ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

UHF BAND A/V SIGNAL TRANSMITTER FOR VIDEO CAMERA

ชื่อนักศึกษา

1. นายประยุทธ	ตรงสถิตย์	รหัสประจำตัว	38031111
2. นางสาวปราณี	จันพลา	รหัสประจำตัว	38031112
3. นายรังสรรค์	สุวรรณภักดี	รหัสประจำตัว	38031120
4. นายวิมล	รัตนคช	รหัสประจำตัว	38031123

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
2. อาจารย์โกศล ตราชู
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	.....
2. อาจารย์โกศล ตราชู	.....
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	.....
4. อาจารย์วรวิทย์ สมหา	.....
5. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	.....
6. อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์	.....

วัน-เดือน ปี ที่สอบ วันที่ 1 เมษายน 2540 **เวลา** 11.00 น. ถึง 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงชื่อ .....

(ศาสตราจารย์ ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 2 เดือน เม.ย. พ.ศ. 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

UHF BAND A/V SIGNAL TRANSMITTER FOR VIDEO CAMERA

A021617

นายประยุทธ ตรงสถิตย์
นางสาวปราณี จันพลา
นายรังสรรค์ สุวรรณภักดี
นายวิมล รัตนคช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....1040
วัน เดือน ปี.....23 พค 2540
021617

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

UHF BAND A/V SIGNAL TRANSMITTER FOR VIDEO CAMERA

ผู้จัดทำ

1. นายประยุทธ ตรงสถิตย์
2. นางสาวปราณี จันพลา
3. นายรังสรรค์ สุวรรณภักดี
4. นายวิมล รัตนคช

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(อาจารย์โกศล ตราชู)

ลงนาม.....

(อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

UHF BAND A/V SIGNAL TRANSMITTER FOR VIDEO CAMERA

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
2. เพื่อออกแบบเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
3. เพื่อสร้างเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
4. เพื่อนำเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอไปใช้งาน
5. เพื่อลดความยุ่งยากในการเดินเคเบิลแกนร่วมระหว่างกล้องวิดีโอกับเครื่องรับโทรทัศน์
6. เพื่อแก้ปัญหากำลังของสัญญาณจากกล้องถ่ายวิดีโอไม่เพียงพอ เมื่อใช้กับเครื่องรับโทรทัศน์หลายเครื่อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจ ระบบการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
2. ได้วงจรการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
3. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ
4. นำเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอไปใช้งานจริงร่วมกับกล้องวิดีโอและเครื่องรับโทรทัศน์ได้
5. มีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน
6. สามารถส่งสัญญาณจากกล้องถ่ายวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์หลายเครื่องได้พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

นายประยุทธ ตรงสถิตย์
นางสาวปราณี จันพลา
นายรังสรรค์ สุวรรณภักดี
นายวิมล รัตนคช

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
อาจารย์โกศล ตราชู
อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการนำเครื่องส่งสัญญาณ มาประยุกต์ใช้กับการส่งสัญญาณภาพและเสียงสำหรับกล้องวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยใช้ความถี่ 513 เมกะเฮิรตซ์ ย่าน UHF เครื่องส่งสัญญาณเสียงและภาพ (A/V) ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนี้จะมีขนาดเล็กสะดวกในการพกพา และสามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ในระยะทาง 50 เมตร (กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง) โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันจากตัวปรับแรงดัน 12 โวลต์ หรือแบตเตอรี่ของกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UHF BAND A/V SIGNAL TRANSMITTER FOR VIDEO CAMERA

MR.PRAYUT TRONGSATIT
MISS PRANEE JANPLA
MR.RUNGSAN SUWANPAKDEE
MR.WIMAL RUTANAKOD

ADVISORS

MR.WISUIT ATIPORNTUM
MR.KOSON TRACHU
MR.PEERAWUT SUWANJAN

1996

ABSTRACT

This thesis presents the application of signal transmitter as Audio/Video (A/V) signal transmitter for video camera by UHF band frequency of 513 MHz. The UHF band A/V signal transmitter for video camera is small size and easy to use for convenience. It can sent for 50 m line of sight radius maximum and used 12 V adapter source or video camera's battery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา, ข้อเสนอแนะ พร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาการดำเนินงาน รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาภาควิชา ครุศาสตร์วิศวกรรมรุ่น 17 ทุกคน ที่ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ	3
2.2.1 คลื่นวิทยุ	3
2.2.2 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ	5
2.3 หลักการของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ	7
2.3.1 ปัจจัยสำคัญของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ	8
2.3.2 หลักการผลิตความถี่	9
2.3.3 หลักการขยายสัญญาณ	13
2.3.4 หลักการผสมสัญญาณ	16
2.3.5 สายอากาศ	25
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์	28
2.4.1 เครื่องส่งโทรทัศน์	29
2.4.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องรับโทรทัศน์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์	37
2.5.1 สัญญาณภาพ	37
2.5.2 ความกว้างของช่องสัญญาณ	40
2.5.3 ช่องสัญญาณ	41
2.6 สรุป	42
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	43
3.1 กล่าวนำ	43
3.2 การออกแบบ	43
3.2.1 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	44
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	45
3.2.3 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	46
3.2.4 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	47
3.2.5 การเชื่อมต่อวงจร	49
3.3 การสร้าง	49
3.3.1 การพันขดลวด	49
3.3.2 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์	51
3.3.3 การติดตั้งลงกล่อง	52
3.4 การทำงาน	52
3.5 สรุป	53
บทที่ 4 การทดสอบ และผลการทดสอบ	55
4.1 กล่าวนำ	55
4.2 การทดสอบชุดวงจร	55
4.2.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์	55
4.2.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	56
4.2.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	60
4.2.4 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	64
4.3 การทดสอบเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ	65
4.3.1 ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ	65
4.3.2 กำลังของสัญญาณ และระยะทางในการส่ง	66
4.3.3 การรบกวนของสัญญาณ	68
4.4 สรุป	68
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	69
5.1 บทสรุป	69
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน	68
5.3 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	70
5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน	71
ภาคผนวก ก ระบบโทรทัศน์	72
ภาคผนวก ข รูปต้นแบบของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ	76
ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	81
ภาคผนวก ง รายละเอียดอุปกรณ์	84
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	87
ประวัติผู้แต่ง	90
บรรณานุกรม	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
ตารางที่ 2.2 การจำแนกคลื่นวิทยุ	4
ตารางที่ 2.3 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการในพื้นที่ต่างๆ	33
ตารางที่ 2.4 ย่านความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ในยุโรป	41
ตารางที่ 4.1 แรงดันไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว	56
ตารางที่ 4.2 กำลังส่งที่ความถี่ใช้งานต่ำสุดจนถึงสูงสุด	66
ตารางที่ 4.3 ความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขณะส่งสัญญาณกำลังต่ำ	67
ตารางที่ 4.4 ความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขณะส่งสัญญาณกำลังสูง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 การแพร่กระจายคลื่นดินในแต่ละแบบ	5
รูปที่ 2.2 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นฟ้า	6
รูปที่ 2.3 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นโทรโพสเฟียร์	6
รูปที่ 2.4 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นตรง	7
รูปที่ 2.5 การผลิตความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน	10
รูปที่ 2.6 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์และภาควงจรตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน	12
รูปที่ 2.7 วงจรเทียบเท่าของวงจรจูนสำหรับอัลตร้าออเดี้ยนออสซิลเลเตอร์	13
รูปที่ 2.8 วงจรขยายสัญญาณแบบอิมพีแดนซ์คัปปลิ้งโดยใช้โช๊กเสียง (L) เป็นอิมพีแดนซ์ตัวภาระ	14
รูปที่ 2.9 คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ ที่แสดงในรูปของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต	15
รูปที่ 2.10 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น	17
รูปที่ 2.11 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยในการมอดูเลต	18
รูปที่ 2.12 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ดีมอดูเลต	19
รูปที่ 2.13 การโอเวอร์มอดูเลตทำให้สัญญาณทางเครื่องรับเพี้ยน	19
รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบคลื่นเอเอ็มในเชิงเวลาและความถี่	21
รูปที่ 2.15 การมอดูเลตทางความถี่	23
รูปที่ 2.16 ความแตกต่างระหว่างคลื่นเอฟเอ็มกับพีเอ็ม	24
รูปที่ 2.17 สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้งที่ใช้พื้นผิวตัวนำขนาดใหญ่	25
รูปที่ 2.18 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง	26
รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบการกระจายคลื่นวิทยุจากสายอากาศยาว 1/4 ของความยาวคลื่น และสายอากาศยาว 5/8 ของความยาวคลื่น	28
รูปที่ 2.20 ช่วงกว้างคลื่นที่ส่งโทรทัศน์ระบบ PAL หนึ่งช่อง	30
รูปที่ 2.21 องค์ประกอบรูปคลื่น DC ของสัญญาณโทรทัศน์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.22 รูปคลื่นการมอดูเลต	31
รูปที่ 2.23 สิ่งที่ต้องพิจารณาในระบบส่งโทรทัศน์	32
รูปที่ 2.24 แผนผังการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์สี	33
รูปที่ 2.25 เส้นโค้งผลตอบสนองความถี่ของภาคความถี่กลาง	34
รูปที่ 2.26 เส้นโค้งแสดงการแยกความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์และความถี่กลางของสัญญาณโครมิแนนซ์	34
รูปที่ 2.27 สัญญาณภาพเอาต์พุตจากกล้องในการสแกนหนึ่งเส้น	38
รูปที่ 2.28 สัญญาณภาพเอาต์พุตในระดับ DC ที่แตกต่างกัน	38
รูปที่ 2.29 คลื่นพาห์ที่มอดูเลตแบบเอเอ็ม	39
รูปที่ 2.30 ช่วงกว้างความถี่ของช่องสัญญาณระบบ A	41
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ	44
รูปที่ 3.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	44
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	45
รูปที่ 3.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	46
รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	47
รูปที่ 3.6 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ	48
รูปที่ 3.7 การสร้างกล่อง	51
รูปที่ 4.1 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	56
รูปที่ 4.2 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	57
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	57
รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	58
รูปที่ 4.5 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	59
รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	60
รูปที่ 4.7 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.8 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	61
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div 0.5 mS	62
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div 0.5 μS	62
รูปที่ 4.11 วงจรขยายกำลังและวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	63
รูปที่ 4.12 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลังและวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	64
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลังและวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1,1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การติดตั้งระบบโทรทัศน์วงจรปิดสำหรับการประชุม หรือแสดงในห้องประชุมขนาดใหญ่เพื่อถ่ายทอดออกไปให้ผู้ชมที่อยู่ภายนอกห้องประชุมได้รับชมอย่างชัดเจน หากใช้สายนำสัญญาณแบบเคเบิลแกนร่วมจะประสบปัญหาความยุ่งยากในการใช้งาน และการเก็บสายนำสัญญาณให้พ้นจากการเดินสะดุดของคนในงาน เมื่อมีเครื่องรับโทรทัศน์หลายเครื่องจะทำให้กำลังของเครื่องส่งไม่พอที่จะจ่ายให้ทางด้านเครื่องรับทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้อยลง และเมื่อถ่ายด้วยกล้องวีดีโอที่ต้องเปลี่ยนมุมกล้อง และเคลื่อนที่ไปรอบบริเวณที่มีการแสดงพร้อมกับลากสายนำสัญญาณยาวๆ จะก่อให้เกิดความไม่สะดวก ด้วยเหตุนี้ จึงมีแนวความคิดในการนำเสนอโครงงานเครื่องส่งสัญญาณ A/V (Audio/Video) ย่าน UHF (Ultra High Frequency) สำหรับกล้องวีดีโอขึ้น

1.2 ความสามารถของโครงงาน

โครงงานเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ มีขีดความสามารถต่างๆ ดังนี้

1. ใช้งานในย่านความถี่ UHF
2. ใช้แหล่งจ่ายจากตัวปรับแรงดัน 12 โวลต์ หรือแบตเตอรี่ 12 โวลต์ของกล้องวีดีโอ
3. ใช้เครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณภาพ และเสียงได้หลายเครื่อง ระยะทางในการส่งประมาณ 50 เมตร (กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง)
4. มีขนาดเล็กพกพาสะดวก ขนาด 5" x 6" x 2" (กว้างxยาวxสูง)
5. มีปุ่มปรับเลือกระดับกำลังส่งออกอากาศ (สูงหรือต่ำ)
6. ใช้สายอากาศแบบเสาสไลด์ ความยาวสูงสุด 60 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาในแต่ละบทของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ, หลักการของเครื่องส่งวิทยุ, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์ ซึ่งจะเป็นความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรและการทำงานที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน เป็นการอธิบายการออกแบบ, การสร้าง, หลักการ และการทำงานของวงจรต่างๆ ซึ่งทำให้มีความเข้าใจต่อการทำงานโดยรวมของโครงงาน

บทที่ 4 การทดสอบ และผลการทดสอบ กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง, การทดสอบประสิทธิภาพ และการทำงานของวงจรต่างๆ ของโครงงาน เพื่อที่จะตรวจสอบว่าโครงงานสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

บทท 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ และได้เสนอแนะแนวทางแก้ไข พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน โดยประกอบด้วย

ภาคผนวก ก ระบบโทรทัศน์

ภาคผนวก ข รูปต้นแบบของเครื่องสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คำแนะนำการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ, หลักการของเครื่องส่งคลื่นวิทยุ, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

จากการศึกษาระบบการสื่อสาร จะเห็นว่าระบบสื่อสารวิทยุช่วยให้มนุษย์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เป็นระยะทางไกลมากขึ้น โดยวิธีเปลี่ยนเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่า คลื่นเสียง (Audio) นำมาผสมกับคลื่นพาห์ (Carrier) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป ทำให้ติดต่อสื่อสารกันในระยะทางไกลขึ้นได้

ระบบสื่อสารวิทยุนั้นจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวแพร่กระจายไปในบรรยากาศหรืออวกาศ เพื่อนำข่าวสารไปโดยไม่ต้องใช้สายนำสัญญาณ คลื่นวิทยุที่ใช้ในการสื่อสารจะมีความถี่ตั้งแต่ 100 เฮิรตซ์ ในย่าน ELF (Extra Low Frequency) ขึ้นไปถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ ในย่าน EHF (Extremely High Frequency)

2.2.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุ หรือความถี่วิทยุ (Radio Wave or Radio Frequency) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วคงที่อยู่ในย่านความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือประมาณ $3X10^8$ เมตรต่อวินาที ความถี่มีความสัมพันธ์ต่อความยาวคลื่นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

f = ความถี่ หน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v = ความเร็ว (Velocity) ของคลื่นวิทยุ ประมาณ $3X10^8$ เมตรต่อวินาที (m/s)

λ = ความยาวคลื่น (Wavelength) หน่วย เมตร (m)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ชนิดของคลื่น	ย่านความถี่	ย่านความยาวคลื่น
1. คลื่นความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง	0-400 Hz	∝-750 km
2. คลื่นความถี่เสียง	20 Hz-20 kHz	15,000 km-15 km
3. คลื่นความถี่วิทยุ	3 kHz-3 THz	100 km-0.1 mm
4. คลื่นความร้อน หรือการแพร่กระจายของแสงอินฟราเรด	300 GHz-375 THz	1 mm-0.8 μm
5. คลื่นการแพร่กระจายของแสง	375 THz-750 THz	0.8 μm-0.4 μm
6. คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลต	750 THz-$3X10^4$ THz	0.4 μm-10 nm
7. คลื่นรังสีเอกซ์ (X-Rays)	$3X10^3$ THz-$3X10^7$ THz	100 nm-10 pm
8. คลื่นรังสีแกมมา (Gamma Rays)	$3X10^6$ THz-$3X10^9$ THz	100 pm-0.1 pm
9. คลื่นรังสีคอสมิค (Cosmic Rays)	$3X10^8$ THz เป็นต้นไป	0.5 pm ลงมา

ตารางที่ 2.2 การจำแนกคลื่นวิทยุ

ชื่อ	ย่านความถี่	ความยาวคลื่น	การนำไปใช้งาน
1. Very Low Frequency (VLF)	3 kHz-30 kHz	100 km-10 km	คลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยิน การสื่อสารระยะไกลจากจุดหนึ่งถึงจุดหนึ่ง
2. Low Frequency (LF)	30 kHz-300 kHz	10 km-1 km	ใช้ส่งวิทยุคลื่นยาว วิทยุเดินเรือ และการติดต่อสื่อสารระยะทางใกล้ๆ
3. Medium Frequency (MF)	300 kHz-3 MHz	1 km-100 m	ส่งวิทยุในย่านกระจายเสียงทั่วไป (Broadcast Band, AM) และเรือรบ
4. High Frequency (HF)	3 MHz-30 MHz	100 m-10 m	ใช้ในการส่งวิทยุคลื่นสั้น ในทางอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และวิทยุสมัครเล่น
5. Very High Frequency (VHF)	30 MHz-300 MHz	10 m-1 m	ใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 2-13 ส่งวิทยุเอฟเอ็ม วิทยุเดินเรือ และวิทยุสมัครเล่น
6. Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz-3 GHz	1 m-10 cm	ใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 14-83 เรดาร์ และไมโครเวฟ
7. Super High Frequency (SHF)	3 GHz-30 GHz	10 cm-1 cm	เรดาร์ ไมโครเวฟ สื่อสารดาวเทียม ค้นคว้าทดลอง
8. Extremely High Frequency (EHF)	30 GHz-300 GHz	1 cm-1 mm	ค้นคว้าทดลอง
9. ย่านที่ยังไม่มีชื่อ	300 GHz-3 THz	1 mm-0.1 mm	ค้นคว้าทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

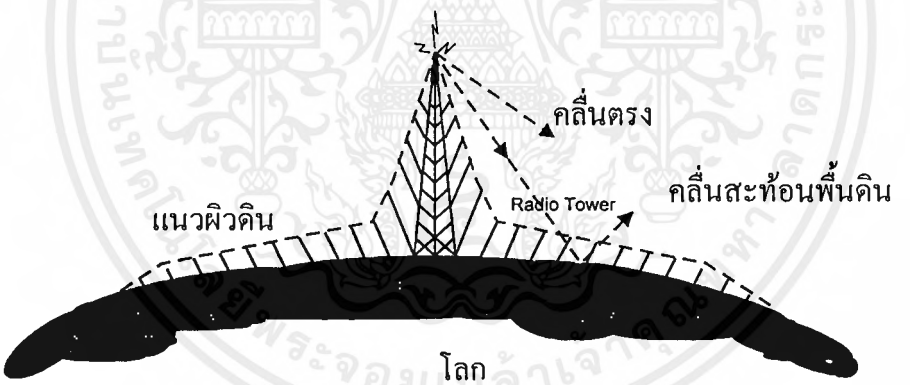
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) สามารถจำแนกประเภทตั้งแต่ความถี่ต่ำสุดถึงความถี่สูงสุดได้ดังตารางที่ 2.1 และจำแนกรายละเอียดเฉพาะคลื่นวิทยุที่ใช้งานในระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุได้ตามตารางที่ 2.2

2.2.2 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกไปในบรรยากาศ สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะธรรมชาติจำเพาะของแถบคลื่นในย่านต่างๆ ได้ 4 ประเภทดังนี้

1. คลื่นดิน หรือคลื่นผิว (Ground Wave or Surface Wave)

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ เกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน VLF, LF และ MF เท่านั้น จะแพร่กระจายไปตามระดับพื้นผิวโลก โดยอาศัยพื้นดินเป็นสื่อ ความแรงของสัญญาณจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

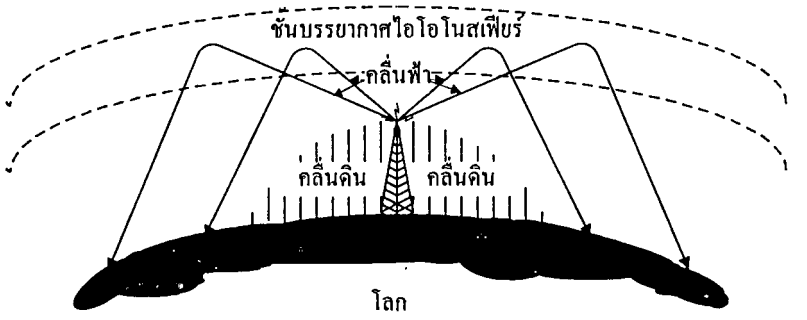


รูปที่ 2.1 การแพร่กระจายของคลื่นดินในแต่ละแบบ

2. คลื่นฟ้า หรือคลื่นไอโอโนสเฟียร์ (Sky Wave or Ionosphere Wave)

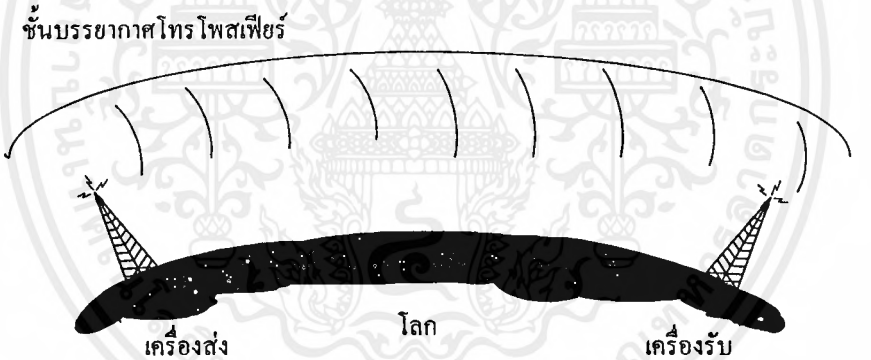
การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ เกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน HF เท่านั้น การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเดินทางเป็นเส้นตรงไปถึงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วสะท้อนกลับลงมายังพื้นดินอีกครั้ง ทำให้ระยะการสื่อสารประเภทนี้ไปได้ไกลกว่าคลื่นดิน และไกลมากจนสามารถใช้ในกิจการติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นฟ้า

3. คลื่นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere Wave)



รูปที่ 2.3 การแพร่กระจายคลื่นประเภทโทรโพสเฟียร์

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ เกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน VHF และตอนต้นของย่าน UHF เท่านั้น ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะเดินทางออกจากสายอากาศของเครื่องส่งเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยเกือบจะเป็นเส้นตรงไปตามสภาพอากาศปกติของชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์แล้วกลับเข้าหาพื้นโลก การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ถ้ามีสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา หรือสิ่งก่อสร้างแล้วคลื่นจะเดินทางผ่านไปไม่ได้ ดังนั้น อุปสรรคสำคัญของระยะการติดต่อสื่อสารด้วยการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ คือ การกำบังของส่วนโค้งของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติระยะทางการติดต่อสื่อสารในแถบคลื่น VHF ในระดับพื้นที่ราบ เมื่อความสูงของเสาอากาศปกติจะอยู่ในระยะประมาณ 80-100 กิโลเมตร เท่านั้น

4. คลื่นตรง หรือคลื่นอวกาศ (Directed Wave or Space Wave)

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเกิดขึ้นตั้งแต่ตอนปลายของแถบคลื่น UHF ตลอดย่าน SHF และ EHF ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะแพร่กระจายออกไปเป็นแนวเส้นตรงคล้ายกับการแพร่กระจายของแสง หรือตามแนวของเส้นระดับสายตา (Line of Sight) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับแสง คือ ถ้ามีวัตถุมาขวางกั้นหรือมากำบังแล้ว คลื่นวิทยุจะไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ ตามปกติการแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะสามารถเดินทางไปได้ไกลมาก และสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศทั้ง 3 ชั้น ผ่านเข้าไปในอวกาศได้ ดังนั้น ระบบการสื่อสารกับยานอวกาศ หรือการสื่อสารดาวเทียมก็ใช้ลักษณะการกระจายคลื่นประเภทนี้ แต่สำหรับการสื่อสารบนพื้นผิวโลกแล้ว ระยะทางการสื่อสารจะมีขีดจำกัดขึ้นอยู่กับส่วนโค้งของโลก และสิ่งกีดขวาง ระยะทางการสื่อสารบนพื้นผิวโลกของการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้ตามปกติจะอยู่ในระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตร เท่านั้น ซึ่งระยะห่างนี้จะเปลี่ยนแปลงตามความสูงของสายอากาศ และสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 2.4 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นตรง

2.3 หลักการของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ คือ อุปกรณ์ที่ผลิตสัญญาณคลื่นวิทยุ (คลื่นพาห์) ขึ้นมา และส่งต่อสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่หนึ่งไปให้กับสายอากาศ พร้อมกับนำข่าวสารที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแพร่กระจายออกอากาศไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปัจจัยสำคัญของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

สิ่งที่สำคัญสิ่งหนึ่งในระบบการสื่อสารวิทยุ คือ ความถี่ ซึ่งแน่นอนที่สุด คือ หมายถึง ช่วงกว้างของความถี่ (Bandwidth) จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ช่วงกว้างความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เริ่มตั้งแต่ 100 เฮิรตซ์ ในระบบโทรเลขจนถึงหลายๆ เมกะเฮิรตซ์ ในระบบโทรทัศน์

สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่ง คือ กำลัง (Power) เครื่องส่งวิทยุอาจจะมีกำลังส่งเป็นร้อยกิโลวัตต์ ในขณะที่กำลังในสายส่งโทรศัพท์มีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ ในระบบสื่อสารดาวเทียมสัญญาณที่รับเข้าเครื่องรับมีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ ในกรณีที่สัญญาณมีกำลังอ่อนมากๆ นั้น การออกแบบวงจรก็จะยุ่งยากขึ้น โดยเฉพาะการถ่ายเทพลังงานจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดนั้น การทำให้อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรต่อวงจรสมดุลย์ (Match) กันจึงเป็นสิ่งสำคัญ การลดทอน (Attenuation) หรือการสูญเสีย (Loss) ในวงจรเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบวงจร อีกทั้งอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise ratio) ด้วย

หน้าที่หลักของเครื่องส่ง คือ การผลิตสัญญาณ (Oscillation) การขยายสัญญาณ (Amplification) และการผสมสัญญาณ (Modulation) ในการส่งสัญญาณจะมีคลื่นพาห์ (Carrier Wave) เป็นตัวพาสัญญาณไป

การผลิตสัญญาณ คือ การผลิตคลื่นพาห์ความถี่วิทยุ (RF : Radio Frequency) ซึ่งวงจรมาตรฐานที่ประยุกต์ใช้กันทั่วไป ได้แก่ วงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ทเลย์ (Hartley Oscillator), วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ (Colpitts Oscillator) และวงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยคริสตอล (Crystal Controlled Oscillator) เป็นต้น สำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในวงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนี้จะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ ดังนั้น ในที่นี้จึงกล่าวถึงเฉพาะวงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์เท่านั้น

