็นสัญญาณใหม่เรียกว่า สัญญาณสี (Chromimamce Signal) และจะนำสัญญาณสีที่ได้นี้ไปรวมกับสัญญาณ Y เกิดเป็นสัญญาณภาพสี (Video Color Signal) เพื่อเตรียมไว้ใช้รวมกับสัญญาณเสียงในการสร้างเป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่จะนำไปมอดดูเลตกับคลื่นพาห์ที่จะส่งออกอากาศต่อไปในที่สุด อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณภาพสีทางด้านเครื่องรับได้ จึงทำให้ต้องมีการมอดดูเลตสัญญาณเสียงกับคลื่นพาห์รองความถี่ 6 MHz ในระบบ FM ก่อนที่จะนำไปรวมกับสัญญาณภาพสีนั้น

เมื่อเครื่องรับทำการรับสัญญาณโทรทัศน์และดีมอดดูเลต (Demodulate) เอาสัญญาณ Y, R-Y และ B-Y ออกมาได้แล้วต่อไปก็จะเป็นหน้าที่ของวงจรเมตริกซ์สี ทางด้านเครื่องรับที่จะทำการสร้างสัญญาณ G-Y ขึ้นมา โดยอาศัยสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$G - Y = -0.3R + 0.41G - 0.11B \qquad (2.6)$$

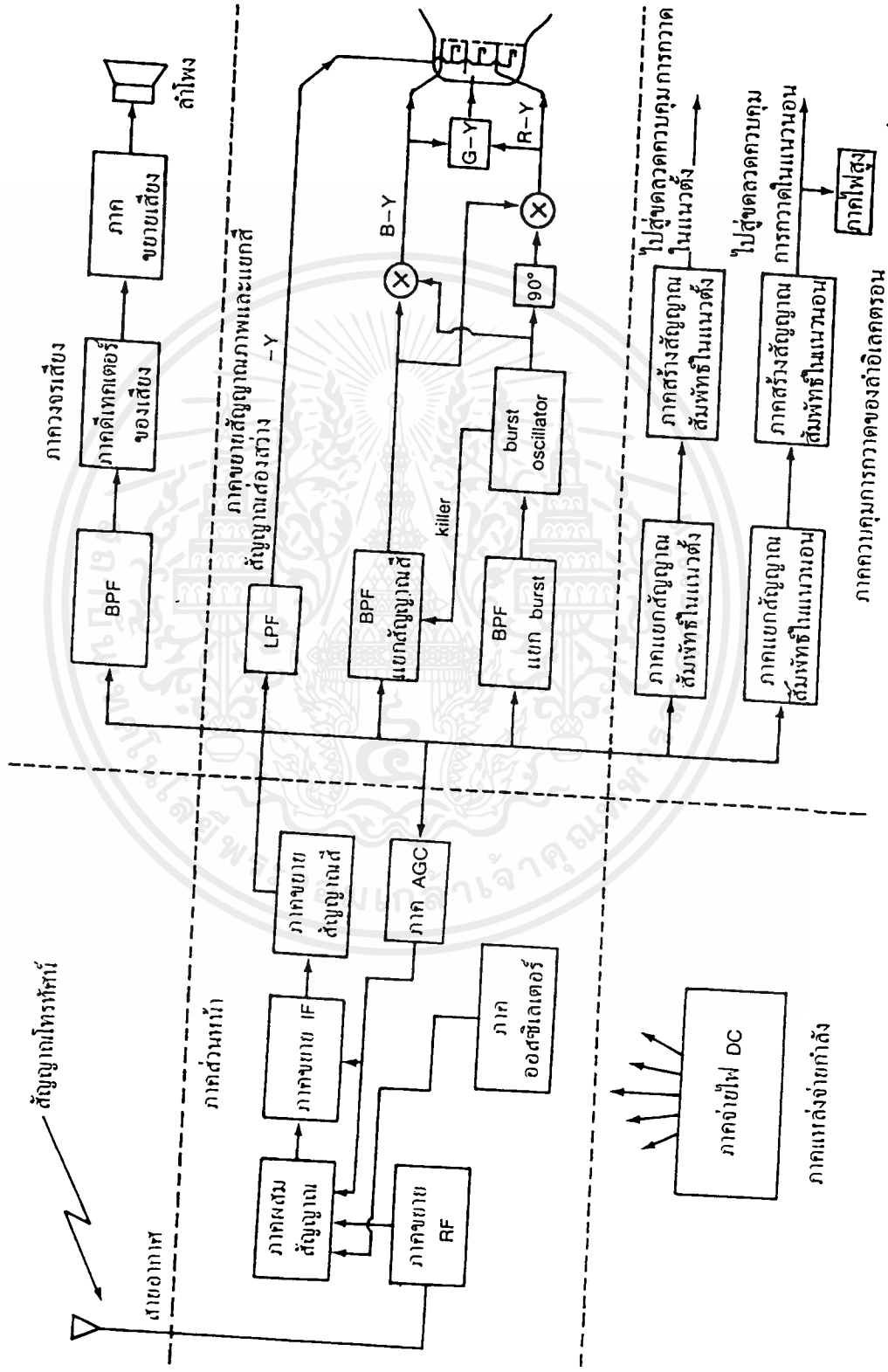
ซึ่งเมื่อจัดเทอมแล้วจะได้เป็น

$$G - Y = -0.51(R - Y) - 0.19(B - Y) \qquad (2.7)$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นได้จาก (2.6) , (2.7) ว่าสัญญาณ G - Y สามารถสร้างขึ้นได้จากสัญญาณ R - Y และ B - Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำเอาสัญญาณ R - Y, B - Y และ G - Y แต่ละตัวนี้ไปรวมกับสัญญาณ Y ก็จะได้สัญญาณของแม่สีทั้ง 3 ออกมาตามเดิม เช่น (R - Y) + Y = R เป็นต้น



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องรับโทรทัศน์

บล็อกไดอะแกรมของวงจรเครื่องรับโทรทัศน์มีแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ๆ ที่สำคัญ 5 ภาค คือ

1. ภาคส่วนหน้า (Front End)
2. ภาคขยายสัญญาณและแยกสี (Video Amplifier & Color Separation)
3. ภาควงจรเสียง (Sound Circuit)
4. ภาคควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน (Deflection Circuit)
5. ภาคแหล่งจ่ายกำลัง (Power Supply)

ภาคส่วนหน้าของเครื่องรับโทรทัศน์จะมีส่วนประกอบ และการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องรับวิทยุทั่วไปตามที่ได้อธิบายมาแล้ว ต่างกันที่ความถี่และแบนด์วิดธ์ของวงจรที่มากกว่ากัน วงจรดีเทคสัญญาณภาพ (Video Detector) จะทำหน้าที่แยกเอาคลื่นพาห์หลักออกทิ้งไปจากสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งรับเข้ามา และสัญญาณเสียงก็จะถูกแยกไปยังภาควงจรเสียงซึ่งจะทำหน้าที่ดีมอดดูเลตเอาสัญญาณเสียงออกมาจากคลื่นพาห์รอง 6 MHz และจะทำการขยายเสียงนั้นส่งไปยังลำโพงต่อไปในที่สุด สัญญาณภาพสีจะถูกแยกแล้วส่งไปยังภาคขยายสัญญาณภาพและแยกสีซึ่งใช้วงจรเมตริกซ์สีทำหน้าที่แยกสี รายละเอียดของวงจรเมตริกซ์สีนั้นต่างกันไปตามระบบโทรทัศน์ที่ใช้แล้วแต่ว่าจะเป็นระบบ PAL หรือระบบ NTSC หรือระบบ SECAM แต่ทุกระบบจะอาศัยหลักการสร้างสัญญาณ G - Y ขึ้นมาใหม่ ดังที่อธิบายมาในหัวข้อที่แล้ว วงจรภาคควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนจะอาศัยสัญญาณสัมพัทธ์ ที่มีอยู่ในส่วนของสัญญาณภาพในช่วงฟลายแบคที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อ 2.2 มาเป็นสัญญาณอ้างอิงสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในหลอดภาพโทรทัศน์ เพื่อให้ปรากฏเป็นภาพบนจอเครื่องรับเหมือนกับภาพเดิมที่เครื่องส่งได้ส่งมา อีกภาคหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งและจะขาดเสียไม่ได้ก็คือ ภาคแหล่งจ่ายกำลัง ภาคนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟจาก AC มาเป็น DC สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงวงจรต่างๆ ในเครื่องรับทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สายส่งสัญญาณ

2.6.1 เดซิเบลเนเปอร์ (Decibel Neper)

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งสัญญาณไป ก็ย่อมจะเกิดการลดทอนสัญญาณนั้นเป็นธรรมดา ดังนั้น เริ่มแรกก่อนที่จะศึกษาถึงเรื่องของสายส่งสัญญาณ เราก็ควรจะทำความรู้จักกับหน่วยที่ใช้วัดอัตราการลดทอนไว้ก่อน

ความแรงของสัญญาณโดยปรกติแล้วจะแสดงโดยค่าของโวลเตจร่วมกับค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) หรือแสดงโดยค่ากำลัง (Power) ของสัญญาณ เช่น กล่าวว่า สัญญาณมีค่า 100 mV บนค่าความต้านทาน 75 โอห์ม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สัญญาณมีค่า 0.133 mW เป็นต้น แต่สำหรับกรณีที่จะบอกค่าเป็นอัตราส่วนของสัญญาณ คือ การวัดค่ากำลังขยาย (Gain) หรือการลดทอน (Attenuation) ของระบบต่างๆ นั้น นิยมที่จะทำการวัดกันในหน่วยของเดซิเบล (Decible) ซึ่งเขียนย่อ ๆ ว่า dB

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad \text{dB} \tag{2.8}$$

เมื่อ P_1 และ P_2 คือระดับกำลังสัญญาณที่จุดสองจุดที่เราต้องการเปรียบเทียบ

อย่างไรก็ดี ถ้า P_1 นั้นเกิดจากค่าโวลเตจ V_1 บนความต้านทาน R_1 และ P_2 เกิดจากค่าโวลเตจ V_2 บนค่าความต้านทาน R_2 กล่าวคือ $P_1 = V_2^2/R2$ โดยการแทนค่าเหล่านี้ใน (2.8) จะได้

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = 20 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right) - 10 \log \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{dB} \tag{2.9}$$

แต่เมื่อ $R_1 = R_2$ แล้ว (2.9) จะลดรูปลงเหลือเป็น

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = 20 \log \frac{V_2}{V_1} \quad \text{dB} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการวัดค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณในหน่วยเดซิเบล ก็คือ ทำให้สะดวกในการหาค่ากำลังขยายหรือกำลังลดทอนของระบบที่ประกอบด้วย ระบบย่อยๆ หลายระบบมาต่อเรียงกัน (Cascade) ทั้งนี้ เพราะว่าค่ากำลังขยาย หรือกำลังการลดทอนของระบบใหญ่ๆ นั้น สามารถหาได้โดยง่าย ถ้าเราทราบค่ากำลังขยายหรือกำลังการลดทอนของระบบย่อยๆ ทั้งหมดนั้น กล่าวคือ เพียงแต่เราเอาค่ากำลังขยาย หรือลดทอนของระบบย่อยๆ เหล่านั้นมารวมกันโดยวิธีการทางพีชคณิตธรรมดา เราก็จะได้ค่ากำลังขยายหรือการลดทอนของระบบใหญ่นั้นทันที ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระบบหนึ่งประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณที่มีกำลังขยายเท่ากับ 30 เดซิเบล ต่อกับสายส่งสัญญาณซึ่งมีความสูญเสีย ภายในสาย 33 เดซิเบล และที่ปลายทางด้านรับสัญญาณนั้นมีภาคขยายสัญญาณที่มีกำลังขยายเท่ากับ 10 เดซิเบล ต่อยู่อีกภาคหนึ่งแล้ว เราก็จะสามารถคำนวณได้ทันทีว่ากำลังขยายของระบบเท่ากับ 7 เดซิเบล (30-33+10) เพราะข้อดีดังกล่าวนี้เอง จึงทำให้การใช้หน่วยเดซิเบลได้ถูกขยายนัยออกไป เพื่อใช้เป็นหน่วยสำหรับวัดค่าระดับกำลังของสัญญาณทั่วไปด้วย ซึ่งกำลังของสัญญาณนั้นอาจจะเป็นกำลังของสัญญาณที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของระบบการสื่อสาร ซึ่งกำลังของสัญญาณนั้น การขยายดังกล่าวนี้ทำได้โดยอาศัยวิธีคิดทำการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณนั้นกับระดับกำลังอ้างอิงค่าใดค่าหนึ่งที่ยอมรับกันอยู่เป็นมาตราฐานสากล ซึ่งระดับอ้างอิงที่นิยมกันอยู่ทั่วไปค่าหนึ่งคือ 1 mW และเพื่อให้คนทั่วไปได้รู้ว่า ค่าเดซิเบลที่กำลังใช้อยู่นั้นคือค่าเดซิเบลที่ได้จากการเปรียบเทียบกำลัง P กับระดับกำลังอ้างอิง 1 mW จึงได้ใช้อักษร “m” ห้อยไว้ข้างหลัง dB เป็น dB_m ทั้งนี้เพื่อเป็นเครื่องหมายให้รู้ว่ามันไม่ใช่อัตรากำลังขยาย หรือกำลังการลดทอน แต่หากเป็นค่าของกำลังธรรมดาทั่วไปที่เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง 1 mW

$$\text{ระดับกำลังของสัญญาณ } P = 10 \log \left(\frac{P}{1\,mW} \right) \quad dB_m \qquad (2.11)$$

จาก (2.11) จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่มีค่า 100 mV บนความต้านทาน 75 โอห์ม หรือมีกำลัง 0.133 mV นั้น เมื่อคิดในหน่วยของ dB_m จะมีค่าเท่ากับ -8.76 dB_m ส่วนเครื่องหมายลบเป็นสิ่งที่บอกให้รู้ว่าระดับกำลังของสัญญาณนั้นอยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง 1 mW เท่ากับ 8.76 dB

หน่วยของการวัดค่าลดทอนที่ใช้กันอยู่อีกอย่างหนึ่ง คือ เนเปอร์ (Neper) ซึ่งใช้อักษรย่อว่า Nep หรือ Np เนเปอร์เป็นหน่วยที่มีคุณสมบัติคล้ายกับหน่วยเดซิเบล คือเป็นหน่วยที่เกิด

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

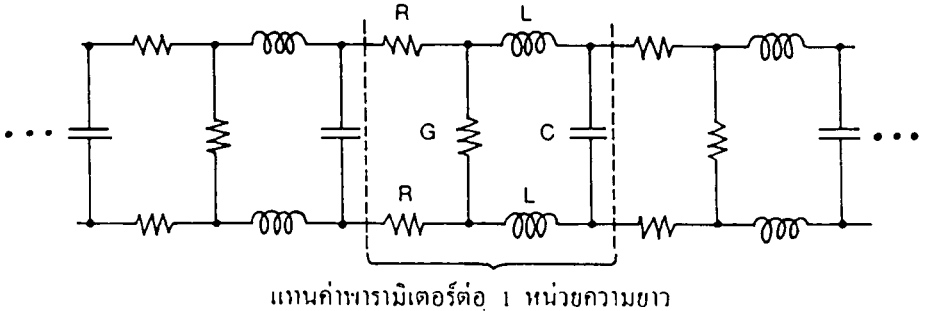
จากการคิดค่าล็อก (Logarithm) เหมือนกัน แต่ว่าเนเปอร์นั้นถูกกำหนดขึ้นโดยการใช้ค่าล็อกฐาน e

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = \frac{1}{2}\log_e\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \text{Nep} \tag{2.12}$$

โดยการเปรียบเทียบ (2.8) กับ (2.12) ทำให้รู้ว่า 1 Nep = 8.686 dB

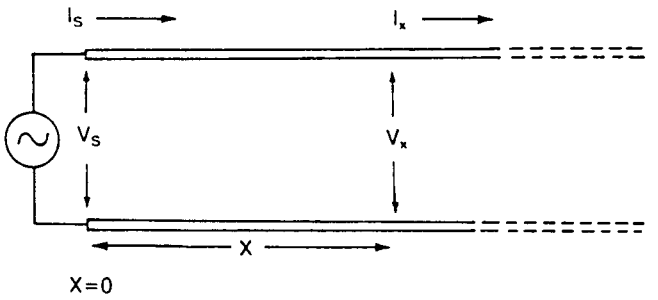
2.6.2 ค่าคงที่ปฐมภูมิ และค่าคงที่ทุติยภูมิของสายส่งสัญญาณ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณนั้น เนื่องจากสายส่งสัญญาณมีความยาวมากเมื่อคิดเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งไปในสายนั้น ด้วยเหตุนี้ เราจึงไม่สามารถใช้ทฤษฎีทางวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นธรรมดา เช่น กฎของโอห์ม, กฎของเคอร์ซอฟฟ์ เป็นต้น มาวิเคราะห์สายส่งสัญญาณโดยตรงได้ ทั้งนี้เพราะว่าทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นนั้นมีข้อสมมติฐานว่า อุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นวงจรนั้นจะต้องเป็นลักษณะของอุปกรณ์กลุ่มรวม (Lumped Element) เท่านั้น แต่สำหรับการวิเคราะห์สายส่งสัญญาณนั้น เราจะต้องคิดว่าสายส่งสัญญาณเป็นอุปกรณ์ชนิดกระจาย (Distributed Element) กล่าวคือ ภายในสายส่งจะมีความต้านทาน (Resistance), ความเหนี่ยวนำ (Inductance) และความจุไฟฟ้า (Capacitance) กระจายอยู่ตลอดสายนั้น ซึ่งเขียนวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) แทนสายส่งแล้วจะประมาณเป็นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลย์ของสายส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ

ในรูปที่ 2.11 นี้ ค่า R, G, L และ C นั้นเป็นค่าความต้านทาน ความนำ ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายตามลำดับ ค่าต่างๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกว่า ค่าคงที่ปฐมภูมิ (Primary Constant) ของสายส่งสัญญาณ เนื่องจากมันเป็นค่าเบื้องต้นที่มีอยู่ประจำสายและใช้สำหรับคำนวณหาค่าคงที่อื่นๆ ซึ่งจะบอกคุณสมบัติต่างๆ ของสายส่งสัญญาณนั้น เช่น ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation Constant). ของสาย เป็นต้น

เมื่อทำการวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ โดยสมมติว่าสัญญาณที่ใช้นั้นเป็นคลื่นรูปไซน์ และสายส่งสัญญาณนั้นมีความยาวไม่สิ้นสุดตามรูปที่ 2.12 แล้วเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, โวลเตจ และค่าคงที่ต่าง ๆ ของสายส่งสัญญาณดังนี้คือ

$$V(x) = V_S \cosh(\gamma x) - I_S Z_O \sinh(\gamma x) \qquad (2.13)$$

$$I(x) = I_S \cosh(\gamma x) - \frac{V_S}{Z_O} \sinh(\gamma x) \qquad (2.14)$$

โดยที่สัญญลักษณ์ : x คือ ระยะทางที่วัดจากจุดที่สายส่งสัญญาณต่อยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณมายังจุดที่เราต้องการทราบค่าโวลเตจและกระแส

