

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เครื่องส่งโทรทัศน์ ย่านวีเอชเอฟ ช่อง10 การ์ดแบน กำลังส่ง 30 วัตต์  
30 WATT CHANNEL 10 ( GUARD BAND ) VHF TELEVISION TRANSMITTER**



เลขที่.....  
เลข.....  
วัน,เดือน,ปี 29 ก.ค. 2551

.....  
b.....  
.....

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**30 WATT CHANNEL 10 ( GUARD BAND ) VHF TELEVISION TRANSMITTER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องส่งโทรทัศน์ ย่านวีเอชเอฟ ช่อง10 การ์ดแบน กำลังส่ง 30 วัตต์  
ชื่อนักศึกษา นายสุภณัฐ โปธาราเจริญ รหัสนักศึกษา 48015595  
นายสมพร ศรีโสภာ รหัสนักศึกษา 48015597  
นายเทพฤทธิ์ สุภาชีพ รหัสนักศึกษา 48015760  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผ.ศ. สมภพ แก้วมีชัย  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ  
ปีการศึกษา 2550

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

( ผ.ศ. สมภพ แก้วมีชัย )

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องส่งโทรทัศน์ ย่านวีเอชเอฟ ช่อง 10 การ์ดแบน กำลังส่ง 30 วัตต์		
ชื่อนักศึกษา	นายสุภณัฐ	โพธาราเจริญ	รหัสนักศึกษา 48015595
	นายสมพร	ศรี โสกา	รหัสนักศึกษา 48015597
	นายเทพฤทธิ์	สุภาชีพ	รหัสนักศึกษา 48015760
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผ.ศ. สมภพ แก้วมีชัย		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

### บทคัดย่อ

เครื่องส่งโทรทัศน์ระบบ VHF แชนเนล 10 ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR), มอดูเลเตอร์ (MODULATOR) ที่ให้ Output 5.58 mV
2. ชุดภาคขยายสัญญาณ RF ( RF Power Amplifier ) จะมีอยู่ด้วยกัน 2 Stage ซึ่ง Stage แรก จะรับสัญญาณจาก Output ของชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ 5.58 mV และขยายให้มีกำลังส่ง 1 Watts และส่งให้เป็น Input ของ Stage ที่สอง ซึ่งมีกำลังขยายที่ Output 30 Watts
3. ชุดฟิลเตอร์ที่รับ Output จากภาคขยายสัญญาณ ( RF POWER AMPLIFIER ) เพื่อไม่ให้สัญญาณออกไปกวนช่องอื่นและช่องอื่นก็ไม่มารบกวนสัญญาณช่อง 10 แล้วส่งออกอากาศ

**Thesis Title** 30 Watt Channel 10 (Guard band) VHF Television Transmitter  
**Student** Mr. Suppanut Photharajarearn ID. 48015595  
Mr. Somporn Srisopha ID. 48015597  
Mr. Tepparit Supachep ID. 48015760  
**Advisor** Asst. Prof. Sompoph Kaewmechai  
**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering  
**Department** Information Engineering  
**Academic Year** 2008

### ABSTRACT

The television transmitter type of 10 Channel in VHF system has for 3 main

1. Oscillator, Modulator, Pre Amplifier which output equal to 5.58 mV.
2. RF power Amplifier which duties on receiving the signal from Oscillator 5.58 mV. to expanding. In this RF Power Amplifier section will have for 2 stages. For first stage will received signals which is the output of Pre Amplifier section and gaining to 1 Watts of power to be input of second stage to gain for 30 Watts.
3. Filter which duties on receiving the signal from RF power amplifier lest a signal goes out to stir other channel already export the air.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็ด้วยความร่วมมือและการช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่าน ผศ. สมภพ แก้วมีชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการนี้ ให้เป็นผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา และต้องขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก ซึ่งต้องขออภัยที่ไม่ได้กล่าวนามได้ทั้งหมด โดยทางผู้จัดทำหวังว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากทุกท่านอีกในโอกาสต่อไป

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ทางด้านการศึกษาและกำลังใจด้วยดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูปประกอบ	ง
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 องค์กรประกอบโดยรวมของโครงการ	2
1.5 วิธีดำเนินการโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 หลักการของระบบโทรทัศน	4
2.2 โครงสร้างของสัญญาณโทรทัศน	4
2.3 ความถี่ที่ใช้ในการส่งโทรทัศน	9
2.4 ฟิลเตอร์	13
2.4.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	14
2.4.2 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)	15
2.4.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter)	16
2.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR)	18
2.6 การวัดค่า VSWR	20
2.7 ชนิดและคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ	21
2.8 สายแบบใช้อากาศเป็นฉนวน	22
2.9 สายแบบเฟล็กซิเบิล (Flexible Line)	25
2.10 ข้อพิจารณาการเลือกใช้สาย	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การมอดูเลชัน	
3.1 ประเภทของการมอดูเลชัน	35
บทที่ 4 การแมทซ์ซิ่ง ( Matching ) ในระบบสายอากาศ	
4.1 การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด	41
4.2 ประโยชน์ของการแมทซ์ซิ่ง	42
4.3 การสะท้อนของคลื่นกับการแมทซ์ซิ่ง	44
4.4 การแมทซ์ซิ่งทางอิมพีแดนซ์ด้วยอุปกรณ์ RLC	44
4.5 วิธีการแมทซ์ซิ่งด้วยรูปตัว T และตัว $\pi$	45
4.6 การแมทซ์ซิ่งด้วยช่วงสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$	47
4.7 การแมทซ์ซิ่งด้วยสตัป	49
4.8 บาลันแบบลวดตัวนำขนาน	52
4.9 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ	53
4.10 การแมทซ์ซิ่งด้วยหลักการของไดโพล	54
4.11 แมทซ์ซิ่งรูปตัว T	55
4.12 แกมมาแมทซ์ซิ่ง	57
4.13 หม้อแปลงบาลัน	58
4.14 การออกแบบสายอากาศย่าน VHF CH 10	59
บทที่ 5 การออกแบบ	
5.1 คลาสวงจรรขยาย	65
5.1.1 วงจรรขยายคลาส A	67
5.1.2 วงจรรขยายคลาส B	74
5.1.3 วงจรรขยายคลาส AB	77
5.1.4 วงจรรขยายคลาส C	80
5.2 การศึกษาวงจรรขยาย	83
5.3 การออกแบบวงจรรขยายกำลังความถี่สูง	85
5.4 การหาค่าโหลดที่เหมาะสมที่สุด	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.5 วงจรป้องกันสำหรับวงจรขยายกำลังความถี่สูง	85
5.6 การออกแบบชุดฟิลเตอร์	87
5.6.1 สมการตามเงื่อนไขที่สมบูรณ์	88
5.6.2 การคำนวณกล่องสี่เหลี่ยม	92
5.6.3 การคำนวณกล่องสี่เหลี่ยมจากสูตร	93
<b>บทที่ 6 ผลการทดลองและระบบการทำงาน</b>	
6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์ VHF Ch 10 กำลังส่ง 30 W	98
6.2 ภาค Oscillator, Modulation	99
6.3 ทดลองวัดสัญญาณภาค Oscillator, Modulation	100
6.4 ภาค RF Power Pre Amplifier ได้กำลังขยาย Output 1 Watt	101
6.5 ภาค RF Power Amplifier ได้กำลังขยาย Output 30 Watts	102
6.6 การวัด Wave Form ของ ชุด Power Amplifier	106
6.7 การทดลองส่งออกอากาศ	108
6.8 การวัดค่าสัญญาณย้อนกลับ	110
6.9 ชุด Power Supply	111
6.10 สรุป	112
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานสัญญาณระบบ CCIR	4
รูปที่ 2.2 แสดง Response สัญญาณช่อง 10	5
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแบ่งเส้นสแกนของโทรทัศน์	5
รูปที่ 2.4 แสดง Vertical and Horizontal Sync	6
(ก) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กคิงทางแนวนอน	6
(ข) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กคิงทางแนวตั้ง	7
รูปที่ 2.5 สัญญาณแบล็กคิง	8
รูปที่ 2.6 แสดง Synchronizing Signal	9
รูปที่ 2.7 แสดงรูป Low pass Filter	13
รูปที่ 2.8 แสดงรูป High pass Filter	13
รูปที่ 2.9 แสดงรูป Band pass Filter	13
รูปที่ 2.10 แสดงรูป Band Reject Filter	14
รูปที่ 2.11 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	14
(ก) ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำ	14
(ข) กราฟของการกรองความถี่ต่ำ	14
รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)	15
(ก) ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูง	15
(ข) กราฟของการกรองความถี่สูง	15
รูปที่ 2.13 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter)	17
(a) ลักษณะของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง	17
(b) กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง	17
รูปที่ 2.14 แสดงโนโมกราฟของ VSWR	19
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสายโอเพ่น ( Open Wire )	22
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายที่มีตัวนำวางขนานกัน	23
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของสายที่ใช้อากาศเป็นฉนวน	24
รูปที่ 2.18 แสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายโคแอกเชียลที่มีอากาศเป็นฉนวน	25
รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างแบบต่างๆ ของเฟล็กซิเบิล	26
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงค่าการลดทอนในสายกับความถี่ใช้งาน	32

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.1 การโมดุลชันแบบไซด์แบนด์	36
รูปที่ 3.2 วิธีการกรอง	36
รูปที่ 3.3 วิธีการกำเนิดสัญญาณ SSB	37
รูปที่ 3.4 หลักการของระบบอาร์มสตรองในการสร้าง FM แบบแถบความถี่แคบ	38
รูปที่ 3.5 ตัวคูณความถี่เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบเป็นสัญญาณ FM แบบแถบความถี่กว้าง	39
รูปที่ 3.6 วงจรแวลูเอเบิลทรานสคอนดักแตนตอยู่ในการมอดูเลตแบบผลคูณ	39
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวงจรการมอดูเลตแบบ AM	39
รูปที่ 3.8 หลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบสวิทซ์ซิ่ง	40
รูปที่ 4.1 การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด	41
รูปที่ 4.2 การใช้เมทซ์ซิ่งเนทเวอร์ค	42
รูปที่ 4.3 การแมทซ์ซิ่งสายนำสัญญาณกับตัวสายอากาศ	43
รูปที่ 4.4 การแมทซ์ซิ่งรูปตัวแอล	44
รูปที่ 4.5 การแมทซ์ซิ่งเมื่อโหลดไม่ได้เป็นค่าตัวต้านทาน	45
รูปที่ 4.6 การแมทซ์ซิ่งด้วยวงจรรูปตัว T	46
รูปที่ 4.7 การแมทซ์ซิ่งรูปตัว $\pi$	46
รูปที่ 4.8 การแมทซ์ซิ่งด้วยสายยาว $\frac{1}{4\lambda}$	48
รูปที่ 4.9 สดับที่ใช้การแมทซ์ซิ่ง	49
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวของสดับแบบลัดวงจร	50
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการหาความยาวสดับแบบเปิดวงจร	51
รูปที่ 4.12 บาซูก้า บาตัน	52
รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลของบาซูก้าบาตัน	52
รูปที่ 4.14 บาตันชนิดตัวนำขนานความยาว $\frac{1}{4\lambda}$	53
รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลบาตันชนิดตัวนำขนาน	53

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูป	หน้า
รูปที่ 4.16 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ	54
รูปที่ 4.17 ไดโพลที่มีการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์	54
รูปที่ 4.18 แมทซ์ชิงรูปตัว T	55
รูปที่ 4.19 วงจรสมมูลรูปตัว T	55
รูปที่ 4.20 แมทซ์ชิงรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์	56
รูปที่ 4.21 วงจรสมมูลของแมทซ์ชิงรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์	57
รูปที่ 4.22 แกมม่าแมทซ์ชิง	57
รูปที่ 4.23 วงจรสมมูลของแกมม่าแมทซ์ชิง	58
รูปที่ 4.24 หม้อแปลงบาลัน	58
รูปที่ 4.25 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:1	59
รูปที่ 4.26 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:4	59
รูปที่ 4.27 รูปสัดส่วนประกอบต่างๆ ของสายอากาศ Yagi	60
รูปที่ 4.28 แบบสายอากาศ YAGI-UDA	60
รูปที่ 4.29 รูปแสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ	61
รูปที่ 4.30 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน VHF CH 10 ที่ได้ออกแบบมา	62
รูปที่ 4.31 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน VHF	62
รูปที่ 4.32 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน UHF	63
รูปที่ 5.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในวงจรขยายคลาสดต่างๆ	65
(ก) สัญญาณอินพุต	65
(ข) กระแส $I_c$ ที่ได้ของคลาสด A	66
(ค) กระแส $I_c$ ที่ได้ของคลาสด AB	66
(ง) กระแส $I_c$ ที่ได้ของคลาสด B	66
(จ) กระแส $I_c$ ที่ได้ของคลาสด C	66
รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดใหญ่ชนิด Class A	68
รูปที่ 5.3 กราฟเอาต์พุตแสดงเส้นโหลด DC และจุดทำงาน (Q)	69
รูปที่ 5.4 สัญญาณอินพุตถูกขยายออกเอาต์พุต	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
(ก) สัญญาณอินพุตเบา	70
(ข) สัญญาณอินพุตแรง	70
รูปที่ 5.5 วงจรสมมูลไฟ AC และ DC Load line ใช้หา AC Load line	72
(ก) วงจรขยายวิเคราะห์ในรูปสัญญาณไฟ AC	72
(ข) DC Load line	72
รูปที่ 5.6 DC Load line และ AC Load line	74
รูปที่ 5.7 วงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว	74
(ก) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงบวก	74
(ข) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงลบ	75
รูปที่ 5.8 วงจรขยายคลาส B ต่อวงจรแบบ พูช – พูล	75
รูปที่ 5.9 สัญญาณเอาต์พุตเกิดการบิดเบี้ยวระหว่างรอยต่อ	78
รูปที่ 5.10 วงจรขยายคลาส AB ต่อแบบพูช – พูล	78
รูปที่ 5.11 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส AB	79
รูปที่ 5.12 วงจรขยายคลาส AB ต่อแบบพูช – พูล ใช้ไดโอดเป็นไบอัสอัตโนมัติ	79
รูปที่ 5.13 วงจรขยายคลาส C และรูปสัญญาณที่วัดได้	80
(ก) วงจร	80
(ข) รูปคลื่นสัญญาณ	81
รูปที่ 5.14 ความถี่ที่กำเนิดขึ้นมาจากวงจรแพนค์ $L_2, C_2$	82
(ก) ความถี่พื้นฐาน	82
(ข) ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2	82
รูปที่ 5.15 แสดงวงจรป้องกันวงจรรักษาขยายกำลังเสียหาย จากการไม่แมชของโหลด และวงจรขยายกำลัง	86
รูปที่ 5.16 Passive Filter แบบ Helical resonator ดันแบบ 144 - 146 MHz	87
รูปที่ 5.17 แสดงสัญลักษณ์ของขดลวดที่นำมาทำทดลอง	87
รูปที่ 5.18 แสดงกล่องที่นำมาใส่ขดลวด	91
รูปที่ 5.19 ภาพตัดขวางกล่องที่นำมาใส่ขดทั้ง 3 ขด	91
รูปที่ 5.20 แสดงขนาดของกล่องและเส้นลวดที่ D= กว้าง 1.5 นิ้ว	94

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 5.21 แสดงขนาดของกล่องและเส้นลวดที่ D= กว้าง 2.0 นิ้ว	95
รูปที่ 5.22 แสดงขนาดของกล่องและเส้นลวดที่ D= กว้าง 1.2 นิ้ว	96
รูปที่ 6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์	98
รูปที่ 6.2 วงจร Oscillator, Modulation	99
รูปที่ 6.3 ป้อนสัญญาณภาพ 1.10 Vp – p	100
รูปที่ 6.4 ป้อนสัญญาณเสียง 1.26 Vp – p	100
รูปที่ 6.5 Output RF ที่จุด Modulation	101
รูปที่ 6.6 RF Power Pre Amplifier 1 Watt	101
รูปที่ 6.7 วงจร RF Power Pre Amplifier 1 Watt	104
รูปที่ 6.8 RF Power Amplifier	102
รูปที่ 6.9 วงจร RF Power Amplifier จะได้ RF Output 30 Watts	103
รูปที่ 6.10 RF Power Pre Amplifier คู่กับ RF Power Amplifier	103
รูปที่ 6.11 เมื่อลงกล่องสำเร็จ Power Amplifier	104
รูปที่ 6.12 ฟิลเตอร์ที่นำมาทดสอบแต่ละแบบ	104
รูปที่ 6.13 ANTENNA ที่เครื่องส่ง Ch.10	105
รูปที่ 6.14 ANTENNA ที่เครื่องรับโทรทัศน์	105
รูปที่ 6.15 การวัด Wave Form ของ จุด Power Amplifier เมื่อต่อคัมมีโพลด ได้ Gain การขยาย = -41.00 dBm	106
รูปที่ 6.16 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier ของคัมมีโพลดตัวที่ได้กำลังส่ง 29 Watts	106
รูปที่ 6.17 การวัด Wave Form ของจุด RF Power Amplifier ของ Antenna Gain การขยาย = -10.00 dBm	107
รูปที่ 6.18 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier ของ Antenna ได้กำลังส่งมากกว่า 50 Watts	107
รูปที่ 6.19 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 10	108
รูปที่ 6.20 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 9 ใส่ฟิเตอร์ F1	108
รูปที่ 6.21 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 11 (NBT) ใส่ฟิเตอร์ F1	109

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 6.22 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 9 ใต้ฟิลเตอร์ F2	109
รูปที่ 6.23 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 11 (NBT) ใต้ฟิลเตอร์ F2	110
รูปที่ 6.24 ชุด Power Supply ของ Pre-Amplifier และ Power Amplifier	111
รูปที่ 6.25 เครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบวีเอชเอฟ ช่อง 10 กำลังส่ง 30 วัตต์	111



# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความถี่วิทยุในประเทศไทย	10
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ FCC และ VHF	11
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ CCIR ย่าน VHF	11
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ CCIR ย่าน UHF	12
ตารางที่ 2.5 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลแสดงดังต่อไปนี้	29
ตารางที่ 2.6 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลแสดงดังต่อไปนี้	30
ตารางที่ 2.7 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลที่มีเปลือกหุ้มเป็นอะลูมิเนียม , โฟม ไดอิเล็กตริก	31
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดต่างๆ	65
ตารางที่ 5.2 แสดงแอมพลิฟายเออร์ในคลาสดต่างๆ	83
ตารางที่ 5.3 แสดงขนาดต่างๆของกล่องและขดลวดที่ได้คำนวณ	97

ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นยุคของข้อมูลและข่าวสาร ที่การสื่อสารครอบคลุมไปทั่วทุกหนทุกแห่ง ประเทศไทยก็เช่นเดียวกันมีความนิยมสื่อสารเป็นของตนเอง จึงได้มีการเร่งพัฒนาเทคโนโลยีบริการสื่อสารข้อมูลทั้งที่เป็น ข้อความ เสียง และภาพอย่างมีประสิทธิภาพ การติดต่อเชื่อมโยงหรือการติดต่อสื่อสารกับอีกซีกโลกหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปนั้น ในบางโอกาสก็ต้องอาศัยโทรศัพท์ ซึ่งเป็นสื่อที่นิยมทุกครอบครัว

ในส่วนของการสื่อสารด้านโทรศัพท์นั้น ไม่ว่าจะเป็นการแพร่ภาพและเสียง ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งก็คือ เครื่องส่งโทรศัพท์ หรือแม้แต่โทรศัพท์ในปัจจุบันนี้ที่กำลังนิยมกันก็คือ โทรศัพท์ที่ปรากฏภาพคู่สนทนาขณะคุยกัน ซึ่งทำให้เหมือนว่าคุยกันจริงๆ

การสร้างเครื่องส่งโทรศัพท์ระบบวีเอชเอฟ เป็นการเร่งพัฒนาเทคโนโลยี บริการสื่อสารข้อมูลที่เป็นข้อความ เสียงและภาพ โดยอาศัยความถี่ย่าน ซึ่งตรงกันช่อง 10 ถ้าถึงส่งไม่น้อยกว่า 30 วัตต์ ซึ่งในปัจจุบันสถานีโทรศัพท์ ได้ดำเนินงานประสบความสำเร็จ และมีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาโดยลำดับ จนถึงปัจจุบันมีสถานีโทรศัพท์ที่ดำเนินการแพร่ภาพออกอากาศ เป็นสถานีแม่ข่ายอยู่ในส่วนกลาง 6 สถานี คือ สถานีโทรศัพท์ช่อง 3 ช่อง 5 ช่อง 7 ช่อง 9 ช่อง 11 ช่อง ITV และยังมีสถานีโทรศัพท์ทั้งที่เป็นสถานีแม่ข่าย และสถานีถ่ายทอดสัญญาณในส่วนภูมิภาคอีกจำนวนมาก โดยในการใช้จับของช่อง 10 นั้น เป็นช่องที่วางอยู่ สำหรับประเทศไทย ใช้ความถี่ตามมาตรฐานของยุโรป (European Standard) หรือเรียกว่า CCIR (Comite Consultatif Internation Des Radio Communication) ซึ่งกำหนดช่วงความถี่สำหรับกิจการโทรศัพท์ ยกตัวอย่างความถี่ของโทรศัพท์ช่อง 5 ความถี่ของพาหภาพ 175.25 MHz คลื่นพาหเสียง 180.75 MHz ช่วงความถี่ช่อง 5 ถึงช่อง 12 เรียกว่าคลื่น VHF (Very High Frequency) ช่วงความถี่ตั้งแต่ช่อง 21 ถึง ช่อง 83 เรียกว่าคลื่น UHF (Ultra High Frequency) การส่งโทรศัพท์ในประเทศไทยปัจจุบัน เช่น ช่อง 5, 7, 9 และ 11 ใช้ช่วงคลื่น VHF ทำให้ส่งโทรศัพท์ได้จำนวนจำกัด ดังนั้นสถานีโทรศัพท์ ที่จะก่อสร้างเพิ่มขึ้นในอนาคต จึงต้องหันไปใช้ความถี่ช่วง UHF ซึ่งความถี่ช่วง UHF นั้นตามกฎหมายสำนักงาน กทช. จะมีการเสีค่าสัมปทาน แต่ในย่าน VHF นั้นยังไม่มีมีการเสีค่าสัมปทาน โดยจะนำช่อง Guard band VHF Ch 10 นำมาวิจัยส่วนของ FILTER ไม่ให้มีสัญญาณถูกรบกวน โดยช่อง 9 และช่อง 11 และเครื่องส่ง ช่อง 10 ก็ต้องไม่มีสัญญาณไปรบกวน ช่อง 9 และ ช่อง 11 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโครงการเรื่องเครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบ วีเอชเอฟ ก็เพื่อที่จะศึกษาถึงระบบต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องส่งรวมทั้งการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ อาจจะเป็นในกิจการของ สถาบัน เช่น งานลาดตระเวนวิทยุ งานถ่ายทอดพิธีพระราชทานปริญญาบัตร เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบ วีเอชเอฟ กำลังส่ง 30 วัตต์ โดยใช้ การ์ดแบน (ช่องความถี่ที่วางอยู่) คือช่อง 10
- 1.2.2 เพื่อใช้ช่องสัญญาณที่เหลือ ที่มีอยู่อย่างจำกัด ในระบบ วีเอชเอฟ อย่างคุ้มค่า
- 1.2.3 เพื่อศึกษาถึงระบบการทำงานต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องส่งโทรทัศน์ระบบ วีเอชเอฟ แชนนอล 10
- 1.2.4 เพื่อศึกษาเทคนิคการบีบอัดหรือการฟิลเตอร์ช่องสัญญาณ ให้อยู่ในแชนนอลที่ต้องการส่ง โดยไม่ไปรบกวนช่องข้างเคียง
- 1.2.5 สามารถที่จะดำเนินเป็นงานการค้า คือรับจัดตั้งสถานีโทรทัศน์ชุมชน ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 30 วัตต์ ตามกฎหมายกำหนด และมีความถี่ของการส่งออกอากาศ ที่ไม่ไปซ้ำซ้อนกับสถานีที่ส่งอยู่ก่อน
- 1.2.6 เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอน ในเรื่องการแพร่กระจายคลื่น ระบบเครื่องส่งโทรทัศน์
- 1.2.7 เพื่อวัดคุณสมบัติต่างๆ ในเครื่องรับโทรทัศน์
- 1.2.8 เพื่อศึกษาเทคนิคการแก้ปัญหาและใช้ย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประโยชน์สูงสุด

## 1.3 ขอบเขตของงาน

- 1.3.1 ชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILATOR) VHF CH. 10
- 1.3.2 ชุดภาคขยายสัญญาณ RF ( RF POWER AMPLIFIER )
- 1.3.3 ชุดฟิลเตอร์
- 1.3.4 Power Supply 28 V , 1 A และ 28 V , 5 A

## 1.4 องค์ประกอบโดยรวมของโครงการ

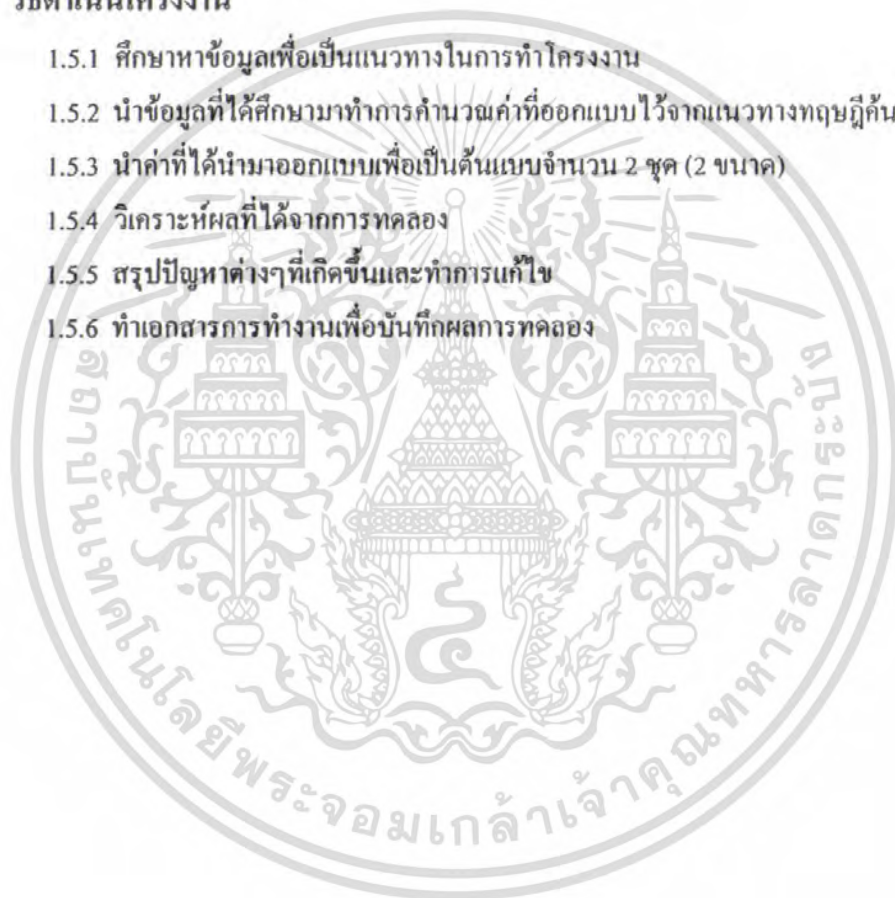
เครื่องส่งโทรทัศน์ระบบ VHF แชนนอล 10 ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.1 ชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR) , มอดูเลเตอร์ (MODULATOR) ที่ให้ Output 40 mV
- 1.4.2 ชุดภาคขยายสัญญาณ RF ( RF POWER AMPLIFIER ) จะรับสัญญาณที่ได้จาก ชุด วงจรออสซิลเลเตอร์ เพื่อทำการขยายให้มีกำลังส่ง Output 30 Watts
- 1.4.3 ชุดฟิลเตอร์ที่รับ Output จากภาคขยายสัญญาณ RF เพื่อไม่ให้สัญญาณออกไปกวน ช่องอื่นและช่องอื่นก็ไม่มารบกวนสัญญาณช่อง 10 แล้วส่งออกอากาศ

## 1.5 วิธีดำเนินโครงการ

- 1.5.1 ศึกษาหาข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการทำโครงการ
- 1.5.2 นำข้อมูลที่ได้ศึกษามาทำการคำนวณค่าที่ออกแบบไว้จากแนวทางทฤษฎีที่ค้นคว้าได้
- 1.5.3 นำค่าที่ได้นำมาออกแบบเพื่อเป็นต้นแบบจำนวน 2 ชุด (2 ขนาด)
- 1.5.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
- 1.5.5 สรุปปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นและทำการแก้ไข
- 1.5.6 ทำเอกสารการทำงานเพื่อบันทึกผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

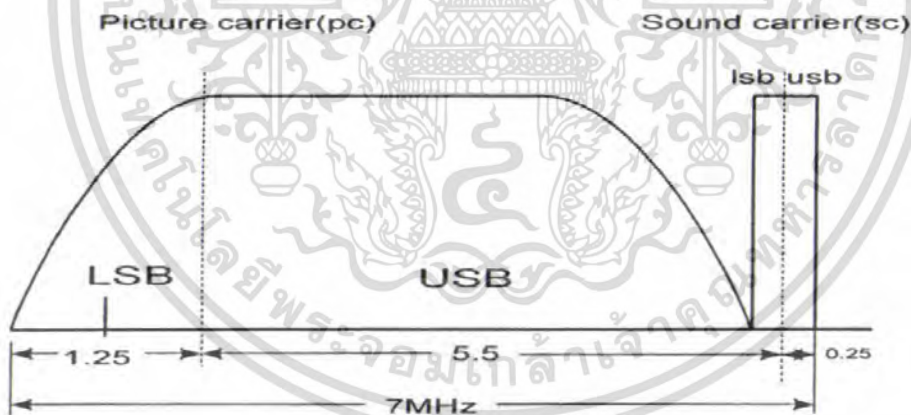
### ทฤษฎี

#### 2.1 หลักการของระบบโทรทัศน์

โทรทัศน์คือ การส่งกระจายเสียงพร้อมทั้งภาพที่เคลื่อนไหวนอกในรูปของสัญญาณโทรทัศน์ และทางด้านเครื่องรับมาเปลี่ยนเป็นภาพ และเสียงตามต้องการ ภาพที่เกิดขึ้นบนจอโทรทัศน์ จะประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆจำนวนมากประกอบกันเข้าเป็นเส้นภาพ และเส้นภาพหลายๆเส้นประกอบเข้าเป็นภาพ ภาพที่เรามองเห็นในความเป็นจริงเป็นภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลายๆภาพ ต่อเวลาทำให้เรามองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหว

#### 2.2 โครงสร้างของสัญญาณโทรทัศน์

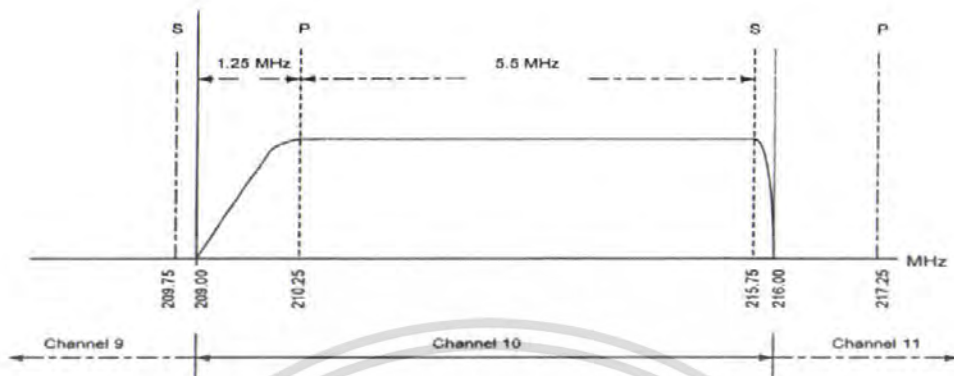
ตามมาตรฐานของ CCIR ซึ่งเป็นระบบโทรทัศน์ที่ใช้ในประเทศไทยจะมี BAND WIDTH 7 MHz ซึ่งประกอบด้วยคลื่นพาห้ภาพ (Picture Carrier) คลื่นพาห้ (Sound Carrier) และสัญญาณต่างๆอีก ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ลักษณะของ Response ของสัญญาณโทรทัศน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานสัญญาณระบบ CCIR

ในที่นี้เราได้ใช้ช่อง 10 ซึ่งมีความถี่ในช่วง 209 – 216 MHz ซึ่งมี Picture Carrier 210.25 MHz และ Sound Carrier 215.75 MHz ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.2

Channel 10  
(209-216 MHz)



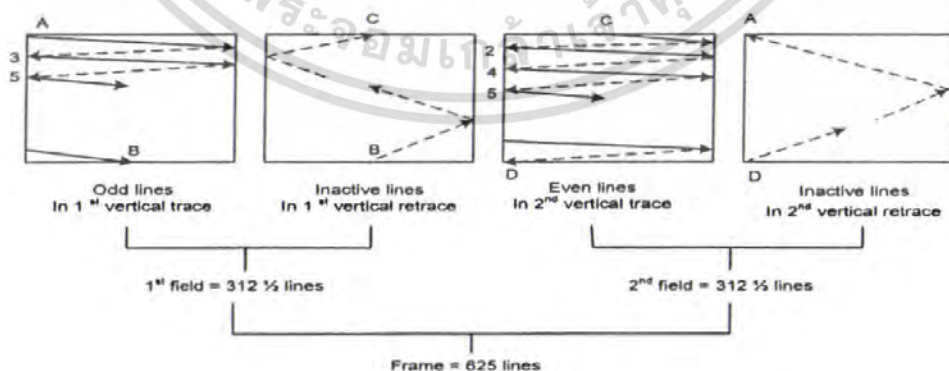
อัตรา 1:0.25MHz

รูปที่ 2.2 แสดง Response สัญญาณช่อง 10

### Composite Video Signal

การทำงานของระบบโทรทัศน์จะประกอบด้วยสัญญาณที่ทำให้ทั้งทางด้านส่ง และด้านรับทำงานพร้อมกัน (Synchronization) จะต้องมีสัญญาณที่ทำการควบคุมมากมาย

ส่วนประกอบของภาพโทรทัศน์จะประกอบด้วยเส้นขวางมากมายในแนวนอน ซึ่งประกอบจากจุดเล็กๆจำนวนมากประกอบขึ้นเป็นเส้น ส่วนประกอบของภาพเรียกว่า Picture Element ซึ่งระบบโทรทัศน์ในประเทศไทยจะมี 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ (Frame) ซึ่งในภาพหนึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนซึ่งเรียกว่า File โดยแบ่งเป็น File ละ 312.5 เส้น ซึ่งแบ่งเป็นฟิลด์คู่ (Even File) และฟิลด์คี่ (Odd File) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



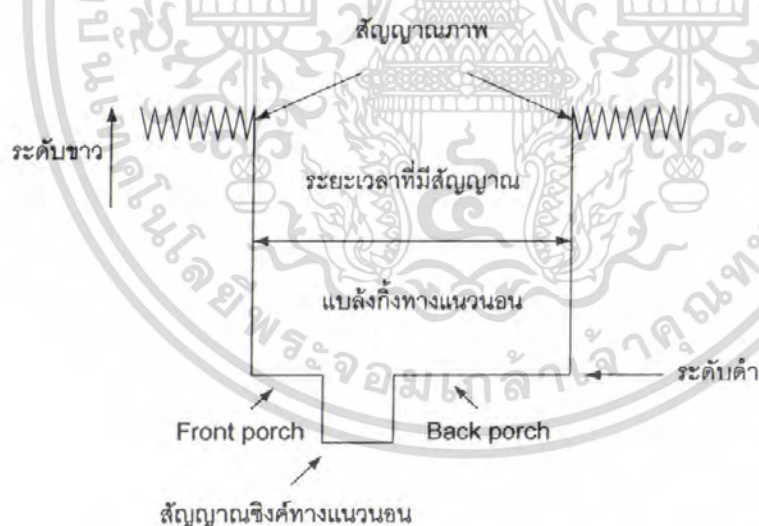
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแบ่งเส้นสแกนของโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ปรากฏที่หน้าจอ ตามความจริงแล้วเป็นภาพที่มีความแตกต่างกัน ตามระยะเวลาซึ่งมนุษย์ไม่สามารถจับได้ เพราะความเฉื่อยในการมอง จึงทำให้ดูเหมือนภาพเคลื่อนไหว โดยมี 25 ภาพต่อหนึ่งวินาที (จำนวนภาพมากกว่า 16 ภาพต่อวินาที จะทำให้ตามนุษย์มองเป็นภาพเคลื่อนไหว)