การขยายสัญญาณ คือ การขยายสัญญาณความถี่วิทยุจากเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ หน้าที่ของวงจรขยายสัญญาณนี้มี 2 ประการด้วยกัน คือ

1. ทำการขยายสัญญาณความถี่วิทยุระดับต่ำให้มีระดับสูงขึ้นจนเพียงพอที่จะส่งไปขับวงจรในภาคขยายกำลังได้

2. เป็นภาควงจรที่กันวงจรออสซิลเลเตอร์ออกจากวงจรขยายกำลัง เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์ และช่วยให้เสถียรภาพทางความถี่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลชั่น คือ การเปลี่ยนแปลงความสูง (Amplitude), เฟส (Phase) หรือความถี่ (Frequency) ของสัญญาณคลื่นพาห์ตามสัญญาณที่จะส่ง การมอดูเลตสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ การมอดูเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Carrier Wave Modulation) และการมอดูเลตเป็นช่วง (Pulse Modulation) การมอดูเลตในระบบสื่อสารเป็นการสมดุลย์ (Matching) ระหว่างสัญญาณกับคุณสมบัติของช่อง เพื่อลดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในการส่งสัญญาณหลายๆ สัญญาณเข้ากับช่องส่งเดียว ความสำเร็จของระบบการสื่อสาร คือการออกแบบการมอดูเลชั่นได้อย่างเหมาะสม

วงจรขยายกำลังเป็นตัวจ่ายกระแสสายอากาศด้วยขนาดที่เพียงพอตามความต้องการทางด้านเอาต์พุต ยิ่งถ้ามีกระแสสูงก็จะส่งผลให้การส่งกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แรงมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นสัญญาณจึงสามารถถูกส่งกระจายออกไปได้ไกลกว่าสภาพปกติได้

2.3.2 หลักการผลิตความถี่

การผลิตความถี่ คือ การทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ หรือกล่าวทั่วๆ ไป คือ การแกว่งตัวของสิ่งต่างๆ ด้วยความแรง และความเร็วคงที่

เครื่องส่งคลื่นวิทยุทุกชนิด จำเป็นต้องใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ในการผลิตสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่วิทยุ และยังมีความจำเป็นต่อวงจรเปลี่ยนความถี่ (Frequency Converter Circuit) ของวงจรเครื่องรับซุปเปอร์เฮทเทอร์โรดายน์ (Superheterodyne) สำหรับสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency : IF) นอกจากนี้ ยังมีการใช้งานในเครื่องผลิตสัญญาณ (Signal Generator) เป็นต้น ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งสัญญาณความถี่ต่ำ หรือสัญญาณเสียง และสัญญาณคลื่นวิทยุได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในวงจรดิจิตอล ออสซิลเลเตอร์ยังถูกใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ให้แก่มัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งสัญญาณที่ผลิตออกมาเป็นพัลซ์ที่มีความถี่แน่นอน เป็นต้น

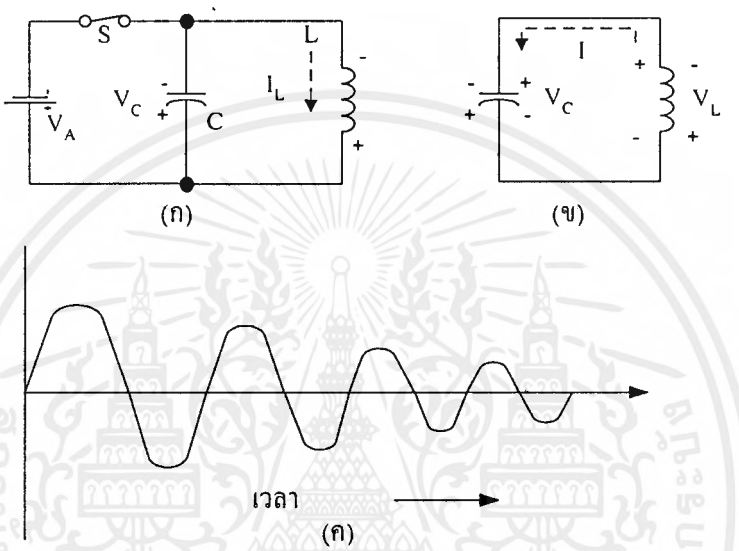
ความถี่ที่ผลิตขึ้นมาจะอยู่ในรูปของคลื่นไซน์ (Sinusoidal) เสมอ โดยจะมีความสัมพันธ์กับเวลา ซึ่งวงจรที่สามารถผลิตสัญญาณดังกล่าวได้ ได้แก่ วงจร LC ที่สามารถผลิตความถี่รีโซแนนซ์ออกมาได้ เมื่อมีการป้อนแรงดันให้แก่วงจร ความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นมานั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. มีการเคลื่อนที่ไปมา หรือมีการสั่นตัวของวัตถุ ถ้าเป็นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีการทำงานของวงจรที่สลับไปสลับมาของแรงดัน และกระแสตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลื่อนที่ หรือการสั่นดังกล่าวจะต้องสัมพันธ์กับเวลา มีความคงที่ และสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดความถี่ขึ้นมาเทียบกับเวลาใน 1 วินาที คือ ความถี่ที่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

3. ถ้าระดับความแรงของคลื่นลดลงที่เรียกว่า รูปคลื่นทรุด (Damping Wave) จะต้องมีการกระตุ้นเสริมความแรงของคลื่น เพื่อให้เกิดความคงที่ และสม่ำเสมออยู่ตลอดไป



รูปที่ 2.5 การผลิตความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน

(ก) ในขณะที่สวิตช์ปิดวงจร แบตเตอรี่จะสะสมประจุให้แก่ C และป้อนกระแสให้ไหลภายใน L

(ข) ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจร วงจรแบตเตอรี่จะถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ในวงจร LC ขณะนี้เกิดจากการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่าง L กับ C

(ค) คลื่นไซน์ที่เกิดจากการออสซิลเลต

วงจรเบื้องต้นของการผลิตความถี่จะประกอบด้วยขดลวด (Inductor, L) และตัวเก็บประจุ (Capacitor, C) ประกอบรวมกันเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน ดังรูปที่ 2.5 (ก) โดยแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้แก่ C ที่ต่อขนานอยู่กับ Lในลักษณะนี้ยังไม่มีการออสซิลเลตใดๆ เกิดขึ้น แบตเตอรี่จะสะสมประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ จนกระทั่งถึงระดับ V_C และเกิด I_L ไหลภายในขดลวด ดังนั้น จะเกิดพลังงานไฟฟ้าสะสมภายในตัวเก็บประจุ และเกิดพลังงานแม่เหล็กสะสม

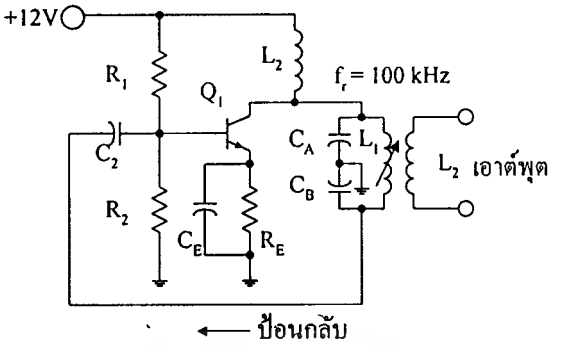
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในขดลวดขึ้น จากรูปที่ 2.5 (ข) สวิตช์ S เปิดวงจร ทำให้วงจรของแบตเตอรี่ V_A ถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ทันที ในสภาวะเช่นนี้จึงสามารถพิจารณาการทำงานของวงจร LC ได้ เมื่อปราศจากแบตเตอรี่ ระดับของ I_L จะค่อยๆ ลดลง ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิด V_L ขึ้น ในขณะนี้ L เป็นเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร LC แต่อย่างไรก็ตาม ขั้วของ V_L จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ I_L ไหลในทิศทางเดียวกับ Ic เพื่อให้ C สามารถคายประจุได้ แต่ที่จริงแล้ว V_L จะสะสมประจุให้แก่ C ด้วยขั้วที่ตรงข้าม เมื่อเปลี่ยนไปจนมีค่ามากกว่า V_L ตัวเก็บประจุจะคายประจุทำให้ I_C ซึ่งมีค่าที่ตรงข้ามกับ I_L ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น คือ จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างความเหนี่ยวนำ และความจุ เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง V กับ I ด้วยความถี่รีโซแนนซ์ธรรมชาติของวงจร LC ดังรูปที่ 2.5 (ค) ขณะใดก็ตามที่ I_L มีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ V_L ขึ้น และในขณะใดก็ตามที่ V_C มีค่าเป็นศูนย์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแส I_C ขึ้น สลับกันอย่างนี้เรื่อยไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นไซน์ที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลาเพราะ V และ I จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ทันทีทันใด

แอมพลิจูดของการออสซิลเลตค่า V และ I จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานที่ความต้านทานของวงจร จนกระทั่งแอมพลิจูดของคลื่นไซน์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในที่สุด ดังรูปที่ 2.5 (ค) การทำงานของวงจร LC ในการออสซิลเลตทำให้เกิดคลื่นไซน์จากพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจร เรียกว่า ริงกิ้ง (Ringing) ซึ่งที่จริงแล้ว ขดลวดในวงจรใดๆ ก็ตามสามารถเกิดริงกิ้งได้จากค่าความจุตกค้างที่ต่อขนานอยู่ สำหรับลักษณะของคลื่นที่มีค่า I ลดลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นได้ ในขดลวดที่มีค่า Q สูงๆ วงจร LC สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่ง คือ วงจรแท็งค์ (Tank Circuit) เนื่องจากสามารถเก็บสะสมพลังงาน เพื่อก่อให้เกิดการออสซิลเลตได้ คุณสมบัติของวงจรแท็งค์ในการผลิตคลื่นไซน์ที่มีอินพุตเป็นไฟตรง หรือเป็นพัลซ์ก็ได้เรียกว่า ฟลายวีล เอ็ฟเฟค (Flywheel Effect)

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์มีลักษณะที่เด่นชัด คือ มีตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันสำหรับการป้อนกลับสัญญาณอยู่อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.6 C_A และ C_B ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรแบ่งแรงดันอนุกรมตกคร่อมขดลวด L_1 หรือกล่าวได้ว่าวงจรคอลพิทท์ออสซิลเลเตอร์มีลักษณะพิเศษในเรื่องการต่อแยกที่ตัวเก็บประจุ แทนที่จะเป็นการต่อแยกที่ตัวเหนี่ยวนำในส่วนของวงจรคอลเลคเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าที่คร่อม C_3 จะถูกป้อนกลับแบบบวกไปยังขาเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ และภาควงจรตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน

จุดต่อระหว่าง C_A และ C_B จะถูกต่อลงกราวนด์ ดังนั้น จึงเป็นเสมือนว่าวงจรตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันนั้นเป็นวงจรเทียบเท่ากับการต่อแยกขดลวด สำหรับสัญญาณของวงจรออสซิลเลเตอร์ แรงดันไฟฟ้า V_{CA} และ V_{CB} จะมีขั้วตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับจุดกราวนด์ การป้อนกลับแบบบวกของ V_{CB} จะถูกเชื่อมต่อโดย C_2 ซึ่งในขณะเดียวกัน C_2 จะทำการป้องกันสัญญาณแรงดันไฟตรงจากขาคอลเลคเตอร์ไม่ให้ผ่านไปสู่ขาเบสได้

เอาต์พุตของวงจรจะถูกเชื่อมต่อโดยขดลวด L_2 ไปสู่วงจรภาคถัดไป วงจรดังรูปใช้การป้อนสัญญาณแบบขนาน โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคอลเลคเตอร์ถูกป้อนผ่าน L_3 ซึ่ง L_3 คือ RF โช๊ก (Radio Frequency Choke) ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ผ่านเข้าไปยังแหล่งจ่ายไฟ

จากวงจรดังรูป เนื่องจากความจุของวงจรรีโซแนนซ์ LC ถูกแบ่งไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์ ดังนั้น การปรับแรงดันไฟฟ้าของวงจรจึงเปลี่ยนมาใช้การปรับแต่งโดย L_1 แทน หรือ C_A และ C_B จะต้องต่อกันแบบแก็งค์ (Ganged Capacitance)

ความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ สามารถคำนวณได้จาก

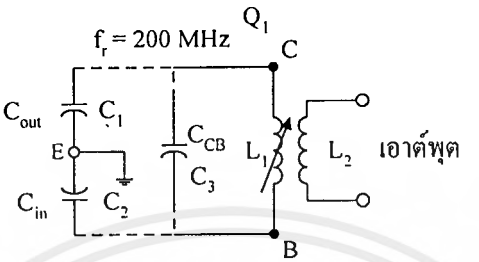
$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}}$$

เมื่อค่า C_T คือ ผลรวมของตัวเก็บประจุ C_A และ C_B

$$C_T = \frac{C_A C_B}{C_A + C_B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์มีการประยุกต์ใช้งานทั้งในด้านความถี่วิทยุขนาด 100 กิโลเฮิรตซ์ ไปจนถึงย่านความถี่ VHF ที่มีแถบความถี่สูงถึง 300 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 2.7 วงจรเทียบเท่าของวงจรจูนสำหรับอัลตร้าออเดี้ยนออสซิลเลเตอร์

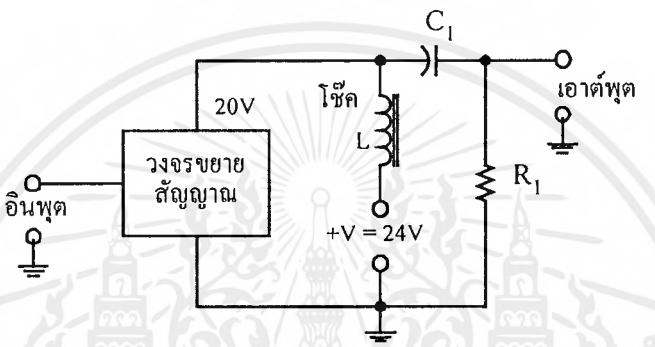
รูปที่ 2.7 เป็นวงจรเทียบเท่าของวงจรจูนสำหรับอัลตร้าออเดี้ยนออสซิลเลเตอร์ (Ultra - Audion Oscillator) ซึ่งเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่พัฒนามาจากวงจรคอลพิทท์ สังเกตว่า C_3, C_2 และ C_1 เป็นความจุภายในของรอยต่อภายในทรานซิสเตอร์ วงจรลักษณะนี้ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณความถี่ย่าน VHF ที่มีความถี่สูงกว่า 30 เมกะเฮิรตซ์ ขึ้นไป วงจรแบ่งแรงดัน C_1 และ C_2 ในรูปที่ 2.7 นั้นสอดคล้องกับวงจรแบ่งแรงดัน C_A และ C_B ในรูปที่ 2.6 C_1 เป็นความจุเอาต์พุต (Output Capacitance) ขาคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ของ Q_1 ส่วน C_2 เป็นความจุอินพุตระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ C_3 ขนานอยู่กับ L_1 เป็นความจุระหว่างขาเบสกับขาคอลเลคเตอร์ ค่าความจุภายในเหล่านี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 พิโกฟารัด ถึง 10 พิโกฟารัด สำหรับทรานซิสเตอร์ความถี่วิทยุทั่วไป

2.3.3 หลักการขยายสัญญาณ

การขยาย หมายถึง การทำให้ค่าแอมพลิจูดของแรงดัน หรือกระแสไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น เช่น สัญญาณเสียงสำหรับวิทยุ หรือสัญญาณภาพสำหรับโทรทัศน์ วงจรขยายสัญญาณมีคุณสมบัติในการขยายขนาดของสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุต ซึ่งมีขนาดเล็กให้มีขนาดสัญญาณใหญ่ขึ้น และส่งออกทางเอาต์พุต โดยลักษณะของสัญญาณทางเอาต์พุตจะเหมือนกับสัญญาณทางอินพุตทุกประการ ยกเว้นมีขนาดที่ต่างกันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรขยายสัญญาณ ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยมีอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตัวต้านทานไฟฟ้า, ขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเป็นส่วนประกอบทำให้วงจรขยายสัญญาณสมบูรณ์ขึ้น วงจรทรานซิสเตอร์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุด คือ วงจรอิมิตเตอร์ร่วม เนื่องจากมีคุณสมบัติของอัตราขยายกระแสไฟฟ้าสูง และอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณหนึ่ง



รูปที่ 2.8 วงจรขยายสัญญาณแบบอิมพีแดนซ์คัปปลิ้ง โดยใช้โช๊กเสียง (L) เป็นอิมพีแดนซ์ของตัวภาระ

วงจรในรูปที่ 2.8 เป็นการใช้ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นอิมพีแดนซ์ของตัวภาระ เรียกวงจรนี้ว่า วงจรขยายสัญญาณแบบอิมพีแดนซ์คัปปลิ้ง R_1C_1 เป็นวงจรคัปปลิ้งที่ใช้ป้องกันแรงดันไฟฟ้าจากวงจรในภาคถัดไป

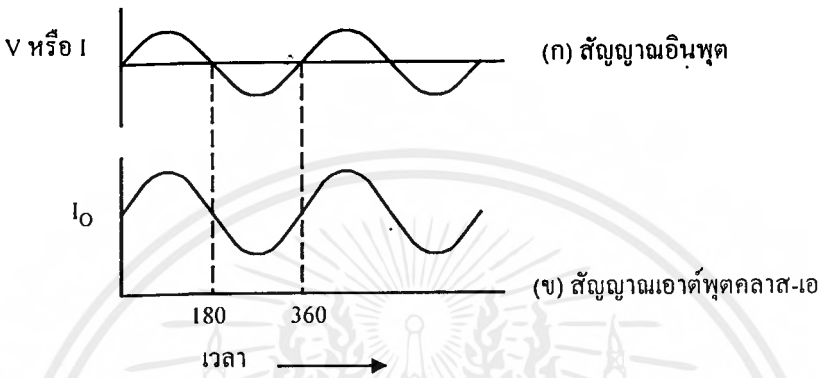
สำหรับโช๊กเสียงชนิดแกนเหล็ก สามารถใช้ได้ในวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียง และโช๊กชนิดแกนอากาศ สามารถใช้ได้ในวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

ข้อดีของการใช้โช๊กเป็นอิมพีแดนซ์ของตัวภาระแทน R_L คือ มีค่าความต้านทานไฟตรงต่ำแต่มีอิมพีแดนซ์สูง สำหรับสัญญาณไฟสลับ มีความต้านทานต่ำ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทาน R เพียงเล็กน้อย ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกป้อนเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณได้ สำหรับผลของค่าอิมพีแดนซ์สูงจะทำให้ได้อัตราขยายสัญญาณสูง แต่ค่า Z_L จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตามความถี่ของสัญญาณ ดังนั้น วงจรขยายสัญญาณแบบอิมพีแดนซ์คัปปลิ้งจะตอบสนองต่อสัญญาณความถี่ต่างๆ ในลักษณะต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ปพ.
ป 364 ค
2539

การจัดแบ่งชนิดของวงจรขยายขึ้นอยู่กับการเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั้นๆ โดยพิจารณาจากเปอร์เซนต์ของรอบของสัญญาณอินพุตที่สามารถผลิตกระแสเอาต์พุตได้ แบ่งออกเป็นคลาส-เอ (Class A), คลาส-บี (Class B), คลาส เอ-บี (Class A-B) และคลาส-ซี (Class C)



รูปที่ 2.9 คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ ที่แสดงในรูปของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

ในวงจรขยายสัญญาณเสียงส่วนใหญ่ใช้วงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ ในลักษณะของวงจรขยายสัญญาณภาคเดียว เพื่อให้มีการบิดเบือนต่ำ ส่วนในวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุของระบบแอมพลิจูดมอดูเลชั่นใช้วงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ เพื่อลดการบิดเบือนของสัญญาณมอดูเลต ดังนั้น โดยพื้นฐานแล้ววงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal Amplifier) จะใช้วงจรขยายแบบคลาส-เอ เป็นหลัก

วงจรขยายสัญญาณแบบคลาส-เอ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต I_O จะมีรอบของสัญญาณคลื่นที่สอดคล้องกับสัญญาณอินพุตทั้ง 360 องศา หรือมีเฟสเดียวกัน (Inphase) นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณเสียงที่มีการบิดเบือนของสัญญาณเพียงเล็กน้อย ในการปฏิบัติงานของวงจรขยายคลาส-เอ สัญญาณไฟตรงไบอัสจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่ายอดสัญญาณ I_O สัญญาณไฟสลับจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตแกว่งอยู่รอบๆ ค่ากลาง I_O จะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดถึงค่าที่ใกล้ค่าศูนย์แต่จะไม่ถูกตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
4545
021617

2.3.4 หลักการผสมสัญญาณ

การผสมสัญญาณ หรือการมอดูเลตสัญญาณ (Modulation) คือ การเปลี่ยนแปลงคลื่นพาห์ความถี่วิทยุให้สอดคล้องกับคลื่นสัญญาณข้อมูลที่มีความถี่ต่ำกว่า ในระหว่างการมอดูเลตสัญญาณคลื่นไซน์ ซึ่งเป็นคลื่นพื้นฐานของคลื่นพาห์ โดยคลื่นพาห์จะถูกเปลี่ยนแปลงให้มีรูปคลื่นซับซ้อนมากขึ้น แต่รูปคลื่นยังคงเป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ประกอบด้วยสัญญาณคลื่นมอดูเลตที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นคลื่นสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตเข้าด้วยกันแล้วจะถูกส่งกระจายผ่านออกไปในอากาศด้วยระยะที่ไกลขึ้น

สัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Signal) คือ สัญญาณความถี่ต่ำที่ถูกมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห์ความถี่วิทยุ โดยสัญญาณเบสแบนด์มีชื่อเรียกต่างๆ กันตามลักษณะการประยุกต์ใช้งานและกระบวนการมอดูเลต ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

1. สัญญาณเสียง สำหรับการมอดูเลตคลื่นเสียง และคลื่นเสียงดนตรี เป็นต้น
2. สัญญาณภาพ สำหรับการมอดูเลตสัญญาณภาพ
3. ข้อมูลพัลซ์ สำหรับข้อมูลในการคำนวณ

โดยทั่วๆ ไป ช่วงความถี่เสียงสำหรับสัญญาณเบสแบนด์จะอยู่ระหว่าง 300 ถึง 3,400 เฮิรตซ์ สำหรับการสื่อสารทางเสียง, ตั้งแต่ 50 ถึง 5,000 เฮิรตซ์ สำหรับการกระจายเสียงวิทยุระบบเอเอ็ม หรืออยู่ระหว่าง 50 ถึง 15,000 เฮิรตซ์ สำหรับการส่งกระจายเสียงวิทยุระบบเอฟเอ็ม เป็นต้น สำหรับตัวอย่างอื่นๆ สำหรับการมอดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ ได้แก่ สัญญาณภาพสำหรับการส่งกระจายคลื่นโทรทัศน์ ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 30 เฮิรตซ์ ถึง 4 เมกะเฮิรตซ์ จะสังเกตได้ว่า ความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์ คือ ความถี่วิทยุ แต่ความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณภาพในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีความถี่สูงกว่าความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์มาก

ความถี่ในสัญญาณเบสแบนด์จะต้องต่ำกว่าความถี่ของคลื่นพาห์ที่จะนำไปทำการมอดูเลตเสมอ ซึ่งเหตุผล คือ ในชั่วขณะใดขณะหนึ่งของสัญญาณเบสแบนด์ ช่วงเวลาของรูปคลื่นจะต้องกว้างเพียงพอสำหรับคลื่นพาห์หลายๆ รอบ ดังนั้นรอบค่าต่างๆ ของสัญญาณคลื่นพาห์ที่เป็นอิสระต่อกันจะเกิดการผิดเพี้ยนไปได้ ทำให้เกิดการผิดพลาดของสัญญาณขึ้น

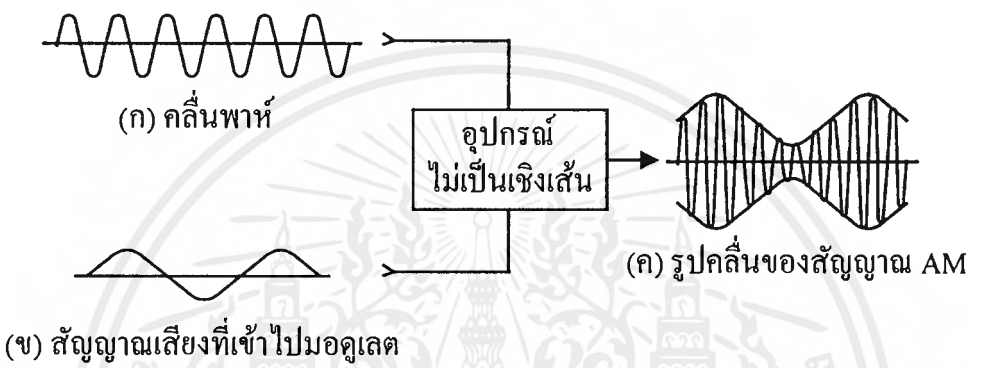
การมอดูเลตให้กับคลื่นพาห์แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation เรียกย่อว่า AM)
2. การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation เรียกย่อว่า FM)
3. การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation เรียกย่อว่า PM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติคลื่นเอฟเอ็มกับคลื่นพีเอ็มจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก ในบางครั้งเรียกทั้งเอฟเอ็ม และพีเอ็มว่าเป็นการมอดูเลตแบบเชิงมุม (Angle Modulation) กล่าวโดยสรุป การมอดูเลตแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ เอเอ็ม กับเอฟเอ็ม (และ/หรือ PM)

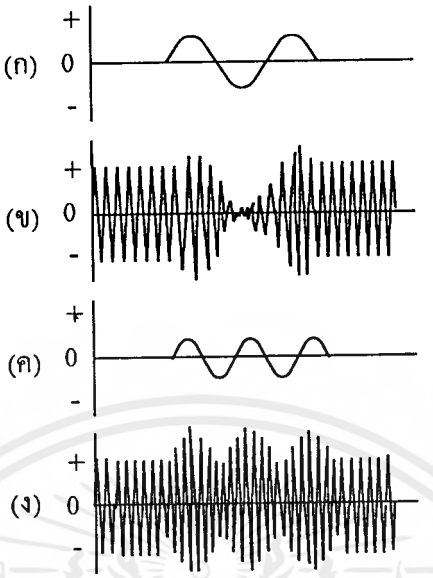
1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 2.10 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น