V(x) และ I(x) คือ ค่าเฟเซอร์ (Phasor) ของโวลเตจ และกระแสที่ระยะทางหนึ่งๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \tag{2.15}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \tag{2.16}$$

ในที่นี้ $\omega = 2\pi f$ เมื่อ f คือ ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต มีชื่อว่า ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่ของคลื่น (Propagational Constant) และ α มีชื่อว่า ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation Constant) มีหน่วยเป็นเนเปอร์ต่อหน่วยความยาวของสาย ส่วน β มีชื่อว่า ค่าคงที่ของการเปลี่ยนเฟส (Phase Constant) มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian) ต่อหน่ายความยาวของสาย, α นั้นจะเป็นตัวบอกว่า กำลังของคลื่นที่ได้ส่งไปตามสายส่งนั้นถูกลดทอนไปในสายส่งสัญญาณต่อระยะทางมีมากน้อยเท่าใด และ β จะเป็นตัวบอกว่า คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ไปในสายส่งสัญญาณนั้นแล้ว จะมีค่าเฟสของสัญญาณตามระยะทางต่างๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ดังนั้น เมื่อเราพิจารณาให้ดีแล้วเราจะเห็นว่า β มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น λ ดังต่อไปนี้คือ

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{2.17}$$

ทั้งนี้เพราะว่า ระยะทางที่ทำให้คลื่นสัญญาณเปลี่ยนเฟสไปได้ 360° หรือ 2π นั่นก็คือความยาวคลื่นนั่นเอง

Z_o มีชื่อว่า อิมพีแดนซ์ประจำสาย (Characteristic Immpedance) เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายเมื่อสายยาวไม่มีที่สิ้นสุด

ค่า γ , α, β และ Z_o นั้นต่างถูกกำหนดว่าคือ ค่าคงที่ทุติยภูมิ (Secondary Constant) ของสายส่งสัญญาณ

2.6.3 การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณ และ SWR

ถ้าเราส่งคลื่นไปตามสายที่ยาวไม่สิ้นสุด คลื่นก็ย่อมจะเคลื่อนที่ตามสายนั้นไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะไปสู่ปลายสายอีกข้างหนึ่ง แต่เนื่องจากสายมีความยาวไม่สิ้นสุด คลื่นจึงไม่มีโอกาสจะเคลื่อนที่ไปถึงปลายสายได้ เพราะฉะนั้น คลื่นนั้นจึงหมดโอกาสที่จะสะท้อนกลับทวนขึ้นมาตามสายได้อีก แต่เมื่อใดก็ตามที่เราตัดสายให้มีความยาวจำกัด และเอาตัวภาระ (Load) Z_R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเข้ากับปลายที่ตัดออกนั้น เพื่อใช้เป็นตัวรับสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.13 เราจะพบว่า เมื่อคลื่นเดินทางมาถึง Z_R แล้วก็ยังคงมีคลื่นบางส่วนสะท้อนกลับไปในสายอีก ซึ่งปริมาณของคลื่นที่สะท้อนกลับไปในสายนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกับ ซึ่งกำหนดได้จากค่าของ Z_O และ Z_R

รูปที่ 2.13 สายส่งสัญญาณที่ต่อกับตัวภาระ Z_R

τ คือ อัตราส่วนของปริมาณสัญญาณโวลเตจที่สะท้อนกลับไปในสายต่อปริมาณของสัญญาณโวลเตจที่เคลื่อนที่มาถึงตัวภาระนั้น ค่าของ τ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$\tau = \frac{(Z_R - Z_O)}{(Z_R + Z_O)} \qquad (2.18)$$

จาก (2.18) เราจะพบว่า เมื่อ $Z_R = Z_O$ นั้น จะไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นเกิดขึ้นเลย พลังงานของคลื่นทั้งหมดจะถูกรับเข้าไปในตัวภาระจนหมดสิ้น ที่เป็นเช่นนี้อธิบายโดยใช้เหตุผลง่ายๆ ได้ว่า ถ้าหากสายยาวไม่มีที่สิ้นสุดแล้ว แม้เราจะตัดสายลงที่ตำแหน่งใดก็ตาม ส่วนที่เหลือของสายก็ยังมีความยาวไม่สิ้นสุดอยู่เหมือนเดิม ดังนั้น เมื่อเรามองเข้าไปในสายส่วนที่เหลือนั้น ก็จะพบว่าค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นั้นมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสาย Z_O เสมอไป เพราะฉะนั้น ถ้าเราตัดสายส่งสัญญาณออก แล้วเอาตัวภาระซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ $Z_R = Z_O$ ต่อเข้าที่ปลายสายนั้นแล้ว เมื่อเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาพบตัวภาระนั้น คลื่นจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในสถานภาพทางไฟฟ้า คลื่นยังคงเห็นสถานภาพนี้เหมือนกับสถานภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายที่มีความยาวไม่สิ้นสุดอยู่ คลื่นจึงเคลื่อนที่เข้าไปในตัวภาระซึ่งมีค่าเท่ากับ Z_o นั้นทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนกลับไปในสายอีก ซึ่งแปลความอีกนัยหนึ่งได้ว่า พลังงานของคลื่นทั้งหมดจะถูกใช้ไปในตัวภาระได้อย่างสมบูรณ์นั่นเอง แต่เมื่อใดก็ตาม ที่ตัวภาระ Z_R มีค่าต่างไปจาก Z_O แล้ว ก็จะทำให้มีพลังงานของคลื่นบางส่วนสะท้อนกลับไปยังสายส่งได้อีก เพราะฉะนั้น เมื่อเราประสงค์จะให้ตัวภาระรับสัญญาณได้ดีที่สุดแล้ว เราก็จะต้องออกแบบเครื่องรับ ให้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายส่งสัญญาณที่ใช้นั้น

ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เกิดบนสายส่งก็คือ เมื่อ $Z_R \neq Z_O$ แล้ว คลื่นส่วนที่สะท้อนกลับไปในสายนั้นจะเสริมกัน หรือหักล้างกันกับคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามายัง Z_R ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่างเฟสของคลื่นทั้งสองนั้น ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นคลื่นที่มีความแรงมากบ้างน้อยบ้างตามระยะทางต่างๆ บนสายส่งสัญญาณนั้น ในกรณีที่สัญญาณที่ใช้ส่งอยู่เป็นคลื่นรูปไซน์ ค่าความแรงของคลื่นผลลัพธ์ที่เกิดจากคลื่นทั้งสองนั้นรวมตัวกันตามระยะทางต่างๆ จะมีค่าแน่นอน และปรากฏขึ้นลงเป็นรูปคลื่นที่เป็นสมการของระยะทาง x เพียงอย่างเดียว มีค่าความแรงประสิทธิผลไม่ขึ้นกับค่าเวลา t รูปคลื่นที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเวลานี้ เสมือนกับว่ามันเป็นค่าที่ยืนอยู่ประจำตามตำแหน่งต่างๆ บนสายนั้นอยู่ตลอดเวลา จึงได้ชื่อว่าคลื่นสแตนดิ้งเวฟ (Standing Wave) และในกรณีที่สายส่งสัญญาณมีค่าคงที่การลดทอนสัญญาณที่น้อยมากจนสามารถตัดทิ้งไปได้ หรือที่เรียกกันว่า สายที่ปราศจากการสูญเสีย (Loseless Line) นั้น ค่าอัตราส่วนของความแรงของคลื่นบริเวณตำแหน่งที่แรงที่สุดต่อความแรงตรงตำแหน่งที่มีความแรงของคลื่นน้อยที่สุดนั้น มีชื่อเรียกว่า “Standing Wave Ratio” ซึ่งเขียนย่อๆ ว่า SWR และถ้าหากคลื่นที่เราใช้อยู่นั้นเป็นสัญญาณโวลเตจ เราเรียก ค่าอัตราส่วนนั้นว่า “Voltage Standing Wave Ratio” ซึ่งเขียนย่อ ๆ ว่า VSWR และมักจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย σ หรืออาจคำนวณได้จาก

$$\sigma = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$
$$\sigma = \frac{1+|\tau|}{1-|\tau|} \qquad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า VSWR นี้เป็นพารามิเตอร์ที่เรานิยมใช้เป็นตัวช่วยแสดงบอกให้เรารู้ว่า ภาวะของการต่อตัวภาระเข้ากับสายส่งสัญญาณนั้น มีผลทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากสายไปสู่ตัวภาระได้มากหรือน้อยอย่างไร กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ VSWR เป็นพารามิเตอร์ที่ช่วยแสดงภาวะของตัวภาระว่าจะสามารถรับพลังงานของคลื่นที่ส่งไปตามสายนั้นมาได้มากหรือน้อยเพียงใด ในกรณีที่สายส่งสัญญาณต่อกับภาระได้อย่างสมดุลย์ (Matching) คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวภาระพอดีกับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายนั้น $Z_R = Z_O$ ตาม (2.18) และ (2.19) เราจะพบว่า $\tau = 0$ และ $\sigma = 1$ แต่ในกรณีที่การต่อตัวภาระเข้ากับสายขาดความสมดุลย์กัน กล่าวคือ $Z_R \neq Z_O$ แล้ว σ จะมีค่ามากกว่า 1 เพราะฉะนั้น VSWR จึงเป็นตัวช่วยแสดงให้เรารู้ถึงสถานะความสมดุลย์ของวงจรหรือระบบอันเกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานว่า มีความสมดุลย์ดีมากหรือน้อยเพียงไร

รูปที่2.14 เป็นรูปที่ช่วยแสดงภาวะการต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณและค่า VSWR ที่เกิดขึ้นเพื่อประกอบคำอธิบายข้างต้นนั้น

ค่า SWR และปริมาณของพลังงานที่สายส่งสามารถส่งถ่ายพลังงานสัญญาณให้ตัวภาระนำไปใช้งานได้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแสดงดังในตารางที่ 2.1

2.6.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณ์ที่ถูกต่อด้วยตัวภาระ

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาว่า เมื่อนำตัวภาระมาต่อเข้ากับสายส่งสัญญาณ และถ้าค่าอิมพีแดนซ์ของตัวภาระนั้นไม่เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย ก็จะเกิดการสะท้อนของคลื่นกลับไปในสายอีก ดังนั้น เมื่อมีการสะท้อนกลับของคลื่น ก็ย่อมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับโวลเตจและกรแสตามตำแหน่งต่างๆ ของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWR	เปอร์เซ็นต์ของค่ากำลังงานคลื่นที่ส่งต่อให้ตัวภาระได้	ข้อเสนอแนะ
1 : 1	100%	เป็นค่าในอุดมคติ ซึ่งทำไม่ได้ในทางปฏิบัติเพราะ
1.05 : 1		ความจริงต้องมีการสูญเสียในสายส่งสัญญาณ
1.1 : 1	99.94%	ดีมากในทางปฏิบัติ ยากที่จะทำให้ดีกว่านี้ได้
1.2 : 1	99.78%	ดี
1.5 : 1	99.17%	ดีพอใช้
	96%	ดีใช้ได้ แต่ก็ควรพยายามปรับปรุงให้ดีขึ้นถ้าเป็น
2 : 1		ไปได้
3 :1	88.89%	พอทนใช้ได้ แต่ควรต้องปรับปรุงอย่างยิ่ง
	75%	ไม่เป็นที่ยอมรับ เพราะมีพลังงานสะท้อนกลับ
		มากถึง 25%

ตารางที่ 2.1 SWR ในสภาวะต่าง ๆ

เพราะฉะนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณก็ย่อมจะมีค่าเปลี่ยนไปต่างๆ เมื่อความยาวของสายเปลี่ยนแปลงไป ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสาย Z_i เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ Z_R โดยที่สายความยาว 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.15 สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Z_i = Z_R \frac{Z_R + Z_O \tanh(\gamma l)}{Z_O + Z_R \tanh(\gamma l)} \quad \Omega \qquad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

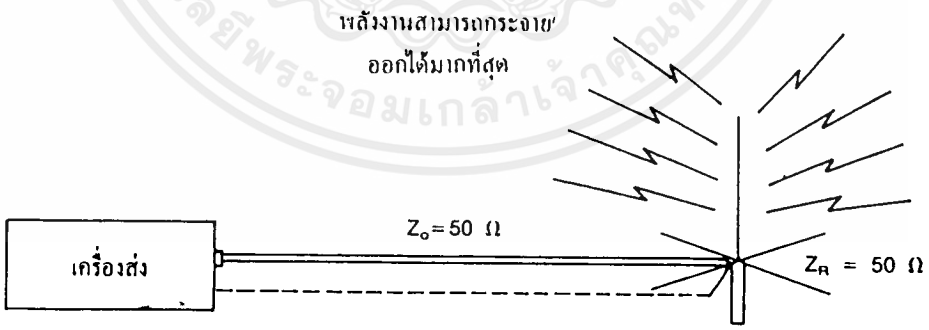
ปกติในการสร้างสายส่งสัญญาณนั้น จะพยายามสร้างให้ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกับสายส่งที่ปราศจากการสูญเสีย คือ จะสร้างให้สายมีค่าคงที่การลดทอน α น้อยมาก เพราะฉะนั้น จะได้ $\gamma = j\beta$ และเมื่อนำเอา (2.17) ร่วมกับ (2.20) แล้วจะได้ว่า

$$Z_i = Z_R \frac{Z_R + Z_O j\tan(2\pi I/\lambda)}{Z_O + Z_R j\text{anh}(2\pi I/\lambda)} \quad \Omega \qquad (2.21)$$

ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก (2.21) นั้น ก็เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้เราจะเปิดปลายสาย ($Z_R = \infty$) หรือปิดปลายสาย ($Z_R = 0$) ก็ตาม ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายก็อาจจะมีค่าต่างๆ กันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของสายนั้นในกรณีที่เราเปิดปลายสายนั้น จาก (2.21) เราจะได้

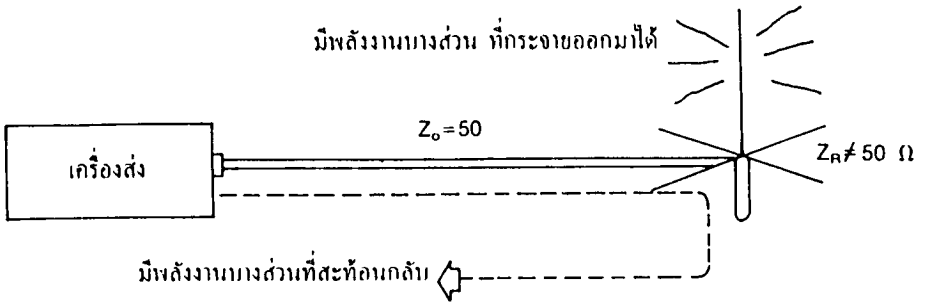
$$Z_i = -jZ_O \cot(2\pi I/\lambda) \quad \Omega \qquad (2.22)$$

เราจะพบว่า ถ้าสายยาวไม่ถึง $\lambda/4$ แล้ว Z_i จะมีสภาวะทางไฟฟ้าเป็นค่าคาปาซิทีฟ (Capacitive) แต่เมื่อ $\lambda/4 < l < \lambda/2$ แล้ว Z_i จะมีสภาวะเป็นอินดัคทีฟ (Inductive) สภาวะของสายที่เป็นค่าคาปาซิทีฟ และอินดัคทีฟนี้จะเกิดขึ้นสลับกันไปเป็นช่วงๆ ทุกช่วงความยาว $\lambda/4$ ที่สายมีความยาวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16



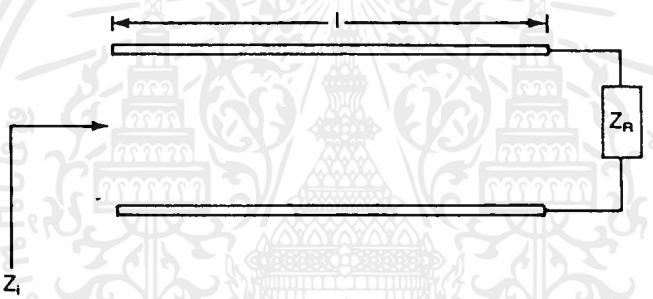
(ก) การต่อสายอากาศพอดีได้สมดุลย์กับสายส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การต่อสายอากาศขาดความมีสมดุลย์กับสายส่งสัญญาณ

รูปที่ 2.14 การต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณ และ Standing Wave ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.15 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ยาว l เมตร เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ Z_R

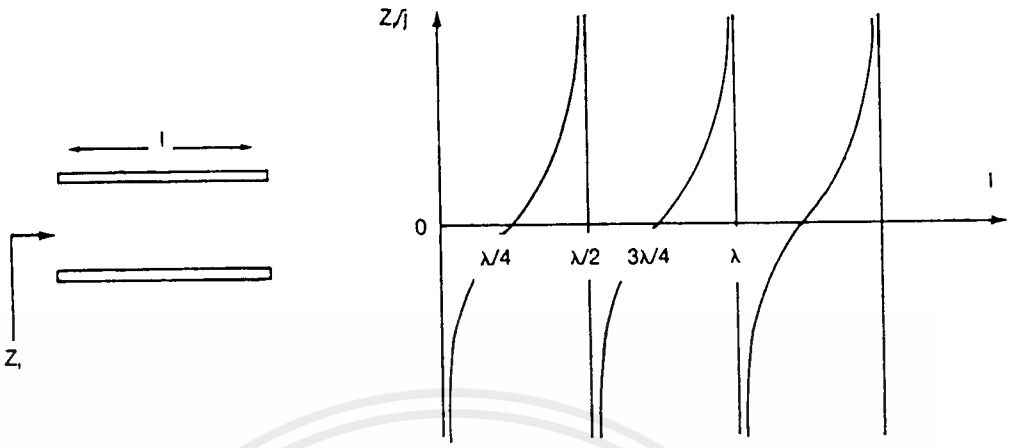
สำหรับในกรณีที่ปิดปลายสาย ($Z_R = 0$) นั้น จาก (2.21) จะได้

$$Z_i = -jZ_O \tan(2\pi l/\lambda) \qquad \Omega \qquad (2.23)$$

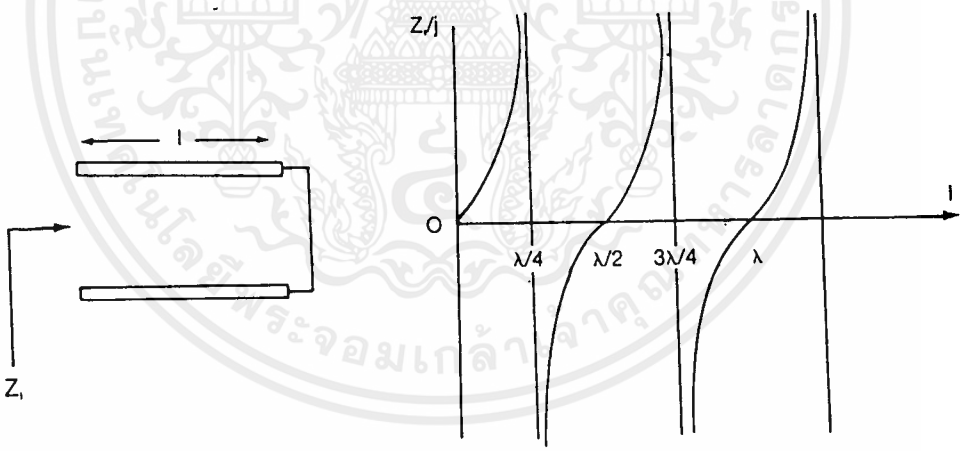
ซึ่งจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ Z_i นี้ มีดังแสดงในรูปที่ 2.17