การเกิดภาพโดยการยิงอิเล็กตรอน ไปกระทบจุดบนจอภาพที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง บนหน้าจอภาพหรือเรียกว่าการสแกน (Scanning) การทำให้จุดสว่างนี้เคลื่อนที่ไปตามจังหวะที่ต้องการ ซึ่งทำให้เคลื่อนที่ไปตามแนวนอนและแนวตั้ง โดยอาศัยความเข้มของสนามแม่เหล็กเข้าช่วย การสแกนจะเกิดขึ้นตามรูปที่ 2.3

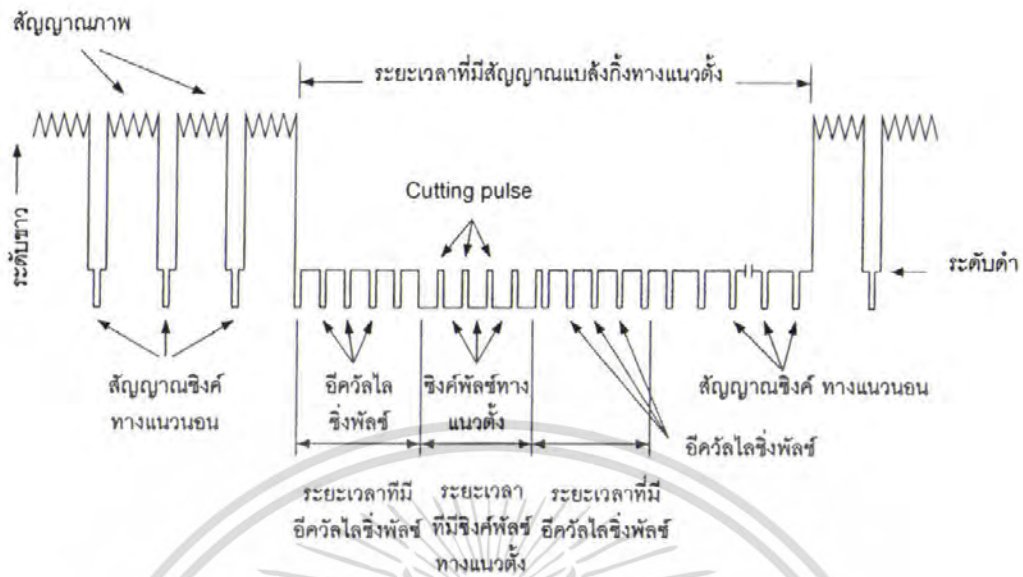
หัวใจสำคัญของการรับ - ส่งโทรทัศน์ คือ จะต้องหาวิธีการที่ทำให้เครื่องส่งและเครื่องรับทำงานพร้อมกัน (Synchronization) เพราะถ้าเครื่องส่งกับเครื่องรับทำงานไม่พร้อมกัน ภาพจะล้าหรือไม่มีภาพ เพราะฉะนั้นทั้งทางด้านส่งและด้านรับจะต้องทำความเข้าใจที่ตรงกัน โดยส่งสัญญาณไปควบคุม ที่เรียกว่า Synchronizing Signal หรือ Sync Pulse Signal ไปพร้อมกับสัญญาณภาพดังในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะประกอบด้วยซิงค์ทางแนวนอน (Horizontal Synchronizing Signal) มีความถี่ 15625 Hz และมี Sync Pulse อยู่ตอนท้ายของแนวนอนสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง (Vertical Synchronizing Signal) ความถี่ 50 Hz และมี Sync Pulse ทุกๆครั้งที่การ Scan จบ 1 File และจะมี (Flyback) เพื่อ Scan File ใหม่ ดังรูปที่ 2.4



(ก) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กกิ้งทางแนวนอน

รูปที่ 2.4 แสดง Vertical and Horizontal Sync

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบลิ่งคิงทางแนวตั้ง  
รูปที่ 2.4 (ต่อ)

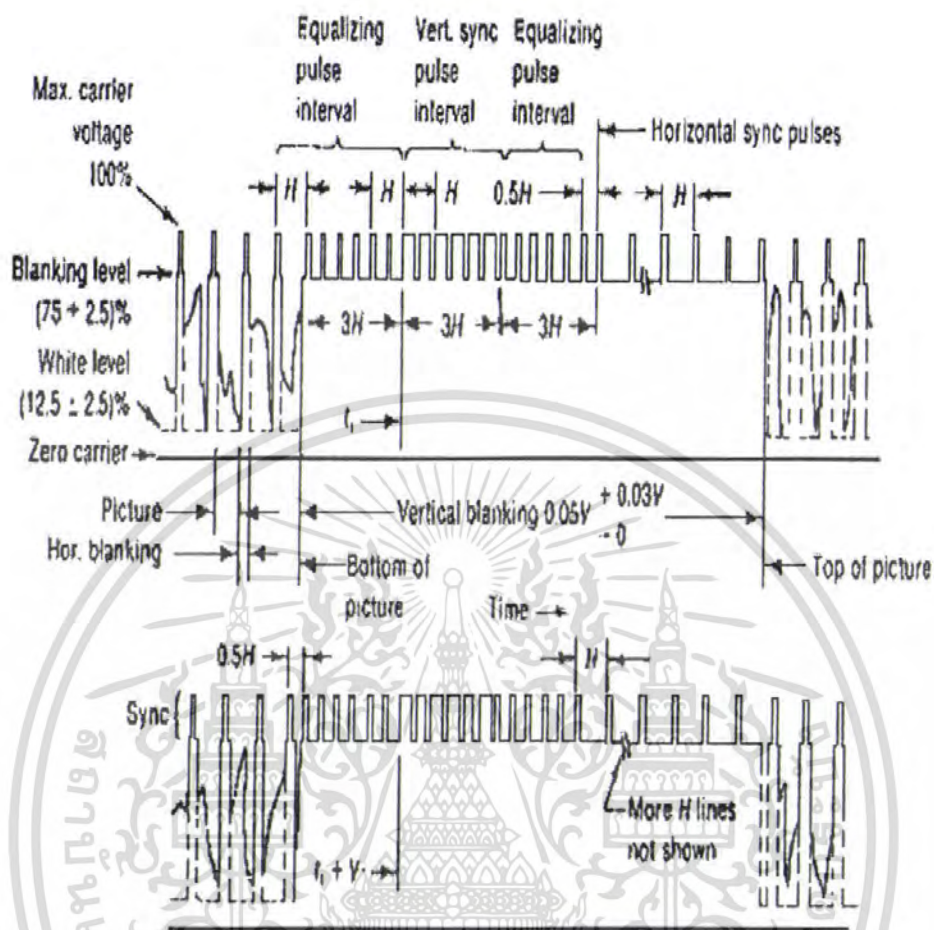
สัญญาณที่แสดงในรูปที่ 2.4 (ข) จะประกอบด้วย

1. สัญญาณภาพ (Video Signal) และสัญญาณเสียง (Sound Signal)
2. สัญญาณแบลิ่งคิง (Blanking Signal)
3. สัญญาณซิงค์ (Synchronizing Signal)
4. สัญญาณอีควัลไลซิง (Equalizing Signal)

สัญญาณเหล่านี้โดยทั่วไปเรียกว่า สัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) โดยทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อเป็นสัญญาณ RF สำหรับการขยายเพื่อส่งไปยังสายอากาศ

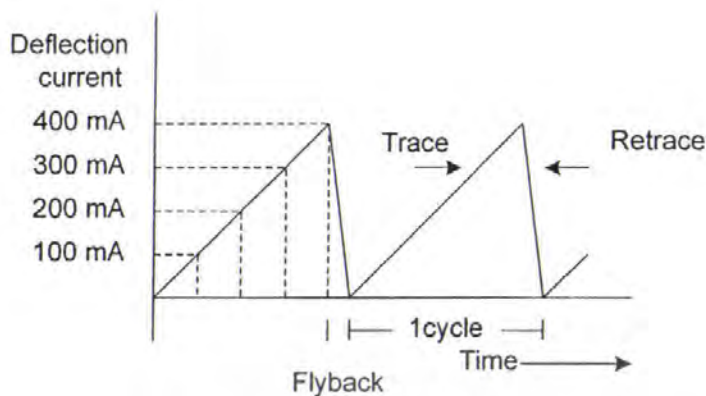
หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ

1. สัญญาณภาพ (video Signal) และสัญญาณเสียง (Sound Signal) เป็นสัญญาณที่ทำให้เกิดภาพความเป็นจริงที่หน้าจอ และสัญญาณเสียงให้มีเสียงออกที่ลำโพงตามความต้องการ
2. สัญญาณแบลิ่งคิง (Blanking Signal) เป็นสัญญาณเพื่อลบเส้นสเปกตรัม ทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง โดยที่จุดเริ่มต้นของ Sync ทางแนวนอนและแนวตั้งจะต้องเริ่มต้นอย่างเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สัญญาณแบบสังคัง

3. สัญญาณเชิงคัง (Synchronizing Signal) เป็นสัญญาณที่ช่วยทำให้กระแสรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ใช้ในวงจรการหักเหทางแนวนอนกับวงจรการหักเหทางแนวตั้ง ของเครื่องส่งโทรทัศน์ ตรงกับเครื่องรับโทรทัศน์ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Synchronizing Signal

4. สัญญาณอีควัลไลซิง (Equalizing Signal) เพื่อช่วยให้สัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง ยังคงมีรูปร่างเหมือนเดิมหลังจากแยกออกมาจากสัญญาณซิงค์ทางแนวนอนในเครื่องรับ โดยเป็นสองเท่าของซิงค์ทางแนวนอน และจะทำให้ซิงค์ทางแนวนอนไม่ขาดหายไปในช่วงซิงค์ทางแนวตั้งอีกด้วย สัญญาณโทรทัศน์เหล่านี้เป็นมาตรฐานของระบบโทรทัศน์ และยังมีสัญญาณเกี่ยวกับการควบคุมทางภาพสีของโทรทัศน์อีก แต่จะไม่ขอกล่าวในที่นี้ ผู้สนใจในเรื่องเกี่ยวกับโทรทัศน์ระบบต่างๆอย่างละเอียด สามารถหาอ่านได้จากหนังสือเกี่ยวกับโทรทัศน์ทั่วไปได้

### 2.3 ความถี่ที่ใช้ในการส่งโทรทัศน์

การส่งสัญญาณสื่อสารด้วยระบบโทรทัศน์นั้นมีมาหลายปีแล้ว และได้เริ่มเข้ามาในประเทศไทยประมาณ พ.ศ. 2498 มาตรฐานการส่งโทรทัศน์ตามมาตรฐานสากลมีหลายระบบ ในแต่ละระบบก็มีใช้กันหลายกลุ่มประเทศ แต่ละกลุ่มก็ใช้กันในย่านความถี่วีเอชเอฟ และยูเอชเอฟ โดยแต่ละระบบก็มีจำนวนช่องและความถี่ที่ใช้แตกต่างกัน โดยในระบบวีเอชเอฟมีจำนวนช่องอยู่ประมาณ 12 ช่อง ส่วนในย่านความถี่ยูเอชเอฟจะมีจำนวนช่องอยู่ประมาณ 83 ช่อง ระบบใหญ่ๆที่ใช้ในการส่งทั่วโลกขณะนี้แบ่งเป็นสองระบบคือ ในระบบแรกเป็นระบบที่ใช้อักษรย่อว่า เอฟซีซี (FCC) เป็นส่วนหนึ่งของการส่งโทรทัศน์ในระบอบที่เรียกว่า ระบบเอ็มตามมาตรฐานสากลของระบบความถี่มาตรฐาน ระบบนี้ใช้กันในอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน พม่า กัมพูชา อาร์เจนตินา โบลิเวีย อุรุกวัย จาไมกา เป็นต้น ส่วนในอีกระบบหนึ่ง เป็นระบบซีซีไออาร์ (CCIR) เป็นระบบการส่งทีวีส่วนหนึ่งของระบบที่ใช้ในประเทศแถบยุโรปตะวันออกกลาง แอฟริกา เป็นต้น ทั้งระบบเอฟซีซี (FCC) และระบบซีซีไออาร์ (CCIR) แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.2 และที่ 2.3

ส่วนระบบการส่งที่วีในประเทศไทยแต่เดิมใช้ระบบเอฟซีซี (FCC) ซึ่งเป็นระบบที่นำมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา แต่หลังจากนั้นพบปัญหาต่างๆหลายประการ เช่น มาตรฐานทางด้านจำนวนเส้นต่อภาพใช้ 525 เส้นต่อภาพ ซึ่งให้ภาพที่หยาบกว่าระบบปัจจุบันคือใช้ 525 เส้นต่อภาพ ส่วนด้านมาตรฐานความถี่ฟิลด์ต่อวินาทีใช้ 60 ฟิลด์ต่อวินาที ซึ่งเท่ากับความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ประเทศสหรัฐอเมริกา แต่สำหรับประเทศไทยใช้ความถี่ 50 รอบต่อวินาทีในกระแสไฟฟ้าสลับ ดังนั้นจึงเกิดการสับสนของสัญญาณ 60 Hz และ 50 Hz ซึ่งให้ผลเสียอย่างมาก ครั้นเมื่อถึงคราวโทรทัศน์สีเข้าเมืองไทย และกิจการโทรทัศน์ได้ขยายตัวมากขึ้น และจะมีการส่งสัญญาณที่ความถี่ช่องอื่นอีก จึงได้ตกลงเปลี่ยนระบบเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพเมืองไทยยิ่งขึ้น แต่ปัญญาก็ยังคงขบคิดกันอีก เพราะในขณะนั้น ได้มีเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้ในประเทศไทยในระบบเก่าอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบใหม่ที่จะนำมาแทนนั้นต้องเหมาะสมกับไฟ 50 Hz แล้วยังคงใช้กับเครื่องรับระบบเก่าได้อีกด้วย จึงได้ตกลงเปลี่ยนมาเป็นระบบซีซีไออาร์ (CCIR) หรือระบบบี และจำนวนช่องที่ส่งทั้งหมดในขณะนี้ มี 4 ช่อง คือ ช่อง 3 ช่อง 5 ช่อง 7 ช่อง 9 เมื่อพิจารณาความถี่ของระบบซีซีไออาร์ จะเห็นว่าซีซีไออาร์ของช่อง 3 จะตรงกับช่อง 2 ทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงในระบบเอฟซีซี ดังนั้นเครื่องรับในระบบเอฟซีซี จะรับได้ในช่อง 2 ส่วนช่อง 5 ระบบซีซีไออาร์จะตรงกับช่อง 7 ระบบเอฟซีซี ส่วนช่อง 7 ระบบซีซีไออาร์จะตรงกับช่อง 9 ระบบเอฟซีซี แต่จะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของช่อง 7 ระบบซีซีไออาร์มีความถี่เกินกว่าช่อง 9 ระบบเอฟซีซีมาก ดังนั้นเครื่องรับในระบบเอฟซีซีจะรับได้ในช่อง 9 แต่สัญญาณเสียงจะรับไม่ได้จึงต้องมีแอมป์เคอร์คิกเพิ่มอีก ส่วนช่อง 9 ระบบซีซีไออาร์จะรับได้ในช่อง 12 ในระบบเอฟซีซี

เมื่อกล่าวถึงความถี่ของการส่งสัญญาณในความถี่ย่านต่างๆในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.1 , 2.2 , 2.3 ,และตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.1 ความถี่วิทยุในประเทศไทย

สถานีวิทยุ	ช่องความถี่	ความยาวเฉลี่ย
เอเอ็ม	550-1600 kHz	360 เมตร
เอฟเอ็ม	88-108 MHz	3 เมตร
คลื่นสั้น	3-12 MHz	62.5 เมตร

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความถี่การส่งที่ระบบ FCC ย่าน VHF

แถบความถี่	ช่อง	ความถี่ ( MHz )	คลื่นพา(Carrier)		ความยาว คลื่น (นิ้ว)	ช่วงกว้าง ความถี่ % of fm
			สัญญาณภาพ (Video:MHz)	สัญญาณเสียง (Audio:MHz)		
(VHF low band) วีเอชเอฟแถบล่าง	2	54-60	52.25	59.75	207.5	10.5
	3	60-66	61.25	65.75	187.5	9.5
	4	66-72	67.25	71.75	171.5	8.7
(VHF high band) วีเอชเอฟแถบบน (High band)	5	76-82	77.25	81.75	149.5	7.6
	6	82-88	38.25	87.75	139	7.1
	7	174-180	175.25	179.75	66.73	3.39
	8	180-186	181.25	185.75	64.54	3.28
	9	186-192	187.25	191.75	62.49	3.18
	10	192-198	193.25	197.75	60.58	3.08
	11	198-204	199.5	203.75	58.78	2.99
	12	204-210	205.25	209.75	57.06	2.9
	13	210-266	211.25	215.75	55.45	2.82

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงความถี่การส่งที่ระบบ CCIR ย่าน VHF

แถบความถี่	ช่อง	ความถี่ ( MHz )	คลื่นพา (Carrier)	
			สัญญาณภาพ (Video:MHz)	สัญญาณเสียง (Audio:MHz)
(VHF low band) วีเอชเอฟแถบล่าง	2	47-54	48.25	53.75
	3	54-61	55.25	60.75
	4	61-68	62.25	67.75
(VHF high band) วีเอชเอฟแถบบน (High band)	5	174-181	175.25	180.75
	6	181-188	182.25	187.75
	7	188-195	188.25	194.75
	8	195-202	196.25	201.75
	9	202-209	203.25	208.75
	10	209-216	210.25	215.75
	11	216-223	217.25	222.75
	12	223-230	224.25	229.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

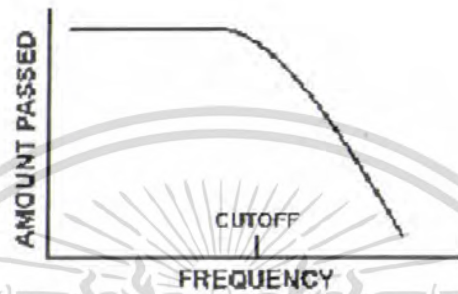
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงความถี่การส่งที่ระบบ CCIR ย่าน UHF