ในการมอดูเลตแบบเอเอ็ม สัญญาณข่าวสารจะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางแอมพลิจูดของคลื่นพาห์ ในรูปที่ 2.10 สัญญาณคลื่นพาห์ (ก) ผสมกับสัญญาณเสียง (ข) ลงในวงจรไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) เช่น ใช้ไดโอด หรือทรานซิสเตอร์ โดยให้มีจุดทำงานอยู่ในบริเวณที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในอุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดสัญญาณเอเอ็มดังรูปที่ 2.10 (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณคลื่นพาห์ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะมีขนาดแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ผสมอยู่ในสัญญาณเอเอ็มจะปรากฏเป็นกรอบคลื่นบน และล่าง ดังรูปที่ 2.11 (ก) เป็นสัญญาณเสียงที่มีแอมพลิจูดขนาดหนึ่งโดยในรูปที่ 2.11 (ข) คือ สัญญาณเอเอ็มที่มีสัญญาณเสียงในรูปที่ 2.11 (ก) มอดูเลต ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณเสียงมีแอมพลิจูดเล็กลงดังในรูปที่ 2.11 (ค) สัญญาณเอเอ็มที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดเล็กลงด้วยดังรูปที่ 2.11 (ง)

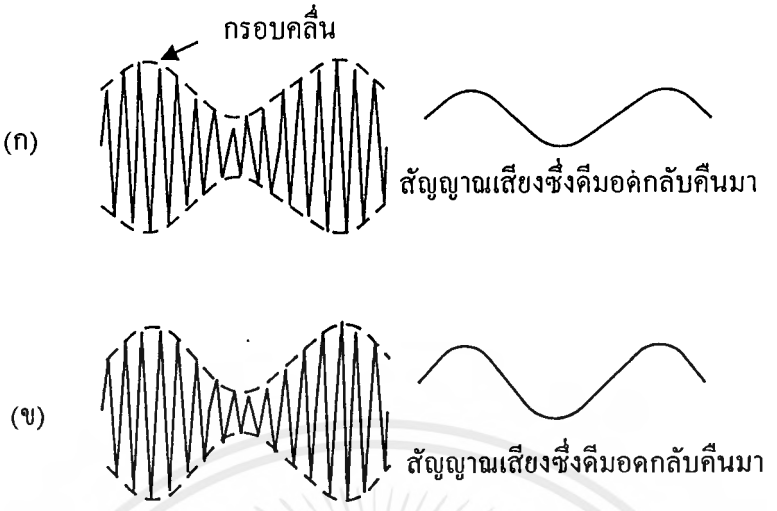
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



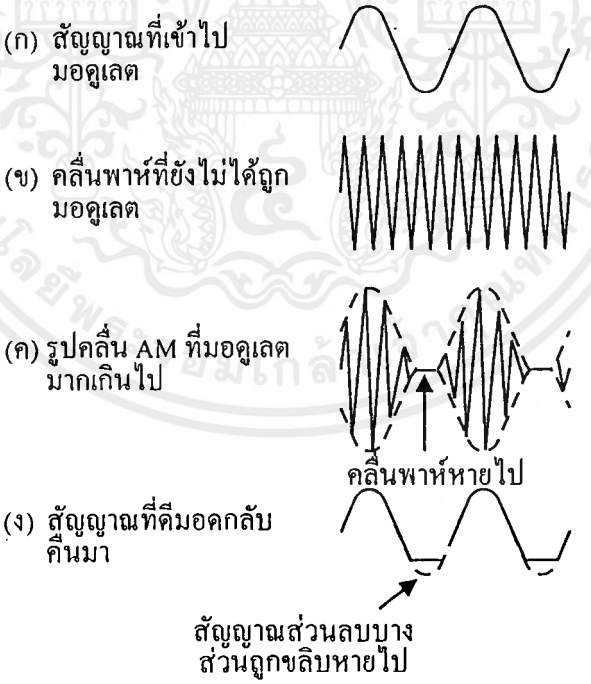
รูปที่ 2.11 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมาก และน้อยในการมอดูเลต

ในการมอดูเลตต้องให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงสุด เพื่อสัญญาณเสียงที่ได้ทางเครื่องรับจะมีกำลังแรงดังรูปที่ 2.12 เนื่องจากเครื่องรับเอเอ็มจะเปลี่ยนคลื่นเอเอ็มเป็นสัญญาณเสียงโดยการแยกเอาแต่เฉพาะสัญญาณเสียงที่รับได้ ซึ่งมอดูเลตลงบนคลื่นพาห์กลับคืนจากคลื่นเอเอ็ม (ดีมอดูเลต) ดังนั้น สัญญาณเสียงที่รับได้ในกรณีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงจะรับสัญญาณได้แรงกว่า ในที่นี้ รูปที่ 2.12 (ข) จะให้สัญญาณแรงกว่ารูปที่ 2.12 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การมอดูเลตต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่รับได้เกิดการเพี้ยน การมอดูเลตมากเกินไปนี้ เรียกว่า การโอเวอร์มอดูเลต (Over Modulation) จะเห็นว่า แอมพลิจูดของสัญญาณเอเอ็มจะลดลงไม่ต่ำกว่าศูนย์ ไม่ว่าจะมอดูเลตสูงเท่าไรก็ตาม ถ้าระดับสัญญาณที่มามอดูเลตมีค่าสูง คลื่นพาห์ก็จะหายไปบางส่วน ดังนั้น กรอบคลื่นของสัญญาณเอเอ็มจึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต ดังในรูปที่ 2.13 (ก) เป็นสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต รูปที่ 2.13 (ข) เป็นคลื่นพาห์ที่ยังไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 2.13 (ค) เป็นคลื่นพาห์ที่มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความแรงมากเกินไป ทำให้คลื่นพาห์บางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับดีมอดูเลตสัญญาณเสียงกลับมาจะมีลักษณะกรอบคลื่นที่เพี้ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 2.13 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ได้จากการดีมอดูเลต



รูปที่ 2.13 การโอเวอร์มอดูเลต ทำให้สัญญาณทางเครื่องรับเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของการมอดูเลตทางแอมพลิจูด

ถ้ากำหนดให้

$$e_c = E_{c\,(max)}(\sin\omega_c t)$$

$$e_m = E_{m\,(max)}(\sin\omega_m t)$$

หลังจากการมอดูเลตจะได้

$$e = (E_{c\,(max)} + e_m)\sin\omega_c t$$

นำ e_m ไปแทนในสมการ e จะได้

$$e = (E_{c\,(max)} + E_{m\,(max)}\sin\omega_m t)\sin\omega_c t$$

$$e = E_{c\,(max)}[1 + (E_{m\,(max)} / E_{c\,(max)})\sin\omega_m t]\sin\omega_c t$$

เรียก $E_{m\,(max)}/E_{c\,(max)}$ ว่า modulation index หรือ m

$$\therefore e = E_{c\,(max)}(1 + m\sin\omega_m t)\sin\omega_c t$$

m เป็นค่าที่บอกว่า คลื่นเอเอ็มนี้มีการมอดูเลตมากน้อยเพียงใด

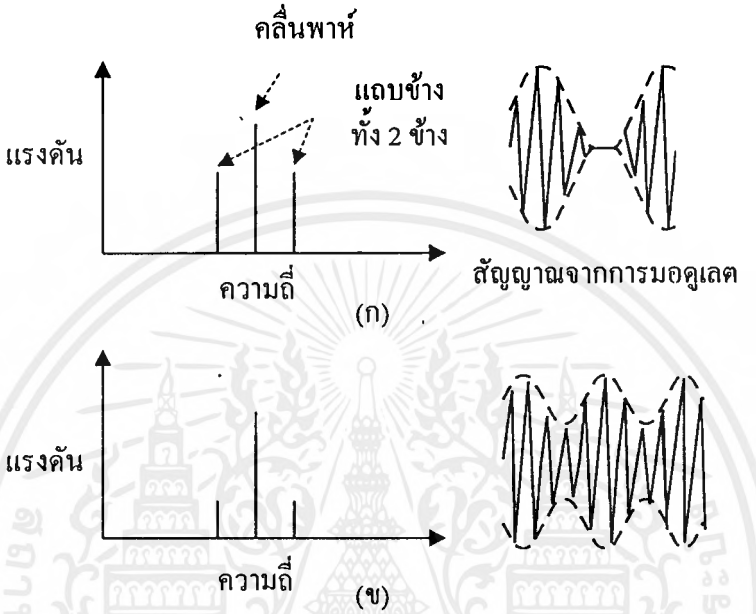
โดย $E_{m\,(max)}/E_{c\,(max)}$ ต้องไม่เกิน 1 แต่ต้องมากกว่า 0

การส่งสัญญาณเอเอ็มไม่ใช่เป็นการส่งสัญญาณเพียงความถี่คลื่นพาห์ความถี่เดียว แต่เป็นการส่งหลายๆ ความถี่ หรือส่งเป็นแถบความถี่ และข่าวสารไม่ได้อยู่ในคลื่นพาห์ แต่ผสมอยู่ในแถบข้างทั้ง 2 ข้าง ถ้าส่งคลื่นพาห์ไปอย่างเดียว ข่าวสารจะไปไม่ถึงเครื่องรับ ดังนั้น ในระบบเอเอ็ม ทั้งคลื่นพาห์ และแถบข้างจะถูกส่งไปให้เครื่องรับพร้อมๆ กัน

ช่วงความถี่ หรือแถบความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะเริ่มจากความถี่ LSB (Lower Side Band) ไปยัง USB (Upper Side Band) ดังนั้น แถบความถี่ หรือช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณมอดูเลต เช่น ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่ทำการมอดูเลตมีค่าเท่ากับ 15 กิโลเฮิรตซ์ ช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะเท่ากับ 30 กิโลเฮิรตซ์ ในกรณีที่มอดูเลตด้วยสัญญาณที่มีรูปคลื่นซับซ้อน เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่ฮาร์มอนิก (Harmonic) สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนั้น แต่เครื่องส่งถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ในช่วงความถี่จำกัด ดังนั้นเครื่องส่งจึงเป็นตัวจำกัดแถบความถี่ของสัญญาณเอเอ็มเอง



รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบคลื่นเอเอ็มในเชิงเวลา และเชิงความถี่

2. การมอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณเอฟเอ็มเกิดจากสัญญาณมอดูเลตดังในรูปที่ 2.15 (ก) เช่น สัญญาณเสียง ซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณคลื่นพาห์ดังรูปที่ 2.15 (ข) สัญญาณคลื่นพาห์หลังจากการมอดูเลตแล้วดังรูปที่ 2.15 (ค) เป็นสัญญาณเอฟเอ็ม จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณเอฟเอ็มจะอยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าบวกสูงสุด ความถี่ของคลื่นพาห์จะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือ สัญญาณที่มอดูเลตถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุด) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาห์จะลดลงมาที่ความถี่กลางดังเดิม หลังจากสัญญาณมอดูเลตมีค่าต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ คลื่นพาห์จะมีความถี่ลดลงมีค่าต่ำกว่าความถี่กลาง ช่วงความถี่คลื่นพาห์เบี่ยงเบนไปจากความถี่กลาง เรียกว่า ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) ตัวอย่างเช่น คลื่นพาห์มีความถี่ 100 เมกะเฮิรตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิรตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเท่ากับ ±0.1 เมกะเฮิรตซ์ หรือ ±100 กิโลเฮิรตซ์

สมการของการมอดูเลตทางความถี่

ในการมอดูเลตเชิงความถี่นั้น ความถี่ชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่นำมามอดูเลต คือ

$$\omega(t) = \omega_c + kV_m(t)$$

โดยที่ ω_c คือ ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์

V_m คือ แรงดันของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

k คือ ค่าคงที่ (มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์/โวลต์)

และ $$V_m(t) = V_m \sin \omega_m t$$

จากสมการของสัญญาณ cos คือ

$$V(t) = V\cos(\omega t + \phi)$$

ดังนั้น สมการโดยทั่วไปสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ cos ที่ถูกมอดูเลตเชิงความถี่ด้วยสัญญาณ cos คือ

$$\begin{aligned} V(t) &= V\cos\left[(\omega_c + kV_m \sin \omega_m)t + \phi\right] \\ &= V\cos\left[\omega_c t + kV_m \sin(\omega_m t + \phi)\right] \\ &= V\cos\left[\omega_c t + m \sin(\omega_m t + \phi)\right] \end{aligned}$$

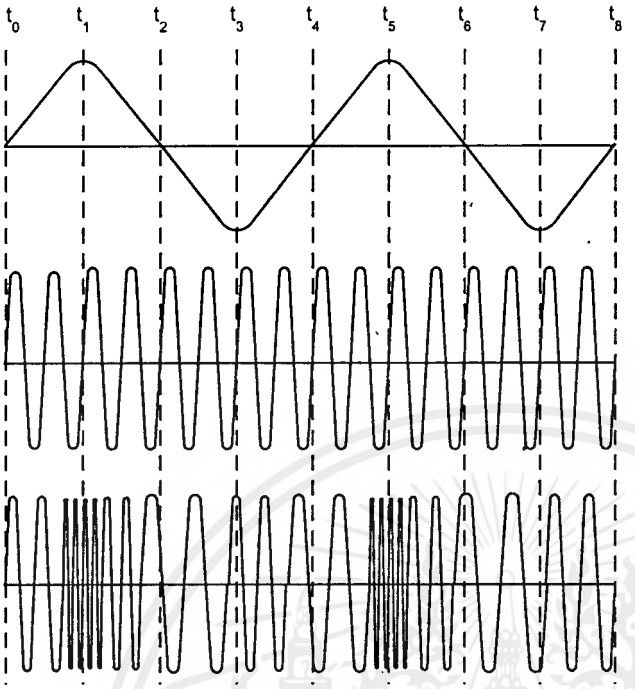
ในที่นี้ m คือ ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)

โดยทั่วไป เฟสของสัญญาณคลื่นพาห์จะเป็นเฟสอ้างอิง เช่น $\phi = 0$ จะได้

$$V(t) = V\cos(\omega_c t + m \sin \omega_m t)$$

อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเป็นสัญญาณเสียง มีความถี่เท่ากับ 1,000 เฮิรตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มจะเท่ากับ 1,000 ครั้งต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การมอดูเลตทางความถี่

กล่าวโดยสรุป สัญญาณเอฟเอ็มมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

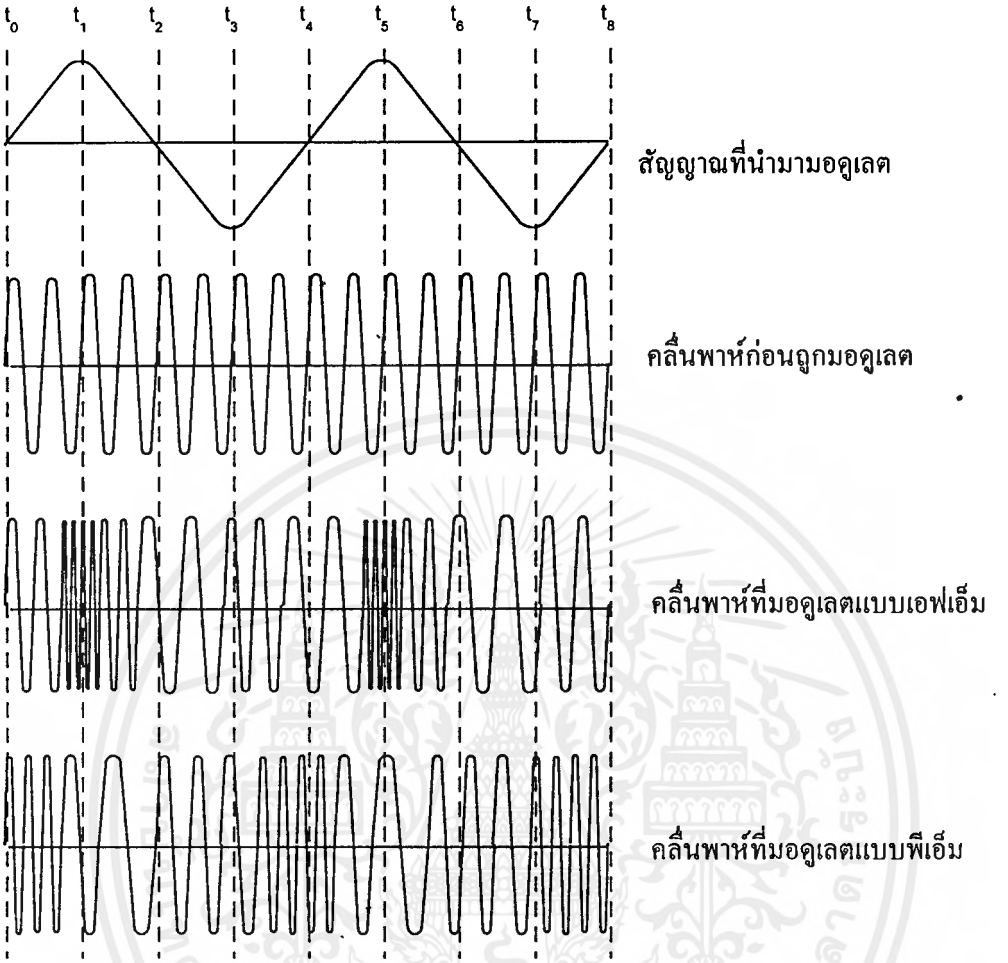
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์มีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาทำการมอดูเลต

3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามาทำการมอดูเลต

3. การมอดูเลตทางเฟส

ในการมอดูเลตทางเฟส เฟสของคลื่นพาห์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต เมื่อเฟสของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลง ความถี่ของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น การมอดูเลตทางเฟสจะทำให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนด้วยเสมอ จริงๆ แล้วในการมอดูเลตทางความถี่ เฟสจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย สรุปแล้ว การเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 แบบจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ความแตกต่างระหว่างคลื่นเอฟเอ็มกับพีเอ็ม

รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบคลื่นเอฟเอ็มกับคลื่นพีเอ็ม จะเห็นว่าสัญญาณทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เว้นแต่ในการมอดูเลตทางเฟส ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส และแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ด้วยเหตุนี้ การมอดูเลตทางเฟส ความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากที่สุดในขณะที่สัญญาณมอดูเลตผ่านแกนศูนย์ (เฟสของคลื่นพาห์มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด) ดังนั้น การมอดูเลตทางเฟสจึงทำให้เกิดสัญญาณเอฟเอ็มพร้อมกันด้วย บางครั้งเรียกการมอดูเลตทางเฟสว่าเป็นเอฟเอ็มโดยอ้อม (Indirect FM)

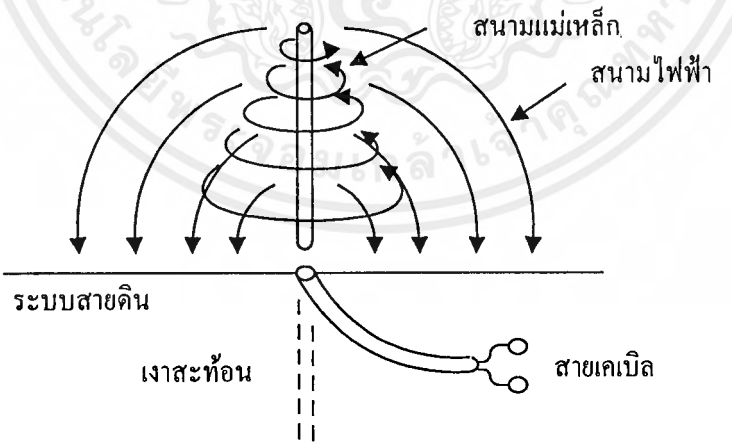
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าในการมอดูเลตทางเฟส ปริมาณความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ด้วยเหตุนี้ ความถี่เบี่ยงเบนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตผ่านแกนศูนย์ สมมติ ว่าความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพิ่มจาก 100 เฮิรตซ์ เป็น 1,000 เฮิรตซ์ คือ เพิ่มเป็น 10 เท่าที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 100 เฮิรตซ์ x 360 องศา = 36,000 องศาต่อวินาที (เนื่องจาก 1 รอบเท่ากับ 360 องศา) ที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเพิ่มขึ้นเป็น 360,000 องศาต่อวินาที เนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส ดังนั้น ความถี่คลื่นพาห์จะเบี่ยงเบนมากขึ้น เมื่อความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตสูงขึ้น

2.3.5 สายอากาศ

สายอากาศเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคลื่นวิทยุแพร่ออกไป เมื่อมีกระแสสลับความถี่วิทยุวิ่งไปมาอยู่ในสายอากาศ หรือเป็นแหล่งกำเนิดแรงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่วิทยุ เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านมากระทบสายอากาศ อาจเป็นสายลวดทองแดงอ่อน หรือเป็นทองแดงเส้น ท่อนอะลูมิเนียมแข็ง หรือโลหะอื่นๆ สำหรับสายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่ใช้ในเครื่องส่งสัญญาณย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนี้ใช้สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง (Vertical Monopole)



รูปที่ 2.17 สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้งที่ใช้พื้นผิวตัวนำขนาดใหญ่

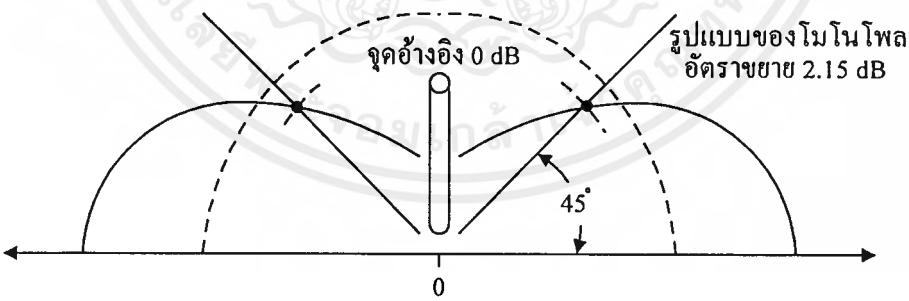
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง (แบบขั้วเดียว) แสดงดังรูปที่ 2.17 จะมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของไดโพล และไม่เหมือนกับไดโพล สายอากาศแบบนี้จะมีการทำงานใกล้กับผิวหน้าส่วนกว้างของโลหะ เรียกว่า ระบบสายดิน ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อความสะดวก และเหมาะสมสำหรับสายอากาศแบบเคลื่อนที่

พื้นผิวตัวนำส่วนใหญ่สามารถให้ส่วนที่เป็นเงาของคลื่นไฟฟ้าผ่านไปได้ เมื่อนำมาทำเป็นโมโนโพล และเป็นครึ่งหนึ่งของไดโพลที่ยังคงมีอยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าปรับให้ด้านใดด้านหนึ่งทำงาน โมโนโพลนี้จะมีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของตัวเองออกมา และจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนไปตามความยาว

สายอากาศแบบโมโนโพลจะมีความเชื่อถือได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบสายดิน แต่พื้นผิวของสายอากาศจะต้องเล็ก และขนาดของความยาว 1/4 เป็นขนาดที่ใช้งานได้

รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.18 ซึ่งแสดงให้เห็นทั้ง 3 มิติ ตำแหน่งทางด้านหน้าจะอยู่ติดกับแผ่นระนาบจากจุดอิมพีแดนซ์ที่มองเห็น ความยาวที่ดีที่สุดจะมีค่าประมาณ 0.25 ซึ่งจะเกิดขึ้นที่องค์ประกอบของเส้นผ่าศูนย์กลาง สำหรับอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความยาวนี้จะมีค่าความต้านทาน 52 โอห์ม ซึ่งจะเป็นส่วนที่แตกต่างจากไดโพล เพราะไดโพลมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม



รูปที่ 2.18 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง

สายอากาศแบบแกนตั้งใช้กันมากสำหรับสายอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอเอ็ม และสถานีวิทยุทหารเรือ ย่าน VLF ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ พื้นดิน ในบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของสนามที่เหมือนกันจะมีปฏิกิริยาที่กระทำที่ระบบสายดินเหมือนกัน และพื้นดินจะไม่ใช่ตัวนำที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโลก เพราะฉะนั้น ตำแหน่งในการวางสายอากาศเหล่านี้นั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกอย่างระมัดระวัง เช่น การเลือกแหล่งน้ำ และวงจำกัดของสารประกอบที่ได้จากพื้นดิน และชนิดของดิน เป็นต้น

สายอากาศที่สมบูรณ์จะมีราคาแพงมาก และไม่มีคนนิยมทำ จึงเป็นเหตุผลหนึ่งในการนำค่าความต้านทานมาอนุกรมด้วยค่าความต้านทานของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Resistance) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อน

สิ่งสำคัญที่ควรทราบเกี่ยวกับสายอากาศชนิดยาว 1/4 ของความยาวคลื่น คือ

1. ในกรณีที่ไม่สามารถต่อสายลงดินได้ จะต้องสร้างระบบสายดินขึ้นแทน ระบบสายดินเป็นสาย 4 เส้น ยาวเส้นละ 1/3.9 ของความยาวคลื่น (ยาวกว่าสายอากาศเล็กน้อย) นำปลายข้างหนึ่งของทั้ง 4 เส้นนี้มาต่อรวมกันที่ใกล้โคนสายอากาศ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งแผ่ออกไปอย่างรูปกากบาทห่างกัน 90 องศา ถ้าใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นสายส่งกำลังจากเครื่องส่ง จะต้องเอาเส้นแกนในต่อกับตัวสายอากาศ และเอาเปลือกหุ้มโลหะต่อกับจุดร่วมของระบบสายดินที่โคนเสา

ถ้าให้เส้นระบบสายดินอยู่ในแนวตั้งฉากกับตัวสายอากาศ (ขนานกับพื้นโลก) ความต้านทานในการกระจายคลื่น หรือความผึดที่จุดต่อสายส่งกำลัง จะเท่ากับ 30 โอห์ม แต่ถ้าให้เส้นระบบสายดินเอียงปลายลงมายังพื้นดินประมาณ 45 องศา ความผึดที่จุดต่อสายส่งกำลังจะทวีขึ้นเป็น 50 โอห์มได้