อีกกรณีหนึ่งที่น่าสังเกตคือ ในกรณีที่เราเลือกสายส่งสัญญาณให้มีความยาวเป็น n/2 เท่าของความยาวคลื่น กล่าวคือ $l = n\lambda/2$ ($n = 1, 2, \ldots$) เมื่อนำตัวภาระ Z_R มาต่อกับสาย ดังรูปที่ 2.18 โดยอาศัย (2.21) เราจะพบว่า ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ Z_i มีค่าเท่ากับ Z_R นั้นพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

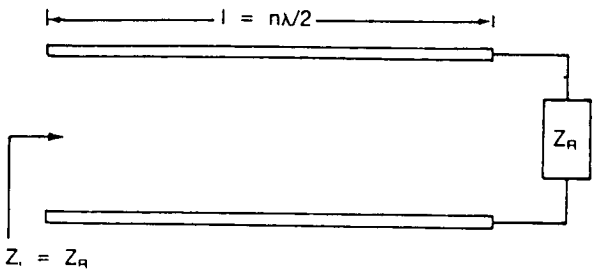


รูปที่ 2.16 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว l ต่าง ๆ กัน ขณะที่เปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่



รูปที่ 2.17 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว l ต่าง ๆ กัน ขณะที่ปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

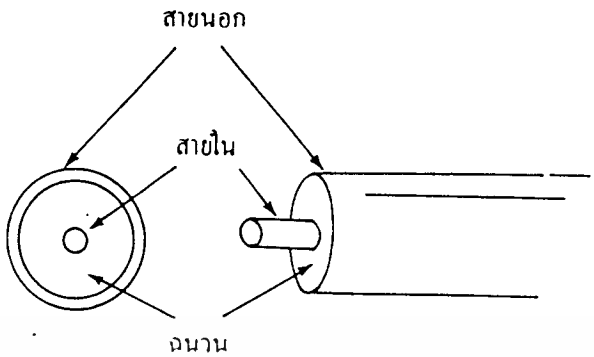


รูปที่ 2.18 สายส่งเมื่อ $l = n\lambda/2$ แล้วจะให้ค่า $Z_i = Z_R$

2.6.5 สายโคแอกเชียล

สายโคแอกเชียลเป็นสายซึ่งพัฒนามาจากสายเคเบิลธรรมดา ทั้งนี้เพราะสายเคเบิลที่ใช้สายเป็นคู่นั้นจะถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้ง่าย ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างของสายเคเบิลขึ้น โดยการทำสายๆ หนึ่งให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก หุ้มสายอีกสายหนึ่งที่เป็นคู่สายไว้ภายใน ดังแสดงในรูป 2.19 เพราะเหตุที่โครงสร้างของสายเคเบิลตามลักษณะนี้มีแกนร่วมกัน ดังนั้น สายเคเบิลแบบนี้จึงได้ชื่อเรียกว่า สายโคแอกเชียล ซึ่งแปลว่าสายที่มีแกนร่วมกัน ส่วนทรงกระบอกที่เป็นสายด้านนอกจะทำการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกไม่ให้เล็ดลอดเข้าไปเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นสัญญาณรบกวนที่สายแกนในได้ เพราะฉะนั้น โดยปกติแล้วในการใช้งานจึงนิยมใช้สายนอกเป็นสายดิน (Ground) และใช้สายในเป็นสายสัญญาณ เพื่อผลประโยชน์ในการป้องกันสัญญาณรบกวนดังกล่าว สายนอกซึ่งเป็นรูปทรงกระบอกนั้น นอกจากจะป้องกันสัญญาณรบกวนแล้ว ยังช่วยลดความสูญเสียของสัญญาณ อันเนื่องมาจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสายโคแอกเชียลจะมีโครงสร้างทางกายภาพต่างไปจากสายเคเบิลธรรมดา แต่คุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นยังคงเหมือนกับสายเคเบิลธรรมดา ดังนั้นวิธีคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของสายเคเบิลในหัวข้อก่อนๆ จึงยังคงใช้ได้กับสายโคแอกเชียลด้วย ปรกติโครงสร้างสายโคแอกเชียลจะทำให้เกิดค่าความจุไฟฟ้าต่อหน่วยความยาวของสายมากกว่าสายเคเบิลธรรมดา ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ประจำของสายโคแอกเชียล พิจารณาได้จาก(2.11) จึงมีค่าน้อยกว่าค่าอิมพีแดนซ์ประจำของสายส่งสัญญาณที่เป็นเคเบิลแบบคู่ขนานธรรดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสายโคแอกเชียล

2.6.6 การลดทอนของสัญญาณภายในสายสัญญาณ

ในสายเคเบิลนั้น ปกติจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นในสายขึ้นอยู่กับค่าคงที่การลดทอนนั้น จาก (2.10) เราสามารถหาได้ว่า

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{2}\sqrt{\left(1+\frac{R}{\omega L}\right)^2\left(1+\frac{G}{\omega C}\right)^2}+\frac{}{\omega^2 LC}} \qquad (2.24)$$

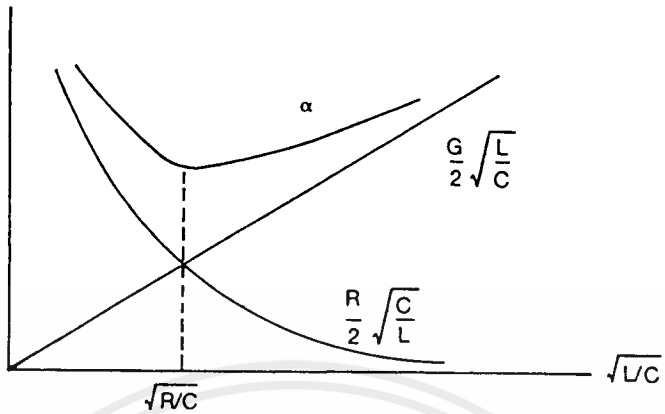
แต่เพราะว่าปกติ $1 > R/\omega L$ และ $1 > G/\omega C$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}\alpha &= \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{2}\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{R^2}{\omega^2 L^2}+\frac{G^2}{\omega^2 C^2}+\frac{2}{\omega^2 LC}\right)-1\right\}} \\ &= \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{4}}\left(\frac{R}{\omega L}+\frac{G}{\omega C}\right) \qquad (2.25)\\ &= \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}+\frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}\end{aligned}$$

เมื่อเราเปลี่ยนค่า $\sqrt{L/C}$ ไปเรื่อยๆ ตามรูปที่ 2.20 เราจะพบค่า α มีค่าน้อยสุดเมื่อ $\sqrt{L/C} = \sqrt{R/G}$ กล่าวคือ

$$\frac{R}{G}=\frac{L}{C} \qquad (2.26)$$

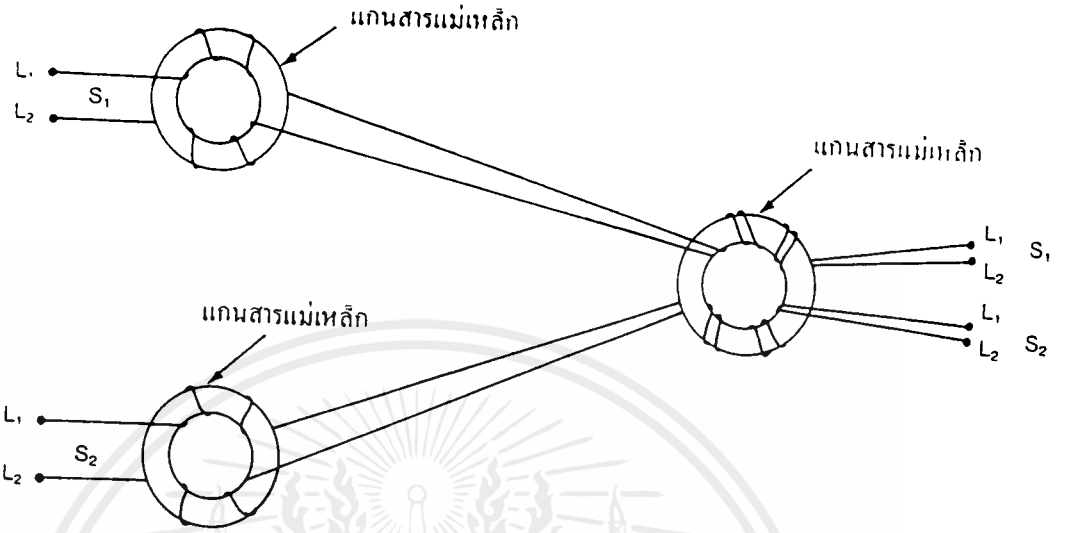
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ L/C

สมการ (2.26) เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ทราบว่า เราจะต้องสร้างสายเคเบิลอย่างไรจึงจะเกิดการลดทอนของสัญญาณในสายน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม สายเคเบิลที่ผลิตจากโรงงานโดยทั่วไปนั้นจะมีค่า R/C มากกว่าค่า L/C ทั้งนี้ เพราะเหตุผลเกี่ยวกับราคาต้นทุนในการผลิต ในบางครั้งเมื่อนำสายเคเบิลนั้นมาใช้งาน ผู้ใช้ได้พยายามค้นหาวิธีการบางวิธีเพื่อที่จะปรับค่าคงที่ปฐมภูมิต่างๆ ของสายเคเบิลให้ได้ค่าสอดคล้องตาม (2.26) เพื่อให้เกิด α น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ต่างๆ แล้ว วิธีการเพิ่มค่า L ให้แก่สายเคเบิลเป็นวิธีที่เหมาะสมและทำได้ง่ายที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่า L ให้แก่สายเคเบิล โดยที่จะให้ค่า L กระจายไปโดยสม่ำเสมอตลอดสายเคเบิลนั้น แม้จะสามารถทำได้แต่ก็จะเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น M.I. Pupin จึงได้คิดใช้วิธีการประมาณรวบรวมเพิ่มค่า L ให้กับสายเคเบิลเป็นระยะๆ โดยการเพิ่มโหลดดิ้งคอยล์ (Loading Coil) เข้าในสายดังแสดงในรูปที่ 2.21 แทนการเพิ่ม L ชนิดที่กระจายอยู่ตลอดสาย วิธีการกระทำเช่นนี้ มีชื่อว่าการทำโหลดดิ้ง (Loading) สายเคเบิลที่ทำการโหลดดิ้งแล้ว มีชื่อเรียกว่า โหลดเดดเคเบิล (Loaded Cable) แม้การทำโหลดดิ้งดังกล่าวแล้วจะช่วยลดค่า α ของสายลงได้ แต่ก็เป็นไปในช่องของสัญญาณที่มีความถี่ช่องหนึ่งเท่านั้น

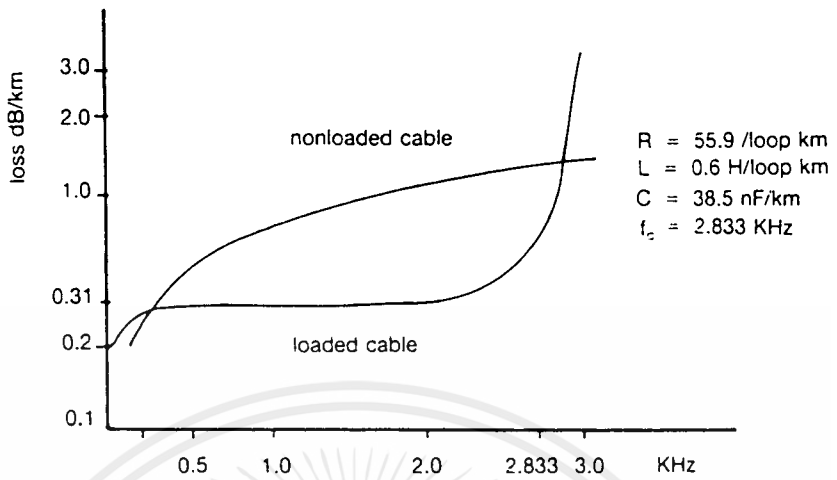
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำ loading ให้กับสายส่งสัญญาณ

ทั้งนี้เพราะโหลดดิ้งคอยล์ที่ใส่เข้าไปเป็นระยะๆ นั้น ทำให้พฤติกรรมของโหลดเคเบิลเกิดขึ้นคล้ายกับพฤติกรรมของตัวกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) กล่าวคือที่ความถี่สูงๆ การลดทอนของโหลดเคเบิลจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก รูปที่ 2.22 แสดงเปรียบเทียบให้เห็นถึงค่าการลดทอนของสายเคเบิลธรรมดาขนาด 0.9 มิลลิเมตรที่ยังไม่ได้ทำการโหลดดิ้งกับค่าการลดทอนของสายที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้ทำการโหลดดิงขึ้นแล้ว โดยใช้โหลดดิ้งคอยล์ ขนาด 64 mH เพิ่มเข้าไปที่ทุกระยะห่างกัน 1.83 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ค่าการลดทอนของสายเคเบิลขนาด 0.9 มิลลิเมตรก่อนทำการ loading และภายหลังที่ได้ทำการ loading

เนื่องจากโหลดเคเบิลนี้มีการลดทอนของสัญญาณมากที่ความถี่สูง ดังนั้น มันจึงเหมาะสำหรับจะใช้กับสัญญาณในย่านความถี่เสียงหรือความถี่ต่ำๆ เท่านั้น แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณที่มีความถี่สูง เช่น สัญญาณดิจิตอลในการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วสูง เป็นต้น

2.6.7 อาร์เอฟ คอนเวอร์เตอร์/อาร์เอฟ มอดดูเลเตอร์

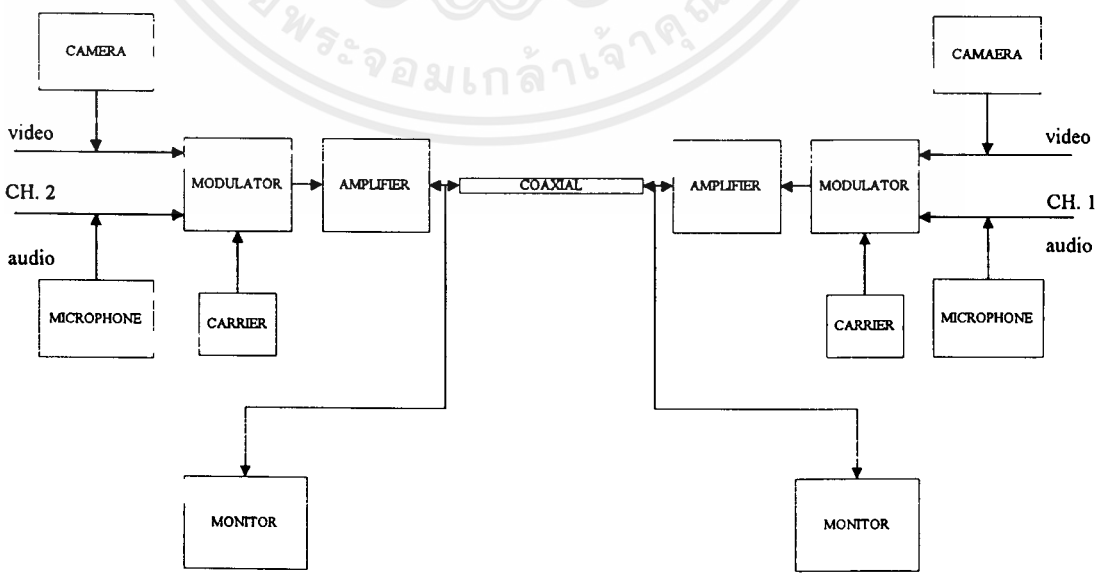
อาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์เป็นเครื่องส่งสัญญาณขนาดเล็ก เพื่อนำเอาสัญญาณภาพและเสียงส่งให้กับสายอากาศของเครื่อวรับโทรทัศน์ที่จุดขั้วต่อสายนำสัญญาณที่อยู่หลังเครื่องรับโทรทัศน์ มันจะเป็นตัวนำสัญญาณภาพและเสียงส่งออกเป็นความถี่พาห์ เป็นสัญญาณสำหรับช่อง 3 และช่อง 4 ในบางครั้ง อาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ อาจจะไม่ได้แยกออกมา ข้างนอกก็ได้ จึงอาจจะอยู่ในเครื่องเล่นวิดีโอเทปก็ได้ เนื่องจากสัญญาณภาพในปัจจุบันนี้มีทั้งสัญญาณภาพจากเครื่องส่งโทรทัศน์, เครื่องเล่นวีดีโอเทป, เครื่องเล่นวีดีโอดิสก์, เคเบิลทีวี, คอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ระบบดาวเทียม เป็นต้น การจะให้เครื่องรับรับได้ทุกช่องจึงเป็นเรื่องที่สุดวิสัย ทางแก้ก็คือต้องเปลี่ยนช่องตัวรับสัญญาณ นำสัญญาณดังกล่าวส่งเข้าอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ ผสมสัญญาณเป็นช่อง 3 หรือ ช่อง 4 ส่งเข้าเครื่องรับโทรทัศน์เพียงช่องเดียวหรือ 2 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการสร้างและการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรต่างๆ ของโครงงานนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงงานนี้แยกออกเป็น ภาครับและภาคส่ง โดยภาคส่งจะใช้กล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์เป็นตัวส่ง โดยทั่วไปสัญญาณเอาต์พุตของกล้องถ่ายสัญญาณภาพโทรทัศน์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่แยกกันอยู่ ทำการรวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเข้าด้วยกัน โดยใช้วงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์ (Video Modulater) ซึ่งเป็นการมอดดูเลตทางความถี่จะทำให้ได้สัญญาณความถี่วิทยุออกมาแล้วนำสัญญาณความถี่วิทยุที่ได้มาผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ เพื่อลดสัญญาณรบกวนบางส่วนออกไปก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