แถบความถี่	ช่อง	ความถี่ ( MHz )	คลื่นพา(Carrier)	
			สัญญาณภาพ (Video:MHz)	สัญญาณเสียง (Audio:MHz)
UHF	21	470 – 477	471.25	476.75
	22	478 – 485	479.25	484.75
	23	486 – 493	487.25	492.75
	24	494 – 501	495.25	500.75
	25	502 – 509	503.25	508.75
	26	510 – 517	511.25	516.75
	27	518 – 525	519.25	524.75
	28	526 – 533	527.25	532.75
	29	534 – 541	535.25	540.75
	30	542 – 549	543.25	548.75
	31	550 – 557	551.25	556.75
	32	558 – 565	559.25	564.75
	33	566 – 573	567.25	572.75
	34	574 – 581	575.25	580.75
	35	582 – 589	583.25	588.75
	36	590 – 597	591.25	596.75
	37	598 – 605	599.25	604.75
	38	606 – 613	607.25	612.75
	39	614 – 621	615.25	620.75
	40	622 – 629	623.25	628.75
	41	630 – 637	631.25	636.75
	42	638 – 645	639.25	644.75
	43	646 – 654	647.25	652.75
	44	654 – 661	655.25	660.75
	45	662 – 669	663.25	668.75
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	83	884 - 890	885.25	889.75

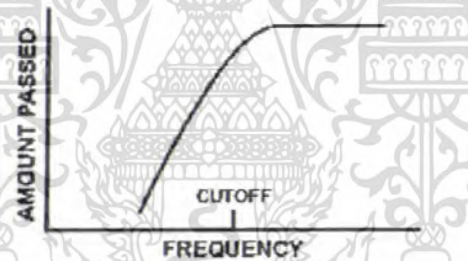
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ฟิลเตอร์

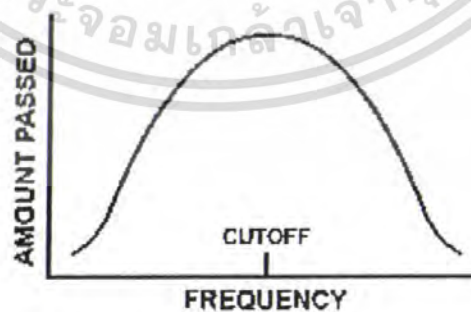
การกรองความถี่แบ่งได้ 4 ลักษณะคือ กรองความถี่ต่ำ (Lowpass Fiter) กรองความถี่สูง ( Highpass Filter ) กรองความถี่เฉพาะย่าน (Bandpass Filter) และกรองความถี่เฉพาะที่ (Band Reject Filter)



รูปที่ 2.7 แสดงรูป Low pass Filter

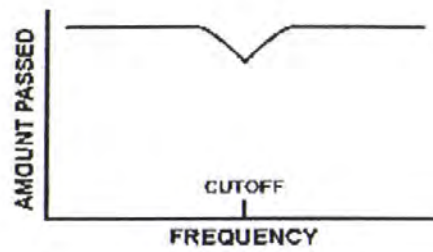


รูปที่ 2.8 แสดงรูป High pass Filter



รูปที่ 2.9 แสดงรูป Band pass Filter

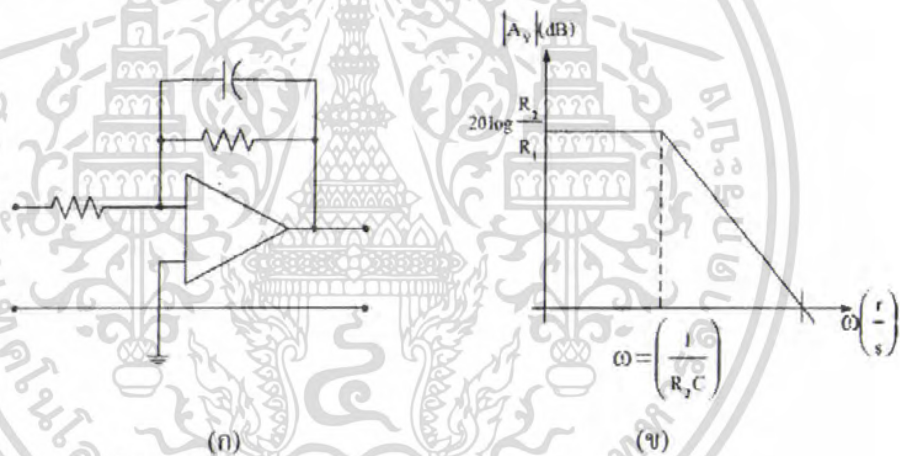
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงรูป Band Reject Filter

#### 2.4.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้าไปได้เท่านั้น โดยที่ สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนั้นจะถูกกำจัดออกไป ในวงจรกรองความถี่ต่ำนั้น จะไม่ให้ สัญญาณที่ความถี่สูง ๆ ผ่านไปได้ ซึ่งวงจรเป็นดังรูป 2.11 (ก)



รูปที่ 2.11 (ก) ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำ (ข) กราฟของการกรองความถี่ต่ำ

สามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$AV = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_2 / R_1}{1 + j\omega R_2 C} \quad (2.1)$$

แต่ค่าที่ได้ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ AV

$$|AV| = \frac{R_2 / R_1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C)^2}} \quad (2.2)$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้  $\omega R_2 C \ll 1$  ดังนั้นสมการ (2.2) จะเป็น

$$|AV| = \frac{R_2 / R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.3)$$

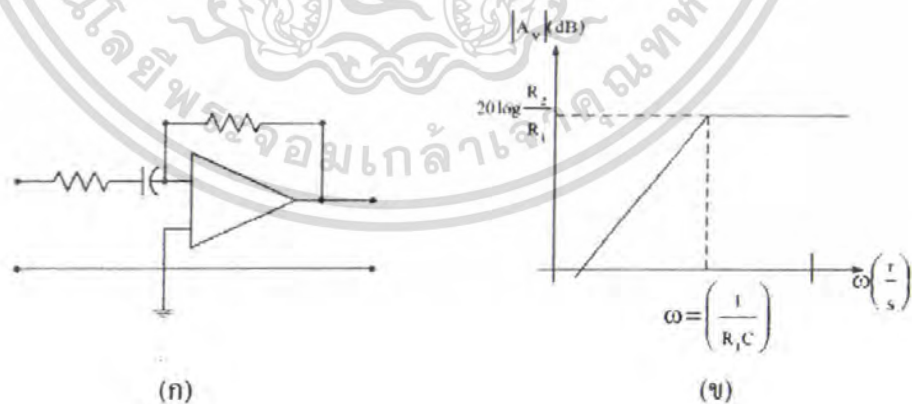
พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้  $\omega R_2 C \gg 1$  ดังนั้นสมการ (2.3) จะเป็น

$$|AV| \cong \frac{R_2 / R_1}{\omega R_2 C} = \frac{1}{\omega R_1 C} \quad (2.4)$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้โดยความถี่ต่ำกราฟจะมีความชันเป็น 0 ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ 20 db/decade (อัตราขยายลดลง 20 db ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด  $\omega = \frac{1}{R_2 C}$  และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 2.11 (ข)

#### 2.4.2 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูง เป็นวงจรที่กรองไม่ให้ความถี่ต่ำ ๆ ผ่านไปได้ ลักษณะของวงจรเป็นดังรูป 2.12 (ก)



รูปที่ 2.12 (ก) ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูง (ข) กราฟของการกรองความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาอัตราขยายวงจรถอดได้จาก

$$AV = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_2/R_1}{1 - j/\omega R_1 C} \quad (2.5)$$

แต่ค่าที่ได้ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ AV

$$|AV| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1 + (1/\omega R_1 C)^2}} \quad (2.6)$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้  $\omega R_1 C \ll 1$  ดังนั้นสมการ (2.6) จะเป็น

$$|AV| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.7)$$

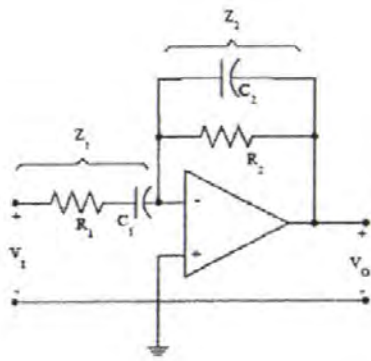
พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้  $\omega R_1 C \gg 1$  ดังนั้นสมการ (2.7) จะเป็น

$$|AV| = \frac{R_2/R_1}{\omega R_1 C} = \frac{1}{\omega R_1 C} \quad (2.8)$$

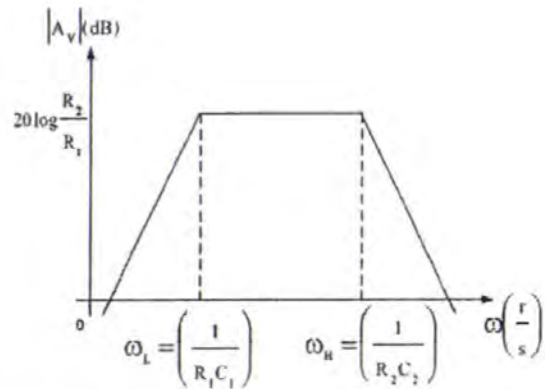
สามารถนำไปเขียนกราฟได้โดยความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น +20 db/decade ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ 0 และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด  $\omega = \frac{1}{R_1 C}$  และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 2.12 (ข)

#### 2.4.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter)

เป็นวงจรที่ยอมให้บางความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น ซึ่งรวมทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำและกรองความถี่สูงเข้าไว้ด้วยกัน มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 2.13 (ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 (a) ลักษณะของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง (b) กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง

โดยที่

$$Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \quad (2.9)$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} \quad (2.10)$$

อัตราขยายวงจรเป็น

$$A_v = \frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{-R_2/R_1}{(1 + j\omega R_2 C_2)(1 + \frac{j}{\omega C_1 R_1})} \quad (2.11)$$

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \times \sqrt{1 + (\frac{1}{\omega C_1 R_1})^2}} \quad (2.12)$$

พิจารณาช่วงเป็นสามช่วง คือ ช่วงความถี่ระหว่าง  $\omega_L$  และ  $\omega_H$  ช่วงความถี่สูง  $\omega \gg \omega_H$  และช่วงความถี่ต่ำ  $\omega \ll \omega_L$

ช่วงความถี่ระหว่าง  $\omega_L$  และ  $\omega_H$  (Mid-Frequency Range)

จะได้  $\omega R_2 C_2 \gg 1$  และ  $(1/\omega R_1 C_1) \ll 1$  จะได้อัตราขยายเป็น

$$|AV| = \frac{R_2 / R_1}{\sqrt{1+0} \times \sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.13)$$

ช่วงความถี่สูง  $\omega \gg \omega_H$

จะได้  $(1/\omega R_1 C_1) \ll 1$  แต่  $\omega R_2 C_2$  จะได้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

$$\begin{aligned} |AV| &= \frac{R_2 / R_1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \times \sqrt{1+0}} \\ &= \frac{1}{\omega R_1 C_2} \end{aligned} \quad (2.14)$$

ช่วงความถี่ต่ำ  $\omega \ll \omega_L$

จะได้  $\omega R_2 C_2 \gg 1$  แต่  $(1/\omega R_1 C_1)$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

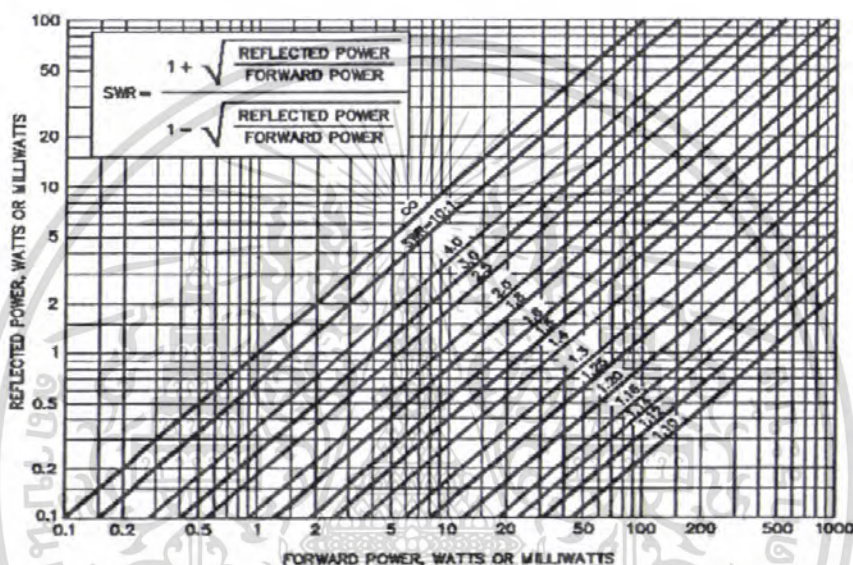
$$\begin{aligned} |A_v| &= \frac{R_2 / R_1}{\sqrt{1+0} \times \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega C_1 R_1}\right)^2}} \\ &= \omega R_2 C_1 \end{aligned} \quad (2.15)$$

## 2.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio : SWR)

อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ที่ปรากฏอยู่บนสายนำสัญญาณ หรือแทนด้วยอัตราส่วนของ  $E_{\max}$  ต่อ  $E_{\min}$  (ในรูปที่ 2.7) เราเรียกว่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าคลื่นนิ่ง (Voltage- Standing-Wave Ratio) เขียนแทนว่า VSWR หรือ ใช้ SWR ก็ได้

เขียนเป็นสูตรว่า 
$$VSWR = \frac{E_{max}}{E_{min}} \tag{2.16}$$

ในทำนองเดียวกัน ค่ากระแสมากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด  $\frac{I_{max}}{I_{min}}$  ก็หาเช่นเดียวกับ VSWR  
 พิจารณารูป 2.7 แสดงโนโมกราฟของการหา VSWR โดยคิดจากกำลังคลื่นที่สะท้อนและส่วนที่มา  
 หาโหลด



รูปที่ 2.14 แสดงโนโมกราฟของ VSWR

นอกจากนี้ SWR ยังใช้บอกคุณสมบัติต่างๆ ของสายที่ไม่แมชได้ด้วย หรือใช้บอกถึง  
 ประสิทธิภาพของสายได้ โดยถ้าโหลดไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์อยู่เลย ค่า SWR จึงคิดได้จากอัตราส่วน  
 ระหว่างความต้านทานของโหลด (R) กับอิมพีแดนซ์ประจำตัว ( $Z_o$ ) ของสาย หรือแยกพิจารณาเป็น  
 กรณี 2 แบบ คือ

$$SWR = \frac{R}{Z_o} \quad (\text{ค่า } R \text{ มากกว่า } Z_o) \tag{2.17}$$

$$\text{หรือ } = \frac{Z_o}{R} \quad (\text{ค่า } R \text{ น้อยกว่า } Z_o) \tag{2.18}$$

เราสรุปได้ว่า การไม่แมชของสายนำสัญญาณเกิดมากขึ้น จะมีผลให้ความแตกต่างระหว่างค่า  $Z_o$  และ  $R$  มีมากขึ้น หรือค่า SWR มีขนาดมากขึ้น ส่วนสายที่มีการแมชกับโหลดอย่างสมบูรณ์ จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดบนสาย และมีลักษณะคลื่นเป็นเส้นตรงตลอดความยาวของสายบางกรณีค่า SWR สามารถหาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\rho$ ) ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SWR = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} \quad (2.19)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายนำสัญญาณชนิดการสูญเสียต่ำ (Low-loss line) มีอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 70 โอห์ม และถูกต้องกับสายอากาศที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม จงคำนวณหาค่า SWR บนสาย

คำตอบ

$$\text{หาค่า} \quad \rho = \frac{75 - 70}{75 + 70} = 0.035$$

(ในที่นี้สายอากาศเทียบได้กับโหลด)

$$\text{ดังนั้นค่า} \quad SWR = \frac{1 + 0.035}{1 - 0.035} = 1.07$$

## 2.6 การวัดค่า VSWR

ค่า VSWR ในทางทฤษฎีคิดจากค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุด นำมาคำนวณ แต่ในทางปฏิบัติเราใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เรียกว่า “VSWR มิเตอร์” หรือ “กลไกโนมิเตอร์” ใช้วัดค่าบนสาย และนำค่านี้มาคำนวณขนาดอิมพีแดนซ์ของโหลดที่นำมาต่อได้

โดยถ้าโหลดมีอิมพีแดนซ์เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว จะมีวิธีคำนวณง่ายขึ้น สมมุติให้

$$Z_L = R_L = 3R_o \quad \text{จะได้ (กรณี } R_L \text{ มากกว่า } Z_o)$$

$$\rho = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{3R_o - R_o}{3R_o + R_o} = \frac{1}{2} < 0^\circ$$

ดังนั้น

$$SWR = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} = \frac{1+\frac{1}{2}}{1-\frac{1}{2}} = 3$$

ในทางกลับกัน ถ้าให้  $Z_L = R_L = \frac{1}{3}R_o$  (กรณี  $R_L$  น้อยกว่า  $Z_o$ ) จะได้

ดังนั้น 
$$SWR = \frac{1 + \frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = 3 \text{ (เหมือนกับกรณีที่แล้ว)}$$

เห็นได้ว่า VSWR ทั้งของอัตราส่วน  $R_L / Z_0$  หรือ  $Z_0 / R_L$  มีค่าเท่ากันกับการคำนวณข้างต้น ใช้เฉพาะกรณีไม่เกิดการสูญเสียในสาย และโหลดที่มาต่อเป็นค่าความต้านทานเท่านั้น

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า VSWR ( หรือ SWR ) ของสายนำสัญญาณชนิดไม่มีการสูญเสียที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 50 โอห์ม มีค่า 4.2

จงคำนวณหาค่า โหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเดียว และมีค่ามากกว่า 50 โอห์ม

คำตอบ

จาก 
$$\frac{R_L}{Z_0} = VSWR = 4.2$$

ดังนั้น 
$$R_L = (SWR) \times (Z_0) = 4.2 \times 50 = 210 \text{ โอห์ม}$$

## 2.7 ชนิดและคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

พื้นฐานของสายนำสัญญาณ เราสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด อย่างแรกได้แก่

### 1. สายบาลานซ์ ( Balance Line )

จัดเป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะเหมือนกันวางต่อขนานกัน โดยมีตัวกลางหรือสายไดอิเล็กตริก ( Dielectric ) กั้นกลางอยู่ เช่น สายแบบโอเพ่นไวร์ หรือสายเปลือยและมีฉนวนต่อขั้วสาย ( Spacers ) หรือเรียกว่าสเปซเซอร์เพื่อความแข็งแรงและรักษาการขนานกันของตัวนำไว้