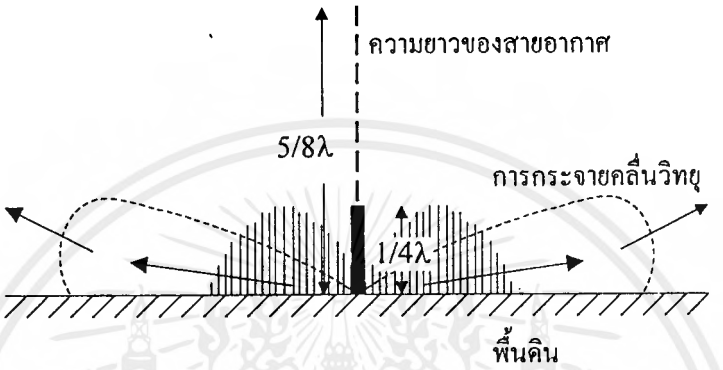
2. สายอากาศแบบมีระบบสายดินสามารถเอาขึ้นไปไว้ในที่สูงๆ พ้นวัตถุตัวนำไฟฟ้าที่คอยดูดกลืนพลังงานคลื่นวิทยุได้ เช่น สายไฟฟ้า ต้นไม้ อาคาร เป็นต้น และเหมาะสำหรับการติดตั้งบนยวดยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น เพราะสายตั้งฉากแบบนี้สามารถส่งแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกไปได้รอบทิศทาง และสามารถรับคลื่นวิทยุจากทิศทางต่างๆ ได้รอบตัว

3. เนื่องจากความต้านทานในการกระจายคลื่นวิทยุของสายอากาศไดโพล (ยาว 1/2 ของความยาวคลื่น) มีค่าเท่ากับ 72 โอห์ม ความต้านทานในการกระจายคลื่นวิทยุของสายอากาศชนิดยาว 1/4 ของความยาวคลื่น (ยาวครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล) จึงมีค่าเพียง 30 ถึง 50 โอห์ม เท่านั้น เมื่อคำนวณกำลังส่งออกอากาศด้วยสูตร

$$P = I^2 \times R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสายอากาศชนิดยาว 1/4 ของความยาวคลื่นจะมีกำลังส่งออกอากาศเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของกำลังส่งที่ออกจากสายอากาศไดโพลเท่านั้น ดังนั้น สายอากาศไดโพลจึงมีประสิทธิภาพเหนือกว่าสายอากาศชนิดยาว 1/4 ความยาวคลื่น



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบการกระจายคลื่นวิทยุจากสายอากาศยาว 1/4 ของความยาวคลื่น และสายอากาศยาว 5/8 ของความยาวคลื่น

รูปที่ 2.19 สายอากาศยาว 1/4 ของความยาวคลื่นมีรูปแบบการกระจายคลื่นเป็นรูปครึ่งวงกลม (แรเงาด้วยเส้นแนวตั้ง) และมีทิศทางเกือบขนานกับพื้นดิน ส่วนสายอากาศยาว 5/8 ของความยาวคลื่นมีรูปแบบการกระจายคลื่นดังรูปเส้นประ และมีทิศทางเป็นมุมสูงขึ้นจึงมีประสิทธิภาพด้านกำลังเหนือกว่าสายอากาศที่ยาว 1/4 ของความยาวคลื่นประมาณ 3 เดซิเบล

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์

การแพร่ภาพโทรทัศน์ คือ การกระจายสัญญาณภาพ และเสียงออกไปในรูปของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเครื่องรับอย่างต่อเนื่อง ในความเป็นจริง ภาพที่เห็นว่าต่อเนื่องนั้นมาจากการส่งภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลายๆ ภาพต่อเนื่องกัน ในช่วงเวลาสั้นๆ หากภาพนิ่งเหล่านั้นถูกนำมาแสดงกันตั้งแต่ 16 ภาพต่อวินาทีขึ้นไป สายตาของมนุษย์จะเห็นเป็นภาพต่อเนื่อง หรือภาพเคลื่อนที่ได้ เพราะการทำงานของประสาทตามีลักษณะที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคงอยู่ของการเห็น (Persistence of Vision) เป็นความรู้สึกเห็นติดตาชั่วขณะ จึงจะจางหายไปจากระบบประสาท

2.4.1 เครื่องส่งโทรทัศน์

เครื่องส่งโทรทัศน์ต้องประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ส่งสัญญาณภาพ และส่วนที่สงสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอเอ็ม และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอฟเอ็ม

หน้าที่หลักของเครื่องส่งโทรทัศน์ คือ

1. สร้างคลื่นพาห์ภาพ เพื่อมอดูเลตกับสัญญาณภาพรวม (มอดูเลตแบบเอเอ็ม)

2. สร้างคลื่นพาห์เสียง เพื่อมอดูเลตกับสัญญาณเสียง (มอดูเลตแบบเอฟเอ็ม)

สำหรับการส่งคลื่นที่มอดูเลตแล้วนั้น แถบข้างที่ส่งจะมีช่องกว้างประมาณครึ่งกว่าๆ เท่านั้น (Vestigial Sideband) สมมติว่าช่องสัญญาณโทรทัศน์มีช่วงกว้างคลื่น 6 เมกะเฮิรตซ์ คลื่นพาห์ภาพจะอยู่ที่ 4.5 เมกะเฮิรตซ์ ต่ำกว่าจุดกึ่งกลางคลื่นพาห์เสียง

ถ้าต้องการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ระหว่าง 54 ถึง 60 เมกะเฮิรตซ์ จะต้องส่งคลื่นพาห์เสียงที่มีความถี่อยู่ต่ำกว่าความถี่สูงสุดอยู่ 0.25 เมกะเฮิรตซ์ นั่นคือ 59.75 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่คลื่นพาห์ภาพอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางคลื่นพาห์เสียง 4.5 เมกะเฮิรตซ์ นั่นคือ 55.25 เมกะเฮิรตซ์

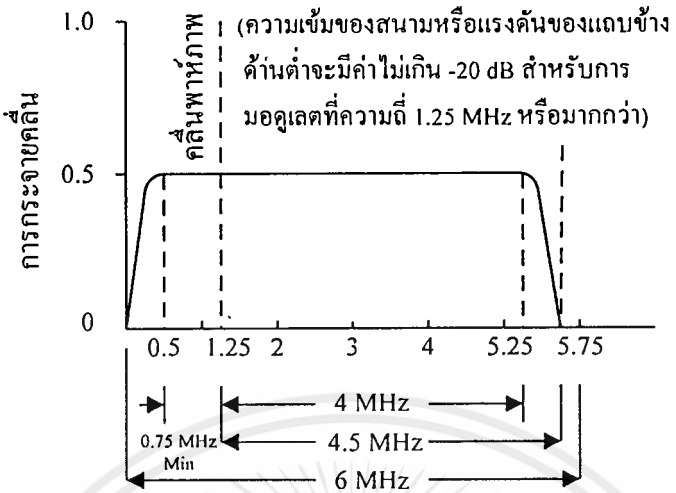
เนื่องจากสัญญาณภาพต้องมีช่วงกว้างความถี่ถึง 4.5 เมกะเฮิรตซ์ ช่วงกว้างของคลื่นพาห์ในการมอดูเลตต้องกว้างมาก เพื่อความเหมาะสมในการส่งกล้องโทรทัศน์ และอุปกรณ์ต่างๆ ต้องมีช่วงกว้างคลื่นถึง 8 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อลดความเพี้ยนของภาพที่อาจเกิดขึ้น

จำนวนวงจรที่ใช้ในการส่งภาพแบนด์กว้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลตสัญญาณ เมื่อภาคสุดท้ายถูกมอดูเลตจะเหลือภาคขยายกำลัง ซึ่งเป็นภาคสุดท้ายก่อนที่จะส่งเข้าสายอากาศ การขยายมี 2 แบบ คือ การขยายระดับต่ำ และการขยายระดับสูง ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียต่างกัน

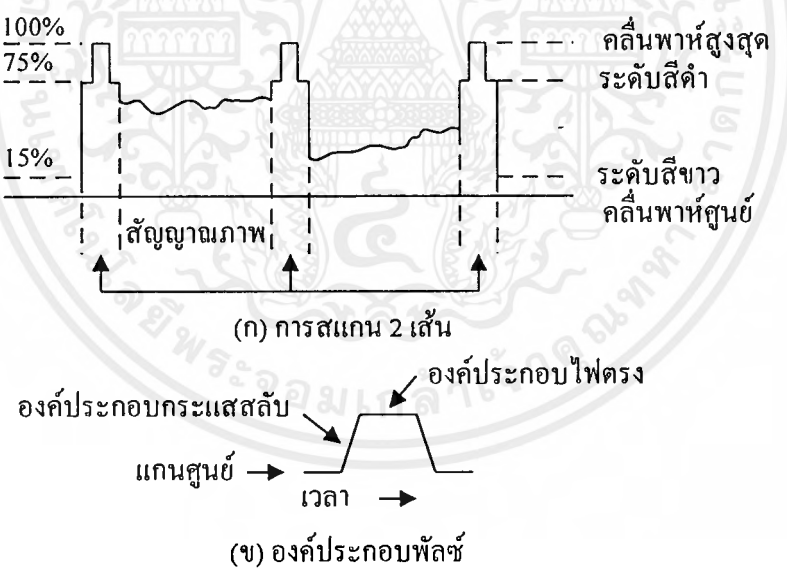
หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องส่งโทรทัศน์ คือ การป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป จากรูปที่ 2.21 (ก) แสดงถึงสัญญาณภาพ 2 เส้น ซึ่งมีสัญญาณซิงก์ และแบล้งกิ้งรวมอยู่ด้วย สัญญาณภาพสูงสุดที่จะมีได้ต้องไม่เกินระดับดำ (Black Level)

ระดับดำนี้จะใกล้เคียงกับระดับแบล้งกิ้ง คือ เท่ากับ 75% ของการมอดูเลต ที่เหลืออีก 25% เป็นสัญญาณซิงก์ และระดับสีขาวสูงสุดประมาณ 15% ของสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ช่วงกว้างคลื่นที่ส่งโทรทัศน์ระบบ PAL หนึ่งช่อง



รูปที่ 2.21 องค์ประกอบรูปคลื่น DC ของสัญญาณโทรทัศน์

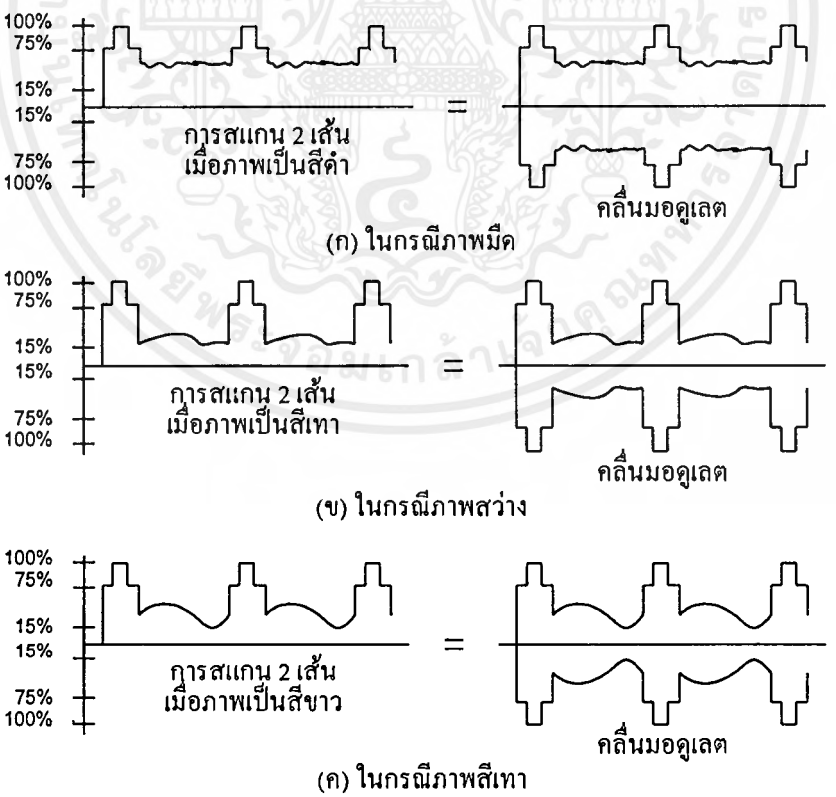
รูปที่ 2.21 (ข) แสดงถึงรูปคลื่นแบล้งกิ้ง หรือซิงก์ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบ
ทางกระแสสลับที่อยู่ด้านข้างเนื่องจากความสูงจะเปลี่ยนตามเวลา ส่วนที่มียอดเป็นแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ส่วนประกอบกระแสตรง เนื่องจาก มีค่าคงที่ตลอดเวลาองค์ประกอบกระแสตรงนี้จะหายไปเมื่อผ่านวงจรที่ใช้ RC คัปปลิ้ง ดังนั้น ในระบบโทรทัศน์จึงต้องมีการใส่ไฟกระแสตรงเข้าไปอีกครั้งหนึ่งโดยวงจรแคล้มปิ้ง (Clamping)

เครื่องส่งโทรทัศน์กระจายคลื่นออกอากาศดังนี้

1. คลื่นพาห์ความถี่วิทยุโดยใช้คริสตัล (X-Tal) ผลิตความถี่ และขยายกำลังส่งให้สูง
2. สัญญาณภาพจากกล้องในห้องส่ง โดยมอดูเลตกับคลื่นพาห์แแบบเอเอ็ม
3. สัญญาณซิงก์ต่างๆ ดังนี้
   - ก. แบล้งกิ้งพัลซ์แนวนอน
   - ข. ซิงก์แนวนอน
   - ค. แบล้งกิ้งพัลซ์แนวตั้ง
   - ง. ซิงก์แนวตั้ง
   - จ. อีควอไลซิ่งพัลซ์



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 แสดงรูปคลื่นการมอดูเลต รูป (ก) เป็นการสแกนเส้น 2 เส้น เมื่อภาพมืด รูปคลื่นพาห์อยู่สูงสุด รูป (ข) เป็นภาพที่สว่างสูงสุด และรูป (ค) คือค่าความสว่างปานกลาง ระบบการมอดูเลตแบบนี้ เรียกว่า การส่งแบบลบ (Negative Transmission) คือ แสงสว่างของภาพยิ่งมาก ความสูงของคลื่นพาห์ยิ่งน้อย ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ส่งในสหรัฐอเมริกา

ในการให้บริการโทรทัศน์นั้น จะต้องศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องส่ง และเครื่องรับ ดังนี้

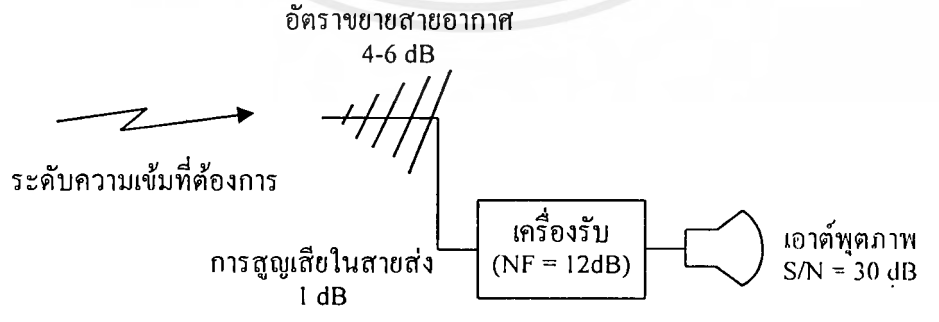
1. ความกว้างของย่านที่ใช้ในแต่ละช่องของสถานีโทรทัศน์นั้น เมื่อได้กำหนดไปแล้ว ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

2. ความห่างของความถี่ระหว่างช่อง ในกรณีที่มีการส่งสัญญาณหลายๆ สถานีในพื้นที่เดียวกันจะต้องใช้ความถี่ช่องเว้นช่อง

3. การป้องกันการรบกวน จะต้องมีอัตราส่วนในการป้องกันการรบกวนจากช่องส่งข้างเคียงในพื้นที่ข้างเคียง และการรบกวนจากการใช้ช่องส่งที่เหมือนกันในพื้นที่ห่างไกล (อัตราส่วนของความเข้มของสัญญาณที่ต้องการต่อความเข้มของสัญญาณรบกวน)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามของคลื่นโทรทัศน์ คุณสมบัติของเครื่องรับ และคุณภาพเอาต์พุตของเครื่องรับ การออกแบบวงจรตามความต้องการต่างๆ ดังรูปที่ 2.23

การออกแบบวงจรตามรูปที่ 2.23 ต้องคำนึงถึงกำลังของเครื่องส่ง, อัตราขยายของสายอากาศเครื่องส่ง และความสูงของสายอากาศ เพื่อให้ได้เอาต์พุตสัญญาณภาพในค่า S/N ตามมาตรฐาน สำหรับป้อนเข้าหลอดภาพเพื่อให้ได้ภาพตามต้องการ



รูปที่ 2.23 สิ่งที่ต้องพิจารณาในระบบส่งโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่ของเครื่องรับนั้น กำหนดโดยกฎของคลื่นวิทยุ เพื่อให้ได้ทั้งภาพ และเสียงที่มีคุณภาพภายใต้เครื่องรับโทรทัศน์คุณภาพปานกลาง และสายอากาศมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.3

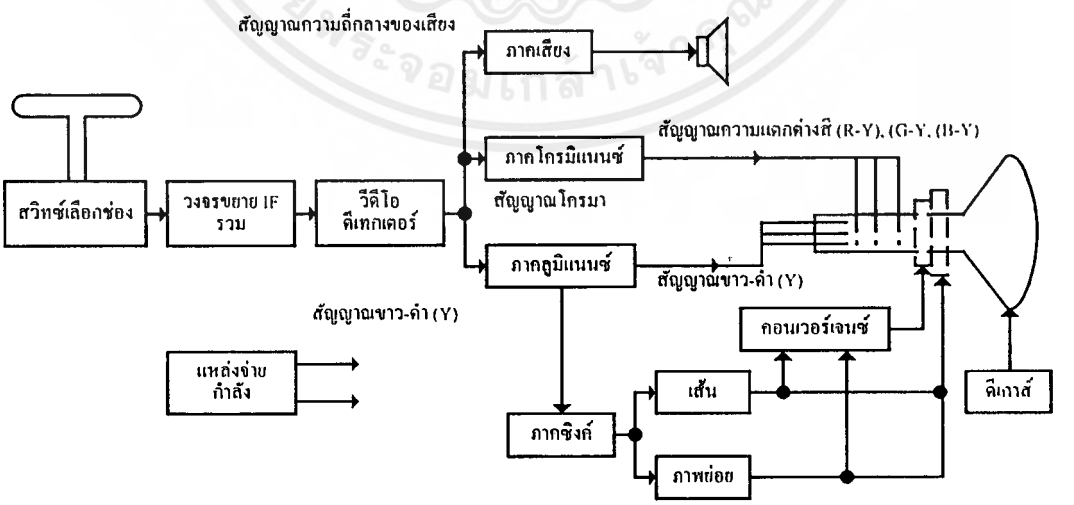
ตารางที่ 2.3 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการในพื้นที่ต่างๆ

ย่านความถี่	ลักษณะของพื้นที่	ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการ
VHF	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนสูง	80-88 dB_f (10-25 mv/m)
	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนปานกลาง	70-80 dB_f (3-10 mv/m)
	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนน้อย	54-70 dB_f (0.5-3 mv/m)
UHF	ค่าคงที่ทั้งประเทศ	70 dB_f (3 mv)

dB_f คือ ค่า Peak ของความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่คลื่นมอดูเลตแล้วของสัญญาณโทรทัศน์

2.4.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องรับโทรทัศน์

เครื่องรับโทรทัศน์จะรับสัญญาณโทรทัศน์เข้ามาทางสายอากาศ แล้วนำไปแยก และขยายสัญญาณภาพ และเสียงเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



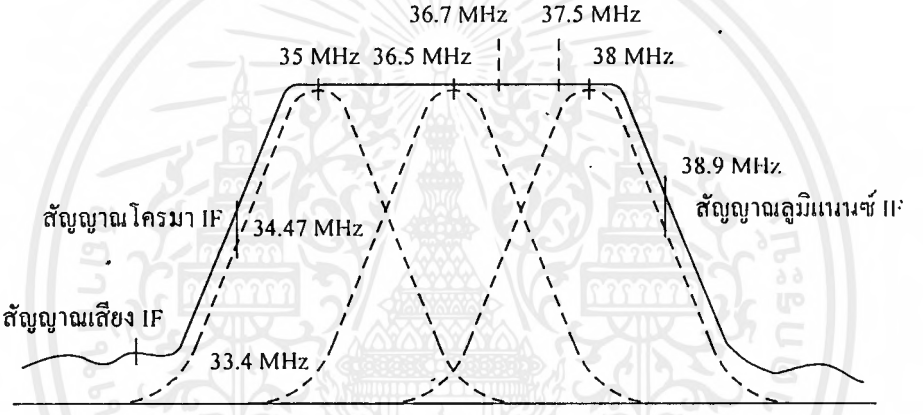
รูปที่ 2.24 แผนผังการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

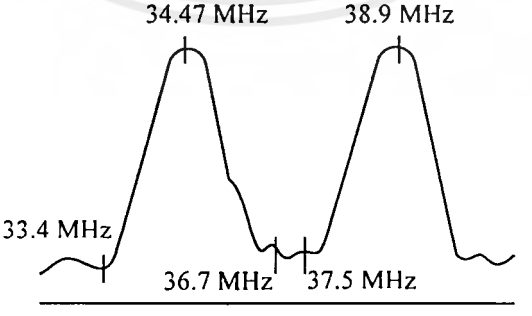
เครื่องรับโทรทัศน์ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1. ภาคสวิตช์เลือกช่อง

ภาคสวิตช์เลือกช่อง หรือภาคจูนเนอร์ (Channel Selection หรือ Tuner) ทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณโทรทัศน์ช่องที่ต้องการจากสายอากาศ ขนาดสัญญาณที่รับได้มีค่าเพียงไม่กี่ไมโครโวลต์จะถูกขยาย และทอนความถี่วิทยุให้ลดลงเป็นความถี่กลาง เครื่องรับโทรทัศน์ทุกระบบต้องมีจูนเนอร์ ในปัจจุบันภาคจูนเนอร์อาจใช้ระบบเลือกช่องแบบสัมผัส (Touch Tuner) หรือมีตัวควบคุมระยะไกล (Remote Control) ด้วย



รูปที่ 2.25 เส้นโค้งตอบสนองความถี่ของภาคความถี่กลาง



รูปที่ 2.26 เส้นโค้งแสดงการแยกความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์ และความถี่กลางของสัญญาณโครมิแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ได้จากการผสมกันจะมีความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์อยู่ที่ 38.9 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่กลางของสัญญาณโครมิแนนซ์อยู่ที่ 34.47 เมกะเฮิรตซ์ และความถี่กลางของสัญญาณ เสียงอยู่ที่ 33.4 เมกะเฮิรตซ์ สัญญาณทั้งสามจะถูกส่งไปยังภาคความถี่กลางรวมมีแถบความถี่ ดังรูปที่ 2.25

2. ภาคความถี่กลางรวม

ภาคความถี่กลางรวม (Common IF) จะรับสัญญาณความถี่กลางซึ่งได้จากการผสมในภาคจูนเนอร์มาขยาย โดยทั่วไปภาคความถี่กลางรวมจะมีวงจรขยายความถี่กลางอยู่ 3 ช่วง คุณสมบัติทางความถี่ของภาคความถี่กลางรวมมีผลต่อคุณภาพของภาพที่ปรากฏบนจอ ในเครื่องรับโทรทัศน์สี ภาคความถี่กลางรวมนี้จะต้องพิถีพิถันกว่าภาคความถี่กลางรวมในเครื่องรับขาวดำ เนื่องจากต้องให้อัตราขยายของสัญญาณโครมิแนนซ์ และลูมิแนนซ์ที่เพียงพอ ดังรูปที่ 2.25 และ 2.26

เครื่องส่งโทรทัศน์ส่งสัญญาณมา 5 ชนิด คือ

1. สัญญาณขาวดำ (Luminance)
2. สัญญาณซิงก์ (Sync)
3. สัญญาณสี (Chrominance)
4. สัญญาณเบิสต์ (Burst)
5. สัญญาณเสียง (Sound)

สัญญาณทั้ง 5 นี้ปนอยู่ในสัญญาณความถี่กลางรวม ซึ่งแต่ละสัญญาณจะต้องแยกไปตามวงจรภาคต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ สัญญาณขาวดำ หรือสัญญาณ Y จะต้องแยกไปสู่ภาคลูมิแนนซ์ สัญญาณซิงก์จะต้องแยกไปภาคซิงก์ทางแนวนอน และแนวตั้ง สัญญาณสี และสัญญาณเบิสต์จะต้องแยกไปยังภาคสี หรือโครมิแนนซ์ ส่วนสัญญาณเสียงถูกแยกไปให้ภาคเสียง

3. ภาคลูมิแนนซ์ และดีเท็กเตอร์

สัญญาณที่ออกจากภาคความถี่กลางรวมจะมีขนาดราว 2 โวลต์ ซึ่งจะถูกดีเท็กเป็นสัญญาณคอมโพสิตวิดีโอ (Composite Video) โดยทั่วไปสัญญาณขาวดำ, สัญญาณสี และสัญญาณเสียง จะถูกแยกออกไปยังภาคที่เกี่ยวข้องที่วงจรดีเท็กเตอร์นี้

สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ขาวดำจะนำเฉพาะสัญญาณ Y (ขาวดำ) ไปใช้ในการสร้างภาพ โดยนำสัญญาณ Y ที่ได้จากการดีเท็กกรอบ มีขนาดประมาณ 1 โวลต์จะถูกขยายให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเพิ่มเป็นประมาณ 150 โวลต์ ในเครื่องรับขาวดำ วงจรขยายที่ทำหน้าที่นี้ คือ วงจรวิดีโอเอาต์พุต ส่วนในเครื่องรับโทรทัศน์สี เรียกเป็น วงจรขยายลูมิแนนซ์

4. ภาคซิงก์

สัญญาณซิงก์ต่างๆ ที่แยกออกจากสัญญาณภาพจะส่งไปใช้ในการควบคุมการสแกนภาพบนจอของเครื่องรับโทรทัศน์ ความถี่ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยซิงก์พัลซ์ 2 ความถี่ คือ ความถี่เส้น (Line) 15,625 เฮิรตซ์ กับความถี่ภาพย่อย (Field) 50 เฮิรตซ์ สัญญาณเหล่านี้ถูกขยายด้วยวงจรเอาต์พุตแนวนอน และเอาต์พุตแนวตั้งและป้อนไปยังโย้กแนวนอน และแนวตั้งตามลำดับ นอกจากนี้ ภาคเอาต์พุตแนวนอนยังทำหน้าที่อื่นๆ อีก เช่น สร้างแรงดันไฟสูงให้แก่หลอดภาพ สร้างฟลายแบ็กพัลซ์ไปใช้ในวงจรอื่นๆ บางวงจรอีกด้วย