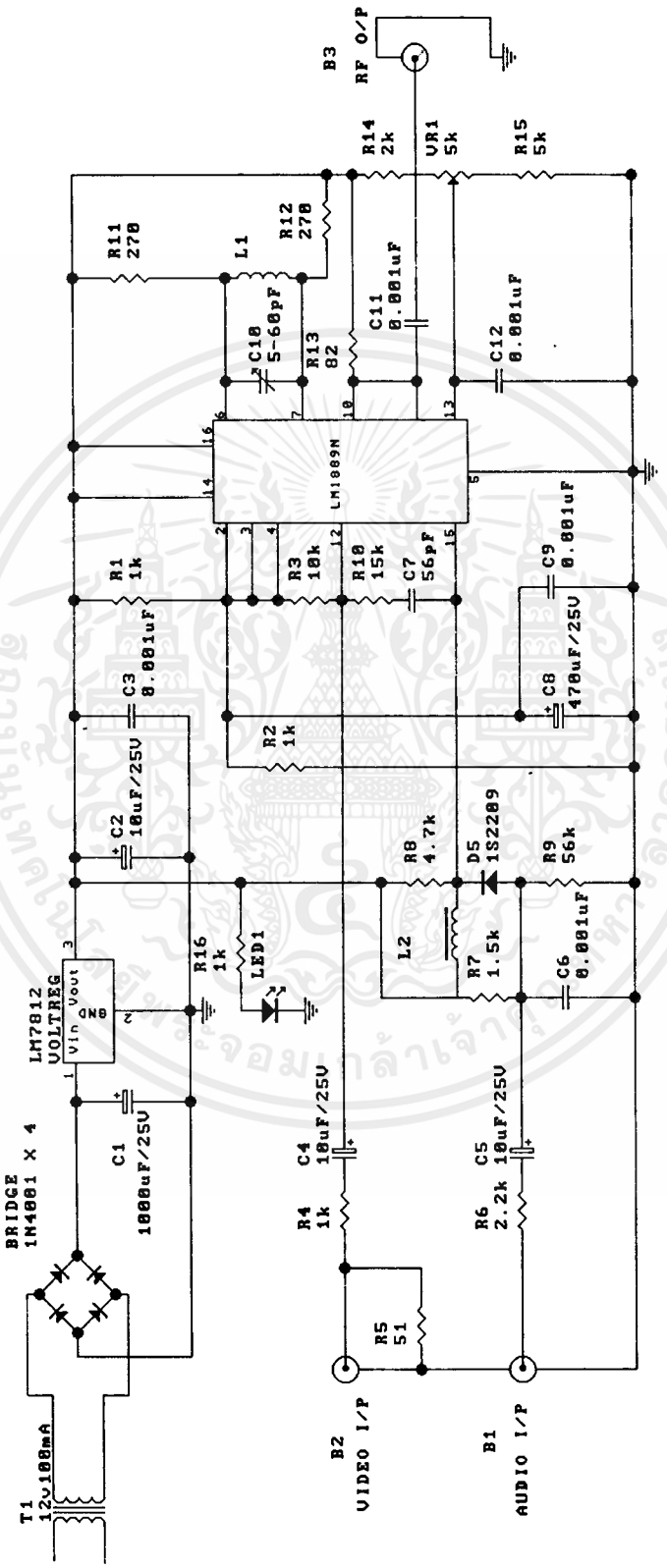
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์โดยสายเคเบิลแกนร่วม



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนี้ออกแบบมาเพื่อมอดดูเลตความถี่เสียงและภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์เข้ากับคลื่นพาห์ความถี่วิทยุและสามารถส่งออกอากาศหรือต่อตรงเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ได้

3.2.1 การทำงานของวงจร

วงจรที่สมบูรณ์ของวิดีโอมอดดูเลเตอร์แสดงในรูปที่ 3.2 มี IC_1 เป็นตัวมอดดูเลเตอร์ซึ่งให้คลื่นพาห์ย่านความถี่ VHF แบนด์ต่ำ โดยอยู่ในช่อง 3 หรือช่อง 4 วงจรนี้มีภาคมอดดูเลตครอบคลุมแบนด์วิดธ์ได้ 6 MHz ความแรงสัญญาณเอาต์พุตของคลื่นพาห์ 3 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส สำหรับระบบ 75 โอห์ม หรือ 6 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส สำหรับระบบ 300 โอห์ม

ความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณภาพกำหนดด้วยวงจร LC แทงค์ (LC Tank Circuit) ประกอบด้วย L_1 และ C_{10} โดยมี C_{10} เป็นตัวปรับแต่งความถี่ที่ต้องการ มีวงจร AFC (Automatic Frequency Control Circuit) ภายในช่วยควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้คงที่

สัญญาณความสว่าง (Lumimance Signal) และสัญญาณสี (Chroma Signal) จะรวมอยู่ในสัญญาณภาพรวม (Composite Signal) ป้อนให้อินพุตขา12 ของ IC_2 ที่ขานี้ได้รับไบแอสเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายโดยวงจรแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 ผ่านตัวต้านทาน R_3 เพื่อรักษาระดับไฟตรงของสัญญาณภาพจึงใช้การมอดดูเลตแบบเอเอ็ม โดยการมอดดูเลตแบบทิศทางเดียว คือ เมื่อสัญญาณภาพมีระดับสูงจะทำให้ระดับคลื่นพาห์ลดลง ลักษณะเช่นนี้ทำให้ค่าสูงสุดของคลื่นพาห์คงที่ไม่เปลี่ยนตามความสว่างของภาพและยังช่วยให้ระดับซิงค์คงที่ด้วย

ค่าออฟเซ็ตระหว่างขาสัญญาณมอดดูเลตสัญญาณภาพแบบบาลานซ์ คือ ขา 12 และขา 13 ทำหน้าที่กำหนดระดับมอดดูเลต การปรับระดับไฟตรงที่ป้อนให้ขา 13 โดยตัวต้านทานเกือกม้า VR_1 เป็นการปรับแต่งคุณภาพของภาพให้ได้ดีที่สุด

เนื่องจากความถี่คลื่นพาห์สัญญาณภาพจากวงจรออสซิลเลเตอร์ไม่สามารถจะนำไปใช้เป็นคลื่นพาห์ของเสียง ซึ่งต้องการความถี่ 5.5 MHz มีแบนด์วิดธ์ไม่น้อยกว่า 15 MHz เพื่อป้องกันความผิดเพี้ยนของเสียงในเครื่องรับโทรทัศน์ ดังนั้นจึงมีภาคออสซิลเลเตอร์คลื่นพาห์เสียง 5.5 MHz แยกต่างหากประกอบด้วย L_2 และค่าความจุใน D_5 นำมามอดดูเลตแบบเอฟเอ็มกับสัญญาณเสียงและนำไปผสมกับสัญญาณภาพผ่าน R_{10} และ C_7

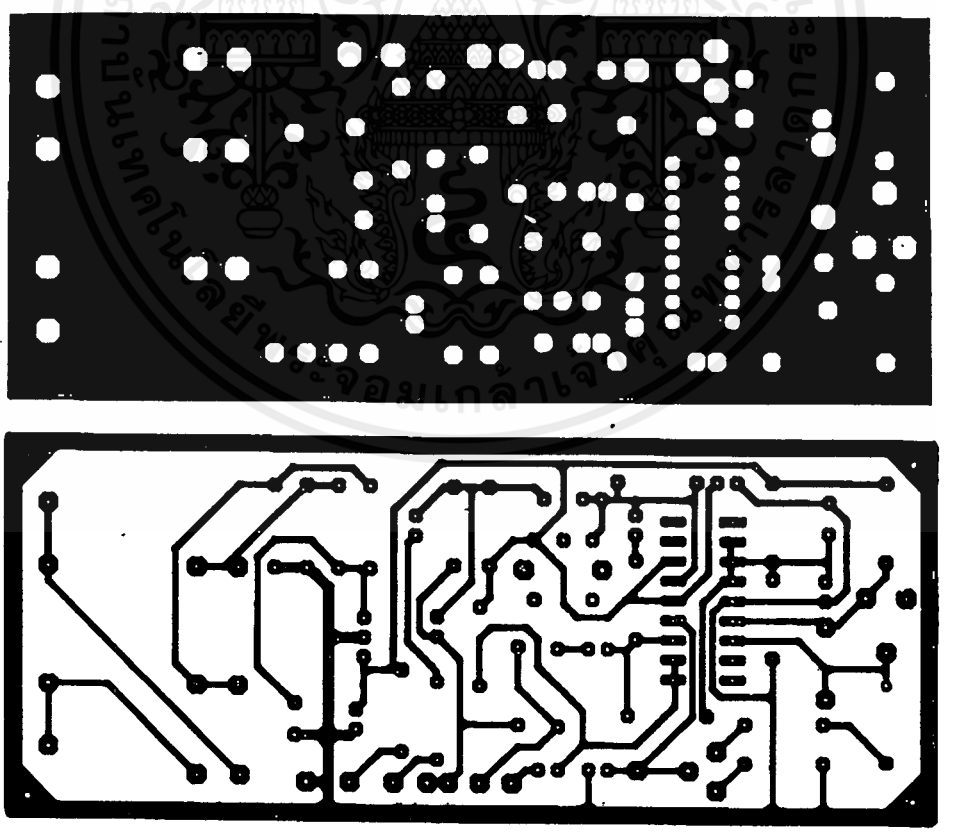
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียง 5.5 MHz จะถูกมอดดูเลตโดย D_5 ซึ่งเป็นวาแรคเตอร์ (Varactor) ไดโอดมีความสามารถในการเปลี่ยนค่าความจุตามการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณเสียง ขดลวด L_2 ทำหน้าที่ปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ของเสียง

สัญญาณความถี่วิทยุที่ได้จากขา 10 และ ขา 11 ของ IC_2 ประกอบด้วยสัญญาณความสว่าง, สัญญาณสี, สัญญาณเสียงและสัญญาณซิงค์ ซึ่งสามารถป้อนให้เครื่องรับโทรทัศน์ได้โดยตรงหรือจะส่งออกอากาศก็ได้ โดยการเพิ่มวงจรขยายความถี่วิทยุ

IC_1 เป็นไอซีเรกูเลเตอร์ 12 โวลต์ ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันคงที่ มีตัวเก็บประจุ C_1, C_2 และ C_3 เป็นตัวกรองความถี่

3.2.2 การสร้าง



รูปที่ 3.3 ลายวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงลายวงจรพิมพ์ขนาดเท่าตัวจริงทั้ง 2 ด้าน ซึ่งมีด้านบนเป็นกราวด์เพลน (Ground Plane) เนื่องจากวงจรทำงานในย่านความถี่สูง โดยด้านที่เป็นกราวด์เพลนใช้สติกเกอร์ปิดหรือพ่นสีทับไว้ตลอด ส่วนอีกด้านหนึ่งทำตามวิธีปกติ หลังจากเจาะรูตามลายวงจรพิมพ์แล้วก็ลอกสติกเกอร์ออกหรือล้างสีออกแล้วจึงใช้ส่วนขนาด 3/16 นิ้ว คว้านปากรูด้านกราวด์เพลนเฉพาะบางรูตามรูปที่ล่าง คือ คว้านเฉพาะที่เป็นจุดขาวเท่านั้น ระวังอย่าให้ทะลุหรือใหญ่เกินไป

การประกอบวงจรควรลงอุปกรณ์เตี้ยๆ ลงไปก่อนแล้วไล่ขึ้นไปหาตัวที่สูงที่สุด IC_2 ไม่ได้ใส่ซ็อกเก็ต หม้อแปลง T_1 ติดตั้งอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ ส่วน C_{10} เป็นทริมเมอร์ (Trimmer) แบบ 3 ขา ติดตั้งสูงจากพื้นเล็กน้อย ขาอุปกรณ์ทุกขาที่ลงกราวด์ได้บัดกรีเข้ากับกราวด์เพลนทุกจุด

L_1 เป็นขดลวดที่สร้างขึ้นเองโดยใช้ลวดทองแดงเคลือบน้ำยาขนาด 1 มิลลิเมตร (เบอร์ 20 SWG) พันรอบแท่งดินสอหรือปากกา (ขนาดประมาณ 6 มิลลิเมตร) ประมาณ 6 รอบ การพันแต่ละรอบมีระยะห่างสม่ำเสมอ สำหรับ L_2 ใช้ลวดเบอร์ 32 SWG พันบนฟอร์มคอยล์แบบมีกระป๋องครอบประมาณ 45 รอบ โดยเฉลี่ยขดลวดให้ทั่วๆ แกน

การเดินสายในวงจรที่จุดต่อวิดีโออินพุตและออดิโออินพุตควรใช้สายโคแอกเซียลเบอร์ RG-58 C/U ส่วนจุดต่อสัญญาณเอาต์พุต RF ใช้สายโคแอกเซียล 75 โอห์ม โดยดูตัวอย่างจากเครื่องต้นแบบในรูปขั้วต่อวิดีโออินพุตและออดิโออินพุตใช้แจ็ค RCA ตัวเมียแบบยึดแท่น ส่วนขั้วต่อ RF เอาต์พุตใช้แจ็คสายอากาศ 75 โอห์มตัวเมียแบบยึดแท่น กล่องที่ใช้เป็นกล่องโลหะ

3.2.3 การทดสอบและการปรับแต่ง

เริ่มต้นด้วยการเสียบปลั๊ก เปิดสวิตซ์ วัดแรงดันดีซีที่ขาเอาต์พุตของ IC_1 จะมีแรงดันประมาณ +11.5 โวลต์ ถึง +12.5 โวลต์

วัดแรงดันขา 13 ของ IC_2 ปรับ VR_1 แรงดันจะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 5-10 โวลต์ ให้ตั้งไว้ที่ 8 โวลต์ ขา 2, 3 และ 4 จะวัดได้ 6 โวลต์ และที่ขา 6, 7, 10, 11, 14, 15 และ 16 วัดได้ 12 โวลต์

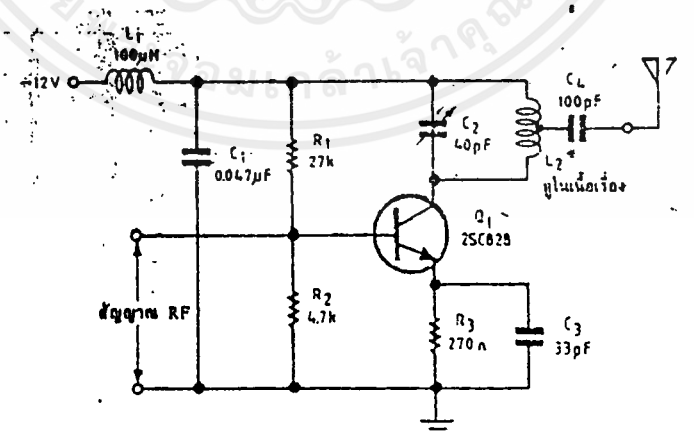
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวัดไม่ได้ตามจุดต่างๆ ดังกล่าว ต้องหาจุดบกพร่องเสียก่อน ให้ตรวจดูขาอุปกรณ์ด้านบนมีการลัดวงจรกับกราวด์เพลนหรือไม่ บัดกรีผิดจุดหรือไม่

เมื่อได้ตามที่ระบุขั้นต่อมาได้ทดลองต่อสัญญาณจากวิดีโอเทป ให้ต่อสัญญาณวิดีโออินพุตและออดิโออินพุตของเครื่องวิดีโอมอดดูเลเตอร์กับสัญญาณวิดีโอเอาต์พุต และออดิโอเอาต์พุตของวิดีโอเทปตามลำดับแล้วเลื่อนตัวเลือกด้านหลังของวิดีโอเทปไปที่ตำแหน่ง Test หรือใส่ม้วนวิดีโอเทปก็ได้ ถ้าไม่มีวิดีโอเทปก็อาจใช้สัญญาณวิดีโอจากเครื่องกำเนิดความถี่สัญญาณสี (Color Patern Generator) ก็ได้ป้อนเข้าวิดีโออินพุต และนำสัญญาณเสียงจากวิทยุหรือจากเครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) ความถี่ 1 KHz ป้อนเข้าออดิโออินพุตแทน

ต่อสัญญาณเอาต์พุต RF เข้ากับสายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์ ปรับเครื่องรับโทรทัศน์ไว้ที่ช่อง 3 หรือ 4 ภาพที่ได้อาจไม่คมชัดหรือรับไม่ได้เลยให้ค่อยๆ ปรับ C_{10} ด้วยไขควงพลาสติกจนกระทั่งได้ภาพที่สมบูรณ์ที่สุด ภาพที่ได้อาจดำหรือสีผิดเพี้ยนให้ปรับ R_{15} ช่วย จากนั้นปรับ L_1 เพื่อให้ได้เสียงที่ชัดเจนที่สุด เมื่อปรับเสร็จแล้วจัดสายให้เรียบร้อย

3.3 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ



รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรขยายแบบ 2 ภาค (State) สัญญาณที่ได้จากวงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์นำมาผ่านวงจรขยายความถี่วิทยุ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์เป็นสัญญาณที่มีความแรงต่ำ แม้จะผ่านวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ในลักษณะขยายครั้งหนึ่งแล้วก็ตาม ดังรูปที่ 3.4 ดังนั้น จึงต้องนำสัญญาณนี้มาขยายให้แรงพอเพื่อส่งไปยังเครื่องรับ

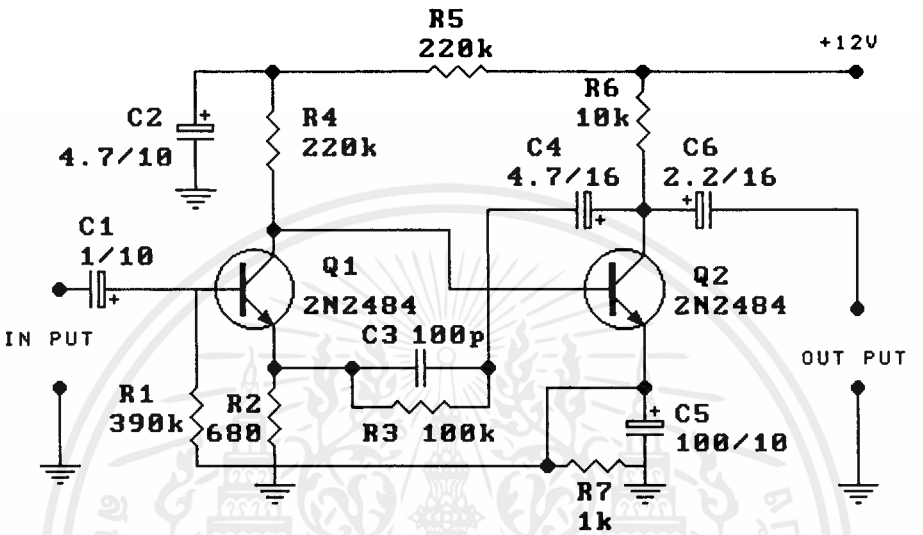
จากรูปที่ 3.4 เมื่อสัญญาณความถี่วิทยุที่ได้จากวงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์เข้ามาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบไว้ขยายสัญญาณให้สูงขึ้น จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ไปขยายอีกครั้งหนึ่ง เพราะสัญญาณยังมีขนาดต่ำอยู่ ดังนั้นจึงนำเอาสัญญาณที่ออกจากขาคอลเลคเตอร์ป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 เพื่อทำการขยายอีกครั้งหนึ่ง เมื่อสัญญาณขาออกที่ได้จากการขยายภาคที่ 2 มีค่าสูงพอตามความต้องการแล้ว ก็นำไปป้อนให้กับวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออกก่อนส่งไปยังเครื่องรับต่อไป

3.4 วงจรปรีไมค์

วงจรปรีไมค์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟนเป็นแบบ 2Transistors Premicrophone ไมโครโฟนอิมพีแดนซ์ต่ำประมาณ 200-600 โอห์ม เนื่องจากวงจรได้รับการออกแบบให้มีอัตราการขยายสูง แต่ในกรณีที่จะนำไปใช้กับไมโครโฟนแบบอิมพีแดนซ์สูงซึ่งปกติจะให้สัญญาณแรงกว่าไมโครโฟนอิมพีแดนซ์ต่ำควรใช้โวลลุ่มลดความแรงของไมค์เสียก่อน เพราะสัญญาณเสียงอาจแรงเกินไปจนเสียงเพี้ยนได้ หรือเปลี่ยนค่า R_3 เป็น 10 KΩ ก็ได้ เพื่อลดอัตราการขยายของวงจร