### 2. สายแบบอิมบาลานซ์ ( Unbalance Line )

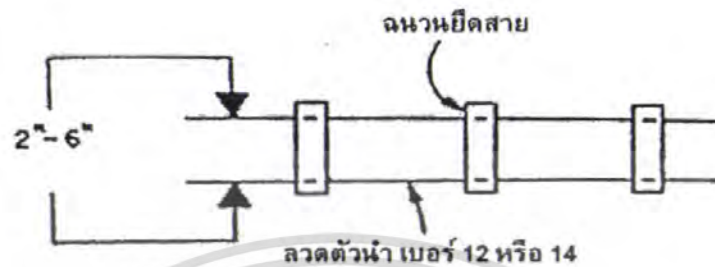
เป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะต่างกัน หรือที่นิยมใช้กันมาก คือสายแอกเซียล ( Coaxial Cable ) สายชนิดนี้ดีกว่าสายแบบบาลานซ์ในแง่ที่สามารถป้องกันการแผ่รังสีกระจายจากสาย และป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกแทรกเข้ามาได้ ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใกล้กับโลหะได้ โดยไม่มีการสูญเสียคลื่นออกจากสาย

นอกจากนี้ทั้งสองชนิดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภทตามชนิดฉนวนคือ

1. ฉนวนส่วนใหญ่ระหว่างตัวนำคืออากาศ อาจมีน้อยส่วนที่เป็น ไดอิเล็กตริกแข็งไว้เสริมโครงสร้างให้แข็งแรง
2. ฉนวนที่กั้นระหว่างตัวนำเป็นสาร ไดอิเล็กตริกแข็ง

## 2.8 สายแบบใช้อากาศเป็นฉนวน

โครงสร้างเป็นตัวนำ 2 เส้นวางขนานกัน ดังแสดงดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสายโอเพ่น (Open Wire)

จากรูปตัวนำถูกยึดด้วยฉนวนยึดสาย เพื่อให้ระยะห่างคงที่สเปซเซอร์อาจใช้ได้หลายแบบ เช่น ทำจาก เทฟลอน, เฟลิกแกลีส, โพลีเอทิลีน หรืออูไซท์ เป็นต้น ความยาวของสเปซเซอร์มีตั้งแต่ขนาด 2 นิ้ว - 6 นิ้ว ในงานวิทยุสมัครเล่น ตัวนำเบอร์ 12 หรือ 14 ที่ใช้ค่าระหว่าง 500-600 โอห์ม

- ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย ( Characteristic Impedance )
- หาได้จากสูตร ( ไม่เกิดผลจากสเปซเซอร์ )

$$Z_o = 276 \log \frac{2S}{d} \quad (2.20)$$

เมื่อ

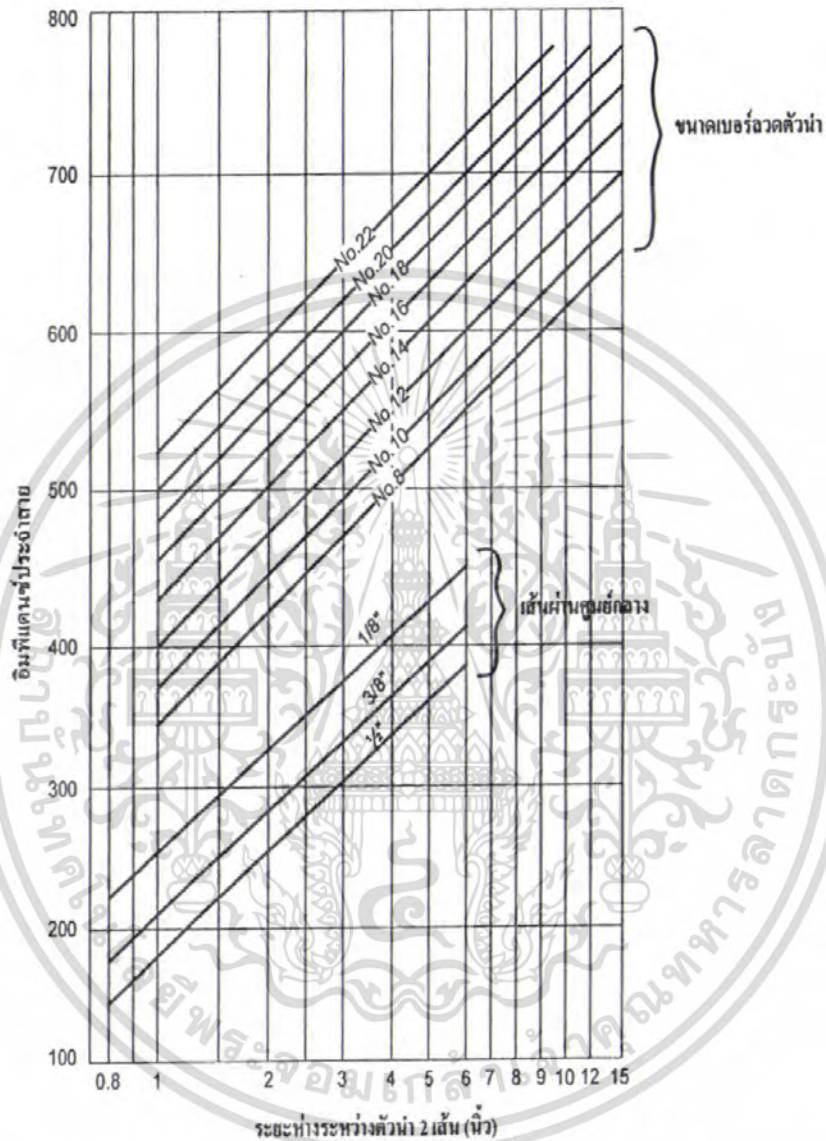
$Z_o$  = แทนอิมพีแดนซ์ประจำสาย ( โอห์ม )

S = ระยะระหว่างจุดกลางของแต่ละตัวนำ

d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำ ( มีหน่วยเดียวกับ S )

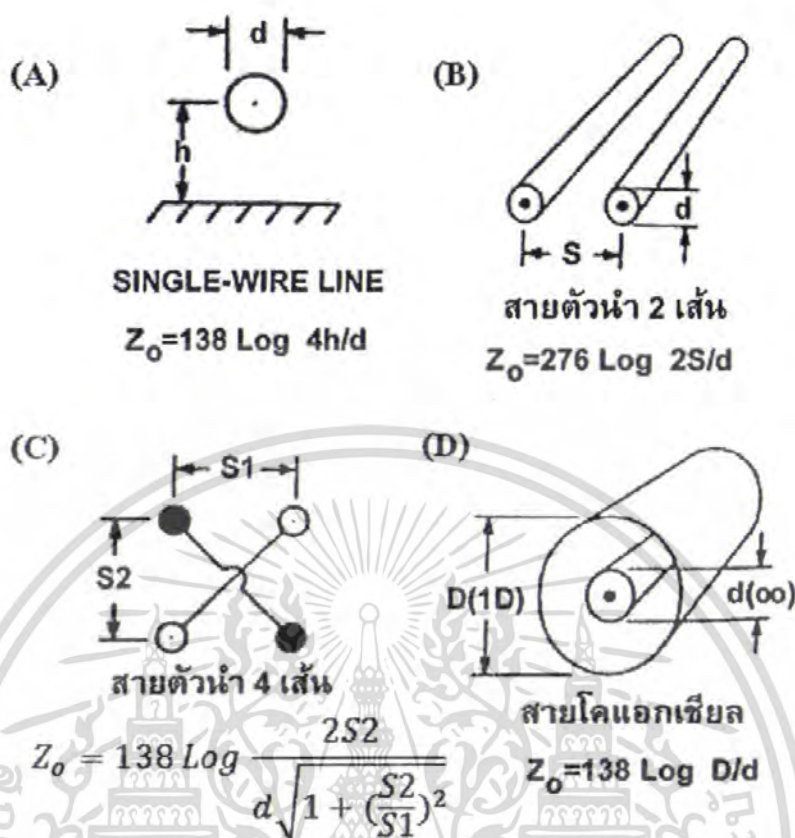
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของตัวนำเบอร์ต่างๆ ดูเทียบได้จากกราฟในรูป 2.15 ส่วนการกำหนดขนาดต่างๆ ในสูตรคำนวณ ดูได้จากรูป 2.17 ( b )



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายที่มีตัวนำวางขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดง โครงสร้างของสายที่ใช้อากาศเป็นฉนวน

- สายตัวนำ 4 เส้น

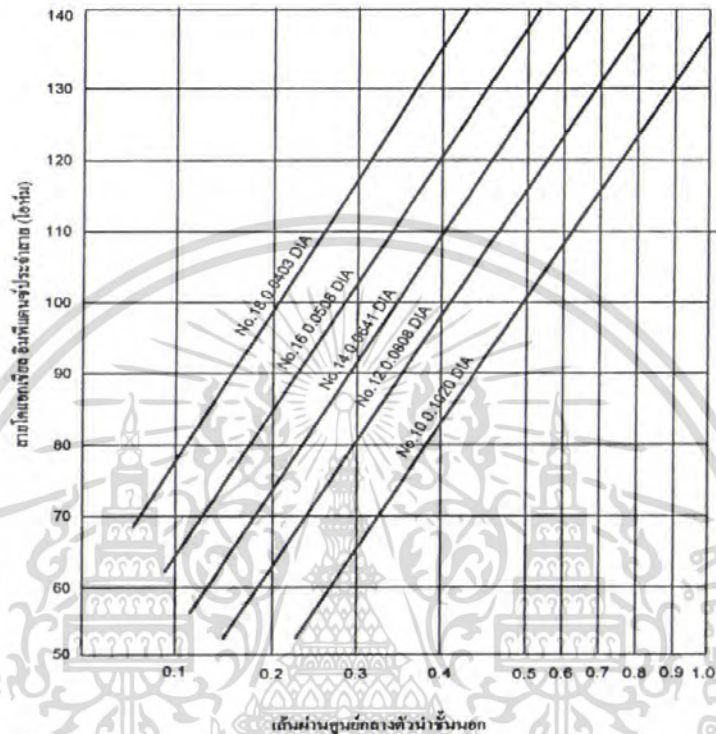
จากรูป 2.17 (C) แสดงเส้นตัดขวางของสายตัวนำ 4 เส้น (Four - Wire - Line) วางกันในแต่ละมุมเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยตัวนำที่อยู่ตรงข้ามในแนวแท่งมุมจะต่อถึงกัน สายแบบนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายต่ำกว่าแบบตัวนำ 2 เส้น เนื่องจากมีโครงสร้างที่สมมาตรจึงมีความสมดุลทางไฟฟ้ากับพื้นดินหรือกราวนด์ และวัตถุอื่นที่อยู่ใกล้สายได้ดีกว่า

- สายโคแอกเชียล

จากรูปที่ 2.17 (D) สายชนิดนี้มีการสูญเสียบนสายต่ำกว่าแบบอื่น ก่อนหน้านี้มีสูตรคำนวณหาอิมพีแดนซ์ประจำสาย คือ

$$Z_0 = 138 \log \frac{D}{d} \quad (2.21)$$

- เมื่อ  $Z_o$  = อิมพีแดนซ์ประจำสาย  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำชั้นนอก  
 $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำชั้นใน (มีหน่วยเดียวกับ  $D$ )



รูปที่ 2.18 แสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายโคแอกเซียลที่มีอากาศเป็นฉนวน

## 2.9 สายแบบเฟล็กซิเบิล (Flexible Line)

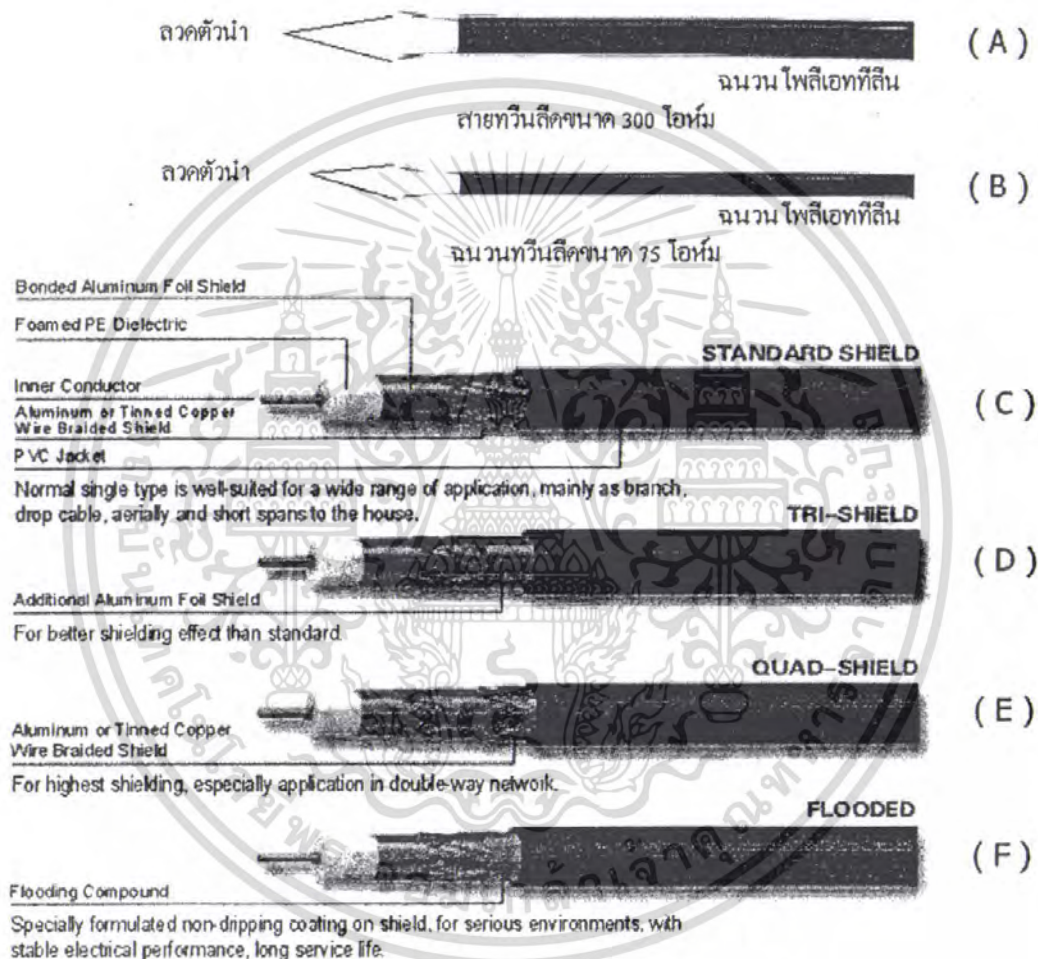
มีลักษณะพิเศษ คือสามารถโค้งงอหรือม้วนสายได้โดยง่าย ซึ่งมีสาร โคลิเล็กตริกแบบอ่อนอยู่ และข้อดีกว่าแบบใช้อากาศเป็นฉนวนดังนี้

- มีน้ำหนักเบา
- มีระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองอย่างแน่นอน
- ง่ายในการติดตั้ง

สายแบบตัวนำวางขนาดกับสายโคแอกเซียล มีแบบเฟล็กซิเบิลด้วย ข้อเสียที่เห็นได้ชัดของสายแบบเฟล็กซิเบิล คือ ค่าการสูญเสียกำลังต่อหน่วยความยาวมีมากกว่าสายแบบฉนวนเป็นอากาศ โดยกำลังคลื่นสูญเสียไปในรูปความร้อน และถ้าร้อนจนมากเกินไป อาจทำให้สายเสียหายทั้งทางกายภาพและทางไฟฟ้าได้

สำหรับสายที่มีความแข็งเพิ่มขึ้นไปอีก เรียกว่า เซมิเฟล็กซิเบิล ( Semi Flexible ) เช่น สายแบบเฮลิคอลล ( Helical Line ) เป็นต้น และยังมีสายฮาร์ดไลน์ ( Hard Line ) โดยใช้ท่อโลหะบางๆ เช่น อลูมิเนียม เป็นตัวนำด้านนอก รายละเอียดของสายแบบต่างๆ อธิบายได้ดังต่อไปนี้

### 1. สายแบบตัวนำวางขนานกัน



รูปที่ 2.19 แสดง โครงสร้างแบบต่างๆ ของเฟล็กซิเบิล

จากรูป 2.19 ( A ) สายทวินลิตขนาด 300 โอห์ม ( หรือเรียกว่าแบบริบอน – Ribbon ) จะใช้ลวดตัวนำขนาดเบอร์ 20 และวางขนาน โดยมีจำนวน โพลีเอททีลีนหุ้มคั่นห่างกันประมาณ  $\frac{1}{2}$  นิ้ว สายแบบนี้มีข้อเสียอยู่บ้าง คือ ความชื้นในชั้นบรรยากาศจะมีผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเปลี่ยนไป

ทำให้เกิดการไม่แมชกับโหลด และสูญเสียพลังงานไปในสายอากาศอาจแก้ไขได้โดยทำความสะอาดเป็นครั้งคราวหรือใช้สารเคลือบกันน้ำ เช่น ซิลิโคน หรือขี้ผึ้งทางรถยนต์ เป็นต้น

สำหรับรูป 2.19 ( B ) เป็นสายทวินลิตขนาด 75 โอห์ม ที่ใช้ลวดตัวนำเบอร์ 12 และมีระยะห่างระหว่างตัวนำน้อยกว่า มีข้อดีคือ ทนต่อความชื้นในบรรยากาศได้ดีกว่าแบบ 300 โอห์ม

## 2. สายโคแอกเซียล

รูปแบบต่างๆ ของสายโคแอกเซียล ดูได้จากรูป 2.19 ( C ), ( D ), ( E ), ( F ) ซึ่งจะมีหลักการเหมือนกัน

กำลังที่ใช้ในสายกับขนาดของสาย เป็นสัดส่วนโดยตรงระหว่างกัน อธิบายคือ ถ้าขนาดของไดอิเล็กตริก และตัวนำหนาขึ้น จะสามารถนำไปใช้กับแรงดันไฟฟ้า และกระแสได้ปริมาณมากขึ้น หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าการสูญเสียในสายลดลง ถ้าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น รูปร่างของสายโคแอกเซียลโดยทั่วไป เหมือนในรูป 2.19 ( C ) คือ แกนของสายเป็นตัวนำเส้นกลม อาจเป็นเส้นเดี่ยวหรือเส้นเล็กหลายเส้นพันรวมกัน หุ้มด้วยสายไดอิเล็กตริก โดยถ้าใช้งานย่านความถี่ต่ำ จะใช้สายโพลีเอททิลีน หรือ โพลีเอททิลีนโฟม แต่ถ้าใช้งานในความถี่สูงมักใช้สายเพฟลอนแทน บางกรณี จะใช้กระดาษเป็นสาร ไดอิเล็กตริกแทน เช่น ในโครงงาน ที่มีคุณสมบัติกำจัดความชื้นไป และต้องคอยควบคุมปริมาณ, ความชื้นของก๊าซไว้ตลอด