5. ภาคเสียง

ความถี่กลางของสัญญาณเสียงเกิดจากการผสมกันของความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์ กับความถี่กลางของสัญญาณเสียง 5.5 เมกะเฮิรตซ์ และถูกแยกไปยังภาคเสียงแล้วดีเท็กเป็นสัญญาณเสียง และขยายกำลังป้อนสู่ลำโพง ภาคเสียงในเครื่องรับโทรทัศน์สและขาวดำทำหน้าที่เหมือนกันทุกประการ

6. ภาคโครมิแนนซ์

ภาคนี้บางครั้งเรียกว่าภาคดีโคเดอร์สี (Colour Decoder) ทำหน้าที่หลัก คือ แยกสัญญาณความแตกต่างสีออกจากสัญญาณคอมโพสิตสี (Colour Composite) ซึ่งส่งมาโดยปราศจากคลื่นพาห์รอง ภาคดีโคเดอร์สีนี้ทำงานตรงข้ามกับภาคเอนโคเดอร์ (Encoder) ที่เครื่องส่ง กล่าว คือ ผลิตคลื่นพาห์รองขึ้นเอง เพื่อนำไปใช้ในกรรมวิธีดีมอดูเลชั่น

สัญญาณโครมาที่เข้ามายังภาคนี้จะผ่านวงจรขยายหลายวงจร ซึ่งจูนไว้ที่ความถี่ 4.43 เมกะเฮิรตซ์ สัญญาณโครมาที่มีขนาดเพียงไม่กี่สิบมิลลิโวลต์จะเพิ่มขึ้นเป็นหลายโวลต์เพื่อนำไปใช้ในวงจรภาคถัดไป

7. ภาคหลอดภาพ

หลอดภาพทำหน้าที่แสดงภาพที่ส่งจากเครื่องส่ง ที่ผิวจอแก้วข้างหน้าเคลือบฉาบฟลูออเรสเซนต์ไว้ ภายในหลอดจะมีปืนอิเล็กตรอนที่สามารถบังคับการบีบลำให้ยิงไปยังหน้าจอ ทำให้สารฟอสเฟอร์เกิดการเรืองแสงขึ้นที่จอภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ภาคแหล่งจ่ายแรงดันเลี้ยง

วงจรโทรทัศน์ต้องอาศัยไฟกระแสตรงหลายระดับขึ้นอยู่กับหน้าที่ของวงจรว่าเกี่ยวข้องกับสัญญาณที่มีขนาดเล็ก หรือใหญ่ เช่น ภาคจูนเนอร์ หรือภาคความถี่กลางใช้แรงดันต่ำ ส่วนภาคเอาต์พุตใช้ค่าแรงดันสูงขึ้น สำหรับโทรทัศน์สีต้องใช้ตัวรักษาระดับแรงดันกระแสตรงให้คงที่ นอกจากนี้ ยังมีระบบป้องกันอัตโนมัติต่างๆ อีก เช่น ป้องกันแรงดันสูงเกิน ป้องกันกระแสเกิน เป็นต้น

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ประกอบด้วยคลื่นพาห์ 3 ชนิด คือ

1. ข้อมูลข่าวสารภาพ ซึ่งได้มาจากกล้องวิดีโอ หรือแหล่งผลิตภาพอื่นๆ จะใช้หลักการมอดูเลตแบบเอเอ็ม ซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการส่งโทรทัศน์ขาวดำ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามภาพที่ปรากฏ

2. คลื่นพาห์รองจะมีขอบเขตอยู่ภายในช่องกว้างความถี่ของคลื่นพาห์ภาพ โดยจะมอดูเลตกับข้อมูลสีของภาพที่ปรากฏ

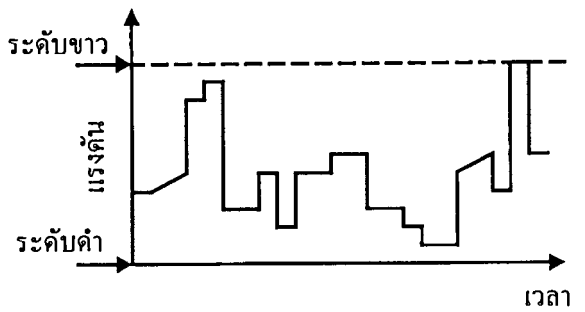
3. คลื่นพาห์ของเสียงมีความถี่ใกล้เคียงกับคลื่นพาห์ภาพ

การส่งสัญญาณภาพด้วยระบบสื่อสารแบบอิเล็กทรอนิกส์ ถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของระบบที่สามารถประมวลผลได้เพียงครั้งละ 1 ภาพเท่านั้น ดังนั้น การส่งภาพเคลื่อนไหว คือ การทำภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องมาแยกเป็นภาพนิ่ง ที่มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเล็กน้อย ทยอยส่งไปยังจอรับภาพที่ปลายทางต่อไป

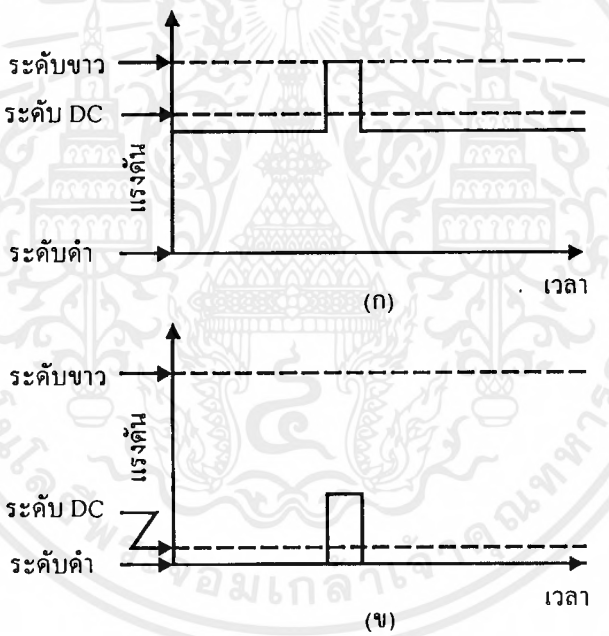
2.5.1 สัญญาณภาพ

สัญญาณภาพได้มาจากกล้อง หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่สามารถสแกนภาพ และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ระบบพื้นฐาน คือ ระบบขาวดำซึ่งประกอบด้วยระดับแรงดันต่างๆ ที่แทนสีดำ, สีขาว และสีเทาปรากฏบนเส้นสแกน ดังแสดงในรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 สัญญาณภาพเอาต์พุตจากกล้องในการสแกนหนึ่งเส้น



รูปที่ 2.28 สัญญาณภาพเอาต์พุตในระดับ DC ที่แตกต่างกัน

ข้อสรุปพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการ เกี่ยวกับรูปคลื่นที่ได้จากการสแกนภาพ คือ

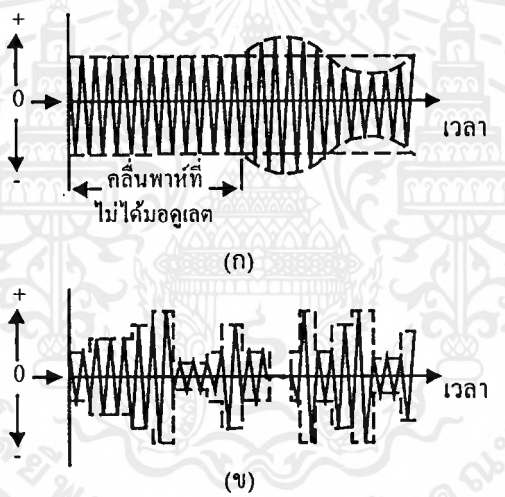
1. การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน โดยปกติจะเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได การเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นที่ราบเรียบ (Smooth) จากระดับขาวไปดำ หรือดำไปขาวจะเกิดขึ้นได้ยากมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระดับไฟกระแสสลับจะเกิดขึ้นได้น้อยมาก และจะไม่เกิดขึ้นเมื่อสแกนผ่านแถบสี เช่น แถบสีขาว-ดำบนแผ่นทดสอบ เป็นต้น

รูปที่ 2.28 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆ ของรูปคลื่นชนิดนี้ เส้นสแกน 2 เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เหมือนกัน โดยในรูป (ก) คือ สัญญาณที่เกิดจากการวางแถบสีขาวบนฉากหลังสีเทา และในรูป (ข) มีลักษณะของเส้นสแกนที่เหมือนกัน แต่เป็นการวางแถบสีเทาบนฉากหลังสีดำ ความแตกต่างของรูป (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าระดับของไฟตรงที่ปรากฏจะเป็นตัวกำหนดความสว่างของภาพ

สัญญาณภาพที่ได้จากการสแกนจะถูกนำมาประมวลผล และมอดูเลตแบบเอเอ็ม แต่มีกรรมวิธีการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มที่ใช้กับระบบสื่อสารดาวเทียม



รูปที่ 2.29 คลื่นพาห์ที่มอดูเลตแบบเอเอ็ม

(ก) สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณเสียง

(ข) สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณภาพ

พื้นฐานการมอดูเลตแบบเอเอ็มมีข้อแตกต่างที่สำคัญบางประการระหว่างการมอดูเลตสัญญาณเสียง กับการมอดูเลตสัญญาณภาพ รูปที่ 2.29 (ก) แสดงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดจากระบบสายอากาศกระจายเสียง โดยประกอบด้วยคลื่นที่ยังไม่ได้มอดูเลต และคลื่นที่มอดูเลตด้วยเสียง 1 ลูกคลื่น จะปรากฏกระบวนการส่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงที่ยังไม่มีการมอดูเลต ระดับค่าเฉลี่ยของคลื่นมีค่าคงที่ และคลื่นที่ยังไม่ได้ทำการมอดูเลตจะถูกส่งออกอากาศ

2. ในช่วงที่มีสัญญาณเข้ามามอดูเลต ระดับสูงสุดของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของคลื่นที่นำมามอดูเลต เรียกลักษณะของยอดคลื่นที่ปรากฏว่า กรอบคลื่น

3. ระดับของสัญญาณที่นำมามอดูเลตจะต้องมีระดับไม่เกิน 2 เท่าของคลื่นพาห์ มิฉะนั้นจะเกิดการขลิบของสัญญาณ

รูปที่ 2.29 (ข) แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณภาพ ซึ่งสัญญาณภาพที่นำมามอดูเลตจะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณในรูปที่ 2.27 ขอบของคลื่นจะมีค่าไม่คงที่ และไม่ต่อเนื่อง ไม่มีค่าปกติในระหว่างการมอดูเลต และที่สำคัญ เมื่อไม่มีสัญญาณภาพเข้ามาทำการมอดูเลตจะไม่มีคลื่นแพร่ออกอากาศ

2.5.2 ความกว้างของช่องสัญญาณ

สมมติว่านำคลื่นพาห์มามอดูเลตกับคลื่นเสียงความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ จะเกิดสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต 3 ความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นพาห์, ความถี่ที่ต่ำกว่าคลื่นพาห์อยู่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และความถี่ที่สูงกว่าคลื่นพาห์อยู่ 1 กิโลเฮิรตซ์ หากสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีความถี่ช่วงกว้าง เช่น เสียงพูด, เสียงดนตรี หรือภาพ ย่านความถี่ที่นำมาผสม หรือจะทำให้เกิดความถี่ที่แต่ละด้านของคลื่นพาห์ เรียกว่า แถบข้าง การขยายออกของแถบข้างในแต่ละด้านจะเป็นตัวกำหนดความถี่สูงสุดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

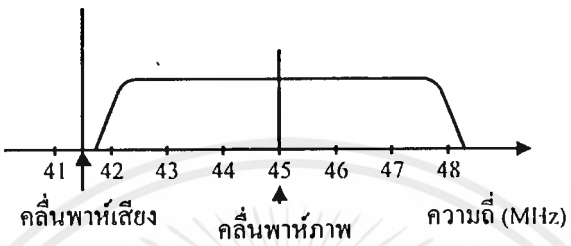
ค่าช่วงกว้างความถี่มาตรฐานที่ทำให้ได้คุณภาพของภาพที่ดี จะต้องพิจารณาระหว่างความชัดเจนของภาพที่ยอมรับได้ และค่าช่วงกว้างความถี่โดยรวมของช่องสัญญาณ

มาตรฐานการสแกนในอดีตมี 2 ระบบดังนี้ ระบบแรก คือ การแพร่ภาพออกอากาศของอังกฤษ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาโดย Baird มีอัตราส่วนภาพ 1:2 และความเร็ว 12.5 ภาพต่อวินาที สแกนในแนวดิ่งอย่างต่อเนื่อง มีจำนวนจุด = 30 x 30 x 2 = 1,800 จุด และจำนวนของการสแกนใน 1 วินาที คือ 1,800 x 12.5 = 22,500 ครั้ง และมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 11,250 Hz

ระบบที่สองเป็นระบบที่มีความชัดเจนสูง เริ่มต้นใช้เมื่อปี ค.ศ.1936 ในอังกฤษ มีจำนวนภาพ 25 ภาพต่อวินาที ทำการสแกนสลับเส้น (Interlaced Scanning) อัตราส่วนภาพ 4:3 มีจำนวนเส้นสแกน 405 เส้น เพื่อให้ครอบคลุมภาพได้ทั้งหน้าจอ และมีคุณภาพที่ยอมรับได้ ความถี่สูงสุดของสัญญาณภาพ คือ 405 x 405 x 4/3 x 25/2 = 2.7 เมกะเฮิรตซ์ แต่เมื่อนำมาคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับช่วงกว้างความถี่ที่มีค่าความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ที่ -3 เดซิเบล ต้องใช้ความถี่วิทยุที่มีช่วงกว้างความถี่เป็น 3.4 เมกะเฮิรตซ์ โดยมีความถี่ต่ำสุด คือ 0 เฮิรตซ์ หรือ DC มีแถบความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.30 มีชื่อเรียกว่า ระบบ A



รูปที่ 2.30 ช่วงกว้างความถี่ของช่องสัญญาณระบบ A

2.5.3 ช่องสัญญาณ

การแบ่งความถี่ที่เป็นสากล และบางย่านความถี่ถูกนำมาใช้ในการแพร่คลื่นออกอากาศ เช่น คลื่น MF ในแต่ละย่านจะมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่น และสายอากาศที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 2.4 ย่านความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ในยุโรป

ย่านความถี่	ย่านความถี่ของยุโรป	ช่วงความถี่
VHF	I	41-68 MHz
VHF	II	88-108 MHz
VHF	III	174-216 MHz
UHF	IV	470-582 MHz
UHF	V	614-854 MHz
SHF		11.7-12.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. ประเทศอังกฤษใช้ย่านความถี่ I และ III สำหรับแพร่ภาพโทรทัศน์ในมาตรฐาน A แต่ปัจจุบันได้เลิกใช้แล้ว แต่ในบางส่วนของยุโรปยังคงใช้ย่านนี้อยู่

2. ย่านความถี่ II ไม่ได้ใช้สำหรับโทรทัศน์ แต่ใช้สำหรับวิทยุกระจายเสียงเท่านั้น

3. ความถี่ย่าน SHF ถูกจองไว้สำหรับโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

ย่านความถี่ที่ใช้สำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ คือ VHF และ UHF ทั่วโลกได้แบ่งเขตพื้นที่ออกเป็น 3 เขต ซึ่งมีความถี่ออกอากาศที่แตกต่างกันออกไป ตารางที่ 2.4 แสดงเฉพาะในทวีปยุโรป

2.6 สรุป

ระบบสื่อสารวิทยุใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวแพร่กระจายไปในบรรยากาศ โดยการแพร่กระจายคลื่นวิทยุนี้แบ่งเป็น 4 ลักษณะ คือ คลื่นดิน, คลื่นฟ้า, คลื่นโทรโพสเฟียร์ และคลื่นตรง สำหรับความถี่ย่าน UHF มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นตรง

เครื่องส่งวิทยุมีหน้าที่หลัก คือ การผลิตสัญญาณ การขยายสัญญาณ และการผสมสัญญาณ ปัจจัยที่สำคัญของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ คือ ความถี่และกำลัง สายอากาศเป็นสิ่งสำคัญในระบบการสื่อสารวิทยุ เพราะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

เครื่องส่งโทรทัศน์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอเอ็ม และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอฟเอ็ม ส่วนเครื่องรับโทรทัศน์จะรับสัญญาณจากสายอากาศเข้ามาทั้งภาพ และเสียง แล้วนำสัญญาณไปดีเท็กเตอร์ แยกภาพ และเสียงออกไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แพร่กระจายสัญญาณภาพ และเสียงโทรทัศน์จากกล้องวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยคลื่นความถี่วิทยุเช่นเดียวกับสถานีโทรทัศน์ทั่วๆ ไป เพียงแต่มีขนาด และรัศมีการแพร่กระจายน้อยกว่า และความถี่ที่ใช้อยู่ในย่าน UHF ซึ่งสามารถปรับแต่งความถี่ได้ในช่วง 450 ถึง 550 เมกะเฮิรตซ์

กล้องวิดีโอที่จะนำมาใช้กับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนั้น จะต้องมีช่องต่อเอาต์พุตสำหรับสัญญาณภาพ และเสียงออกมาต่างหาก มิใช่มีแต่ช่องสัญญาณเอาต์พุตแบบ RF เพียงอย่างเดียว ส่วนเครื่องรับโทรทัศน์จะต้องเป็นระบบ PAL และจูนคลื่นความถี่ได้

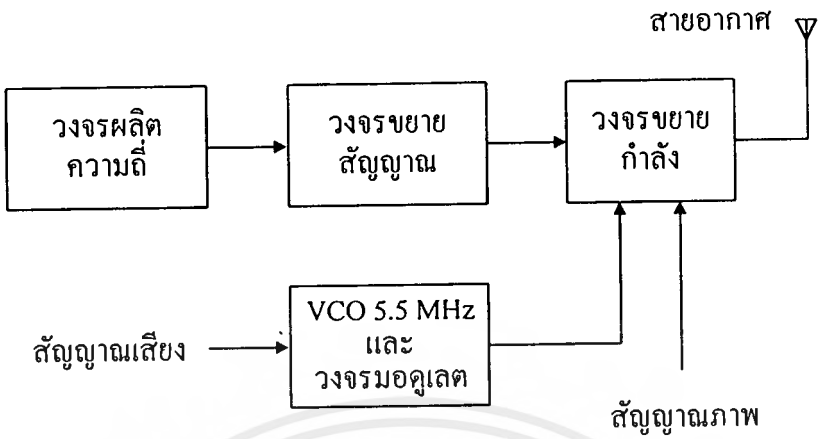
3.2 การออกแบบ

เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอได้นำแนวความคิดของการส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางคลื่นความถี่วิทยุย่าน UHF มาออกแบบ และพัฒนาในส่วนต่างๆ เช่น วงจรผลิตความถี่, วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ และวงจรขยายกำลัง เป็นต้น โดยมีการออกแบบ และประกอบลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

ส่วนประกอบ และการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนี้ จะเป็นส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

1. วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์
2. วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์
3. วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม
4. วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

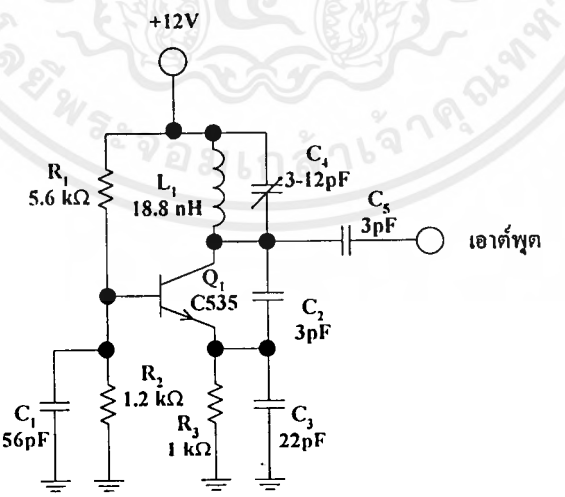
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

3.2.1 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ ทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่ใช้เป็นความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ และเป็นความถี่หลักของเครื่องส่ง



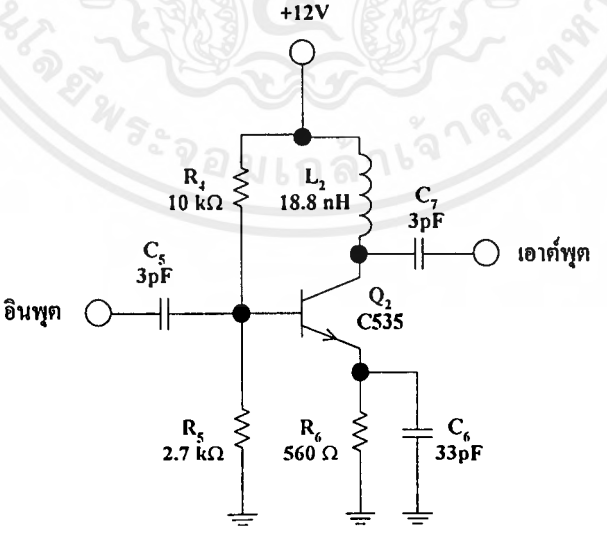
รูปที่ 3.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตความถี่ของระบบนี้จะใช้วงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์-เบสคอลพิทท์ โดยใช้ Q_1 มี L_1 กับ C_4 ประกอบกันเป็นวงจรจูนทางเอาต์พุต สำหรับปรับความถี่คลื่นพาห์ภาพในช่วง 450 ถึง 550 เมกะเฮิรตซ์ มี R_1, R_2 และ R_3 เป็นตัวไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ โดยมี C_1 ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_2 กับ C_3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจากคอลเลคเตอร์มายังอิมิตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.2 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์จะนำสัญญาณจากวงจรผลิตความถี่มาทำการขยายให้มีความแรงมากขึ้นพอที่จะนำไปขับวงจรขยายกำลังได้ โดยใช้ Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์โดยมี R_4, R_5 และ R_6 เป็นตัวความต้านทานไบอัส C_6 เป็นตัวเก็บประจุบายพาสความถี่ลงกราวนด์ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่ R_6 สำหรับ L_2 จะเป็นตัวส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจรให้กับทรานซิสเตอร์ ในขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็น RF โช๊ก ป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟด้วย



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

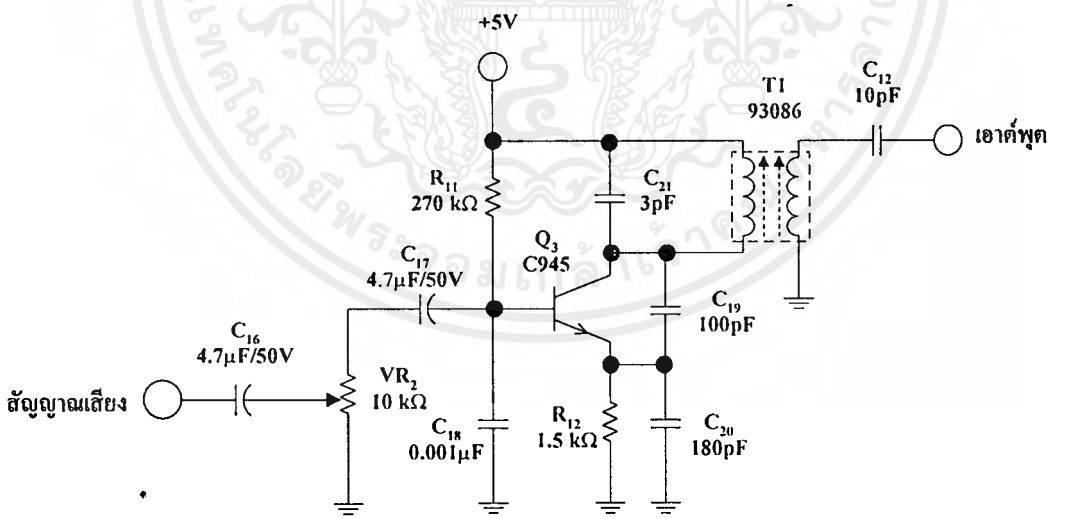
3.2.3 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

วงจรผลิตความถี่แบบ VCO ทำหน้าที่ผลิตความถี่กลาง 5.5 เมกะเฮิรตซ์ โดยความถี่นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงทางอินพุต ก่อให้เกิดการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มตามระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณเสียงจะคัปปลิ้งผ่าน C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 โดยมี VR_2 เป็นตัวปรับช่วงความถี่เบี่ยงเบน

วงจรผลิตความถี่แบบ VCO นี้ ใช้วงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์-เบส คอลพิทท์ เช่นเดียวกับวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ โดยมี R_{11} และ R_{12} เป็นตัวความต้านทานไบอัส C_{18} ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_{19} และ C_{20} เป็นตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน แต่จัดวงจรให้เป็นแบบ VCO เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงที่เข้ามาทางอินพุตแบบเอฟเอ็มโดยมีความถี่กลางที่ 5.5 เมกะเฮิรตซ์ โดยกำหนดขึ้นจากค่าของ T_1 กับ C_{12} ดังแสดงในรูปที่ 3.4

สัญญาณเสียงที่ทำการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้ว จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรขยายกำลังและวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มต่อไป