ภาคจ่ายไฟของวงจรปรีไมค์เป็นแหล่งจ่ายไฟตรง + 12 โวลต์ ควรนำมาจากภาคจ่ายไฟที่มีเรคกูเลเตอร์ เพื่อป้องกันการฮัมจากริปเปิลโวลเตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรปรีไมค์ 2 TR

3.5 การทำงานของวงจรปรีไมค์ 2 TR

จากวงจรในรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์ TR_1 และ TR_2 จะต่อกันอยู่ในลักษณะของวงจรดาลิงตัน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาที่ไมโครโฟนผ่านมายังอินพุตของวงจรปรีไมค์ C_1 จะเป็นตัวกรองริปเปิลของสัญญาณที่เกิดจากภาคจ่ายไฟของวงจรไฟของวงจรปรีไมค์ ส่งผ่านไปยัง TR_1 สัญญาณเสียงจะถูกขยายให้แรงขึ้นและเอาต์พุตที่ของของคอลเลคเตอร์ของ TR_1 ก็จะส่งผ่านไปเป็นอินพุตให้กับขาเบสของ TR_2 สัญญาณเสียงจะถูกขยายด้วยอัตราส่วนเท่าเดิมอีก ซึ่งแล้วส่งผ่าน C_6 ซึ่งเป็นตัวกรองสัญญาณริปเปิลโวลเตจที่เกิดขึ้นในวงจรอันเป็นสาเหตุของการฮัมของเสียง แล้วส่งไปทำการมอดดูเลตที่วงจร AV มอดดูเลตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ลักษณะการต่อใช้งาน

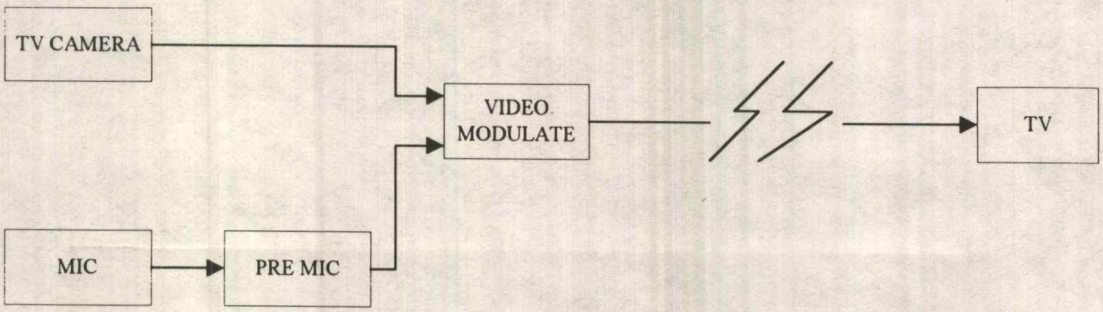
ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ โดยสายเคเบิลแกนร่วมนี้ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือส่วนของเครื่องส่ง เครื่องรับ สายนำสัญญาณ และส่วนขยายสัญญาณ RF โดยส่วนของเครื่องส่งประกอบด้วยกล้องถ่ายสัญญาณภาพโทรทัศน์ ไมโครโฟน ส่วนเครื่องรับจะเป็นเครื่องรับโทรทัศน์สีหรือเครื่องรับโทรทัศน์ขาวดำก็ได้ ส่วนของสายนำสัญญาณเป็นสายเคเบิลแกนร่วมที่มีความต้านทานภายในสาย (Characteristic Impedance) 75 โอห์ม และส่วนของวงจรขยายมีทั้งส่วนที่ขยายสัญญาณเสียงซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้แรงขึ้นเพื่อส่งไปยังเครื่องรับ

ส่วนของสายส่งสัญญาณใช้สาย RG - 6 หรืออาจใช้สายเคเบิลแกนร่วมชนิดอื่นก็ได้ที่มีความต้านทานภายในสาย 75 โอห์ม และความยาวของสายขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุด 2 ที่ติดตั้งระบบแต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ว่าถ้าสายมีความยาวมากจะเกิดการลดทอนในสายมากทำให้สัญญาณที่เครื่องรับเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ด้านส่ง ดังนั้นถ้าต้องการส่งระยะทางไกลๆ จะต้องเพิ่มวงจรขยายสัญญาณ หรือบูสเตอร์ขยายสัญญาณให้แรงพอที่จะส่งไปยังเครื่องรับได้

4.2 การทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว

รูปที่ 4.1 เป็นลักษณะของการต่อเพื่อทดลองส่งภาพและเสียงเพียงด้านเดียว เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรต่าง ๆ ในระบบโดยที่สัญญาณภาพและเสียงที่ทดลองส่งอาจได้จากเครื่องเล่นวีดีโอเทป หรือได้จากกล้องถ่ายสัญญาณภาพโทรทัศน์โดยตรง ซึ่งสัญญาณภาพและเสียงของเครื่องเล่นวีดีโอเทปยังแยกกันอยู่ ทำการมอดดูเลตสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกัน โดยวงจร AV Modulate หรือใช้ RF Converter ก็ได้ ทำการมอดดูเลตให้ได้สัญญาณความถี่วิทยุในช่วงที่แถบความถี่ตรงกับช่วงของเครื่องรับโทรทัศน์ที่ตั้งไว้แล้วทำการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายเคเบิลแกนร่วมไปยังเครื่องรับ

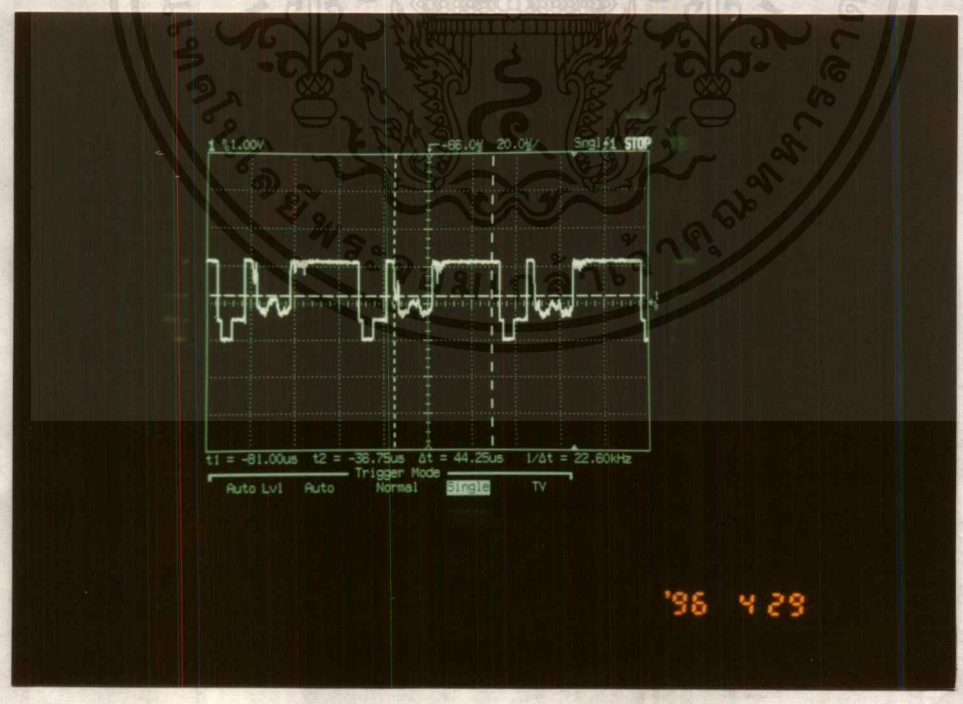
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผังการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียง

4.3 ผลการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงย่าน VHF ทางเดียว

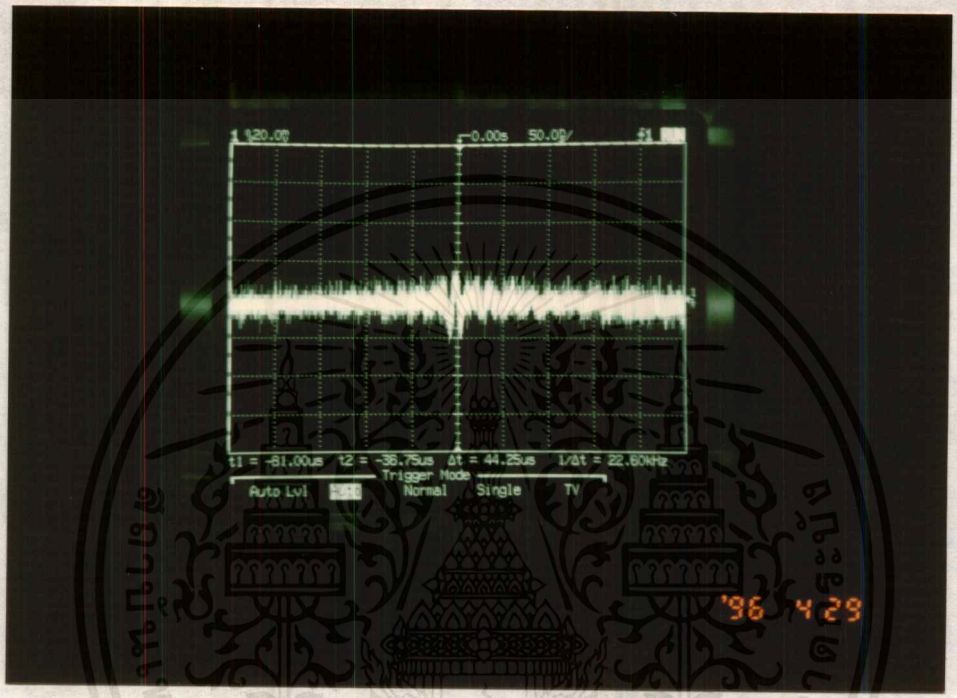
ประกอบวงจรตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.1 แล้วทำการวัดสัญญาณที่จุดวัดทดสอบสัญญาณ (TP) ตามรูปที่ 4.1 ได้รับสัญญาณต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

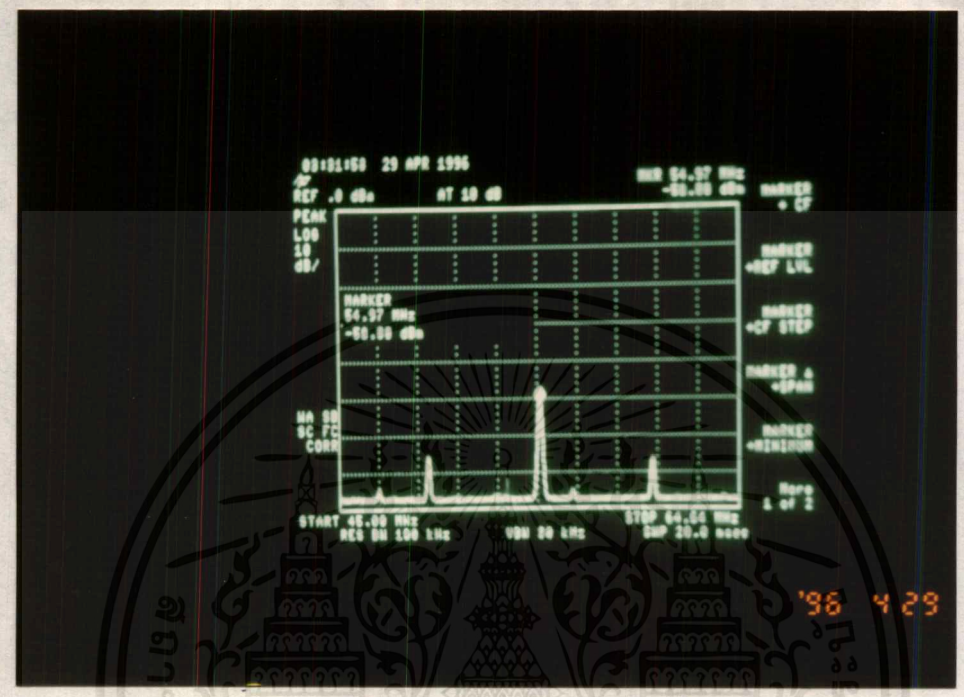
สัญญาณตามรูปที่ 4.2 เป็นลักษณะของสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์ โดยตรงก่อนที่จะนำมามอดดูเลตกับสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.3 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 2

สัญญาณรูปที่ 4.3 เป็นลักษณะของสัญญาณจากไมโครโฟนแล้วทำการขยายด้วยวงจรปรีไมค์

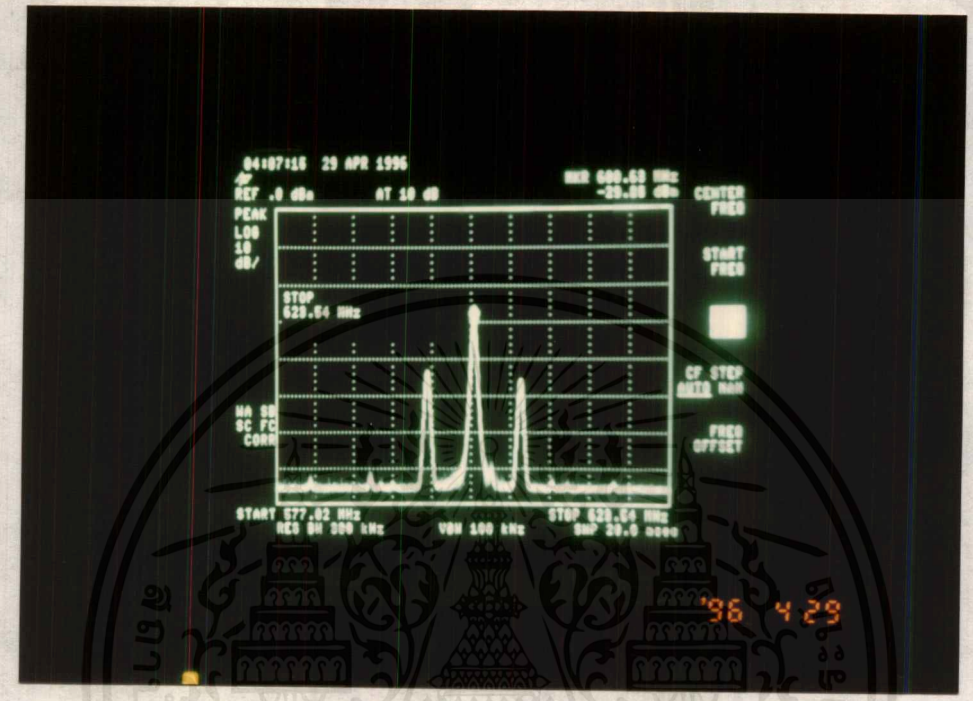
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 3

สัญญาณรูปที่ 4.4 เป็นสัญญาณภาพและเสียง (AV Siqnal) ที่ได้จากวงจร AV modulate หรือได้จาก RF Converter

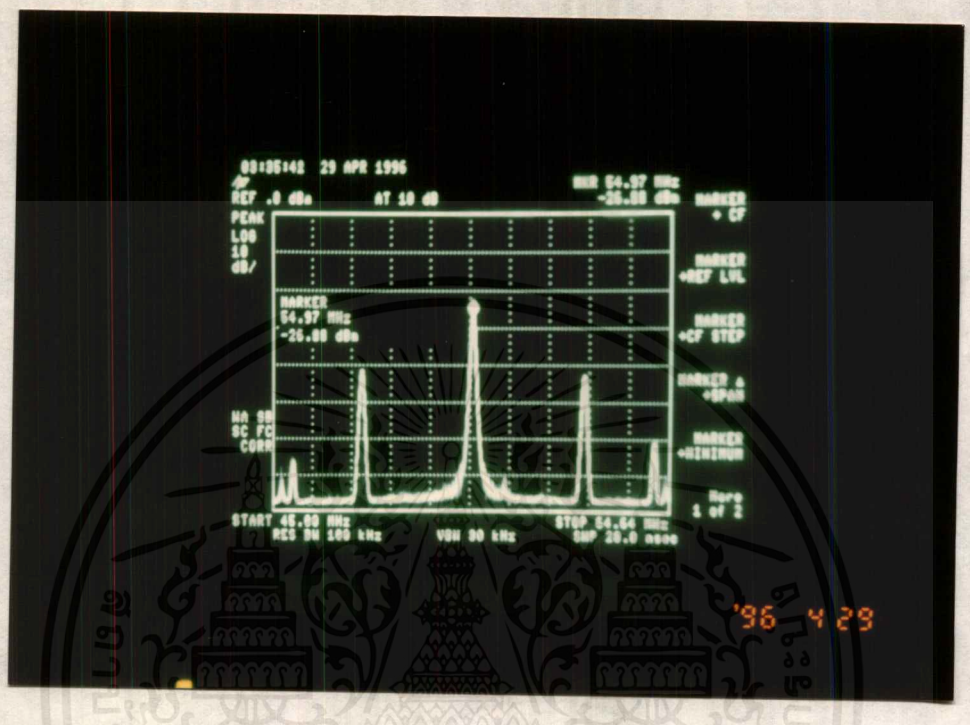
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 4

สัญญาณรูปที่ 4.5 เป็นสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดดูเลต ซึ่งระดับของสัญญาณจะอ่อนมาก จึงนำสัญญาณมาขยายด้วยบูสเตอร์ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.5 แล้วส่งต่อไปในสายเคเบิลแกนร่วมยาวประมาณ 15 เมตร ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



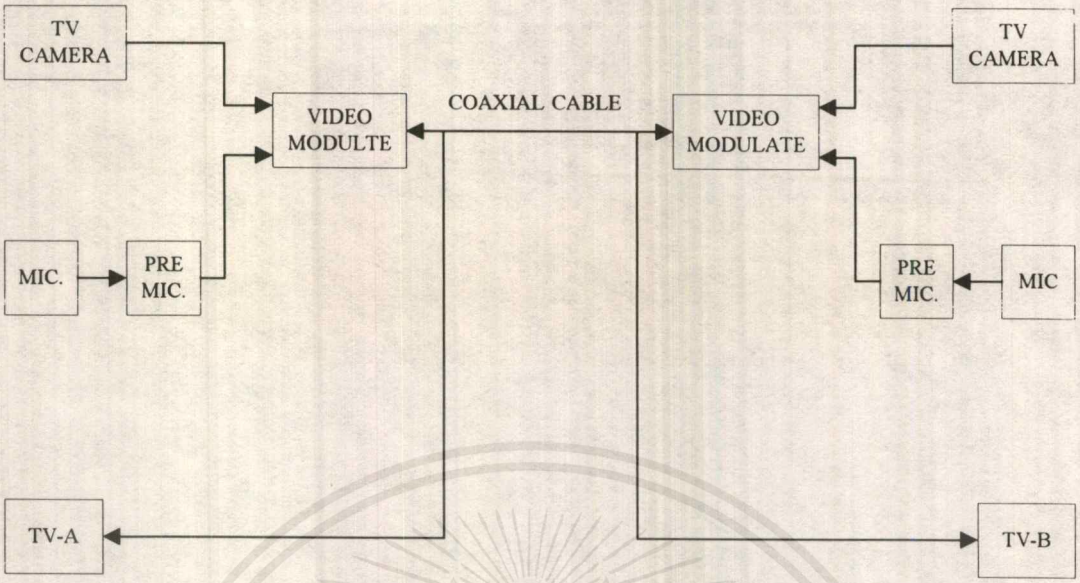
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 5