สายโคแอกเซียลบางแบบมีการป้องกัน คลื่นรบกวนจากภายนอก เข้ามาในสายอย่างเป็นทางการพิเศษ คือ สายแบบมีชีลด์ 2 ชั้น [ ดูได้จากรูป 2.19 ( D ) ] บางครั้งฉนวนที่หุ้มเป็นวัสดุแข็ง เช่น ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวนำชั้นนอก

การพิจารณาเลือกใช้สาย โคแอกเซียล

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือ การเลือกใช้สายนำสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับสายอากาศให้ได้ดีที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในสายให้น้อยที่สุด

สายโคแอกเซียลได้มีวางขายในท้องตลาดมากมาย แต่จะมีมาตรฐานกำหนดคอยู่อย่างแน่นอนดังนี้

1. มาตรฐาน MIL - C - 17 เป็นข้อกำหนดทางมาตรฐานอเมริกัน ได้แก่สายที่ขึ้นต้นด้วยเบอร์ RG/U ( RG ย่อมาจาก Radio Guide หมายถึง สายนำสัญญาณวิทยุ )

2. มาตรฐาน JIS C3501 เป็นของประเทศญี่ปุ่น

ในหนังสือเล่มนี้จะเน้นอธิบายตามมาตรฐาน MIL - C - 17 เป็นส่วนใหญ่ ก่อนอื่นขออธิบายให้เข้าใจถึงความหมายของเบอร์สายแต่ละชนิดดังนี้

1. มาตรฐาน MIL – C – 17 เช่นเบอร์ RG – 8 A/U

- RG หมายถึง Radio Guide ( สายนำสัญญาณวิทยุ )  
 8 หมายถึง เบอร์ของสายโคแอกเชียล  
 A หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วัสดุทำเปลือกหุ้มเปลี่ยนไป, จำนวนลวดตรงกลางต่างกัน, อิมพีแดนซ์ต่างกันเล็กน้อย, อัตราการสูญเสียต่างกันเล็กน้อย ฯลฯ ( ตัวอักษรอาจเป็น B, C ได้หรือไม่มีแล้วแต่กรณี )  
 U หมายถึง Utility หรือ Universal คือ ใช้งานทั่วไป

2. มาตรฐาน JIS C3501 เช่น เบอร์ 3C-2V

- 3 หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก โดยประมาณของไดอิเล็กตริก  
 C หมายถึง ค่าอิมพีแดนซ์ โดย  $C = 75$  โอห์ม ( เปลือกหุ้มจะมีสีดำหรือขาว )  
 D 50 โอห์ม ( เปลือกหุ้ม PVC เป็นสีเทาหรือขาว ถ้าเป็น PE จะมีสีดำ )  
 2 หมายถึง วัสดุที่ทำไดอิเล็กตริก โดยเลข 2 คือ PE ( โพลีเอททีลีน ) อักษร F คือ โฟม ( Cellular PE )  
 V หมายถึง ลักษณะของชีตส์ และเปลือกหุ้มสาย โดย  
 B คือ ชีตส์ทองแดง + ชีตส์อะลูมิเนียม + PVC ( โพลีไวนิลคลอไรด์ )  
 E คือ ชีตส์ทองแดง + PE  
 L คือ ชีตส์อะลูมิเนียม + PVC  
 N คือ ชีตส์ทองแดง + ไนลอนฉก  
 V คือ ชีตส์ทองแดง + PVC  
 W คือ ชีตส์ทองแดง 2 ชั้น + PVC

ตารางที่ 2.5 เบอร์ต่างๆ ของสายโคเอกเซิลแสดงดังต่อไปนี้

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์(โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริก	แรงดันใช้งานสูงสุด(Vrms)
RG-6	75.0	75	18.6	0.266	Foam PE	400
RG-6X	52.0	75	26.0	0.242	Foam PE	300
RG-8	52.0	66	29.5	0.405	PE	4000
RG-8 Foam	50.0	80	25.4	0.405	Foam PE	1500
RG-8A	52.0	66	29.5	0.405	PE	5000
RG-9	51.0	66	30.0	0.420	PE	4000
RG-9A	51.0	66	30.0	0.420	PE	4000
RG-9B	50.0	66	30.8	0.420	PE	5000
RG-11	75.0	66	30.6	0.405	PE	4000
RG-11Foam	75.0	80	16.9	0.405	Foam PE	1600
RG-11A	75.0	66	20.6	0.405	PE	5000
RG-12	75.0	66	20.6	0.475	PE	4000
RG-12A	75.0	66	20.6	0.475	PE	5000
RG-17	52.0	66	29.5	0.870	PE	11000
RG-17A	52.0	66	29.5	0.870	PE	11000
RG-55	53.5	66	28.5	0.216	PE	1900
RG-55A	50.0	66	30.8	0.216	PE	1900
RG-55B	53.5	66	28.5	0.216	PE	1900
RG-58	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58Foam	53.5	79	28.5	0.195	Foam PE	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลแสดงดังต่อไปนี้

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กทริก	แรงดันใช้งานสูงสุด (Vrms)
RG-58A	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58B	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58C	50.0	66	30.8	0.195	PE	1900
RG-59	73.0	66	21.0	0.242	PE	2300
RG-59foam	75.0	79	16.9	0.242	Foam PE	800
RG-59A	73.0	66	21.0	0.242	PE	2300
RG-62	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-62foam	95.0	79	13.4	0.242	Foam PE	700
RG-62A	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-62B	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-133A	95.0	66	16.2	0.405	PE	4000
RG-141	50.0	70	29.4	0.190	PTFE	1900
RG-141A	50.0	70	29.4	0.190	PTFE	1900
RG-142	50.0	70	29.4	0.206	PTFE	1900
RG-142A	50.0	70	29.4	0.206	PTFE	1900
RG-142B	50.0	70	29.4	0.195	PTFE	1900
RG-174	50.0	66	30.8	0.100	PE	5000
RG-213	50.0	66	30.8	0.405	PE	5000
RG-214*	50.0	66	30.8	0.425	PE	5000
RG-215	50.0	66	30.8	0.475	PE	5000
RG-216	75.0	66	20.6	0.425	PE	5000
RG-223*	50.0	66	30.8	0.212	PE	1900
9913(Belden)*	50.0	84	24.0	0.405	Air space PE	-
9914(Belden)*	50.0	78	26.0	0.405	Foam PE	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เบอร์ต่างๆ ของสาย โคนอกเซียลที่มีเปลือกหุ้มเป็นอะลูมิเนียม , โฟมไดอิเล็กตริก

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริก	แรงดันใช้งานสูงสุด (Vrms)
1/2 นิ้ว	50.0	81	25.0	0.500		2500
3/4 นิ้ว	50.0	81	25.0	0.750		4000
7/8 นิ้ว	50.0	81	25.0	0.875		4500
1/2 นิ้ว	75.0	81	16.7	0.500		2500
3/4 นิ้ว	75.0	81	16.7	0.750		3500
7/8 นิ้ว	75.0	81	16.7	0.875		4000
โอเพ่นไวน์	-	97	-	-		-
สายทวินลีด						
สายทวินลีด	75.0	67	19.0	-		-
สายทอบิลาร์	300.0	82	5.6	-		-
สายโอเพ่นไวน์	300.0	80	4.6	-		-
1/2 นิ้ว	300.0	95	-	-		-
1 นิ้ว	450.0	95	-	-		-

สายเบอร์ที่มีเครื่องหมาย “\*” ต่อท้ายเป็นสายแบบมีชีลด์ 2 ชั้น  
ความหมายของตัวย่อของสายที่ทำเป็น ไดอิเล็กตริก

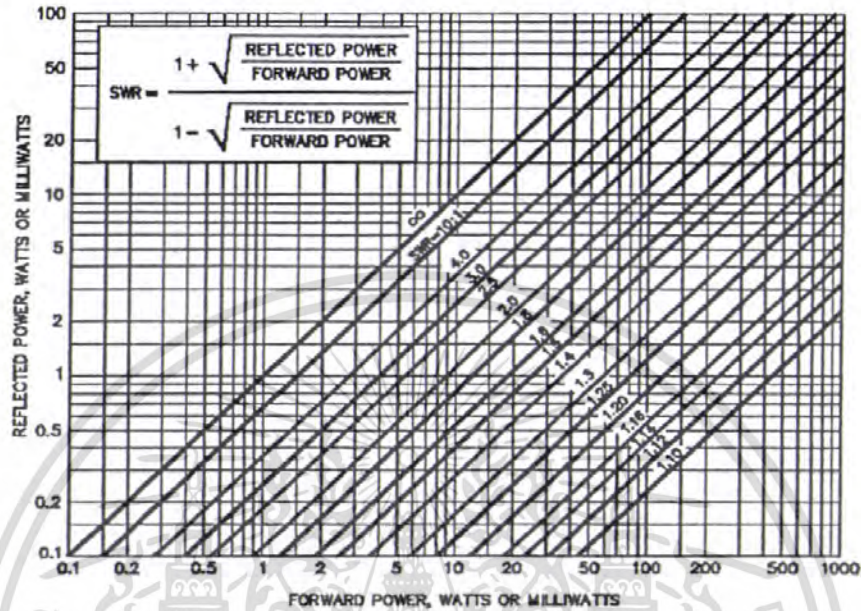
pe	โพลีเอทิลีน	อุณหภูมิใช้งาน ( C° )	-65° ถึง 80°
Foam PE	โฟมโพลีเอทิลีน	อุณหภูมิใช้งาน ( C° )	-65° ถึง 80°
PTFE	เทฟลอน	อุณหภูมิใช้งาน ( C° )	-250° ถึง +250°

คุณสมบัติพิเศษ คือ

- ค่าอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 4\%$  และค่าตัวคูณความเร็วที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 3\%$
- ค่าความจุไฟฟ้า ( pF/ฟุต ) ใช้พิจารณาว่าสายโคนอกเซียลไปไหลลดการทำงานของเครื่องส่งเพียงใด ( เป็นคุณสมบัติสำหรับการออกแบบวงจร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองพิจารณารูปในรูป 2.20 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนในสายกับความถี่ที่ใช้งาน



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงค่าการลดทอนในสายกับความถี่ใช้งาน

ความยาวของสายที่ใช้งาน นับว่ามีส่วนสำคัญเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าเราเลือกใช้สายเบอร์ RG-58/U ซึ่งมีค่าการลดทอนจากกราฟในรูป 2.13 ที่ความถี่ 150 MHz ในกรณีใช้ความยาวของสาย 100 ฟุต เท่ากับ 6 dB

ดังนั้นถ้ากำลังส่ง 10 วัตต์ จะถูกลดทอนไปถึง 7.49 วัตต์ ทำให้เหลือกำลังส่งไปถึงสายอากาศเพียง 2.51 วัตต์ เท่านั้น แต่ถ้าเลือกใช้สายเบอร์ RG-8 แบบโฟมจะมีค่าสูญเสียเพียง 2.1 dB และเหลือถึงสายอากาศเท่ากับ 6.17 วัตต์

วิธีการคำนวณหา กำลังส่งที่ถึงสายอากาศหาได้จากสูตร

$$P_o = P_i \times 10^{(Atten/10)} \quad (2.22)$$

โดยที่

$P_o$  = แทนกำลังส่งที่ไปถึงสายอากาศ

$P_i$  = แทนกำลังส่งของเครื่องส่ง

Atten = แทนค่าการลดทอนของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ข้อพิจารณาการเลือกใช้สาย

เงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้

### 1. การสูญเสียในสาย

สายที่มีอัตราการสูญเสียในสายต่ำถือว่ามีความปลอดภัย ให้กำลังส่งไปถึงสายอากาศได้ดีมีข้อสังเกตว่า ถ้าใช้โหมโคอิเล็กทริกจะช่วยลดอัตราการสูญเสียลงได้มาก เช่น สายเบอร์ RG - / U แบบโหมมีค่าอัตราการสูญเสียน้อยกว่า RG - 8 / U ธรรมดา หรือพิจารณาที่จำนวน ลวดตัวนำชั้นในก็ได้ เช่น สายเบอร์ RG - 8 / U มีลวดตัวนำเป็นเส้นเดียวจะมีการสูญเสียน้อยกว่าสายเบอร์ RG - 8 / U ที่มีลวดตัวนำเป็นเส้นฝอย 19 เส้น

### 2. การโค้งงอของสาย

ในงานที่สายถูกใช้แบบบิดหรือโค้งงอบ่อยๆ เช่น สายอากาศทิศทางที่ต้องมีโรเตอร์หมุนหาทิศทางเราควรใช้สายที่ลวดตัวนำตรงกลางจำนวนหลายเส้นจะได้ไม่ขาดเร็วเกินไป อย่างเช่น เบอร์ RG - 58 - CU หรือพิจารณาที่สารไดอิเล็กทริก ไม่ควรใช้แบบโหมเพราะไดอิเล็กทริกจะนุ่มและมีรูพรุน ถ้ามีการบิดสายไปมาอาจทำให้แนวลวดตัวนำไม่อยู่ตรงกลาง ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนไป และค่าการสูญเสียในสายเพิ่มขึ้น สำหรับสายโหมและสายเคเบิล ควรใช้กับงานที่มีการติดตั้งสายในตำแหน่งแน่นอน

### 3. การชิลด์ (Shield) สายนำสัญญาณ

เราชิลด์สายเพราะต้องการป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกมารบกวนคลื่นวิทยุในสายได้ และกันไม่ให้คลื่นวิทยุในสาย ไปกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกเช่นกันดังนั้นสายโคแอกเชียลที่มีการชิลด์ที่ดี จะให้คุณภาพดีขึ้น

วิธีการชิลด์ที่ใช้มีดังนี้

3.1 การใช้ลวดทองแดงสานเป็นตัวนำชั้นนอก โดยพิจารณาว่าสามารถครอบคลุมพื้นที่โคอิเล็กทริกได้มากเท่าใด เช่น อาจครอบคลุมได้ 95 % หรือ ในการรบกวนสูง ต้องใช้ถึง 100 % ก็ได้ โดยดูได้จากความถี่แน่นในการสานลวดทองแดง

3.2 ใช้ท่ออะลูมิเนียม ( ในสายฮาร์ด โลว์ ) หรือท่อทองแดง ( ในสายเฮลิกอล )

3.3 ใช้วิธีทำเป็นชิลด์ 2 ชั้น อย่างเช่น สายเบอร์ RG - 214 /U ที่ใช้วิธีชิลด์เป็นลวดทองแดงชุบเงินถึงทั้ง 2 ชั้น ครอบคลุมพื้นที่ได้ 100 % ( มีราคาแพงมาก )

### 4 ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า

ระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในสายสำคัญมาก เพราะถ้ามีมากเกินไปขีดกำหนดอาจทำให้สายเสียหายแตกหักได้

ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้

- 4.1 อัตราทนแรงดันของสาร ไดอิเล็กทริก
- 4.2 ค่าความต้านทานของลวดตัวนำ
- 4.3 ชีตจำกัดของอุณหภูมิของสาร ไดอิเล็กทริกและเปลือกหุ้ม
- 4.4 ระยะเวลาใช้งาน
- 4.5 อัตราลดทอนที่ความถี่อื่นๆ
5. อายุการใช้งาน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่อไปนี้
  - 5.1 สภาพการใช้งานทางไฟฟ้าและสภาพการติดตั้งสาย
  - 5.2 คุณสมบัติของสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้ม เช่น PVC ( โพลีไวนิลคลอไรด์ ), NMV ( Non-Migratory PVC ) เป็นต้น

เราพิจารณาความเนื้อสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้มดังนี้

1. สาร PVC ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารที่ผสมใน PVC ซึมผ่านสาย ไดอิเล็กทริกทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไป ค่าอิมพีแดนซ์สูงขึ้นเกิดการลดทอนมากกว่าเดิม การซึมผ่านของสาร PVC ถือเป็นเรื่องปกติ แต่ถ้าได้รับความร้อนจะเกิดเร็วขึ้น มีผลให้สายเสื่อมคุณภาพลงถ้าระยะเวลาที่เกิดการซึมผ่านเกิดขึ้นถึงระดับหนึ่ง
  2. สาร NMV จัดเป็นสาร PVC ชนิดพิเศษที่ไม่เกิดการซึมผ่านเลย ดังนั้นในสายที่ติดตั้งตากแดดตากฝนตลอดปี ควรเลือกแบบ NMV แทน PVC
- ส่วนสายที่มีชีตค้เป็นท่อโลหะหุ้มล้อมรอบจะเลือกใช้สารใดก็ได้ เพราะมีโลหะป้องกันสาร ไดอิเล็กทริกไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การมอดูเลชัน

ในกระบวนการมอดูเลต เราใช้คลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออดิโอ (หรือเสียงพูด) สัญญาณภาพ หรือข่าวสารอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้ เราเรียกว่า การมอดูเลต

#### 3.1 ประเภทของการมอดูเลชัน

##### 3.1.1 การมอดูเลตแบบ ASK ( Amplitude Shift Keying )

เป็นการอาศัยหลักการของแอมพลิจูดมอดูเลชันสัญญาณ ASK นี้เวลาที่มีสัญญาณมาร์คหรือสัญญาณเปิดจะส่งสัญญาณพัลส์และเวลาที่มีสัญญาณสเปสหรือสัญญาณปิดจะไม่ส่งสัญญาณสัญญาณ ASK อาจใช้เป็นสัญญาณโทรเลขหรือใช้เป็นสัญญาณดิจิตอลมอดูเลชันแบบต่างๆ ที่ไม่ต้องการความเร็วในการส่ง (bit rate) สูง

##### 3.1.2 การมอดูเลตแบบ FSK ( Frequency Shift Keying )

เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเบสแบนด์พัลส์พีซีเอ็ม และเหมาะกับการส่งข้อมูลที่อัตราเร็วค่าตามข้อกำหนดรายละเอียด (CITT V.21) และนิยมใช้ FSK ชนิด 2 ความถี่เท่านั้น เพราะความถี่สามารถกำเนิดและรับได้ง่าย

##### 3.1.3 การมอดูเลตแบบ PSK ( Phase Shift Keying )

จะใช้ในการสื่อสารที่มีอัตราความเร็วสูง ทั้งนี้เพราะ PSK มีค่าพรอบบะลิตีความผิดพลาดต่ำและต้องการแถบความถี่ประมาณ 2 เท่าของอัตราความเร็วของบิต PSK ใช้เป็นวิธีการมอดูเลชันในโมเด็มที่มีความเร็วสูง