รูปที่ 3.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

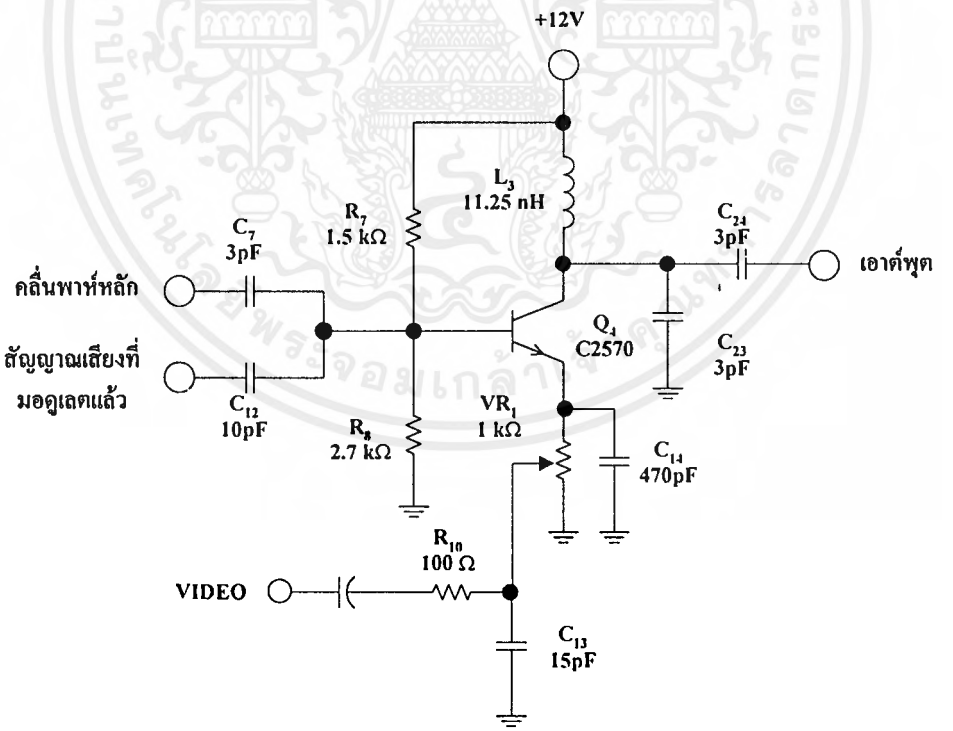
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มนี้จะทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงขึ้นเป็นครั้งสุดท้าย ก่อนส่งออกอากาศ และทำหน้าที่เป็นตัวมอดูเลตสัญญาณภาพ และเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้ว เข้ากับความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณภาพในแบบเอเอ็มอีกด้วย

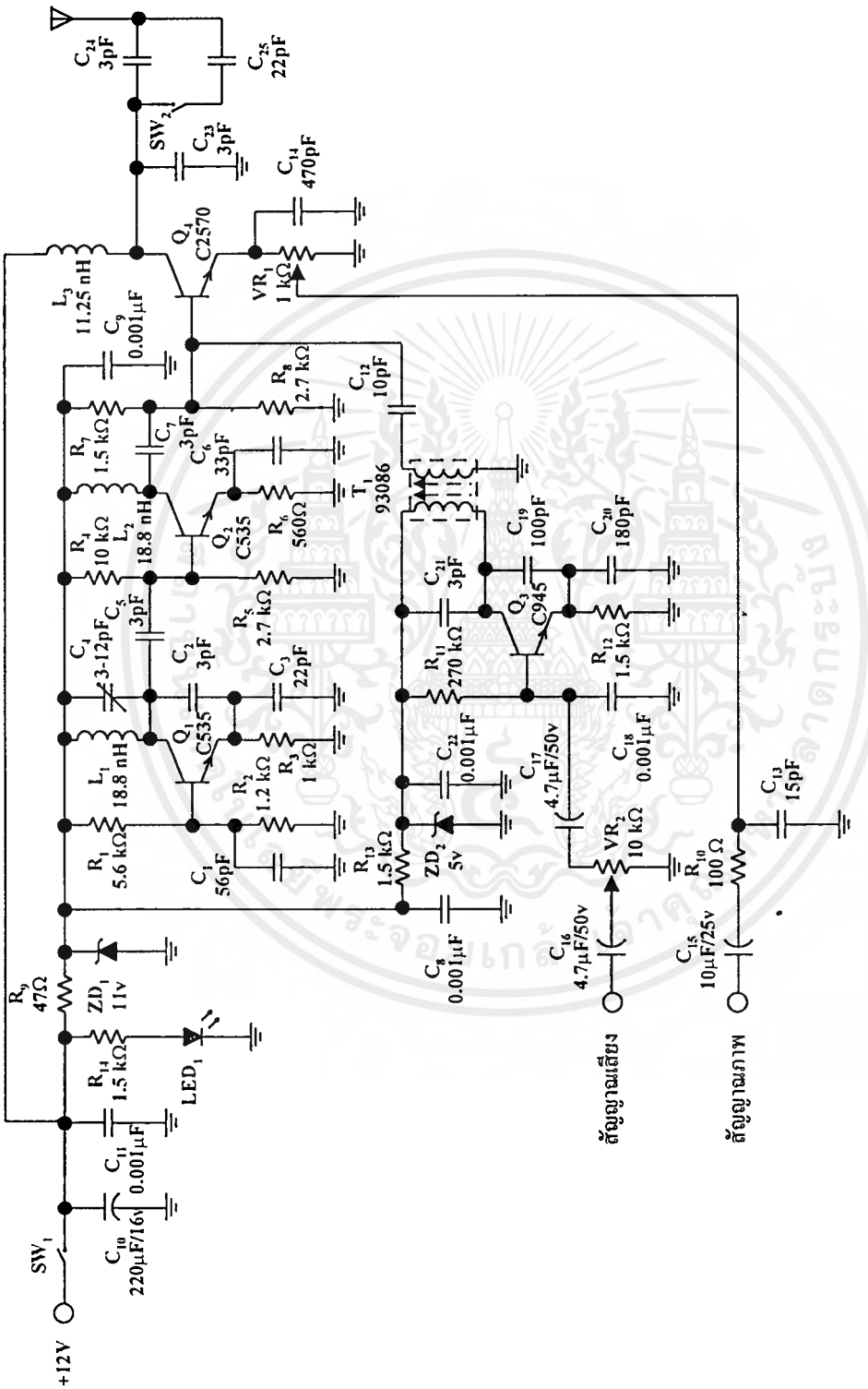
วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มจะใช้ Q_4 โดยมี R_7 และ R_8 เป็นตัวความต้านทานไบอัส, L_3 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจร และเป็น RF โช๊กป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ออกไปยังแหล่งจ่ายไฟ

สัญญาณที่นำมาทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ภาพพร้อมกับสัญญาณเสียงแบบเอเอ็มนั้นจะถูกคัปปลิ้ง และปรับขนาดความแรงของสัญญาณให้เหมาะสมด้วย C_{13}, C_{14}, C_{15} และ R_{10} โดยมี VR_1 เป็นตัวปรับเปอร์เซนต์การมอดูเลต



รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การเชื่อมต่อวงจร

วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวีดีโอแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยมีซีเนอร์ไดโอด ZD_1 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรผลิตความถี่ และวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อทำให้วงจรมีเสถียรภาพทางความถี่มากขึ้น R_9 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วย C_8 และ C_9

ความถี่ที่ผลิตขึ้นจากวงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์-เบสคอลพิทท์ จะถูกส่งไปขยายให้มีความแรงสูงขึ้น โดยผ่าน C_5 ไปยัง Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายกำลัง และเป็นวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มด้วย

สัญญาณเสียงที่รับเข้ามาจะถูกคัปปลิ้งโดย C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 เพื่อทำการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มกับคลื่นพาห์ 5.5 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งสร้างขึ้นโดยวงจรผลิตความถี่แบบ VCO แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรภาคนี้จะถูกควบคุมให้เป็น 5 โวลต์ โดยซีเนอร์ไดโอด ZD_2 มี R_3 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองให้เรียบไม่ให้มีสัญญาณความถี่สูงปะปนด้วย C_{22}

สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้วจะถูกคัปปลิ้งผ่าน T_1 และ C_{12} ไปยังขาเบสของ Q_4 สัญญาณที่รับเข้ามาจะถูกคัปปลิ้งโดย C_{13}, C_{14}, และ C_{15} เพื่อทำการขยายกำลังและมอดูเลตแบบเอเอ็ม สัญญาณโทรทัศน์ที่สมบูรณ์จะถูกส่งออกอากาศผ่าน C_{23} และ C_{24} ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรปรับความสมดุลย์ (matching) สำหรับสถานะการทำงานของเครื่องจะแสดงด้วย LED_1 โดยมี R_{14} เป็นตัวจำกัดกระแส

3.3 การสร้าง

เมื่อทำการเชื่อมต่อวงจรส่วนต่างๆ รวมกันเป็นวงจรที่สมบูรณ์แล้ว จึงจัดหาอุปกรณ์ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์, จัดวางอุปกรณ์ และติดตั้งลงกล่องตามลำดับดังนี้

3.3.1 การพันขดลวด

L_1 และ L_2 ใช้ขดลวดอาบน้ำยาเบอร์ 23 พันลงบนแกนอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร แบบเรียงชิดติดกันเป็นจำนวน 3 รอบ สำหรับ L_3 ให้พัน 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

$$L = \frac{N^2 r^2}{245(0.9r + l)} \qquad (\mu H)$$

L = ค่าความเหนี่ยวนำ (μH)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

r = รัศมีของแกน (mm)

l = ความยาวของแกน (mm)

การคำนวณค่า L_1 และ L_2

จาก N = 3 รอบ, r = 2 mm และ l = 6 mm

แทนค่าในสูตร

$$L = \frac{(3)^2 (2)^2}{245[0.9(2) + 6]}$$

$$= \frac{36}{1911}$$

$$= 18.8 \qquad nH$$

f = 513 MHz

$X_L = 2\pi fL$

$= 60.56\ \Omega$

การคำนวณค่า L_3

จาก N = 2 รอบ, r = 2 mm และ l = 4 mm

$$L = \frac{(2)^2 (2)^2}{245[0.9(2) + 4]}$$

$$= \frac{16}{1421}$$

$$= 11.25\ nH$$

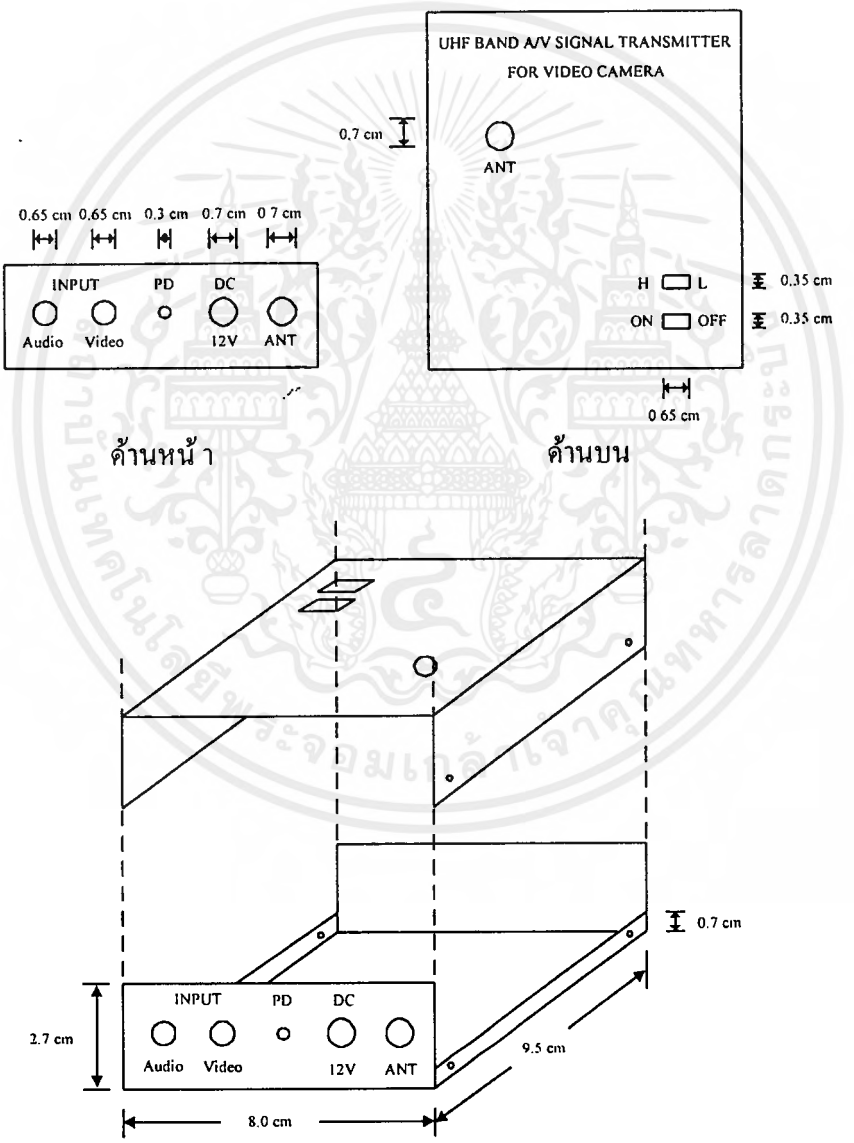
$X_L = 36.26\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์

ในการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ใช้แผ่นวงจรแบบอีพ็อกซี่ เพื่อลดการลดทอนของสัญญาณ เนื่องจากใช้ในย่านความถี่สูง

การวางอุปกรณ์ ต้องวางอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กก่อน และวางให้เป็นระเบียบ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบภายหลัง และต้องทำให้ขาของอุปกรณ์สั้นที่สุด สายที่ใช้ต่อต้องสั้นเช่นกัน



รูปที่ 3.7 การสร้างกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การติดตั้งลงกล่อง

สร้างกล่องขนาดดังรูปที่ 3.7 โดยด้านหน้าของกล่องเจาะช่องสำหรับใส่ขั้วต่อ RCA ตัวเมียสำหรับสัญญาณเสียง และสัญญาณภาพ และเจาะช่องสำหรับเสียบตัวปรับแรงดันซึ่งจะใช้เป็นแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจร โดยหาขนาดของขั้วต่อให้ตรงกับขนาดของตัวปรับแรงดันแล้วเจาะช่องสำหรับใส่ไดโอดเปล่งแสงสำหรับแสดงผล ส่วนสายอากาศเจาะไว้ 2 ช่อง คือ ด้านหน้า และด้านบน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน นอกจากนั้นด้านบนของกล่องจะเจาะช่องสำหรับใส่สวิตซ์เปิด-ปิด (ON-OFF) และสวิตซ์เลือกระดับการส่งกำลัง สูง-ต่ำ (H-L)

สำหรับแผ่นวงจรให้ยึดกับตัวกล่องโดยยกให้สูงขึ้นมาจากตัวกล่องเล็กน้อย และเดินสายให้เรียบร้อย

3.4 การทำงาน

จากวงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวีดีโอดังรูปที่ 3.6 ในส่วนของวงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดคราวนด์-เบสคอลพิทท์ มี L_1 กับทริมเมอร์ C_4 ประกอบกันเป็นวงจรจูนทางเอาต์พุต สำหรับปรับความถี่คลื่นพาห์ภาพให้ได้ตามความต้องการในช่วง 450 ถึง 550 เมกะเฮิรตซ์ R_1, R_2 และ R_3 เป็นตัวไบอัสให้กับ Q_1 โดยมี C_1 ทำหน้าที่ตัดความถี่ที่ขาเบส C_2 กับ C_3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน กำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจากคอลเลคเตอร์มายังอิมิตเตอร์ C_3 จึงไม่ใช่ตัวเก็บประจุบายพาสสัญญาณ ดังกรณีทั่วๆ ไป

ความถี่ที่ผลิตได้นี้จะถูกส่งไปขยายให้มีความแรงมากขึ้นโดยผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิ้ง C_5 ไปยัง Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ R_4, R_5 และ R_6 เป็นวงจรจัดไบอัสให้กับ Q_2, C_6 เป็นตัวเก็บประจุบายพาสความถี่ที่ไม่ต้องการลงกราวนด์ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่ R_6 สำหรับ L_2 จะเป็นตัวส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจรให้กับ Q_2 ในขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็น RF โช๊ก ป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟด้วย

สำหรับ ZD_1 เป็นตัวรักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรผลิตความถี่และวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อทำให้วงจรมีเสถียรภาพทางความถี่มากขึ้น โดยมี R_9 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วย C_8 และ C_9 สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกคัปปลิ้งผ่าน C_7 ไปยัง Q_4 ที่ต่อเป็นวงจรขยายกำลัง และเป็นวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มด้วยในขณะเดียวกัน โดยจะถูกลดทอนความแรงด้วยความต้านทาน R_8 เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามายังขาเบสของ Q_4 เช่นเดียวกัน R_7 และ R_8 เป็นตัวความต้านทานไบอัสให้กับ Q_4, L_3 ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ L_2 และเนื่องจากภาคนี้ต้องการกำลังงานที่สูงกว่าภาคอื่นๆ แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับภาคนี้จึงมาจากแหล่งจ่ายไฟหลักโดยตรง โดยมี C_{10} และ C_{11} เป็นตัวกรองกระแส สำหรับสัญญาณภาพที่เข้าทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ภาพ พร้อมกับสัญญาณเสียงแบบเอเอ็มนั้นจะถูกคัปปลิ้ง และปรับขนาดความแรงของสัญญาณให้เหมาะสมด้วย C_{13}, C_{14}, C_{15} และ R_{10} โดยมี VR_1 เป็นตัวปรับเปอร์เซนต์การมอดูเลต ส่วนสัญญาณเสียงจะคัปปลิ้งผ่าน C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 โดยมี VR_2 เป็นตัวปรับช่วงความถี่เบี่ยงเบน

R_{11} และ R_{12} เป็นตัวความต้านทานไบอัส C_{18} ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_{19} และ C_{20} เป็นตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันเช่นเดียวกับ C_2, C_3 ต่อเป็นวงจรผลิตความถี่แบบ LC กราวนด์-เบสคอลพิทท์เช่นเดียวกับ Q_1 แต่จัดวงจรให้เป็นแบบ VCO เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงที่เข้ามาทางอินพุตแบบเอฟเอ็ม โดยมีความถี่กลางที่ 5.5 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ผลต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห์สัญญาณภาพกับคลื่นพาห์สัญญาณ โดยกำหนดขึ้นจากค่าของ T_1 กับ C_{21}

สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้ว จะถูกคัปปลิ้งผ่าน T_1 และ C_{12} ไปยังขาเบสของ Q_4 แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรภาคนี้จะถูกควบคุมให้เป็น 5 โวลต์ โดยซีเนอร์ไดโอด ZD_2 มี R_3 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองให้เรียบ ไม่ให้มีสัญญาณความถี่สูงปะปนด้วย C_{22} สัญญาณโทรทัศน์ที่สมบูรณ์จากเอาต์พุต Q_4 จะถูกส่งแพร่กระจายออกอากาศทางสายอากาศโดยมี C_{23} และ C_{24} ทำหน้าที่เป็นวงจรปรับความสมดุลย์ ในการส่งสัญญาณกำลังสูง ส่วนการส่งสัญญาณกำลังต่ำมี SW_2 เป็นตัวปรับเลือกกำลัง เพื่อเชื่อมต่อ C_{25} ให้ขนานกับ C_{24} เป็นการลดกำลังของสัญญาณเอาต์พุต สำหรับสถานะการทำงานของเครื่องจะแสดงด้วย LED_1 โดยมี R_{14} เป็นตัวจำกัดกระแส

3.5 สรุป

เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ ใช้วงจรกำเนิดความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์-เบสคอลพิทท์ ทำหน้าที่ผลิตความถี่หลักของเครื่องส่งแล้วส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์จะรับสัญญาณจากวงจรผลิตความถี่มาทำการขยายให้มีความแรงมากขึ้น และส่งไปยังวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม เพื่อทำการผสมสัญญาณภาพ และเสียงส่งออกอากาศต่อไป

วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็มใช้วงจรกำเนิดความถี่แบบ LC ชนิดกร่าวนด์-เบสคอลพิทท์เช่นกัน โดยผลิตความถี่คลื่นพาห์ 5.5 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อนำมาผสมกับสัญญาณเสียงที่รับเข้ามาทางอินพุตก่อนส่งไปวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงก่อนส่งออกอากาศ และยังเป็นตัวผสมสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงที่มอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้ว กับคลื่นพาห์หลักของเครื่องส่งแบบเอเอ็มอีกด้วย

สำหรับการสร้างใช้กล่องพลาสติกขนาด 8.0 x 9.5 x 2.7 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) ซึ่งมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบ และผลการทดสอบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ และผลการทดสอบของวงจรในส่วนต่างๆ ของปริญญานิพนธ์นี้ว่า วงจรทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยการใช้เครื่องมือทำการตรวจสอบผลการทำงานในแต่ละส่วนของวงจรที่ได้สร้างขึ้น และการตรวจสอบผลการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอมีดังนี้

4.2 การทดสอบวงจร

การทดสอบการทำงานของวงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์
2. วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์
3. วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์
4. วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม
5. วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

4.2.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจรในรูปที่ 3.6
2. ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบสามารถวัดแรงดันที่จุดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.1

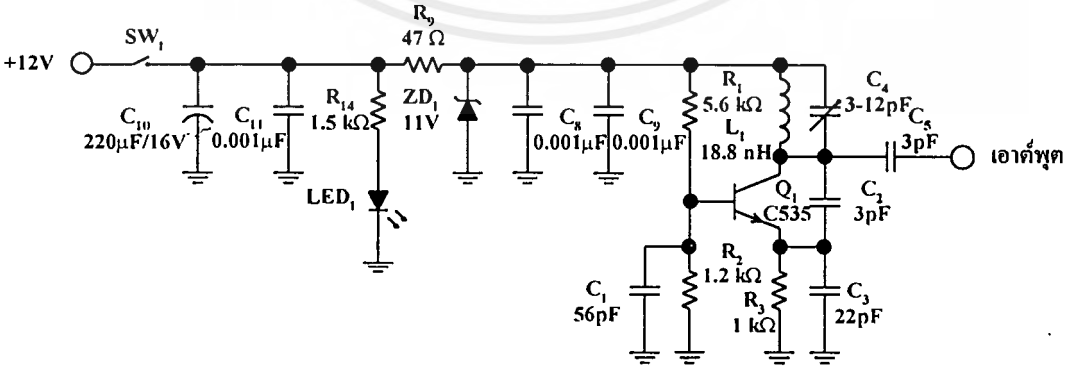
ตารางที่ 4.1 แรงดันไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว

ลำดับ	เบอร์	ขาเบส	ขาคอลเล็คเตอร์	ขาอิมิตเตอร์
Q_1	C535	3 โวลต์	10.5 โวลต์	3.4 โวลต์
Q_2	C535	1.9 โวลต์	11 โวลต์	3.2 โวลต์
Q_3	C945	1 โวลต์	4.8 โวลต์	1.6 โวลต์
Q_4	C2570	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์

4.2.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปลดขาของ C_3 ออกจากวงจร เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนทางความถี่จากวงจรอื่น
2. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับวงจร
3. ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) วัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต ของวงจร

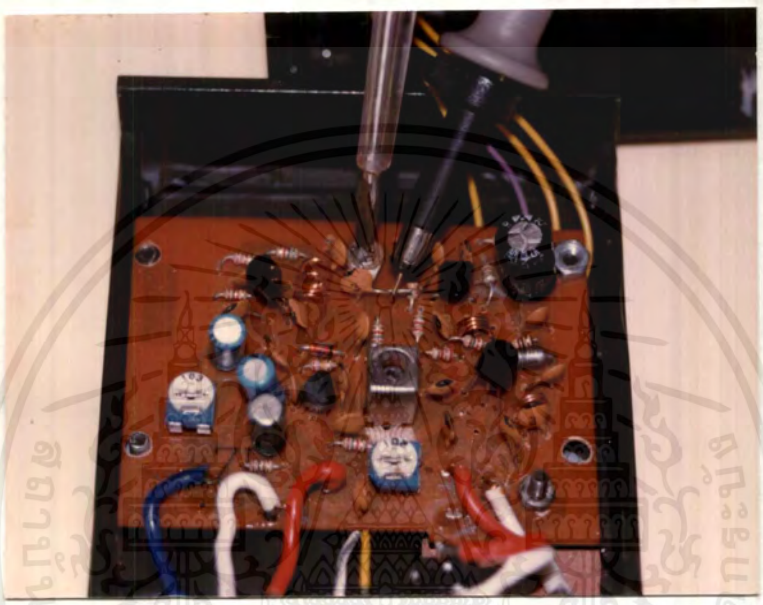


รูปที่ 4.1 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับค่าความจุของทริมเมอร์ C_4 และขดลวด L_1 เพื่อเลือกจูนความถี่ให้ได้ขนาดของสัญญาณสูงสุด และอยู่ในช่วงความถี่ใช้งาน

5. ต่อขา C_3 เข้าตำแหน่งเดิม

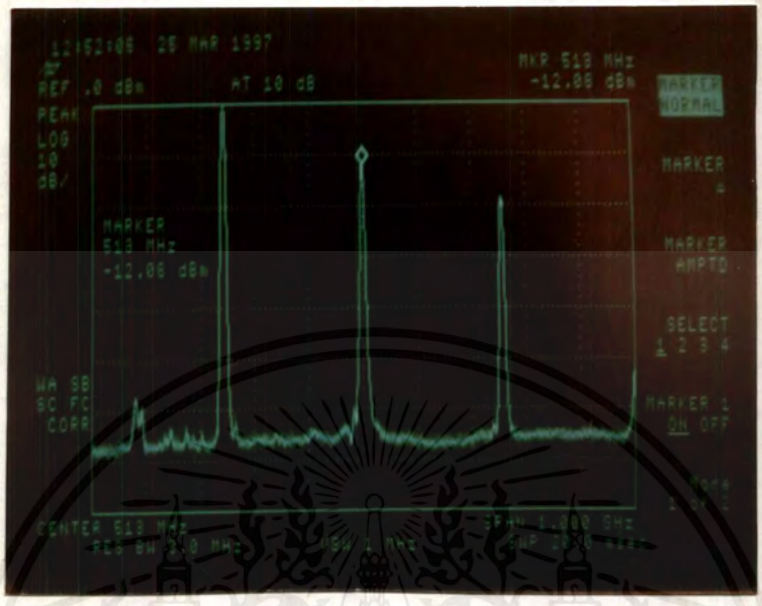


รูปที่ 4.2 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

ผลการทดสอบ

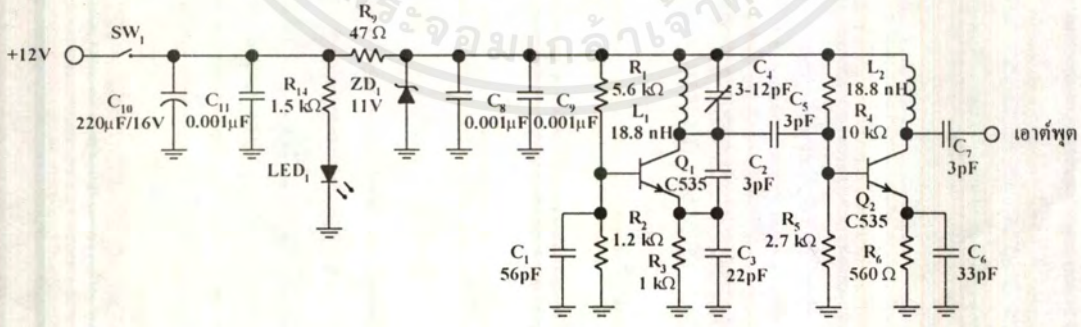
จากการทดสอบวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์จะปรากฏสเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกผลิตออกมาหลายๆ ความถี่ ซึ่งมีความถี่ที่มีขนาดของสัญญาณสูงสุดค่าหนึ่งคือ 256.5 เมกะเฮิรตซ์, ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 คือ 513 เมกะเฮิรตซ์ และความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 คือ 761.5 เมกะเฮิรตซ์ จะมีความแรงลดลงมาตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 สำหรับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอเลือกใช้งานที่ความถี่ 513 เมกะเฮริตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