สัญญาณรูป 4.6 เป็นลักษณะของสัญญาณภาพและเสียงที่ขยายแล้วส่งไปยังเครื่องรับปลายสายเคเบิลแกนร่วมยาวประมาณ 15 เมตร เป็นสัญญาณที่ถูกลดทอนจากสายเคเบิลแกนร่วม ดังแสดงในรูปที่ 4.6

ส่วนการทดลองส่งด้านเดียวในย่าน UHF ก็ทำในลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดลองส่งในย่าน VHF และผลของลักษณะสัญญาณมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่สัญญาณย่าน UHF จะมีระดับที่ต่ำกว่าและส่งได้ใกล้กว่าย่าน VHF

หลังจากทดลองส่งสัญญาณแบบทางเดียว (Half Duplex) ได้สัญญาณภาพและเสียงมีความคมชัดเป็นที่น่าพอใจ ก็ทำการส่งภาพและเสียงสวนกันในเวลาเดียวกัน ซึ่งลักษณะของการต่อวงจรดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผังการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงสองทาง

จากรูปที่ 4.7 เป็นการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียง โดยรับและส่งทั้งสองด้านในเวลาเดียวกันจากรูปจะได้ว่า ความถี่วิทยุที่เครื่องรับแต่ละเครื่องสามารถรับได้ ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ได้จากการมอดดูเลตในวงจร AV Modulate โดยที่ความถี่ที่วงจร AV Modulate ตรงกับเครื่องรับเครื่องไหน สัญญาณก็จะปรากฏที่เครื่องรับเครื่องนั้น ซึ่งความถี่ที่ได้จากวงจร AV สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ

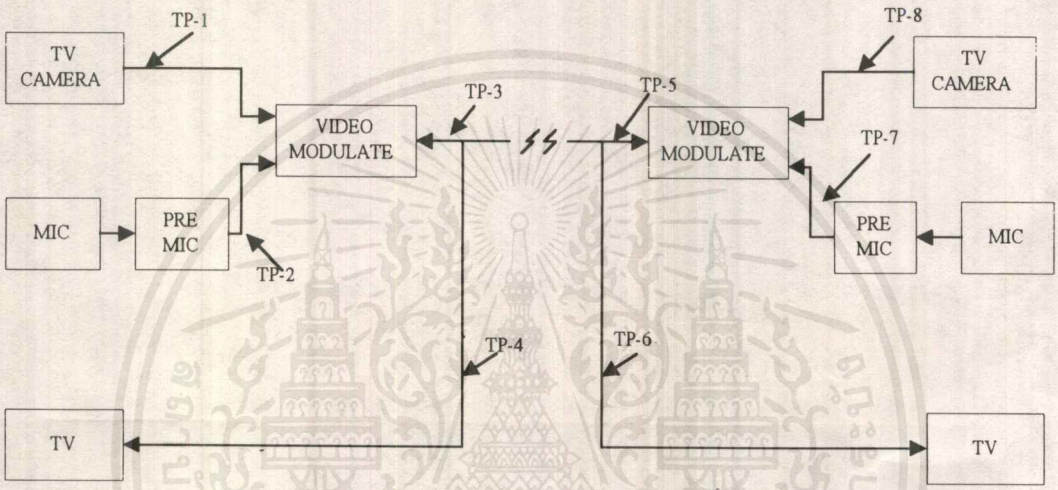
สัญญาณความถี่จะเดินทางสวนกันได้ในสายนำสัญญาณเส้นเดียวกัน โดยปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกัน ก็ต่อเมื่อสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการรับส่งทั้งสองต้องเป็นความถี่คนละแถบความถี่กัน ดังนั้นควรจูนวงจร AV Modulate ให้ความถี่ทั้งสองมีแถบความถี่ที่ห่างกันมากๆ เพื่อป้องกันการกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณ

ในส่วนของระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ โดยสายเคเบิลแกนร่วมทำการรับส่งโดยการปรับช่วงความถี่ของเครื่องรับให้คงที่ไว้ที่ช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่ง แล้วทำการจูนความถี่วิทยุที่ได้จากการมอดดูเลตของสัญญาณภาพและเสียงของวงจรAV Modulate ให้ตรงกับช่วงความถี่ของเครื่องรับ ซึ่งแถบความถี่ที่ได้จากวงจร AV Modulte ตรงกับแถบความถี่ของเครื่องรับโทรทัศน์ก็สามารถรับส่งสัญญาณกันได้ ส่วนอีกด้านหนึ่งก็จะทำในลักษณะเดียวกัน แต่แถบความถี่ที่ใช้ในส่วนของด้านนี้ จะต้องอยู่คนละช่วงความถี่กับแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่ใช้ส่งดังกล่าวครั้งแรก จึงสามารถรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ โดยสายเคเบิลแกนร่วมได้อย่างปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณที่ใช้ส่งทั้งสอง

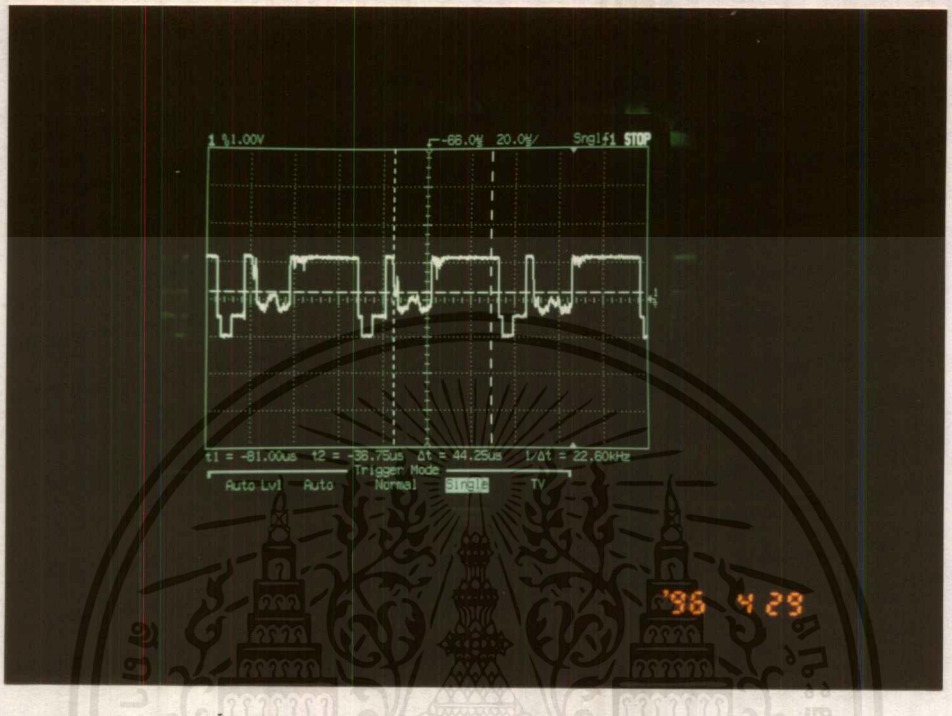
4.4 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงสองทางในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 4.8 ผังการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงสองทางในเวลาเดียวกัน

รูปที่ 4.8 เป็นการทดลองรับส่งสัญญาณภาพแลเสียงทั้งสองด้านในเวลาเดียวกัน โดยระยะ ทางที่ส่งอยู่ในช่วง 10 เมตร ถึง 15 เมตร เพื่อทดสอบว่าวงจรสามารทำงานได้หรือไม่ แล้วทำการวัดสัญญาณที่จุดทดสอบสัญญาณ (TP) ต่าง ๆ ดังรูปได้ดังนี้

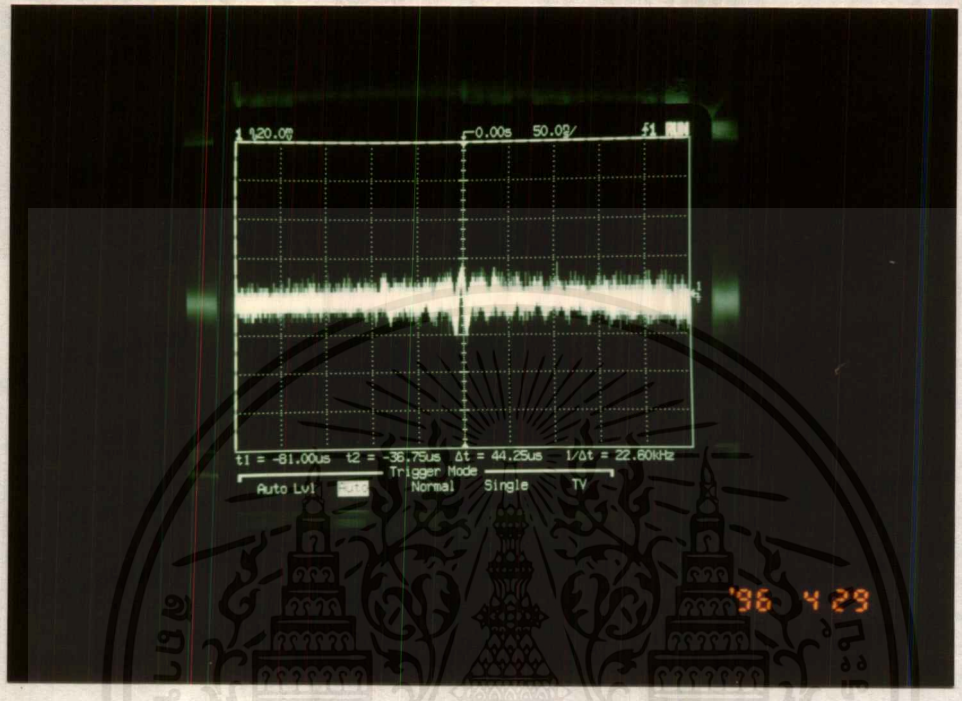
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 1

สัญญาณรูป 4.9 เป็นสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภายสัญญาณโทรทัศน์ทางด้านส่งของย่าน VHF

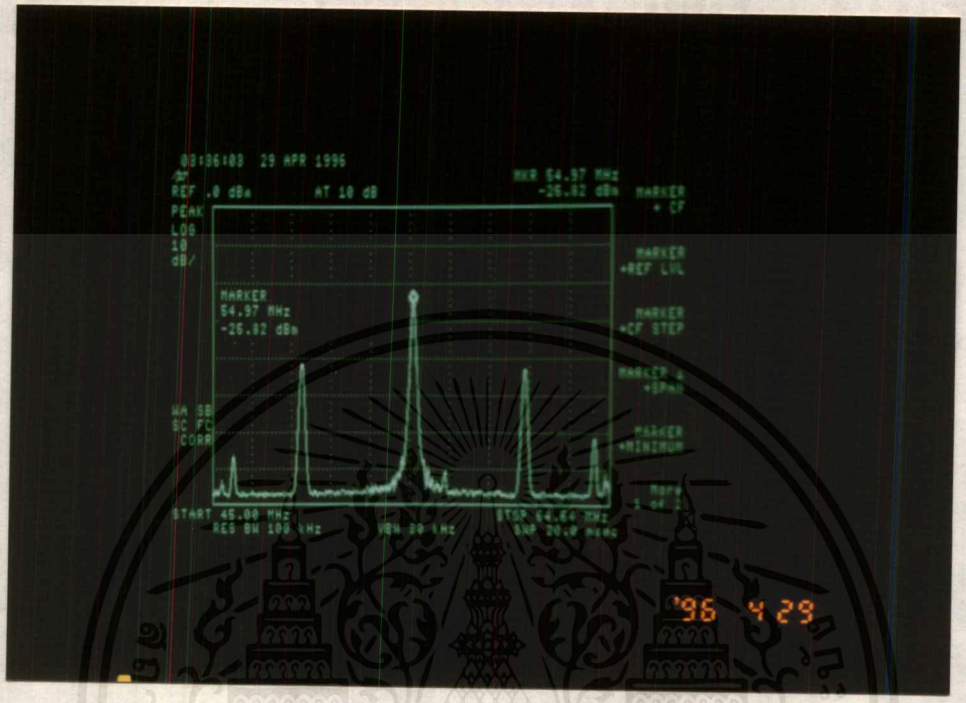
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 2

สัญญาณรูปที่ 4.10 เป็นสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟน และทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นด้วยวงจรปรีไมค์

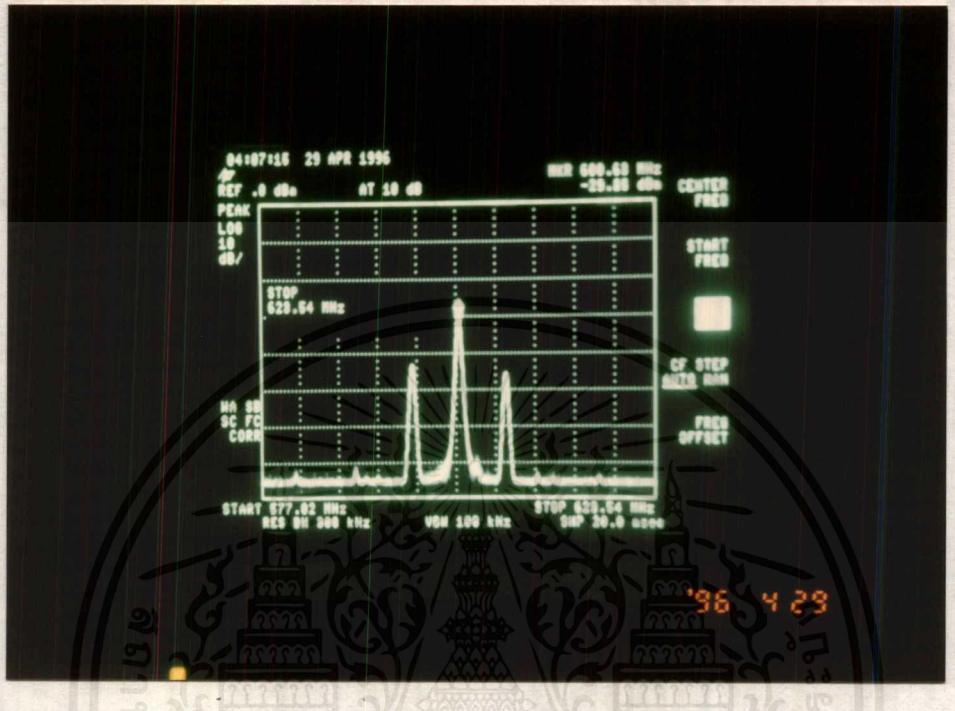
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.11 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 3

สัญญาณรูปที่ 4.11 เป็นสัญญาณที่ได้จากการนำเอาสัญญาณในรูปที่ 4.9 และ 4.10 มอดดูเลตกับความถี่พาหะย่าน VHF และขยายสัญญาณให้แรงขึ้นพอที่จะส่งไปยังเครื่องรับได้

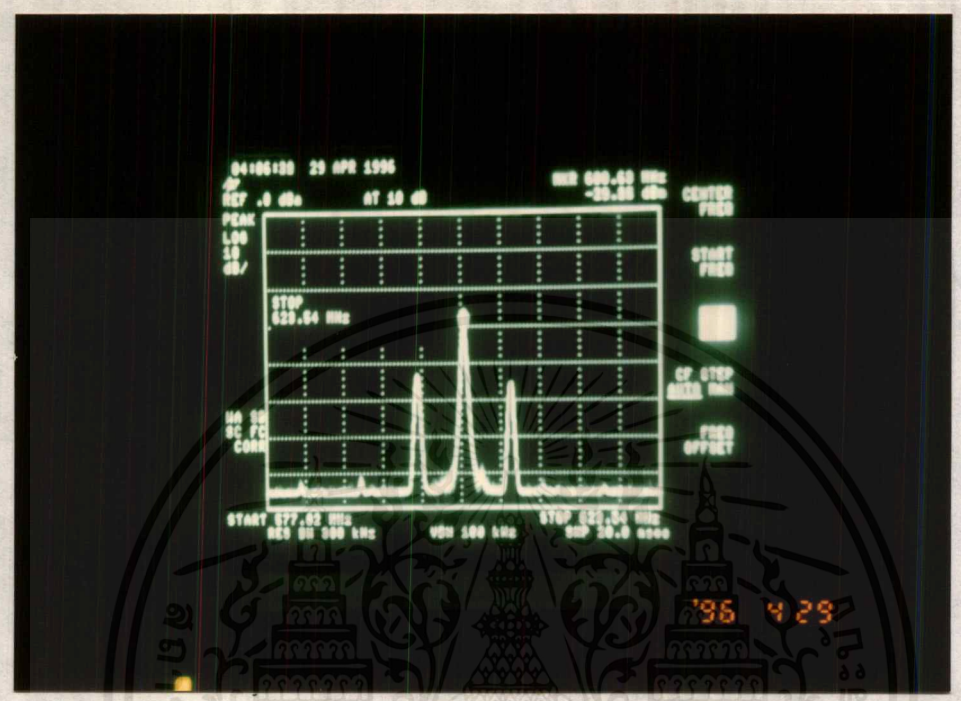
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 4

รูปที่ 4.12 เป็นสัญญาณความถี่วิทยุย่าน UHF ที่ปลายทางก่อนต่อกับเครื่องรับ ซึ่งมีสัญญาณบางส่วนถูกลดทอนด้วยคุณสมบัติของสาย

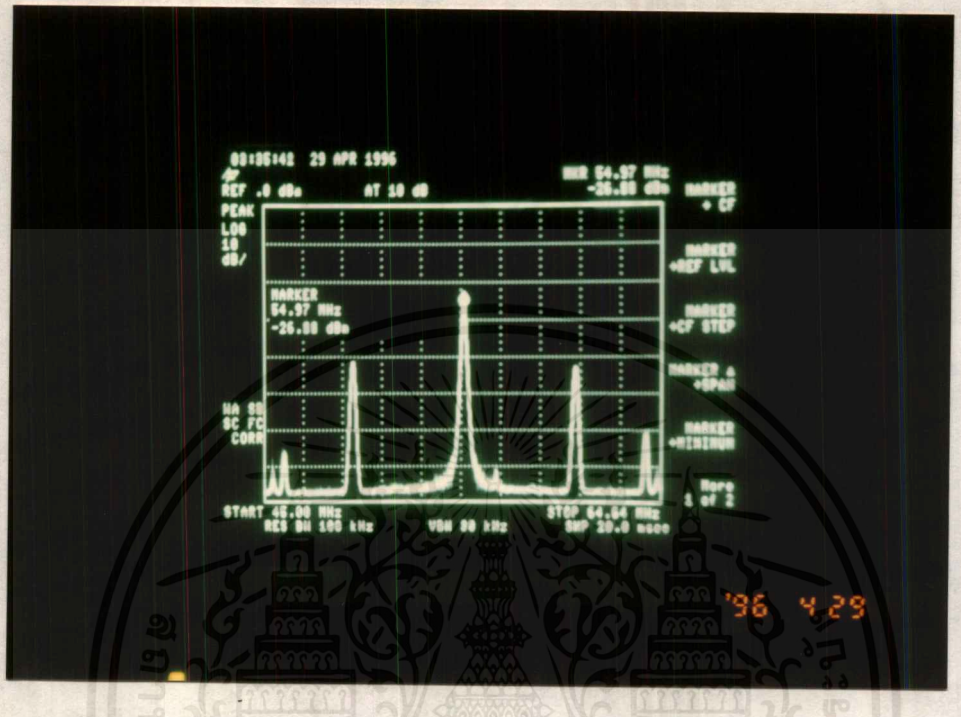
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่จุดทดสอบสัญญาณ TP - 5

รูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ ผ่านวงจรขยาย Booster ให้แรงขึ้นเพื่อส่งเข้าสายเคเบิลแกนร่วมไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ ซึ่งในรูปนี้จะเป็นสัญญาณในย่าน UHF

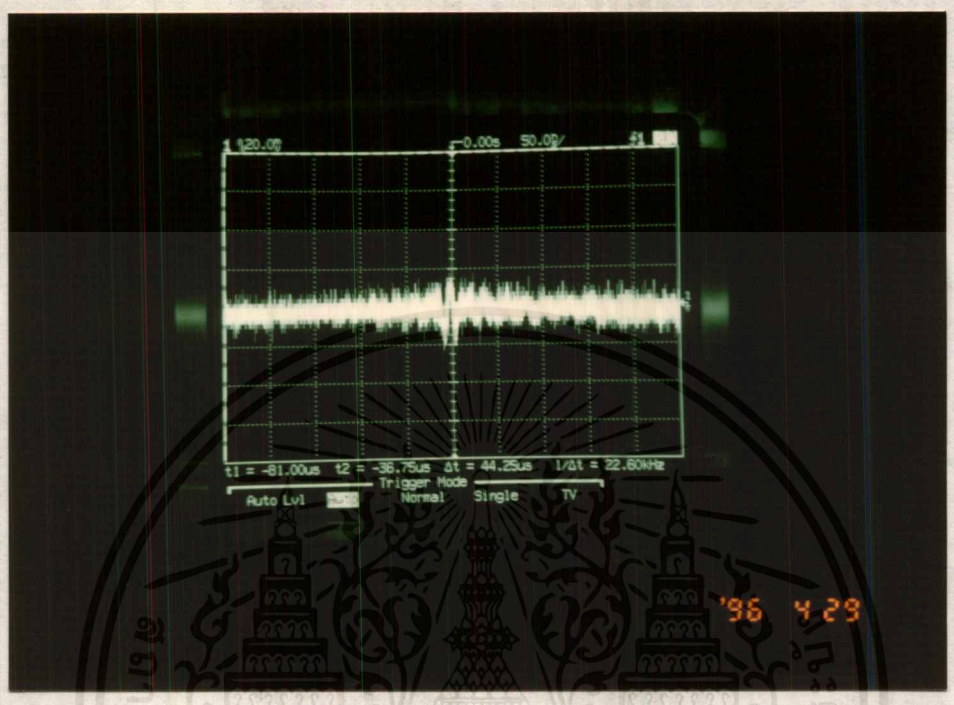
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 6

รูปที่ 4.14 เป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ปลายทางก่อนเข้าเครื่องรับ ของย่าน VHF ซึ่งสัญญาณบางส่วนถูกลดทอนด้วยสายนำสัญญาณ

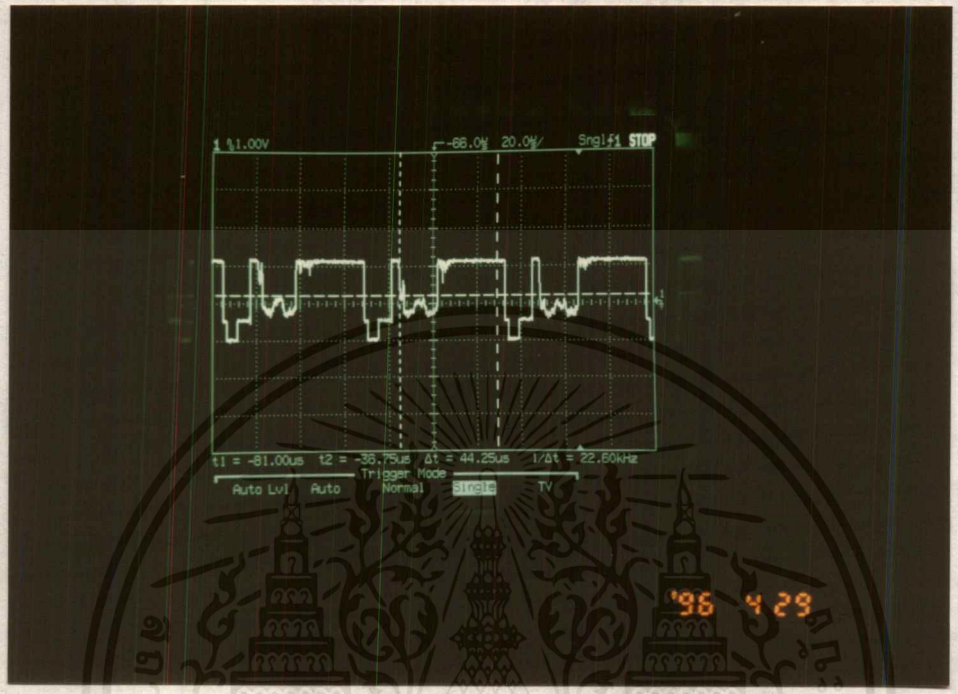
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 7

รูปที่ 4.15 เป็นสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟนและทำการขยายให้แรงขึ้นด้วยวงจรปรีไมค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่จุดทดสอบ TP - 8

รูปที่ 4.16 เป็นสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์ทางด้านอินพุตของด้านส่งด้วย UHF

4.5 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายเคเบิลแกนร่วมที่มีความยาวของสายต่างกัน

การทดลองนี้เป็นการเชื่อมต่อเครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียงในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทราบคุณสมบัติการสูญเสียของสัญญาณขณะที่ส่งไปในระยะทางที่ห่างไกลออกไปจากจุดต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยไม่ผ่าน Booster

เมื่อทดลองส่งสัญญาณแล้ว สามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังนี้

ความยาวของสายสัญญาณด้านรับและส่ง (เมตร)	คุณภาพของสัญญาณที่จอโทรทัศน์ทางด้านรับเมื่อเทียบกันสัญญาณทางด้านส่ง (%)
2	100
5	50
20	30
50	0
100	0

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการรับสัญญาณของจอโทรทัศน์ที่ความยาวของสายต่างๆ กัน

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ส่งไปโดยไม่ผ่าน Booster จะมีกำลังส่งไม่มากนัก และจะเกิดการสูญเสียของสัญญาณ (Loss) อย่างมากเมื่อส่งสัญญารผ่านเข้าไปในสายเคเบิลแกนร่วม

โดยเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณที่จอโทรทัศน์ทางด้านเครื่องรับได้มาจากผลการสุ่มตัวอย่างของนักศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมจำนวน 10 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยผ่าน Booster

เมื่อทดลองส่งสัญญาณแล้วสามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังนี้

ความยาวของสายสัญญาณด้านรับและส่ง (เมตร)	คุณภาพของสัญญาณที่จอโทรทัศน์ทางด้านรับเมื่อเทียบกันสัญญาณทางด้านส่ง (%)
2	100
5	100
20	95
50	95
100	70

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการรับสัญญาณของจอโทรทัศน์ที่ถูกส่งผ่าน Booster ความยาวของสายต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ส่งผ่าน Booster จะมีเสถียรภาพกว่าสัญญาณที่ส่งมาตรง ๆ โดยทราบได้จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับตารางที่ 4.1 สัญญาณที่รับได้จากจอ Monitor จะสามารถรับได้คมชัดกว่าเมื่อต่อเครื่องรับที่ระยะทางไกลออกไป นั่นก็แสดงว่าสัญญาณทางด้านเครื่องรับที่ถูกส่งมาจะมีความแรงพอที่จะนำไปใช้งานได้เสมือนว่าสัญญาณที่ถูกลดทอนในสายไม่มีผลต่อระบบการสื่อสารชนิดนี้

4.6 การบันทึกสัญญาณภาพที่จอโทรทัศน์เมื่อใช้งานจริง

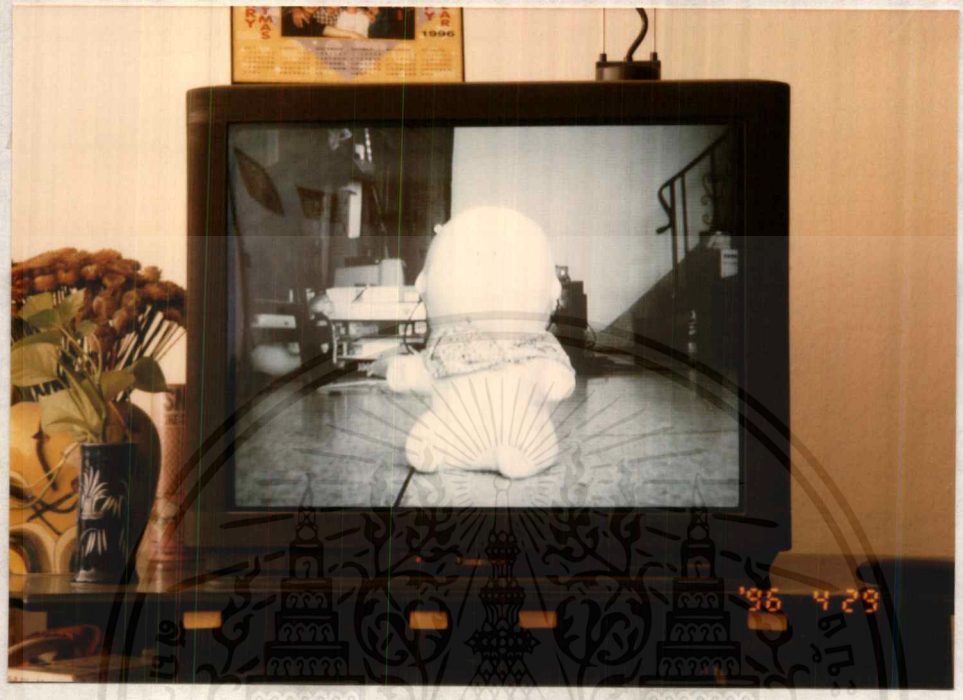
จากข้อความที่ 4.5 ทำให้เราทราบว่าในการใช้งานจริงจะต้องมีการต่อสัญญาณผ่าน Booster เพราะผลของสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับมีความแน่นอนมากกว่าการไม่ใช้ Booster โดยแสดงผลดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 จอโทรทัศน์ทางด้านเครื่องรับที่ 2

จากรูปที่ 4.17 เป็นการแสดงภาพที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากเครื่องที่ 1 ผ่านไปยังเครื่องที่ 2 ซึ่งมีระยะห่างกันประมาณ 20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 จอโทรทัศน์ทางด้านเครื่องรับที่ 1

จากรูปที่ 4.18 เป็นการแสดงภาพที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากเครื่องที่ 2 สวนกลับไปยังเครื่องที่ 1 โดยมีระยะห่างเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายด้านหน้าของเครื่องที่ประกอบเสร็จ

รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายด้านหลังของเครื่องที่ประกอบเสร็จ

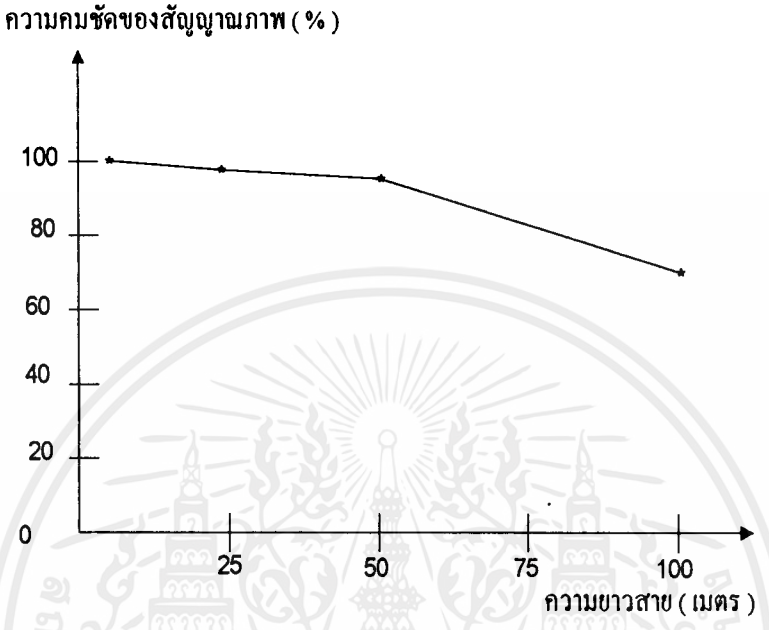
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์ สรุปและแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิลแกนร่วม โดยใช้สายนำสัญญาณยาวประมาณ 1 เมตร ผลที่ได้คือภาพที่เครื่องรับสามารถรับได้ขาดความคมชัด มีลักษณะจางๆ เต็มไปด้วยสโนว์ทั้งย่าน VHF ส่วนสัญญาณเสียงก็มีความคมชัดน้อยแต่พอจับใจความได้ จากสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่ทดลองส่งขาดความคมชัดทำให้ได้ข้อสันนิษฐานว่า การรบกวนในระบบเกิดจากจุดต่อ จุดลงกราวด์ และสัญญาณอ่อนเกินไป ทำการเชื่อมจุดต่อต่าง ๆ และลงกราวด์ใหม่ ผลที่ได้คือการฮัมของเสียงหายไป ทำให้ความคมชัดของเสียงดีขึ้นแต่สัญญาณภาพขาดความคมชัดและมีสโนว์เหมือนเดิม ทำให้ได้ข้อคิดว่าสัญญาณของระบบอ่อนมาก จึงนำ Spectrum Analizer มาวัดสัญญาณเอาต์พุตของระบบ พบว่าสัญญาณที่ได้อ่อนมาก จึงทำการยกระดับสัญญาณให้สูงขึ้น โดยใช้บูสเตอร์สำหรับยกระดับสัญญาณทั้งย่าน VHF และย่าน UHF แล้วทำการทดลองส่งอีกครั้ง โดยสายนำสัญญาณยาวกว่าเดิมคือ จาก 1 เมตร เป็น 10 เมตรถึง 15 เมตร ผลที่ได้คือ สามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงสวนกันได้ สัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับรับได้ ความคมชัดของจะมีลักษณะแปรผกผันกับความยาวของสายนำสัญญาณ คือ เมื่อสายนำสัญญาณมีความยาวเพิ่มขึ้น ความคมชัดของสัญญาณภาพและเสียงจะลดลง แต่ไม่สามารถวัดความคมชัดของสัญญาณได้ นอกจากการประมาณเป็นเปอร์เซนต์ด้วยสายตา

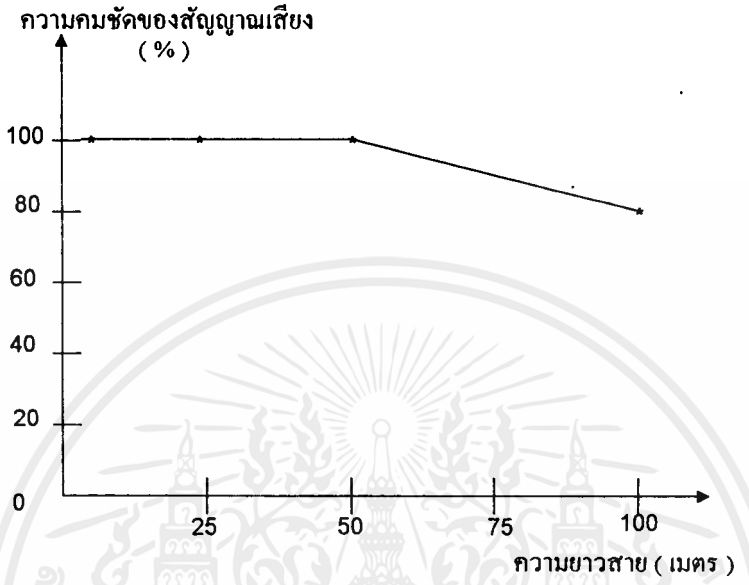
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟความคมชัดของสัญญาณภาพประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าหลังจากทำการขยายสัญญาณด้วยบูสเตอร์แล้ว ผลตอบสนองของระบบมีลักษณะดังกราฟ กล่าวคือ กราฟจะมีความชันน้อยมากแสดงว่า เมื่อทำการขยายสัญญาณแล้วทำให้ความคมชัดของสัญญาณภาพยังคงคมชัดได้ในระยะความยาวสายช่วงหนึ่งแล้วค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความยาวของสายนำสัญญาณยาวมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟความคมชัดของสัญญาณเสียงประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าเส้นกราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณเสียงมีความชันน้อยมากและน้อยกว่าสัญญาณภาพ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าสัญญาณเสียงสามารถส่งไปในสายเคเบิลแกนร่วมได้ไกลกว่าและความคมชัดดีกว่าสัญญาณภาพ

5.2 ปัญหาในการทำงาน

1. ความถี่ที่ใช้ในระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟูลดูเพล็กซ์ โดยสายเคเบิลแถบร่วมเป็นความถี่ย่าน UHF และ VHF ซึ่งเป็นย่านความถี่สูงจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย

2. เครื่องมือวัด สำหรับวัดความถี่สูง ๆ มีน้อย

3. ภาคจ่ายไฟ จ่ายไฟไม่พอทำให้ภาพขาดความคมชัด

4. เกิดการรบกวนของสัญญาณจากการลงกราวด์ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ลวดตัวนำในสายเคเบิลแกนร่วมเปราะและขาดได้ง่ายทำให้เกิดปัญหาในการรับ-ส่ง

6. ความยาวของสายมีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตมากถ้าสายยิ่งยาวความคมชัดของสัญญาณภาพและเสียงยิ่งน้อยลง

7. กำลังของสัญญาณเอาต์พุตของระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบฟุลดูเพล็กซ์มีระดับต่ำมาก

8. การจูนความถี่บ่อย ๆ จะทำให้วงจรเสียหายง่าย เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นตัวจูน (Trimmer) มีความเปราะมาก

9. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเช่น กล้องถ่ายสัญญาณภาพโทรทัศน์ โทรทัศน์และเครื่องมือวัดสัญญาณมีไม่เพียงพอ

10. ขาดประสบการณ์ในการทำปริญญานิพนธ์ และการพิมพ์ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จล่าช้า เนื่องจากต้องปรับปรุงแก้ไขหลายครั้ง

5.3 แนวทางแก้ไข

1. ความถี่ที่ใช้ในการรับส่งต้องอยู่ห่างกันมากๆกราวด์ทุกจุดในวงจรจะต้องต่อรวมกัน

2. หมุนเวียนกันใช้และหยิบยืมจากที่อื่น

3. ออกแบบภาคจ่ายไฟที่มีเสถียรภาพและสามารถจ่ายไฟให้กับวงจรอย่างเพียงพอ

4. กราวด์ทุกจุดต่อร่วมกัน เพื่อลดสัญญาณรบกวน

5. ตรวจสอบสายอยู่บ่อย ๆ ว่าขาดในหรือไม่

6. เพิ่มวงจรขยายที่มีความแรงขึ้นเมื่อต้องการส่งในระยะทางไกล ๆ

7. ใช้บูสเตอร์ยกระดับกำลังสัญญาณเอาต์พุตที่ต่ำให้สูงขึ้นจนเครื่องรับสามารถรับได้ชัดเจน