ดังนั้น ทั้ง 3 แบบนี้จะมีความต้องการความถี่ประมาณ 2 เท่าของอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล แต่ถ้าต้องการที่จะเลือกใช้ระบบดิจิตอล โมดูละชัน ในงานที่มีข้อจำกัดทางด้านแถบความถี่ (bandwidth limitation) ก็ไม่ควรเลือกระบบเอฟเอสเค

##### 3.1.4 แอมพลิจูดมอดูเลชัน AM ( Amplitude Modulation )

ส่วนมากจะใช้ในระบบวิทยุกระจายเสียง การแพร่ภาพของทีวี การรับส่งสัญญาณผ่านคลื่นสั้นหรือคลื่นความถี่สูง และในระบบเรดาร์ มีคลื่นความถี่ตั้งแต่ 550kHz-1,100kHz แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

### 3.1.5 การมอดูเลชัน DSB ( Double Side Band )

เป็นวิธีการมอดูเลชันแบบตรงไปตรงมา โดยการคูณสัญญาณมอดูเลตกับคลื่นตัวพา อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า เครื่องมอดูเลทแบบบาลานซ์



รูปที่ 3.1 การมอดูเลชันแบบไซด์แบนด์คู่

#### แบบ AM

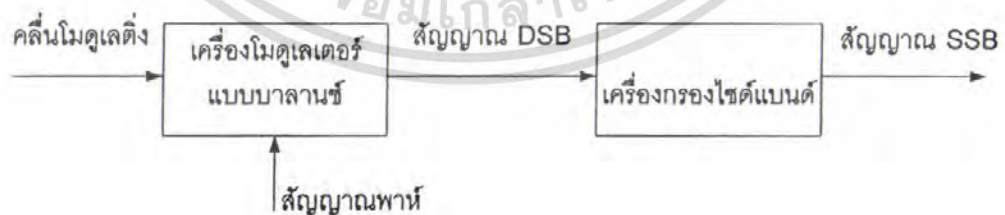
เป็นแบบที่ใช้กันทั่วไป เกิดได้จากการรวมของสัญญาณ DSB เข้ากับคลื่นตัวพา ใช้กันทั่วไปตามสถานีวิทยุกระจายเสียง คลื่นเมื่อทำการ โมดูเลตจะมีค่าเฉลี่ย (mean value) ค่าหนึ่งเพื่อไม่ให้เอมเพลโลปของคลื่น AM เกิดการทับกัน ดังเช่นในกรณีของ DSB

### 3.1.6 แบบไซด์แบนด์เดี่ยว SSB ( Single Side Band )

ในการกำหนด SSB นั้นอาจทำได้ 2 วิธีคือ

#### วิธีการกรอง (Filter)

นี้ใช้หลักการกำหนด DSB แล้วเพิ่มเครื่องกรองไซด์แบนด์เข้าไปในวงจรเพื่อขอมให้ไซด์แบนด์ใด ไซด์แบนด์หนึ่งของสัญญาณ DSB ผ่านเท่านั้นผลที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณ SSB

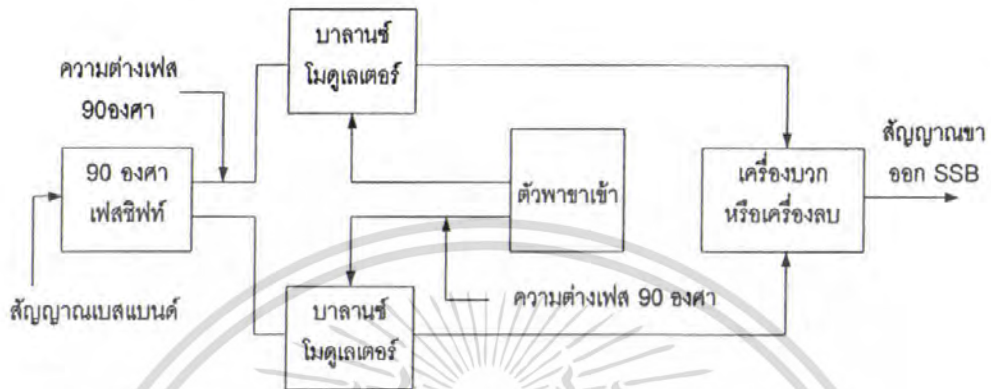


รูปที่ 3.2 วิธีการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.7 วิธีการจัดเฟส

จะใช้เครื่องมอดูเลเตอร์แบบบาลานซ์ 2 ตัวที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาแล้วนำสัญญาณคลื่นที่มอดูเลตแล้วทั้งสองมารวมกันหรือลบกันก่อนส่งออกสัญญาณขาออกจะเป็น SSB ตามต้องการ



รูปที่ 3.3 วิธีการกำเนิดสัญญาณ SSB

ไซด์แบนด์ AM

ไซด์แบนด์ที่มีความถี่สูงกว่าเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านบน (upper sideband หรือ USB) ความถี่ของ USB เท่ากับผลรวมความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณมอดูเลต หาได้จากสูตร

$$\text{ความถี่ USB} = f_c + f_m \quad (3.1)$$

เมื่อ  $f_c$  คือ ความถี่พาหะ  
 $f_m$  คือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต

สำหรับไซด์แบนด์ที่มีความถี่ต่ำกว่าเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านล่าง (lower sideband หรือ LSB) ความถี่ของ LSB เท่ากับความถี่พาหะลบด้วยความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต หาได้จากสูตร

$$\text{ความถี่ LSB} = f_c - f_m \quad (3.2)$$

กล่าวโดยสรุปอีกครั้งเกี่ยวกับสัญญาณ AM นั่นคือ สัญญาณ AM เกิดจาก สัญญาณข่าวสารเข้าไปมอดูเลตบนพาหะแล้วปรากฏเป็นสัญญาณไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (คือ USB กับ LSB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.8 การมอดูเลชันแบบ

#### 1 สัญญาณ FM และ PM

สัญญาณ FM คือ สัญญาณที่เกิดจากมอดูเลชันที่เปลี่ยนความถี่ของตัวพาตามขนาดของสัญญาณมอดูเลตติ้ง โดยมีขนาดของตัวพาอยู่ที่เสมอ

ส่วนสัญญาณ PM คือ สัญญาณที่เกิดจากมอดูเลชันที่เปลี่ยนเบสของตัวพาตามขนาดของสัญญาณมอดูเลตติ้ง โดยมีขนาดของตัวพาอยู่ที่เสมอ

วิธีสร้างสัญญาณ FM ใช้หลักการหนึ่ง คือ

นั้นจะสร้างสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบ (NBFM) ก่อน โดยใช้เครื่องมอดูเลตแบบแอมพลิจูด หรือ ใช้เครื่องมอดูเลตแบบบาลานซ์แล้วนำสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบนี้เปลี่ยนเป็นสัญญาณแถบความถี่กว้าง (WBFM) โดยการคูณความถี่

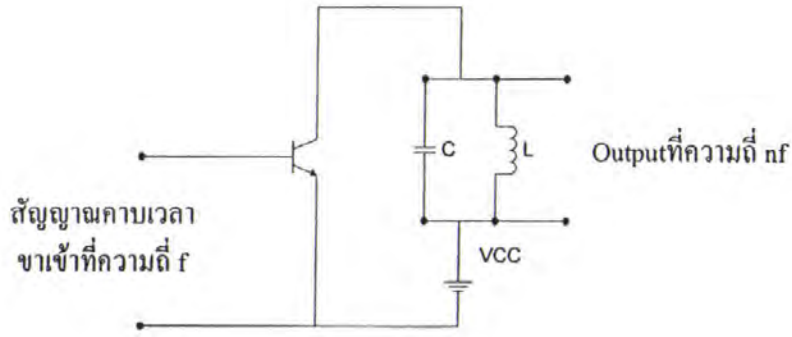
แต่ในระบบอาร์มสตรอง (Armstrong) นั้น จะสร้างสัญญาณ PM ก่อนโดยจำกัดสัญญาณ โมดูลเลตติ้งที่ระมอดูเลตให้มีค่าน้อยกว่า 1 แต่ถ้าใช้เครื่องมอดูเลตแบบบาลานซ์สร้างสัญญาณ DSB-SC ที่ใช้  $\sin \omega_c t$  เป็นตัวพาของเครื่องมอดูเลต โดยให้ตัวพาเปลี่ยนมุมไป 90 องศาโดยผ่านเครื่องเปลี่ยนเฟสแล้วร่วมกับสัญญาณ DSB-SC ที่ขาออกของเครื่องมอดูเลตแบบบาลานซ์ ก็จะได้สัญญาณ PM ตามต้องการ

ฉะนั้นถ้าสัญญาณมอดูเลตติ้งผ่านเครื่องอินทิเกรตก่อนแล้วค่อยผ่านการมอดูเลตตามระบบอาร์มสตรอง จะได้สัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบ

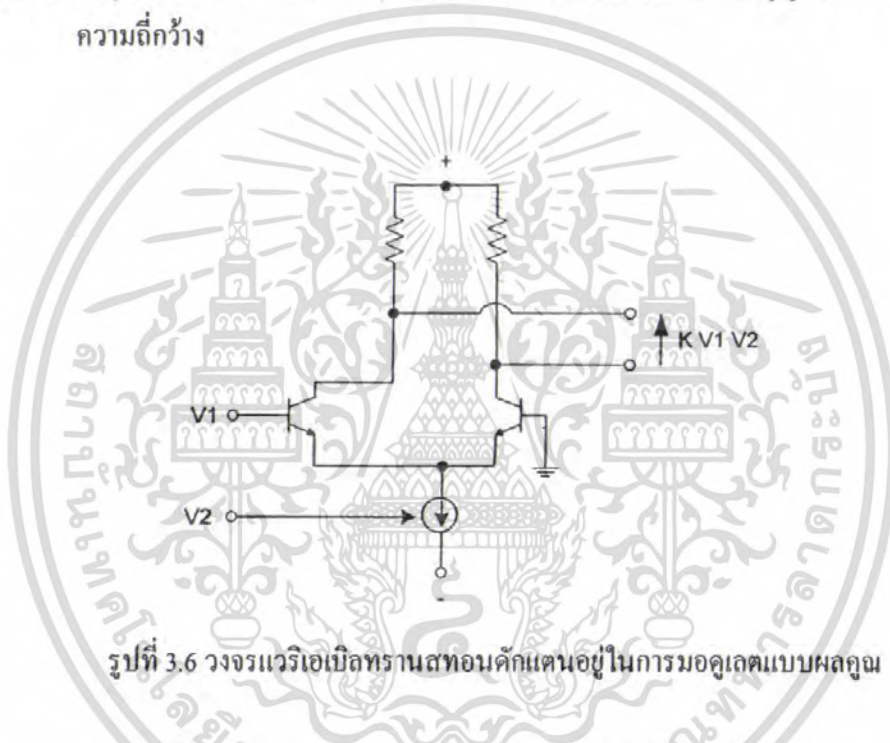


รูปที่ 3.4 หลักการของระบบอาร์มสตรองในการสร้าง FM แบบแถบความถี่แคบ

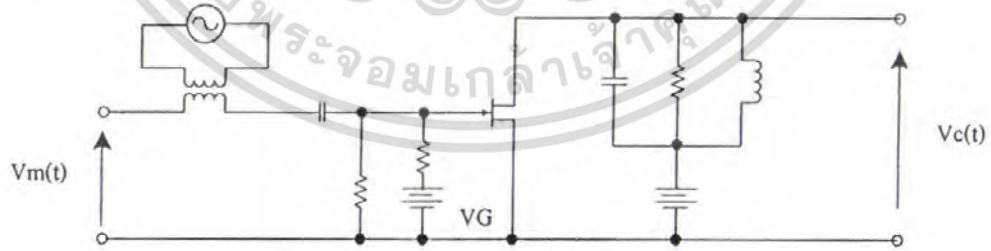
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตัวคูณความถี่เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบเป็นสัญญาณ FM แบบแถบความถี่กว้าง

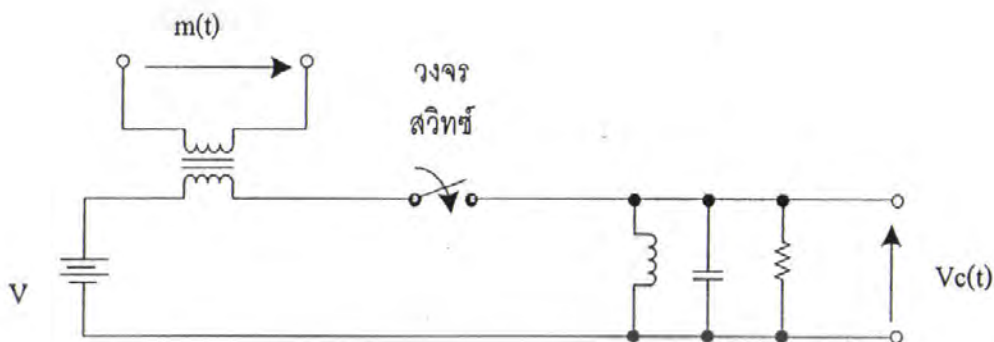


รูปที่ 3.6 วงจรแบริเอเบิลทรานส์ทอนคักแดนอยู่ในการมอดูเลตแบบผลคูณ



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวงจรการมอดูเลตแบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 หลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบสวิตซ์ซิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

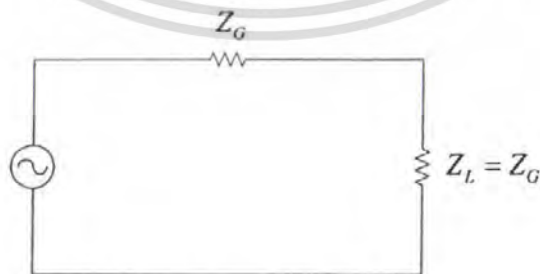
### การแมตช์ซิ่ง ( Matching ) ในระบบสายอากาศ

สัญญาณที่จะรับหรือส่งจะดีไม่ดีขึ้นอยู่กับหลายสิ่งหลายอย่างประกอบกัน รวมทั้งการเลือกชนิดของสาย โดยคำนึงถึงลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของสาย และสิ่งที่จะช่วยในการเลือกสายหรือคำนึงถึงอย่างหนึ่งคือ การแมตช์ซิ่ง

ถ้าป้อนพลังงานให้กับสายอากาศแล้วพลังงานเหล่านี้ถูกส่งแพร่ออกไปในอากาศได้หมดก็แสดงว่า เครื่องส่งกับสายอากาศมีการแมตช์ซิ่งกันพอดี แต่ถ้าหากสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับมาทำให้กำลังในการส่งออกอากาศไปได้เพียงจำนวนเล็กน้อยก็แสดงว่า เครื่องส่งไม่แมตช์กับสายอากาศ ดังนั้นการแมตช์ซิ่ง จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อระบบสายอากาศทั้งระบบการรับและการส่ง

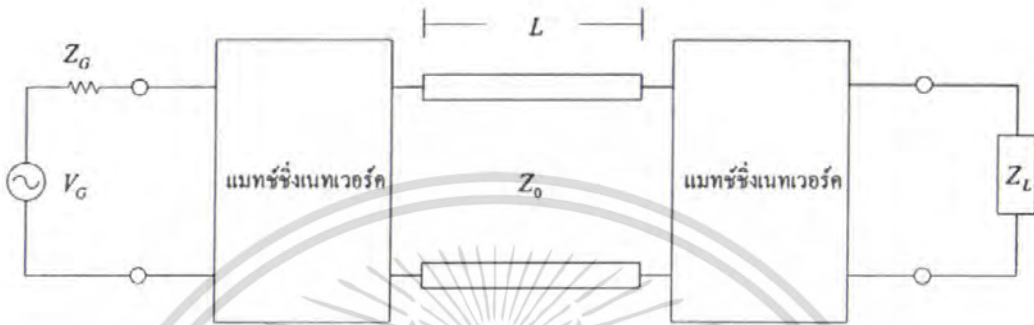
#### 4.1 การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด

ถ้ามีแหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่เครื่องหนึ่ง ที่สามารถจ่ายสัญญาณป้อนไปยังโหลดได้ และถ้าหากให้แหล่งกำเนิดสัญญาณมีค่าอิมพีแดนซ์ภายใน  $Z_G$  เมื่อนำเอาแหล่งกำเนิดสัญญาณนี้มาจ่ายกำลังงานให้โหลดตัวหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้ จะพบว่ากำลังงานที่ไปยังโหลดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด ถ้านำวัตต์มิเตอร์ทำการวัดกำลังงานที่โหลด เมื่อทำการปรับตัวอิมพีแดนซ์ โหลดวัตต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้สูงสุด เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดในส่วนที่เป็นตัวต้านทานจะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ในส่วนที่เป็นตัวต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์ที่โหลดจะมีค่าเท่ากับค่ารีแอคแตนซ์ภายในเครื่องกำเนิดสัญญาณ แต่จะต้องเป็นชนิดตรงข้ามกัน หรือมีเครื่องหมายประจํารีแอคแตนซ์ตรงข้ามกัน เช่น ถ้ารีแอคแตนซ์ภายในของแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นเสมือนตัวเก็บประจุ ( $X_C$ ) ต้องต่อกับโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ( $X_L$ ) และมีค่ารีแอคแตนซ์เท่ากัน จึงจะได้กำลังงานที่โหลดสูงสุด



รูปที่ 4.1 การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด

ถ้าโหลดที่นำมาต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกำลังงานมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ภายในของแหล่งจ่ายกำลังงานพลังงานที่ถูกถ่ายทอดมายังโหลดย่อมมีค่าไม่สูงสุด แต่หากว่าเราต้องการให้กำลังงานจ่ายไปยังโหลดสูงสุด ต้องสร้างวงจรที่ทำหน้าที่แมตซ์ซึ่งระหว่างต้นกำเนิดสัญญาณกับโหลดเข้าด้วยกัน ส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่นี้ เรียกว่า แมตซ์ซึ่งเนทเวอร์ค (matching network)



รูปที่ 4.2 การใช้แมตซ์ซึ่งเนทเวอร์ค

จากรูปที่ 4.2 เมื่อ  $V_G$  แหล่งกำเนิด  $Z_G$  คือความต้านทานภายในของแหล่งกำเนิด  $Z_0$  คืออิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งและ  $Z_L$  คือโหลดหรือสายอากาศ แมตซ์ซึ่งเนทเวอร์คที่อยู่ด้านซ้ายจะทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของสายส่งให้มีขนาดพอสคล้องกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด และแมตซ์ซึ่งเนทเวอร์คที่อยู่ด้านขวามือจะปรับอิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศให้มีขนาดเท่ากัน