4.2.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์



รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

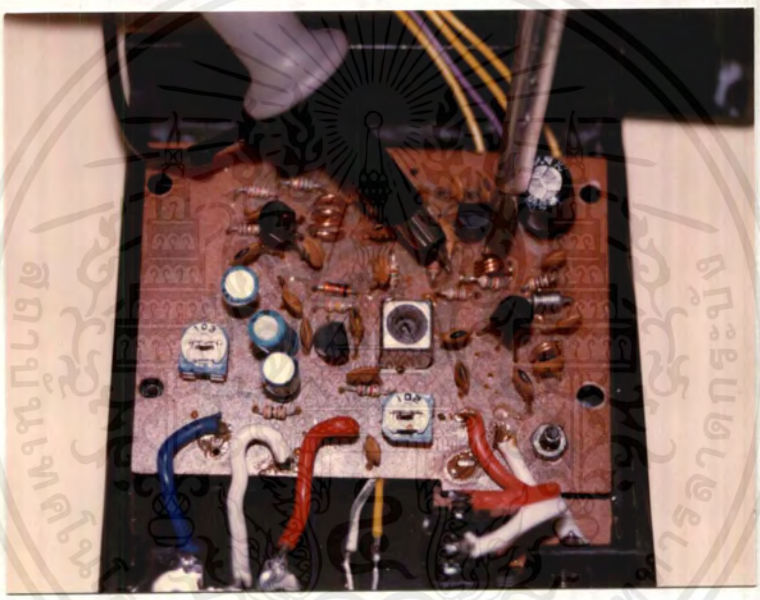
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปลดขา C_7 ออก เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนทางความถี่จากวงจรอื่น

2. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับวงจร

3. ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต จะได้รูปสัญญาณที่ขยายสูงสุด เป็นความถี่ใช้งาน (ต้องปรับ L_2 ช่วย)

4. ทำการต่อ C_2 เข้าตำแหน่งเดิม

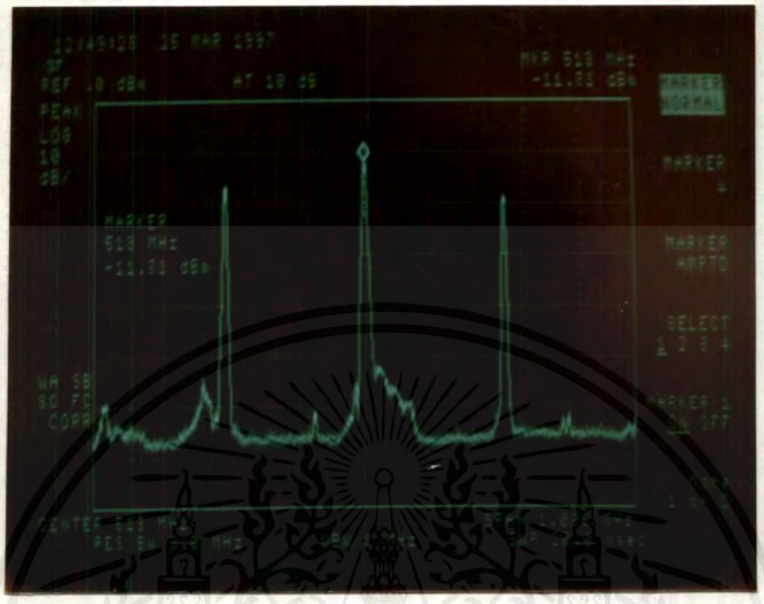


รูปที่ 4.5 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

ผลการทดสอบ

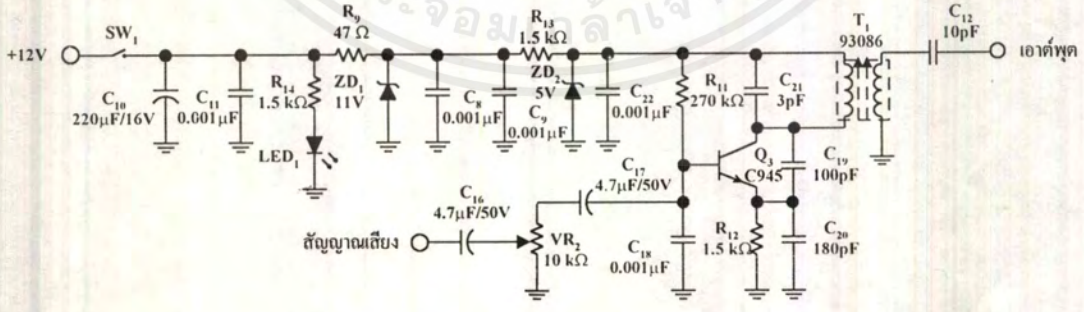
จากการทดสอบ สัญญาณที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 คือ 513 เมกะเฮิรตซ์ จะถูกนำมาขยายให้มีขนาดของสัญญาณสูงสุด ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 ก็ถูกขยายด้วย แต่ความแรงของสัญญาณน้อยกว่าจึงไม่มีผลต่อวงจร ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

4.2.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

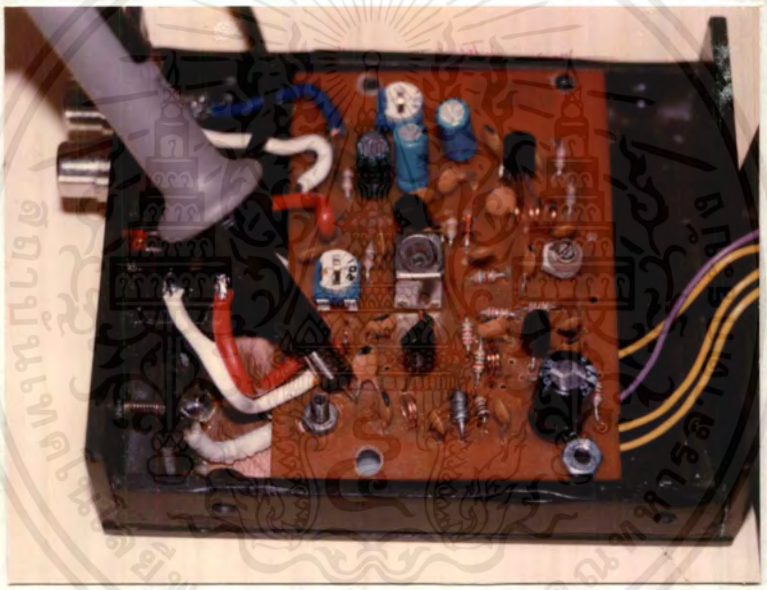


รูปที่ 4.7 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปลดขา C_{12} ออก เพื่อไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์เข้ามารบกวนสัญญาณเสียง
2. ใช้ตัวกำเนิดความถี่ (Function Generator) ป้อนความถี่ 1 kHz ป้อนที่จุด Audio
3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต
4. ปรับ T_1 ให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณความถี่วิทยุแบบเอฟเอ็ม คือ 5.5 เมกะเฮิรตซ์
5. ต่อ C_{12} เข้าตำแหน่งเดิม

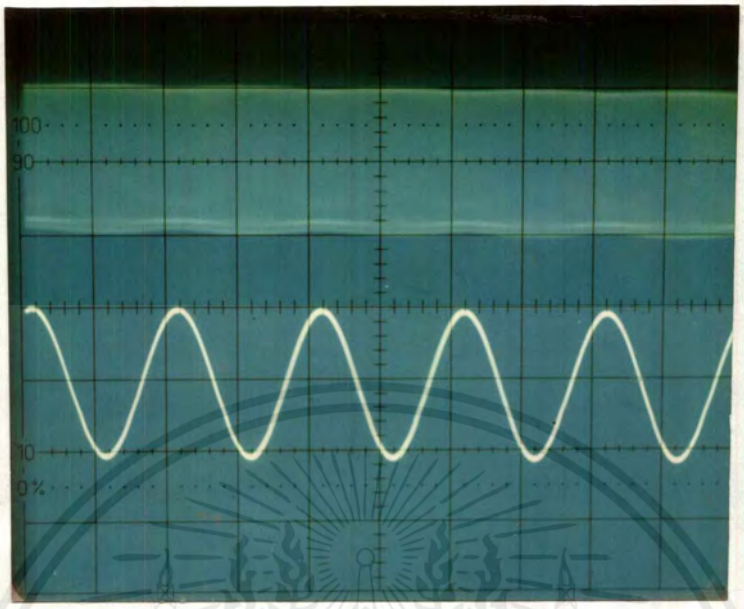


รูปที่ 4.8 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็มได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งวงจรผลิตความถี่แบบ VCO จะผลิตความถี่คลื่นพาห์ 5.5 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อมามอดูเลตกับสัญญาณอินพุตโดยรูปที่ 4.9 ปรับ Time/Div = 0.5 mS และรูปที่ 4.10 ปรับ Time/Div = 0.5 μS เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

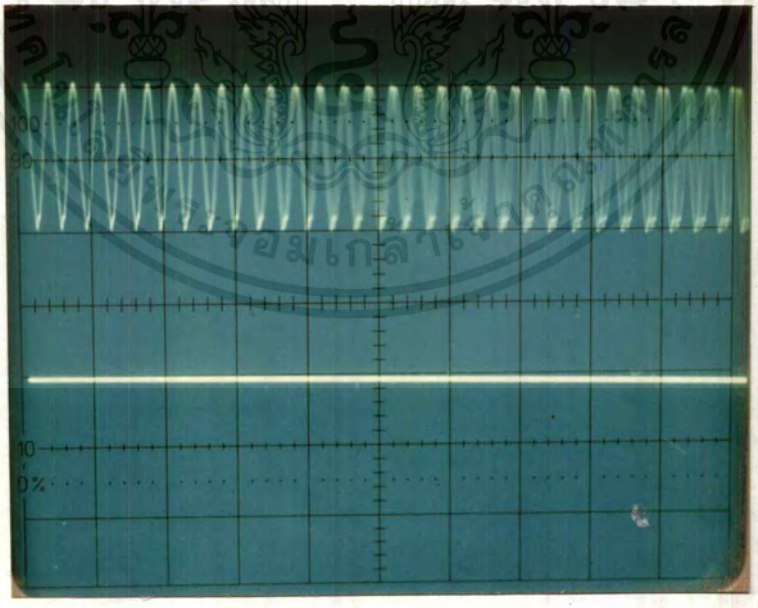


CH_1

CH_2

CH_1 สัญญาณเอาต์พุต Volts/Div = 0.1 V CH_2 สัญญาณอินพุต Volts/Div = 1 V

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div 0.5 mS



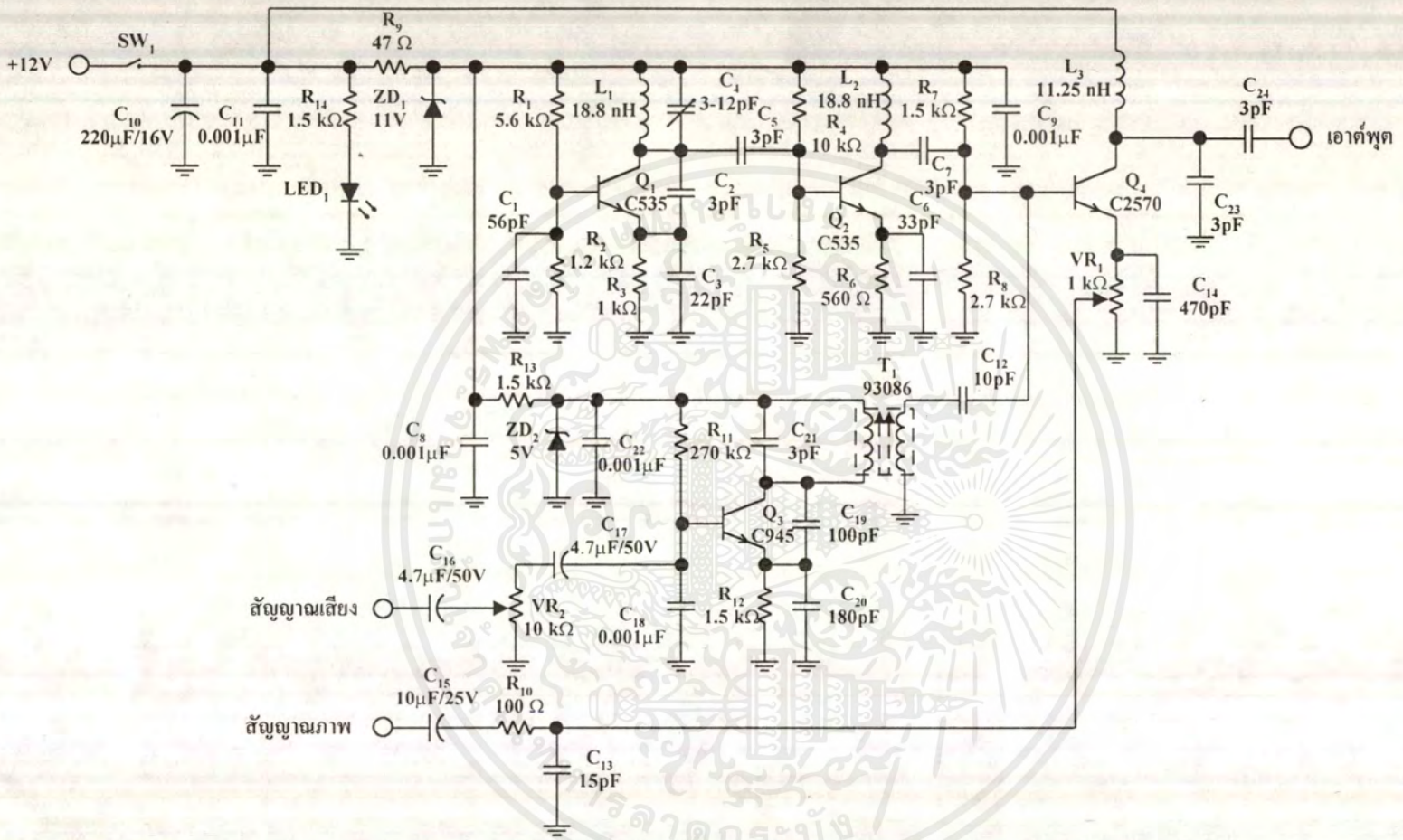
CH_1

CH_2

CH_1 สัญญาณเอาต์พุต Volts/Div = 0.1 V CH_2 สัญญาณอินพุต Volts/Div = 1 V

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div 0.5 μS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

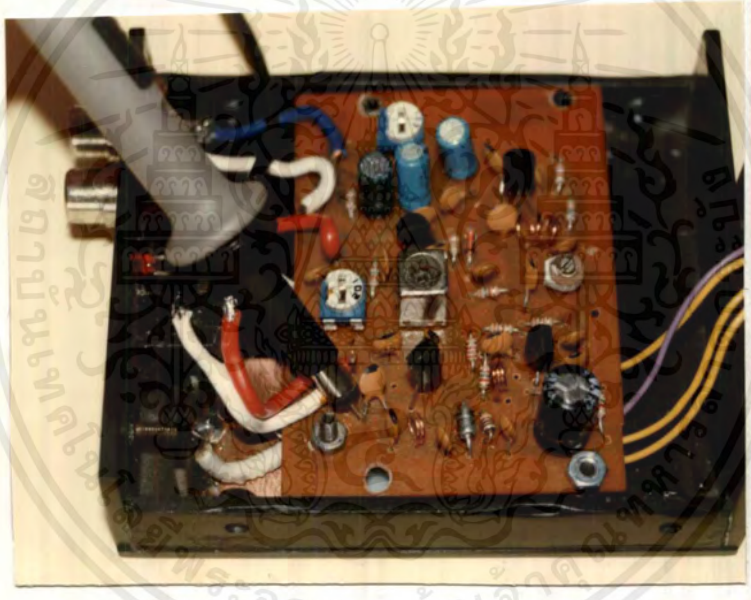


รูปที่ 4.11 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

4.2.5 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ป้อนสัญญาณภาพเข้าที่จุดอินพุตของภาพ และสัญญาณเสียงเข้าที่จุดอินพุตของเสียง
2. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจร
3. ปรับ VR_1 และ VR_2 ให้ได้สัญญาณภาพและสัญญาณชัดเจนที่สุด
4. ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณที่ C_{24} ก่อนส่งออกสายอากาศ จะได้สัญญาณที่มีความแรงสูงสุด และเป็นความถี่ที่ใช้งานอยู่ในย่าน UHF (ปรับ L_3 ช่วย)

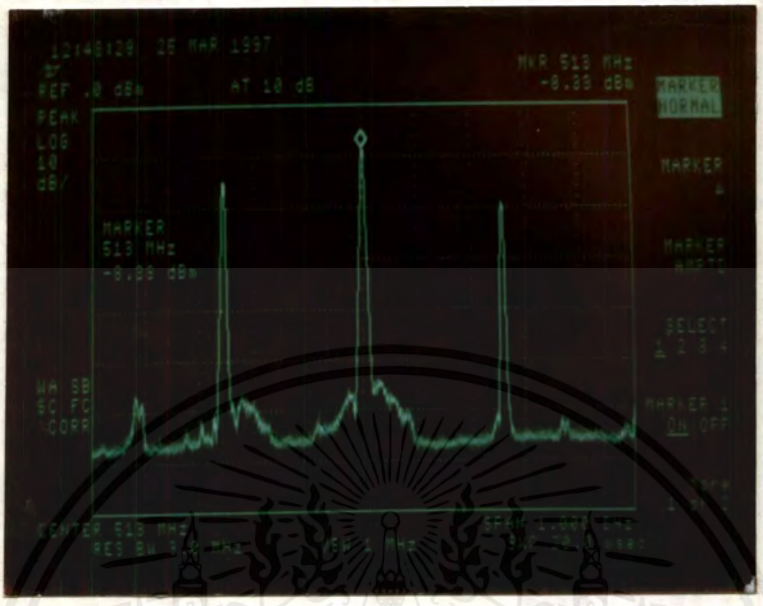


รูปที่ 4.12 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณคลื่นพาห์ที่ความถี่ 513 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งถูกขยายให้มีความแรงมากขึ้นเป็น -8.33 dBm โดยความถี่ข้างเคียงก็ถูกขยายด้วย แต่มีความแรงน้อยกว่า ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

4.3 การทดสอบเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ แบ่งการทดสอบออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

4.3.1 ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจร
2. ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณที่ C_{24} ก่อนส่งออกสายอากาศ
3. ปรับค่าความจุของทริมเมอร์ C_4 เพื่อให้ได้ความถี่ที่ให้กำลังส่งต่ำสุดจนถึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กำลังส่งที่ความถี่ใช้งานถี่ต่ำสุดจนถึงสูงสุด

ความถี่ (MHz)	กำลัง (dB_m)
465	-17.50
468	-16.00
472	-15.50
479	-14.88
483	-14.49
490	-13.38
497	-12.60
501	-11.90
508	-11.70
515	-11.70
522	-12.80
528	-13.30
536	-14.00
540	-16.47
548	-16.60
554	-17.15
560	-18.13
570	-18.23
580	-18.35
600	-17.49

4.3.2 กำลังของสัญญาณ และระยะทางในการส่ง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อสัญญาณเสียงเข้าที่อินพุตของเสียง และสัญญาณภาพเข้าที่อินพุตของภาพ
2. ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับเครื่องส่ง
3. เปิดสวิตช์ที่จุด ON ปรับสวิตช์เลือกกำลังส่งไปที่ L (ระดับกำลังส่งต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จูนความถี่ของเครื่องรับโทรทัศน์ให้รับสัญญาณได้ชัดเจนที่สุด

5. ใช้เครื่องวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Fields Strength Meter) วัดสัญญาณโดยเพิ่มระยะทางในการส่งขึ้นครั้งละ 10 เมตร

6. ปรับสวิตช์เลือกกำลังส่งไปที่ H (ระดับกำลังส่งสูง)

7. ใช้เครื่องวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าวัดสัญญาณโดยเพิ่มระยะทางในการส่งขึ้นครั้งละ 10 เมตร

8. ทดลองส่งสัญญาณข้ามห้อง โดยนำเครื่องวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปวัดสัญญาณที่ห้องใกล้เคียง ห่างกันประมาณ 10 เมตร

9. ทดลองส่งสัญญาณข้ามชั้น โดยนำเครื่องวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปวัดสัญญาณที่ชั้น 2 ตึกครุศาสตร์ (ส่งสัญญาณที่ชั้น 3) ห่างกันประมาณ 5 เมตร

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณ วันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2540 พบว่าในการส่งสัญญาณทั้งเช้า กลางวัน เย็น และกลางคืนมีค่าความแรงของสัญญาณไม่แตกต่างกันมากนักจึงนำเสนอผลการทดสอบ ณ เวลา 19.00 น.ด้วยความถี่ 513 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเมื่อปรับสวิตช์เลือกกำลังส่งไปที่ L และ H สามารถวัดความแรงของสัญญาณสัญญาณได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขณะส่งสัญญาณกำลังต่ำ

ระยะทาง (เมตร)	ความแรงของสัญญาณ (dBμV)	การลดทอนกำลัง (dB)
0	35	40
10	45	0
20	38	0
30	32	0
40	25	0
50	20	0
ข้ามห้อง 10 เมตร	30	0
ข้ามชั้น 5 เมตร	27	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขณะส่งสัญญาณกำลังสูง (H)

ระยะทาง (เมตร)	ความแรงของสัญญาณ (dBμV)	การลดทอนกำลัง (dB)
0	37	40
10	40	0
20	38	0
30	35	0
40	34	0
50	30	0
60	28	0
70	23	0
ข้ามห้อง 10 เมตร	35	0
ข้ามชั้น 5 เมตร	32	0

4.3.3 การรบกวนของสัญญาณ

ในการทดสอบการรบกวนของสัญญาณ สังเกตได้ขณะใช้งาน การรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้นดังนี้

1. เมื่อมีคนเดินผ่านเครื่องส่ง จะทำให้ภาพที่รับไม่ชัดเจน หรือเกิดเป็นภาพล้ม

2. สัญญาณรบกวนจากภายนอกมีผลต่อความถี่ที่ใช้งาน เช่น สัญญาณรบกวนจากสว่านไฟฟ้า และเครื่องเชื่อมโลหะ เป็นต้น

3. การสะท้อนของสัญญาณภายในห้อง

4.4 สรุป

จากการทดสอบเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอพบว่าเครื่องส่งสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถส่งสัญญาณที่ระดับกำลังส่งต่ำ และสูงได้ แต่อาจเกิดสัญญาณรบกวนจากคนที่เดินผ่าน, สว่านไฟฟ้า, เครื่องเชื่อมโลหะ และการสะท้อนของสัญญาณภายในห้องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ โดยการนำสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงจากกล้องวิดีโอ มาทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ ย่าน UHF แล้วแพร่คลื่นออกอากาศไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

ส่วนสำคัญของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ ได้แก่ วงจรผลิตความถี่ และวงจรขยายกำลัง กล่าวคือ วงจรผลิตความถี่จะต้องมีเสถียรภาพสูง เพื่อให้ผลิตความถี่ที่มีค่าคงที่ ส่วนวงจรขยายกำลังจะต้องสามารถขยายกำลังได้สูง เพราะวงจรนี้มีผลต่อระยะทางในการส่งสัญญาณ

จากการทำงานของวงจรต่างๆ เหล่านี้ ทำให้สามารถใช้ความถี่วิทยุ ย่าน UHF ส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์แทนการเดินสายนำสัญญาณได้ สามารถเคลื่อนย้ายกล้องวิดีโอไปยังตำแหน่งต่างๆ ในรัศมี 50 เมตร (กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง) โดยสามารถรับสัญญาณภาพ และเสียงได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถเลือกระดับกำลังส่งออกอากาศ (สูงหรือต่ำ) ได้ อีกทั้งยังมีขนาดเล็กสะดวกในการพกพาอีกด้วย

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

1. ทำให้ได้รับความรู้ ความเข้าใจ การทำงานของระบบการส่งสัญญาณภาพ และเสียงทางคลื่นความถี่วิทยุ

2. ได้ผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

3. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

4. นำเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอไปใช้งานจริงร่วมกับกล้องวิดีโอและเครื่องรับโทรทัศน์ได้

5. มีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน

6. สามารถส่งสัญญาณจากกล้องถ่ายวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์หลายเครื่องได้พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำให้เกิดทักษะทางด้านการทำงาน ทั้งทางด้านทฤษฎี และปฏิบัติ

8. ทำให้สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และเกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการทำงาน

9. ทำให้ได้รับประสบการณ์ในการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

10. เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจศึกษา และพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.3 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

จากผลการทดลองการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ ปรากฏว่าสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ จากการทดสอบทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น สรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. ไม่มีออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณความถี่ย่าน UHF จึงไม่สามารถตรวจสอบสัญญาณที่ส่งออกอากาศได้

การแก้ปัญหา ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่ย่าน UHF แทน

2. ย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณเป็นย่านความถี่ที่กว้างมาก (อยู่ในช่วง 450 ถึง 550 เมกะเฮิรตซ์) จึงเกิดสัญญาณรบกวนข้ามช่องได้ง่าย ทำให้ได้กำลังส่งออกอากาศลดลง

การแก้ปัญหา จำกัดย่านความถี่ให้แคบที่สุด โดยการออกแบบวงจรผลิตความถี่คลื่นพาหะให้มีย่านความถี่แคบๆ เพื่อป้องกันการรบกวนข้ามช่อง

3. กำลังของสัญญาณที่ส่งออกอากาศลดลง เมื่อส่งระยะทางไกลๆ เนื่องจากวงจรขยายมีกำลังส่งไม่พอ