8. จูนวงจรด้วยความปราณีต

9. ช่วยกันทำและช่วยกันตรวจทานก่อนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาให้สามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ไกลขึ้น โดยเพิ่มวงจรขยายสัญญาณ RF ที่มีประสิทธิภาพและไม่ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบ

2. พัฒนาเป็นส่งหลายช่อง โดยแบ่งหน้าจอของเครื่องรับโทรทัศน์ออกเป็น 4 ส่วน และสร้างวงจรมอดดูเลตขึ้น 4 ชุด ทำการมอดดูเลตสัญญาณภาพและเสียงด้วยคลื่นพาหะที่ต่างกัน แล้วส่งไปในสายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียวกัน

3. พัฒนาจากาการใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นสายเคเบิลใยแก้ว เพราะการลดทอนภายในสายเคเบิลใยแก้วน้อยกว่าเคเบิลแกนร่วม ทำให้สามารถส่งไปได้ไกลกว่า

4. พัฒนาจากการรับส่งโดยใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นการรับส่งโดยการกระจายคลื่นออกอากาศ

5. พัฒนาจากระบบภาพขาวดำเป็นระบบภาพสี และระบบเสียงโมโนเป็นระบบเสียงสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจรวิดีโอมอดดูเลเตอร์

ตัวต้านทาน ขนาด $^1/_4$ W ± 5%

R_1 , R_2 - 1 kΩ	2 ตัว
R_7 - 1.5 kΩ	1 ตัว
R_9 - 56 kΩ	1 ตัว
R_{14} - 2 kΩ	1 ตัว
R_{15} - 5 kΩ	1 ตัว
R_3 - 10 kΩ	1 ตัว
R_4 , R_{16} - 1 kΩ	2 ตัว
R_5 - 51 Ω	1 ตัว
R_6 - 2.2 kΩ	1 ตัว
R_8 - 4.7 kΩ	1 ตัว
R_{10} - 15 kΩ	1 ตัว
R_{11} , R_{12} - 270Ω	2 ตัว
R_{13} - 82 Ω	1 ตัว
VR_1 - 5 kΩ แบบเกือกม้านอน	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1 - 1000 μF 25V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
C_2 - 10 μF 25V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
C_3 , C_6 , C_9 , C_{11} , C_{12}	
0.001 μF 50V เซรามิก	5 ตัว
C_4 , C_5 - 10 μF 25V แทนทาลัม	2 ตัว
C_7 - 50 pF 50V เซรามิก	1 ตัว
C_8 - 470 μF 25V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
C_{10} - ทริมเมอร์ 5-60 pF	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1 - D_4 - IN4001 4 ตัว

D_5 - วาริแคปเบอร์ IS2209 1 ตัว

IC_1 - LM7812CT 1 ตัว

IC_2 - LM1889N 1 ตัว

LED_1 - หลอด LED สีแดง 1 ตัว

รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

ตัวต้านทาน $^1/_4$ W ± 5%

R 21 kΩ 2 ตัว

R 480 kΩ 2 ตัว

R 3.9 kΩ 2 ตัว

R 120 Ω 2 ตัว

C 10 μF 3 ตัว

TR BC 548 2 ตัว

รายการอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟ (2 ชุด)

ตัวเก็บประจุ

C_1 - C_6 - 470 μF 35V อิเล็กทรอไลต์ 1 ตัว

C_7 - C_{10} 0.1 μF 50V ไมลาร์ 1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC_1 - IC_3 - LM7812 CT 6 ตัว

IC_4 - LM7805 CT 2 ตัว

D_1 - D_{16} 1N4001 32 ตัว

หม้อแปลงไฟฟ้า

T_1 - 220 : 0-12V 1A , 0-12V 1A , 0-12V 500mA , 0-6V 500mA 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจรปรีไมค์ (2 ชุด)

ตัวต้านทาน ขนาด $^1/_4$ W ± 1%

R_1 - 390 kΩ	2 ตัว
R_2 - 680 Ω	2 ตัว
R_3 - 100 kΩ	2 ตัว
R_4 , R_5 - 220 kΩ	4 ตัว
R_6 - 10 kΩ	2 ตัว
R_7 - 1 kΩ	2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1 - 1 μF 16V อิเล็กทรอไลต์	2 ตัว
C_2 - C_4 - 4.7 μF 16V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
C_3 - 100P เซรามิก	2 ตัว
C_4 - 100 μF 16V อิเล็กทรอไลต์	2 ตัว
C_6 - 2.2 μF 16V อิเล็กทรอไลต์	2 ตัว
C_{10} - ทริมเมอร์ 5-60 pF	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

TR_1 - TR_2 - 2N2484	4 ตัว

รายการอุปกรณ์อื่นๆ

วงจรบูสเตอร์ย่าน UHF	1 ตัว
วงจรบูสเตอร์ย่าน VHF	1 ตัว
RF คอนเวอร์เตอร์	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

IC MODULATE LM 1889N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1889 ทีวี, วิดีโอมอดดูเลเตอร์

LM1889 เป็นผลผลิตของเนชั่นแนลเซมิคอนดัคเตอร์ (NS) ออกแบบมาสำหรับใช้ในภาคมอดดูเลเตอร์ของอุปกรณ์จำพวกเครื่องเล่นวิดีโอ, คอมพิวเตอร์, ทีวีเกมและอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องมีภาคมอดดูเลตสัญญาณภาพ ข้อดีของไอซีตัวนี้ คือ มีส่วนต่างๆ ที่จำเป็นอยู่ในตัวเสร็จ เช่น ภาคกำเนิดคลื่นซับแคเรียร์ของสีและอาร์เอฟออสซิลเลเตอร์ให้เอาต์พุตความถี่ย่าน VHF แบนด์ต่ำ 2 ช่อง

คุณสมบัติ

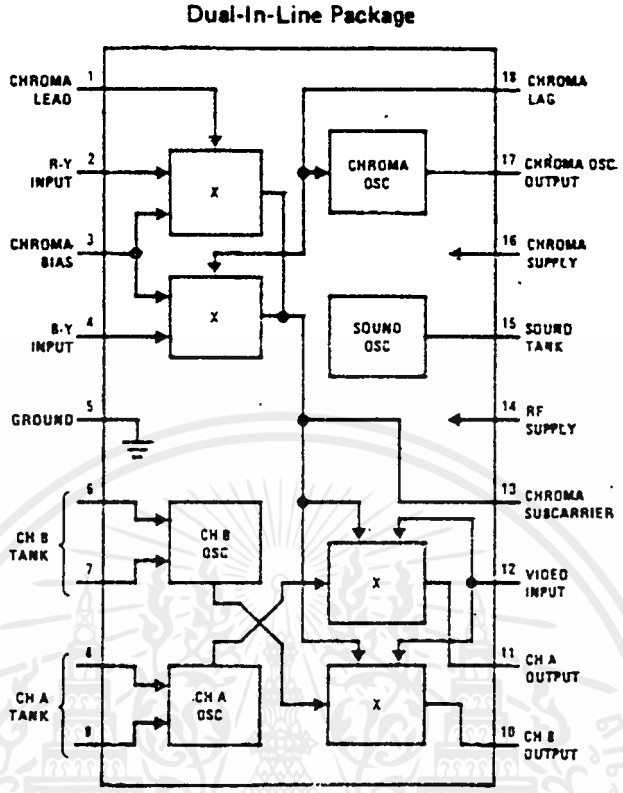
- เลือกช่องโดยใช้ไฟดีซี
- ใช้ไฟได้จาก 12 โวลต์ถึง 18 โวลต์
- ความถี่มีเสถียรภาพดีเยี่ยม
- มีอินเตอร์มอดดูเลชั่นน้อยมาก
- สัญญาณสีอ้างอิง 5 V_{p-p}
- ใช้เอ็นโค้ดสัญญาณคอมโพสิตวิดีโอได้

ซับแคเรียร์ออสซิลเลเตอร์

เพื่อความเที่ยงตรงและเสถียรภาพที่ดี ภาคออสซิลเลเตอร์จึงออกแบบมาให้ควบคุมด้วยคริสตอล อุปกรณ์รอบข้าง (R_2 C_2 และ C_1 R_1) ใช้กำหนดเฟสของซับแคเรียร์สีที่ขา 1 และขา 18 ในที่นี้คือ 3.579545 MHz ซึ่งสามารถใช้ความถี่ต่างจากนี้ได้แต่เสถียรภาพอาจด้อยลงไป คริสตอลนี้อาจแทนด้วยวงจร LC แทงค์ก็ได้ แต่มีข้อควรระวัง คือ หากความถี่ผิดไปมาก การมอดดูเลตสัญญาณสีจะทำได้ไม่สมบูรณ์หรือไม่ได้เลย

กรณีที่ใช้ความถี่ซับแคเรียร์จากภายนอกจะต้องมีแอบปลิจูด 500 mV_{p-p} ที่ขา 1 และขา 18 โดยมีเฟสที่ถูกต้อง หรือถ้ายังคงใช้อุปกรณ์รอบข้างชิฟต์เฟสก็สามารถใช้ความถี่ซับแคเรียร์ 1 V_{p-p} ป้อนตรงเข้าที่จุดต่อของ C_1 และ R_2 ได้และคริสตอล C_4 และ R_3 ถูกปลดออกซึ่งที่ขา 17 จะให้ความถี่ออกมาที่ระดับแรงดัน 5 V_{p-p} โดยเฟสชิฟต์ออกไป +125°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรภายใน

การมอดดูเลตสัญญาณสี

วิธีง่ายที่สุดในการเอ็นโค้ดสัญญาณสีก็คือ การกำหนดควอดราเจอร์เฟสที่ขา 1 และขา 18 ด้วยแกนสัญญาณความแตกต่างสี R-Y และ B-Y สัญญาณที่ขา R-Y จะให้เอาต์พุตซับแคเรียร์สี โดยมีเฟสต่างออกไป 90° เทียบกับที่ขา B-Y ระดับแรงดันดีซีเมื่อไม่มีสัญญาณของอินพุต R-Y และ B-Y จะเป็นตัวกำหนดระดับไบแอสสำหรับขา 3 ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่ขา 2 เป็นบวก 1 โวลต์ เทียบกับขา 3 จะให้ซับแคเรียร์ขนาด $0.6V_{p\text{-}p}$ ที่เฟส 90° แต่ถ้าที่ขา 2 เป็นลบ 1 โวลต์ เทียบกดับขา 3 เอาต์พุตยังคงเป็น 0.6 $V_{p\text{-}p}$ แต่เฟสเปลี่ยนไปเป็น 270°

เมื่อมีสัญญาณมาปรากฏที่ขา 4 ระดับเอาต์พุตและเฟสของซับแคเรียร์จะเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ขององค์ประกอบของควอดราเจอร์ที่อินพุตขา 2 และขา 4 หรือพูดให้ชัดก็คือพัลส์ลบที่ขา 4 ในช่วงเบิรสต์จะให้สัญญาณเบิรสต์สำหรับซิงโครไนซ์กับสัญญารสีที่เฟส 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณความแตกต่างสีทั้งคู่จะต้องถูกคับปลิ้งตรงไปยังมอดดูเลเตอร์ เพื่อให้ระดับดีซีเท่ากันเมื่อไม่มีสัญญาณทั้งคู่

ภาคมอดดูเลตสัญญาณสีมีคอนเวอร์ชั่นแกน 0.6 V_{p-p} / V_{dc} กำหนดโดยตัวต้านทาน 2 KΩ ที่ขา 13 ถ้าค่าสูงเกณฑ์จะสูง แต่ค่าความจุที่ขา 13 นี้จะทำให้แบนด์วิดธ์แคบลง

ออสซิลเลเตอร์เสียง

ในวงจรตัวอย่างในรูปที่ 3 นั้น การมอดดูเลตเสียงแบบเอฟเอ็มได้จากวงจรแทงค์ 4.5 MHz โดยมีค่าความจุของวาแรกเตอร์ไดโอดเป็นตัวเบี่ยงเบนความถี่จากความถี่กลาง ค่าความจุที่เปลี่ยนแปลง 5 pF ตามความถี่เสียงจะให้ความถี่เบี่ยงเบน 50 KHz จากความถี่กลาง 4.5 MHz ในที่นี้ไดโอดเบอร์ 1N5447 ไบแอสไว้ที่ -4V จากขา 16 ซึ่งจะให้การเบี่ยงเบน ±20 KHz ที่ระดับสัญญาณเสียง 1 V_{p-p}

ระดับของแคเรียร์เสียงที่พอเหมาะควรอยู่ในช่วง 2% ถึง 20% ของระดับแคเรียร์ภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณวิดีโอที่ขา 12 มีระดับออฟเซ็ตค่าพีคเท่ากับ 3 โวลต์ เทียบกับขา 13 ซึ่งจะให้ความแรงของแคเรียร์ภาพ 30 mV_{rms} ค่าซอร์สอิมพีแดนซ์ที่ขา 12 กำหนดโดยตัวต้านทาน 2 KΩ และวงจรอนุกรม 15 KΩ และ 22 pF ก็จะให้ระดับแคเรียร์เสียงที่ -32 dB เทียบกับแคเรียร์ภาพ

อาร์เอฟมอดดูเลชั่น

ภายใน LM1889 มีภาคอาต์เอฟมอดดูเลเตอร์อยู่ 2 ช่องความถี่แคเรียร์กำหนดโดยวงจร LC แทงค์ภายนอกที่ขา 6, 7, 8 และ 9 ความถี่กำหนดได้ไม่เกิน 100 MHz สัญญาณอินพุต (ขา 12, 13) ใช้ร่วมกันสามารถหยุดการทำงานของมอดดูเลเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งได้โดยตัดไฟที่จ่ายให้วงจรแทงค์

ในกรณีของการมอดดูเลตสัญญาณสี ค่าออฟเซ็ตระหว่างขาสัญญาณอินพุตทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดระดับแคเรียร์ที่เอาต์พุต แต่เนื่องจากสัญญาณอินพุตขา13 นั้นต่ออยู่ภายในภาคมอดดูเลเตอร์สี ตัวต้านทานโหลด 2 KΩ ที่จุดนี้จะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไบแอสของวิดีโอมอดดูเลเตอร์ อย่างไรก็ตามแหล่งจ่ายไบแอสนี้ไม่ขึ้นกับไบแอสของมอดดูเลตสัญญาณสี ตัวต้านทาน 2 KΩ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ ให้ต่อแหล่งจ่ายไบแอสโดยตรงเข้าที่ขา 13 ได้เลย

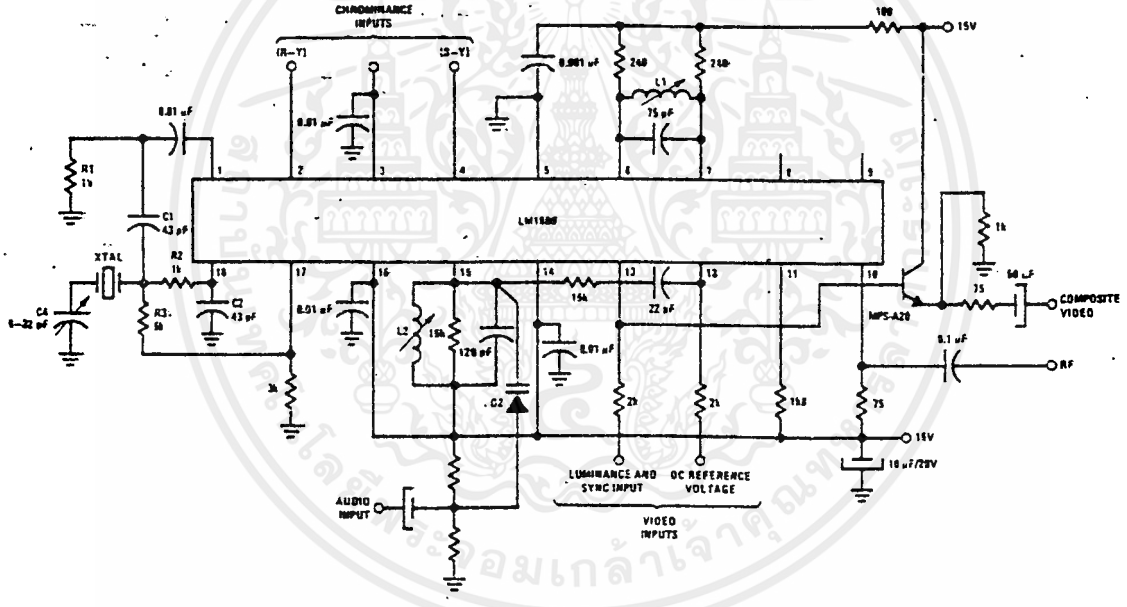
ในการรักษาระดับดีซีของสัญญาณวิดีโอ การมอดดูเลตแบบเอเอ็มของอาร์เอฟแคเรียร์จะทำข้างเดียว เมื่อระดับสัญญาณวิดีโอเพิ่มระดับแคเรียร์จะลดลง หมายความว่า สัญญาณคอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพสิตวิดีโอที่ขา 12 จะต้องมีค่าออฟเซ็ตเทียบกับขา 13 และซิงค์พัลส์ต้องมีออฟเซ็ตมากสุด ซึ่งแรงดันออฟเซ็ตของขา 12 เทียบกับขา 13 ต้องมีทิศทางเดียวกับซิงค์พัลส์

ถ้าระดับสัญญาณวิดีโอสูง ภาพจะขาวจัดไม่ควรกดแคเรียร์จนไม่เหลือ ถ้าต้องการมอดดูเลตสัญญารเสียงไปด้วย ตัวอย่างเช่น สัญญาณซิงค์มีแอมปลิจูด 1V และสัญญาณขาวสุด (Peak White) 2.5V ซึ่งจะเท่ากับระดับซิงค์เป็นลบ 3.5 V_{p-p}

ที่ระดับมืด 5 V_{dc} จำเป็นต้องไบแอสด้วยดีซี 8V ที่ขา 13 เพื่อให้การมอดดูเลตถูกต้อง วิธีง่ายๆ คือ ไบแอสขา 13 ด้วยระดับแรงดันเป็น 4 เท่าของระดับซิงค์ที่ขา 12



รูปที่ 2 การเอ็นโค้ดสัญญาณสีและสัญญาณแสงสว่าง ให้เป็นคอมโพสิตวิดีโอ หรืออาร์เอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1) เจน สงสมพันธ์, เทคนิคการติดตั้งระบบสัญญาณภาพ ดาวเทียม-เคเบิลทีวี, หจก. เม็ดทราย พริ้นติ้ง, กรุงเทพ ฯ, พศ. 2535, 183 หน้า

2) นรินทร์ เนาวประทีป , ความรู้เบื้องต้นทางวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์, ห.จ.ก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ, 232 หน้า

3) ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล และสมชาย วิวัฒนศานต์, วารสารเซมิคอนดัคเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 104, พ.ศ. 2535

4) วิวัฒน์ กิรานนท์, พื้นฐานการสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, พศ. 2535, 158 หน้า

5) สุชาติ กังวาลจิตต์ และสมศักดิ์ เตชะเศรษฐ์ธนะ, โทรทัศน์สีระบบ PAL, หจก. เอช เอ็น การพิมพ์, กรุงเทพ ฯ , 330 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้