การแก้ปัญหา เพิ่มกำลังขยายสัญญาณภาคสุดท้ายให้สูงขึ้น โดยเปลี่ยนทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณ

4. เกิดการรบกวนของสัญญาณ โดยเฉพาะที่วงจรผลิตความถี่ จะถูกกวนจากภายนอกและมีผลต่อเสถียรภาพของวงจรเป็นอย่างมาก

การแก้ปัญหา ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพสูง (ใช้แบบ FGE#10) และป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น โดยการชีลด์ในส่วนของวงจรผลิตความถี่

5. ไม่สามารถใช้แรงดันจากแบตเตอรี่ของกล้องวิดีโอได้ เนื่องจากกล้องวิดีโอแต่ละรุ่นใช้ขั้วต่อแบตเตอรี่ไม่เหมือนกัน จึงมีคุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหา ใช้ตัวปรับแรงดัน 12 โวลต์ของกล้องวิดีโอ และสร้างแบตเตอรี่แบบพกพาขึ้นเอง แต่มีความจุกระแสน้อย จึงใช้งานได้ไม่นาน (ส่งสัญญาณออกอากาศต่อเนื่องได้ไม่เกิน 1 ชั่วโมง)

5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

โครงงานที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำงานได้ตามขีดความสามารถที่กำหนดไว้ แต่สามารถที่จะพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอได้อีก ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาโดยการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณให้มากขึ้น จะได้ระยะทางในการส่งไกลขึ้น เป็นผลให้สามารถนำเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอนี้ไปใช้งานในพื้นที่กว้างๆ ได้

2. พัฒนาให้ขนาดวงจรเล็กลง เพื่อความสะดวกในการพกพา และเพิ่มการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. พัฒนาให้วงจรใช้กระแสไฟฟ้าน้อยลง เพื่อให้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้เป็นเวลานานขึ้น

4. พัฒนาให้สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องเล่นวิดีโอ เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เครื่องเล่นวิดีโอเกมส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแนวทางในการพัฒนานี้ หากมีผู้สนใจ และต้องการศึกษาระบบการทำงาน และพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป โครงงานนี้จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ระบบโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโทรทัศน์

ระบบโทรทัศน์สำคัญๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วโลกขณะนี้มีอยู่ 3 ระบบ คือ ระบบ NTSC, ระบบ SECAM และระบบ PAL ซึ่งแม้ว่าประเทศต่างๆ จะรับระบบนี้ไว้เป็นมาตรฐานในกิจการโทรทัศน์ของประเทศตน แต่รายละเอียดอื่นๆ ของระบบอาจมีความแตกต่างกันออกไปได้อีก โดยทั่วไป ประเทศที่ใช้ระบบไฟฟ้าจ่ายตามบ้านแบบ 50 เฮิรตซ์ จะใช้อัตราความถี่กวาดแนวดิ่งเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งจำนวนเฟรม (Frame) ต่อวินาทีจะเป็น 25 เฟรม และ 30 เฟรมต่อวินาที

ประเทศไทยใช้ระบบ PAL ซึ่งเป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในประเทศภาคพื้นยุโรป คือ 625 เส้นต่อ 1 เฟรม และ 25 เฟรมต่อวินาที

มีข้อสังเกตว่า ทุกระบบจะใช้วิธี odd-line interlacing (คือ 2 ภาพย่อย ประกอบเป็น 1 เฟรม) ค่า aspect ratio เท่ากับ 4 ต่อ 3 และการมอดูเลตของสัญญาณภาพเป็นแบบ AM โดยมัลติเพล็กซ์สัญญาณสีด้วยพาหะรอง

ตารางที่ 1 มาตรฐานระบบโทรทัศน์ของประเทศต่างๆ

มาตรฐาน	ประเทศในแถบอเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ สหรัฐอเมริกา แคนาดา เม็กซิโก และญี่ปุ่น	ประเทศในแถบยุโรป ตะวันตก เยอรมัน อิตาลี และสเปน	อังกฤษ	ฝรั่งเศษ	รัสเซีย
เส้นต่อเฟรม	525	625	625	625	625
เฟรมต่อวินาที	30	25	25	25	25
ความถี่ภาพย่อย (Hz)	60	50	50	50	50
ความถี่เส้น (Hz)	15,750	15,625	15,625	15.625	15,625
ความกว้างภาพ (MHz)	4.2	5 หรือ 6	5.5	6	6
ความกว้างช่อง (MHz)	6	7 หรือ 8	8	8	8
มอดูเลตภาพ	-	-	-	+	-
สัญญาณเสียง	FM	FM	FM	FM	FM
ระบบโทรทัศน์สี	NTSC	PAL	PAL	SECAM	SECAM
คลื่นพาหะรองสี (MHz)	3.58	4.43	4.43	4.43	4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ความถี่มาตรฐานของช่องสัญญาณโทรทัศน์ (ระบบอเมริกัน : FCC)

ย่านความถี่	ช่อง	พาหะภาพ (MHz)	พาหะเสียง (MHz)
VHF	A2	55.25	59.75
	A3	61.25	65.75
	A4	67.25	71.75
	A5	77.25	81.75
	A6	83.25	87.75
	A7	175.25	179.75
	A8	181.25	185.75
	A9	187.25	191.75
	A10	193.25	197.75
	A11	199.25	203.75
	A12	205.25	209.75
	A13	211.25	215.75
UHF	A14	471.25	475.75
	A15	477.25	481.75
	A16	483.25	487.75
	A17	489.25	893.75
	A18	495.25	899.75
	A19	501.25	505.75
	A20	507.25	511.75
	A21	513.25	517.75
	A22	519.25	523.75
	A23	525.25	529.75
	A24	531.25	535.75
	A25	537.25	541.75
	A26	543.25	547.75
	A27	549.25	553.75
	A28	555.25	559.75
	A29	561.25	565.75
	A30	569.25	571.75
	A31	573.25	577.75
	A32	579.25	583.75
	A33	585325	589.75
	A34	591.25	595.75
	A35	597.25	601.75
	A36	603.25	607.75
	A37	609.25	613.75
	A38	615.25	619.75
	A39	621.25	625.75
	A40	627.25	631.75
	A41	633.25	637.75
	A42	639.25	643.75

ย่านความถี่	ช่อง	พาหะภาพ (MHz)	พาหะเสียง (MHz)
UHF	A43	645.25	649.75
	A44	651.25	655.75
	A45	657.25	661.75
	A46	663.25	667.75
	A47	669.25	673.75
	A48	675.25	679.75
	A49	681.25	685.75
	A50	687.25	691.75
	A51	693.25	697.75
	A52	699.25	703.75
	A53	705.25	709.75
	A54	713.25	715.75
	A55	717.15	721.75
	A56	723.25	727.75
	A57	729.25	733.75
	A58	739.25	739.75
	A59	741.25	745.75
	A60	747.25	751.75
	A61	753.25	757.75
	A62	759.25	763.75
	A63	765.25	769.75
	A64	771.25	775.75
	A65	777.25	781.75
	A66	783.25	787.75
	A67	789.25	793.75
	A68	795.25	799.75
	A69	801.25	805.75
	A70	807.25	811.75
	A71	813.25	817.75
	A72	819.25	823.75
	A73	825.25	829.75
	A74	831.25	835.75
	A75	837.25	841.75
	A76	843.25	847.75
	A77	849.25	853.75
	A78	855.25	859.75
		816.25	865.75
	A80	867.25	871.75
	A81	873.25	877.75
	A82	879.25	883.75
	A83	885.25	889.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบโทรทัศน์

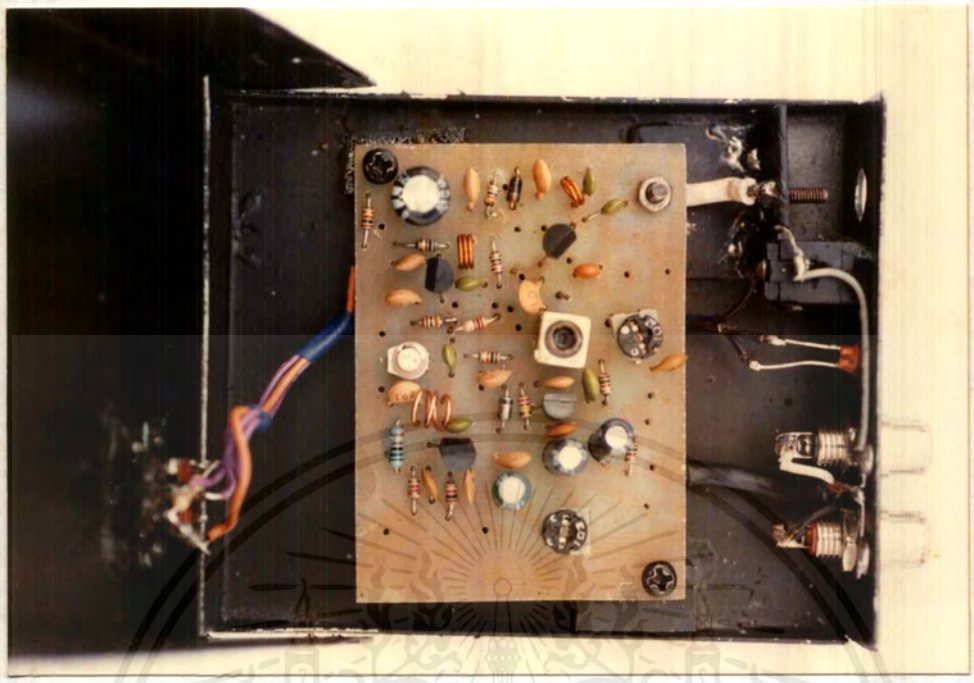
คุณสมบัติ	PAL B	PAL G	PAL H	PAL I	PAL M	PAL N	NTSC M	SECAM III
พาหะรองสี (Hz)	4,433618.75	4,433618.75	4,433618.75	4,433618.75	3,575611.49	3,5820625	3,579545	f_R 4,40625 f_{BI} 4,25000
พาหะเสียงห่างจากพาหะภาพ (MHz)	5.5	5.5	5.5	5.9996	4.5	4.5	4.5	6.5
ความถี่เส้น (lines/second)	15625	15625	15625	15625	15734.265	15625	15734.265	15625
ความถี่เฟรม (picture/second)	50	50	50	50	59.94	50	59.94	50
ลูมิแนนซ์	สัญญาณภาพมอดูเลตแบบ AM ลบ (ยอดซิงก์เท่ากับ 100 เปอร์เซนต์							สัญญาณภาพมอดูเลตแบบ AM (ยอดซิงก์เท่ากับ 0)
โครมิแนนซ์	เป็นสัญญาณ AMDSBSC 2 สัญญาณความถี่เท่ากันแต่เฟสต่างกัน 90 องศา							เป็นสัญญาณ FM 2 สัญญาณความถี่ไม่เท่ากันส่งมาทีละเส้นสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า

ภาคผนวก ข

รูปต้นแบบของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

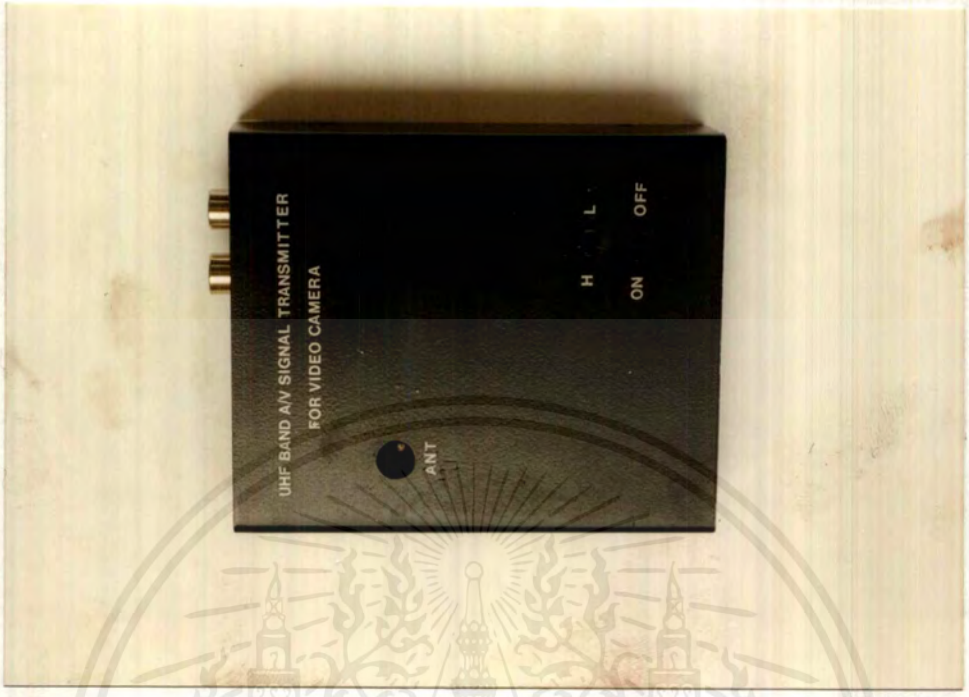
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 การจัดวางอุปกรณ์ภายใน

รูปที่ 2 ด้านหน้าของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ด้านบนของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

รูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 การต่อสายอากาศด้านหน้า

รูปที่ 6 การต่อสายอากาศด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

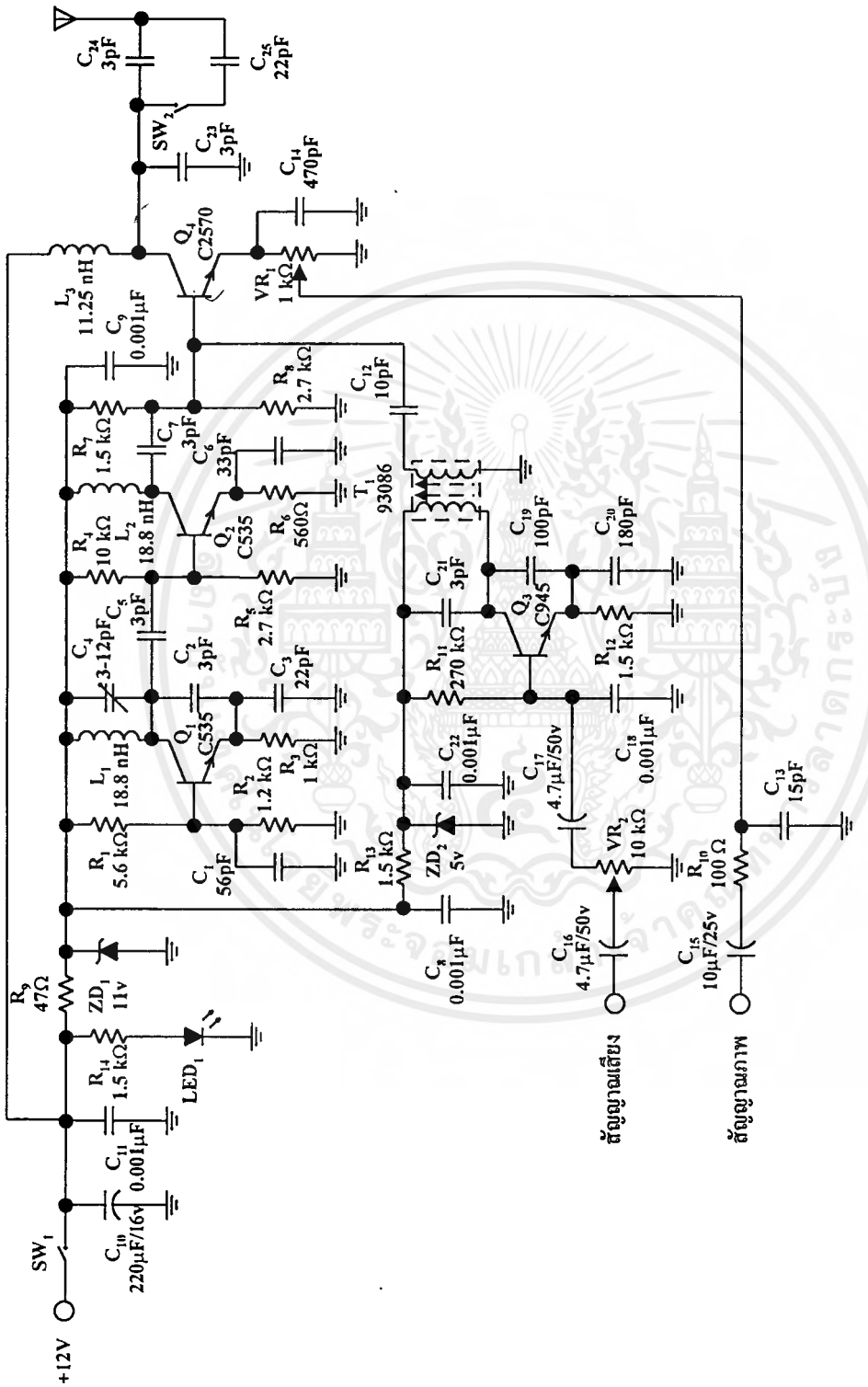
รูปที่ 7 การต่อสายนำสัญญาณ A/V และการต่อแบตเตอรี่กับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

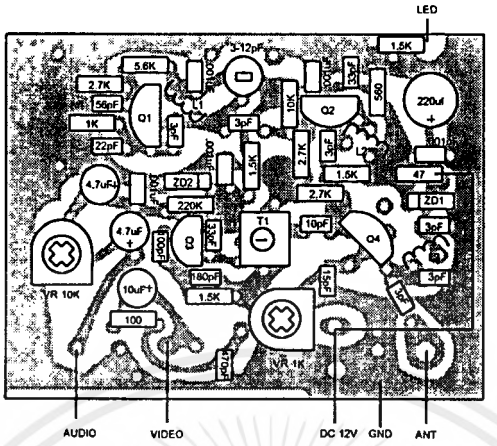
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

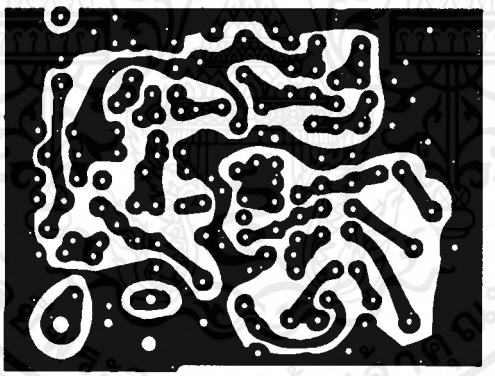


วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ด้านการวางอุปกรณ์



แผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/หรือเบอร์	จำนวน
R_1		5.6 kΩ 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_2		1.2 kΩ 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_3		1 kΩ 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_4		10 kΩ 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_5, R_8		2.7 kΩ 1/8 W ± 5%	2 ตัว
R_6		560 Ω 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_7, R_{12}, R_{13}, R_{14}		1.5 kΩ 1/8 W ± 5%	4 ตัว
R_9		47 Ω 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_{10}		100 Ω 1/8 W ± 5%	1 ตัว
R_{11}		270 kΩ 1/8 W ± 5%	1 ตัว
VR_1		1 kΩ	1 ตัว
VR_2		10 kΩ	1 ตัว
C_1	เซรามิก	56 pF	1 ตัว
C_2, C_5, C_7, C_{21}, C_{23}, C_{24}	เซรามิก	3 pF	6 ตัว
C_3,	เซรามิก	22 pF	1 ตัว
C_4	ทริมเมอร์	3-12 pF	1 ตัว
C_6,	เซรามิก	33 pF	1 ตัว
C_8, C_9, C_{11}, C_{18}, C_{22}	เซรามิก	0.001 µF	5 ตัว
C_{10}	อิเล็กทรอไลต์	220 µF 16v	1 ตัว
C_{12}	เซรามิก	10 pF	1 ตัว
C_{13}	เซรามิก	15 pF	1 ตัว
C_{14}	เซรามิก	470 pF	1 ตัว
C_{15}	อิเล็กทรอไลต์	10 µF 25v	1 ตัว
C_{16}, C_{17}	อิเล็กทรอไลต์	4.7 µF 50v	2 ตัว
C_{19}	เซรามิก	100 pF	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/หรือเบอร์	จำนวน
C_{20}	เซรามิก	180 pF	1 ตัว
Q_1, Q_2		C535	2 ตัว
Q_3		C945	1 ตัว
Q_4		C2570	1 ตัว
ZD_1		11V	1 ตัว
ZD_2		5V	1 ตัว
LED_1			1 ตัว
SW_1, SW_2			2 ตัว
สายอากาศ			1 ต้น
แจ็ค RCA			1 คู่
แจ็คอะแดปเตอร์			1 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

T_1	คอล์ยฟอร์ม 6 mm แบบกระป๋อง FM	1 ตัว
L_1, L_2, L_3	ลวดอาบน้ำยาเบอร์ 23	3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

คำแนะนำการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำแนะนำการใช้เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

อุปกรณ์ที่ต้องการ

1 เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอพร้อมสายนำสัญญาณสายต่อแบตเตอรี่ และสายอากาศ

2. เครื่องรับโทรทัศน์ระบบ PAL แบบจูนคลื่นความถี่ได้

3. กล้องวิดีโอระบบ VHS ที่มีขั้วต่อ A/V

สิ่งที่ควรรู้เกี่ยวกับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

1. เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอใช้ส่งสัญญาณในระยะ 50 เมตร ระดับกำลังส่งสูง (H) หากระยะการส่งน้อยกว่า 30 เมตรให้ปรับกำลังส่งเป็นระดับต่ำ (L) เพื่อไม่ให้สัญญาณไปรบกวนเครื่องรับโทรทัศน์ในพื้นที่ใกล้เคียง

2. ไม่ควรใช้เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน หรือสิ่งกีดขวางมาก เนื่องจากความถี่ย่าน UHF มีการแพร่กระจายในระดับสายตาจะทำให้รับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน

3. เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องเล่นวิดีโอ และเครื่องเล่นวิดีโอเกมได้ (มีขั้วต่อA/V)

ขั้นตอนการใช้งานเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

1. ต่อสายนำสัญญาณ A/V ของกล้องวิดีโอเข้ากับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอ

2. ต่อแบตเตอรี่ และสายอากาศ

3. เปิดสวิตช์กล้องวิดีโอ และเครื่องส่ง

4. เปิดสวิตช์เครื่องรับโทรทัศน์จูนความถี่ให้ตรงกับช่องที่รับสัญญาณได้ชัดเจนที่สุด

5. เริ่มใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 การเชื่อมต่อเครื่องส่งกับกล้องวิดีโอ

รูปที่ 2 การเชื่อมต่อเครื่องส่งกับเครื่องเล่นวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายประยุทธ ตรงสถิตย์
วัน เดือน ปีเกิด	5 พฤศจิกายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพฯ
ภูมิลำเนาเดิม	145/18 ซ.18 หมู่บ้านสัมมากร หมู่ 3 ถ.สุขาภิบาล 3 แขวงสะพานสูง เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240
ที่อยู่ปัจจุบัน	145/18 ซ.18 หมู่บ้านสัมมากร หมู่ 3 ถ.สุขาภิบาล 3 แขวงสะพานสูง เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240
โทรศัพท์	373-2351

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนโสมาภานุสรณ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ประกาศนียบัติวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ประกาศนียบัติวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	ไม่มีชัยชนะอันใดจะยิ่งใหญ่กว่าชัยชนะตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวปราณี จันพลา
วัน เดือน ปีเกิด	3 มิถุนายน 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดอ่างทอง
ภูมิลำเนาเดิม	47 หมู่ 6 ต.จำปาหล่อ อ.เมือง จ.อ่างทอง 14000
ที่อยู่ปัจจุบัน	47 หมู่ 6 ต.จำปาหล่อ อ.เมือง จ.อ่างทอง 14000
โทรศัพท์	-

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดจำปาหล่อ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนจำปาหล่อพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	คนเข้มแข็งเท่านั้นที่อยู่รอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายรังสรรค์ สุวรรณภักดี
วัน เดือน ปีเกิด	19 มิถุนายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดเลย
ภูมิลำเนาเดิม	9 หมู่ 1 ต.เอราวัณ กิ่ง อ. เอราวัณ จ.เลย 42220
ที่อยู่ปัจจุบัน	9 หมู่ 1 ต.เอราวัณ กิ่ง อ. เอราวัณ จ.เลย 42220
โทรศัพท์	042-813600

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านวังเลา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเอราวัณวิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคเลย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคเลย
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายวิมล รัตนคช
วัน เดือน ปีเกิด	29 เมษายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ภูมิลำเนาเดิม	161/10 ต.ควรกรด อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช 80110
ที่อยู่ปัจจุบัน	60/237 ซ.1/1 หมู่ 5 ถ.พระยาสุเรนทร์ แขวงบางชัน เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510
โทรศัพท์	517-8454

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดวังขรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	มันไม่ง่ายกับชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. จุฑามาศ อุดมศิลป์, บัณฑิต กิจสิพงษ์, วัชระ บริรักษ์เลิศ และ เลิศฤทธิ์ สงวนชม. "**เครื่องส่งโทรทัศน์ย่าน ยู. เอช. เอฟ.**", ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2533, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, ภาควิชาครุศาสตรวิศวกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และ พิชัย ภักดีพานิชเจริญ. "**ระบบสื่อสารวิทยุ**",โครงการตำราเรียน PHYSICS CENTER, หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
3. บรรเจิด ตันติกลยาภรณ์. "เครื่องรับส่ง เล่ม 2"
4. ประกิจ ตังติสานนท์. "**เทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์**," คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เมษายน 2532
5. _____. "**วิศวกรรมการสื่อสาร ไฟฟ้าอิเล็คทรอนิคส์**", คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. พิสิฐ สกุลสันติพร, ไพบูลย์ หลายกิจพานิช, สมศักดิ์ ชัยเดช และ สารสิน จุฬาปกรณ์. "**เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี**", ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2538, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, ภาควิชาครุศาสตรวิศวกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
7. สมศักดิ์ เตชะเศรษฐ์ธนะ และ สุชาติ กังวารจิตต์. "**ทฤษฎีและการปฏิบัติโทรทัศน์สีระบบ PAL**", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2531
8. เสงี่ยม เผ่าทองสุข. "**คู่มือวิทยุสมัครเล่น**", บริษัทอีเลคทรอนิคส์เวิลด์ จำกัด, พิมพ์ครั้งแรก,กรกฎาคม 2526
9. KG Jackson, GB Townsend with specialist contributors. "**TV&VIDEO ENGINEER'S REFERENCE BOOK**", paperback edition 1994, Butterworth-Heinemann Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้