แต่สำหรับระบบสายอากาศต้นกำเนิดสัญญาณคือเครื่องส่งจะส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณไปยังโหลดคือตัวสายอากาศ สำหรับสายค่าความต้านทานของสายอากาศหรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เช่น 75 โอห์ม 300 โอห์ม ซึ่งความต้านทานสายอากาศหมายถึงความต้านทานในการแพร่กระจายของคลื่น ในทำนองเดียวกับเครื่องรับ สายอากาศก็เปรียบเสมือนตัวรับสัญญาณที่มาจากการแพร่มาในบรรยากาศแล้วส่งต่อมายังเครื่องรับ การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้ไม่สามารถวัดได้ด้วยโอห์มมิเตอร์ ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากโอห์มมิเตอร์หรือบริดจ์มิเตอร์ จะวัดได้เพียงความต้านทานในการสูญเสียเท่านั้น

#### 4.2 ประโยชน์ของการแมตซ์ซึ่ง

1. เพื่อให้เกิดการส่งถ่ายกำลังงานสูงสุดจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดหรือจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศ

2. เพื่อให้เกิดคลื่นนิ่งหรือ VSWR ในระบบมีค่าเท่ากับ 1 (ในทางปฏิบัติค่า VSWR ที่ยอมรับได้คือ 1-1.5) เนื่องจากเมื่อค่า VSWR สูงขึ้นอัตราการสูญเสียก็จะมีมากขึ้นตาม เช่นที่ความถี่ 144 MHz ถ้าค่า VSWR เพิ่มขึ้นเป็น 10:1 การสูญเสียจะเพิ่มขึ้นอีก 3.9 dB

3. เพื่อให้ขีดจำกัดของสายส่งพอดีกับระดับแรงดันและกระแสที่ไหลเข้าไปในสาย เนื่องจากเมื่อเกิดการสะท้อนคลื่นที่ไหลจะเกิดคลื่นนิ่งขึ้นทำให้ระดับของแรงดันและกระแสจะมีขนาดเพิ่มขึ้น

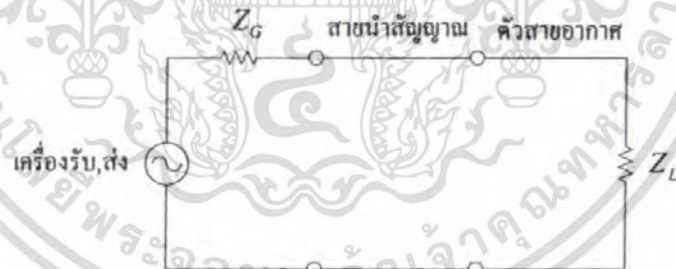
4. เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากโหลดจะเข้าสู่เครื่องส่งหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งอาจทำให้เครื่องส่งหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียหายได้

การใช้งานต้องการให้ค่า VSWR ลดลงต้องใช้โหลดที่แมทซ์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด วิธีแก้มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. เลือกสายส่งหรือสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่สุด
2. ปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้พอดีหรือใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะประจำสายนำสัญญาณ

วิธีที่ 1 ง่ายและไม่ยุ่งยากแต่มีข้อจำกัด เพราะอิมพีแดนซ์ของสายที่หาได้ค่าพอดีกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหาได้ยากและมีน้อย

วิธีที่ 2 เป็นอิสระในการประยุกต์ใช้งานสูง แต่มีความยุ่งยากในการสร้าง



รูปที่ 4.3 การแมทซ์ซึ่งสายนำสัญญาณกับตัวสายอากาศ

สายอากาศทั่วไปจะทำหน้าที่กระจายคลื่น (เครื่องส่ง) หรือรับคลื่นจากบรรยากาศ โดยปกติการกระจายคลื่นหรือการรับคลื่นจะเป็นไปได้โดยสมบูรณ์นั้นค่าอิมพีแดนซ์สำหรับการกระจายกับอิมพีแดนซ์ของสายตลอดจนถึงอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับหรือเครื่องส่งต้องมีค่าเท่ากันตลอด สำหรับอิมพีแดนซ์ของสายนั้นจะมีลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ คือ ไม่ว่าจะตัดสายมาใช้งานอย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายจะมีค่าคงที่ ถ้าให้สัญญาณจากสายอากาศมายังเครื่องรับ

เป็นไปได้มากที่สุดจะต้องให้ระบบอยู่ในสภาวะแมทซ์ซึ่งกันพอดี คือ ให้กำลังงานไปถึงโหลดสูงสุด

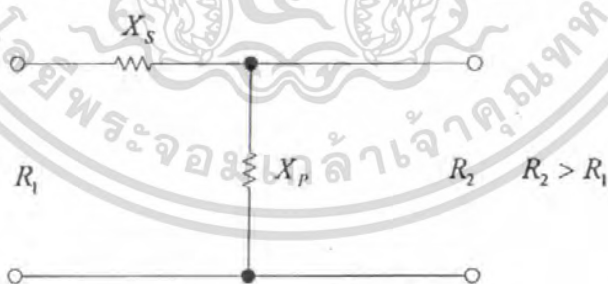
#### 4.3 การสะท้อนของคลื่นกับการแมทซ์ซึ่ง

สายอากาศจะกระจายคลื่นได้ดีที่สุดหรือเครื่องรับจะรับสัญญาณได้แรงที่สุดจะต้องให้ค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดกับอิมพีแดนซ์ของต้นกำเนิดแมทซ์กันพอดี ถ้าหากอิมพีแดนซ์ทางโหลดมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณต้องกำเนิดสัญญาณเป็นคอกอเกต

สายนำสัญญาณมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็ให้ลักษณะสำคัญทางอิมพีแดนซ์แตกต่างกัน ในการใช้สายอากาศกับเครื่องรับหรือเครื่องส่ง ถ้าหากว่าสายนำสัญญาณที่ใช้กับตัวสายอากาศหรือเครื่องรับเครื่องส่งมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นที่ นั่นคือจะมีพลังงานบางส่วนไปยังโหลดได้ แต่บางส่วนกลับมากหรือพลังงานที่จะส่งไปมีค่าไม่สูงสุด ดังนั้นการพิจารณาถึงอิมพีแดนซ์ของสายจึงเป็นเรื่องจำเป็นมากสำหรับการรับส่ง แต่ยังมีวิธีแก้ไขในกรณีที่มีการรับหรือส่งอยู่ในสภาวะไม่แมทซ์ โดยการใส่แมทซ์ซึ่งเนทเวอร์คด้วยอุปกรณ์ RLC

#### 4.4 การแมทซ์ทางอิมพีแดนซ์ด้วยอุปกรณ์ RLC

การแมทซ์อิมพีแดนซ์ เป็นวิธีที่ง่ายและคล่องตัวในย่านความถี่วิทยุในแถบความถี่ต่ำเท่านั้น ง่ายต่อการออกแบบและใช้ได้คล่องตัว ทำงานไม่ซับซ้อน การแมทซ์ซึ่งด้วยอิมพีแดนซ์ใช้ในความถี่สูงไม่ได้เพราะอุปกรณ์ที่ใช้คือตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งคุณสมบัติของค่าตัวเก็บประจุล้วนๆ และค่าตัวเหนี่ยวนำล้วนๆหาได้ยาก



รูปที่ 4.4 การแมทซ์ซึ่งรูปตัวแอล

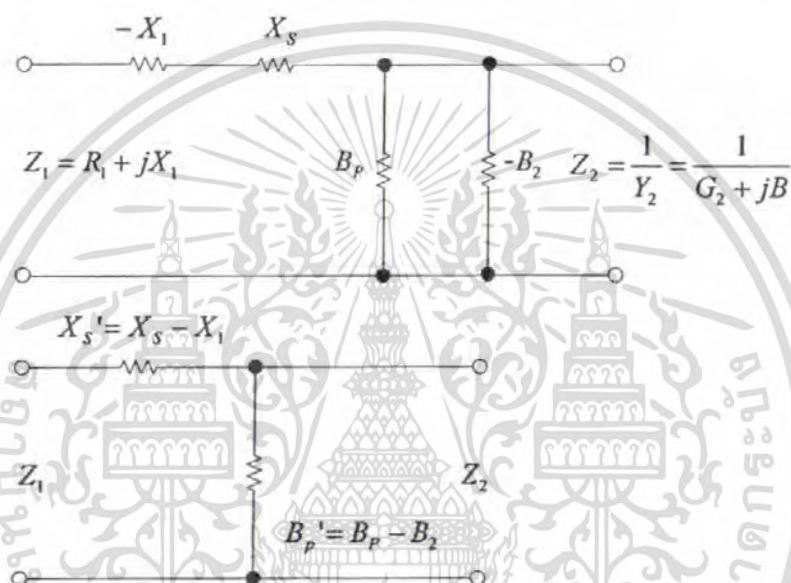
$$X_p = \pm \left( R_2 \frac{R}{R_2 - R_1} \right) = -\frac{1}{B_p} \quad (4.1)$$

$$X_s = \pm (R_1 R_2 - R_1^2) \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{1/2} \quad (4.3)$$

สมการที่ใช้ในการหาค่าตัวอุปกรณ์ที่ใช้ ค่า  $X$  คือค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งมีค่าเป็นส่วนกลับของค่าซัสเซพแตนซ์  $B$  นั่นเอง ค่า  $X$  สามารถเป็นไปได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ ในกรณีเป็นตัวเหนี่ยวนำก็จะได้ค่า  $X$  เป็นบวกถ้าเป็นตัวเก็บประจุจะได้  $X$  เป็นลบ ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลดหรือของตัวกำเนิดสัญญาณไม่ใช่ตัวต้านทานล้วน (หาได้จากการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน)

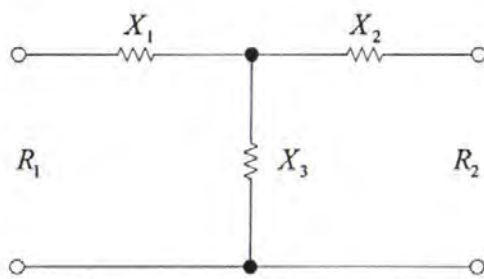


รูปที่ 4.5 การแมทซ์ซึ่งเมื่อโหลดไม่ได้เป็นค่าตัวต้านทาน

$-X_1$  ไปหักล้างกับค่ารีแอกแตนซ์ทางด้านแหล่งกำเนิดและ  $-B_2$  ไปหักล้างกับค่าซัสเซพแตนซ์ทางด้านโหลด เมื่อหักล้างแล้ววงจรที่เกิดขึ้นก็จะเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถหาค่าอุปกรณ์มาแทนได้ ในกรณีที่โหลดและความต้านทานแหล่งกำเนิดเป็นค่าตัวต้านทานล้วนๆ

#### 4.5 วิธีการแมทซ์ด้วยรูปตัว T และตัว $\pi$

การออกแบบแมทซ์ซึ่งด้วยวงจรรูปตัวทีและรูปตัวพายระหว่างโหลดที่เป็นตัวต้านทานและความต้านทานต้นกำเนิด



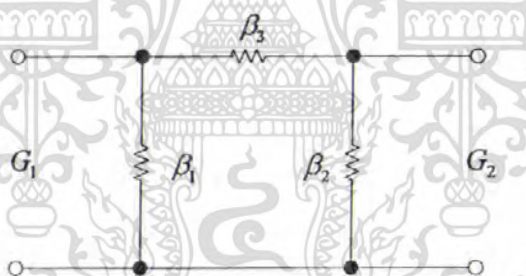
รูปที่ 4.6 การแมทซ์ซึ่งค้ำวงจรรูปตัว T

รูปตัว T

$$X_3 = -\frac{(R_1 \cdot R_2)^{1/2}}{\sin \theta} \quad (4.4)$$

$$X_1 = -\frac{R_1}{\tan \theta} - X_3 \quad (4.5)$$

$$X_2 = -\frac{R_2}{\tan \theta} - X_3 \quad (4.6)$$



รูปที่ 4.7 การแมทซ์ซึ่งรูปตัว π

รูปตัว π

$$\beta_3 = -\frac{(G_1 \cdot G_2)^{1/2}}{\sin \theta} \quad (4.7)$$

$$\beta_1 = -\frac{-G_1}{\tan \theta} - \beta_3 \quad (4.8)$$

$$\beta_2 = -\frac{G_1}{\tan \theta} - \beta_3 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การแมทช์ด้วยช่วงสายนำสัญญาณยาว  $\frac{1}{4\lambda}$

วิธีการแมทช์ซึ่งด้วยวิธีนี้ใช้ความยาวสายที่พอเหมาะแล้วเชื่อมต่อกันโดยตรงไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นประกอบ ถ้าหากตัดความยาวของสายนำสัญญาณให้มีขนาดความยาวเพียง  $\frac{1}{4}$  ของความยาวคลื่นและถ้าให้ปลายด้านหนึ่งลัดวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ของสายจะมีค่าเป็นอนันต์ และจะไม่ขึ้นกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอีกด้วย หากว่าใช้ค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่เป็นค่าตัวกลางเรขาคณิตยาว  $\frac{1}{4\lambda}$  เชื่อมระหว่างโหลดอิมพีแดนซ์และอิมพีแดนซ์ทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณมาต่อเชื่อมก็จะทำหน้าที่เป็นตัวแมทช์ซึ่งได้ นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่นำมาเป็นตัวแมทช์ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$Z_{ms} = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \tag{4.10}$$

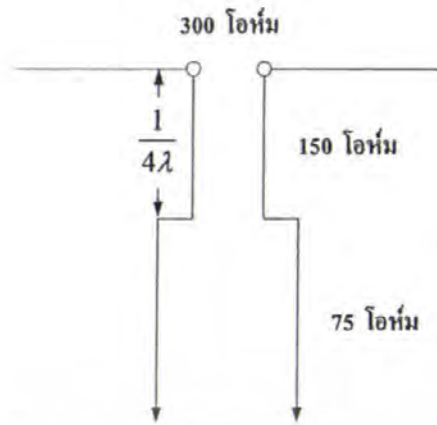
- เมื่อ  $Z_{ms}$  คือลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่เป็นตัวแมทช์ซึ่ง
- $Z_o$  คืออิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ
- $Z_L$  คืออิมพีแดนซ์ของตัวเครื่องรับหรือส่ง

จากรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างการต่อแมทช์ซึ่งโดยสมมติว่าตัวสายอากาศเป็นชนิดที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มเพื่อต่อเข้ากับเครื่องที่รับที่มีอิมพีแดนซ์เพียง 75 โอห์ม/ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ต้องการคือ

$$Z_{ms} = \sqrt{75 \times 300}$$

$$= 145 \text{ โอห์ม}$$

ซึ่งเหมาะที่จะใช้สายขนาด 150 โอห์ม



รูปที่ 4.8 การแมทซ์ซิ่งด้วยสายยาว  $\frac{1}{4\lambda}$

ความยาวของสายที่มีขนาด  $\frac{1}{4\lambda}$  สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\frac{276 \times VC}{f} \text{ (ฟุต)} \quad (4.11)$$

เมื่อค่า  $f$  คือค่าความถี่ของสัญญาณ

$VC$  คือค่าคงที่ของความเร็ว (ประมาณ 0.77 สำหรับสายจำพวกทวินลีด) ในบางครั้ง การที่จะหาขนาดของสายใช้งานทำได้ยากเพราะค่าอิมพีแดนซ์ของสายมีค่าไม่ต่อเนื่องตลอด ดังนั้น ถ้าคำนวณได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายแล้วอาจจะหาสายมาใช้งานไม่ได้ แต่ยังมีวิธีแก้ไขโดยการใช้ท่ออลูมิเนียมแท่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d$  วางห่างกัน  $D$  โดยค่าอิมพีแดนซ์ของอลูมิเนียมคู่มือมีค่าเป็น

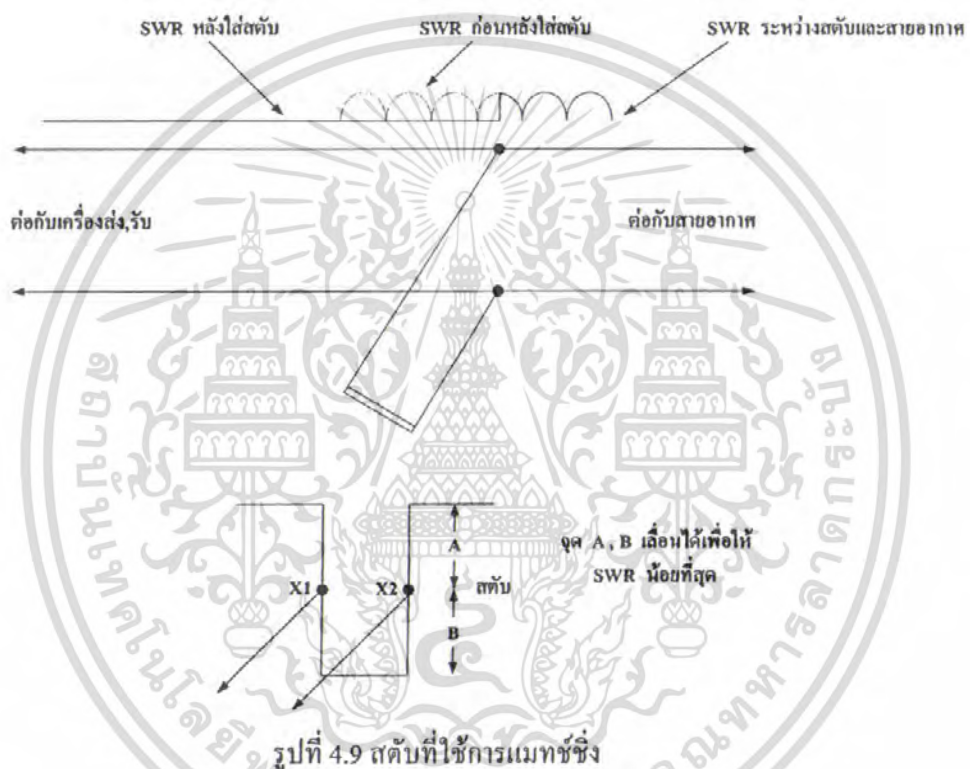
$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{K}} \log 2D/d \quad (4.12)$$

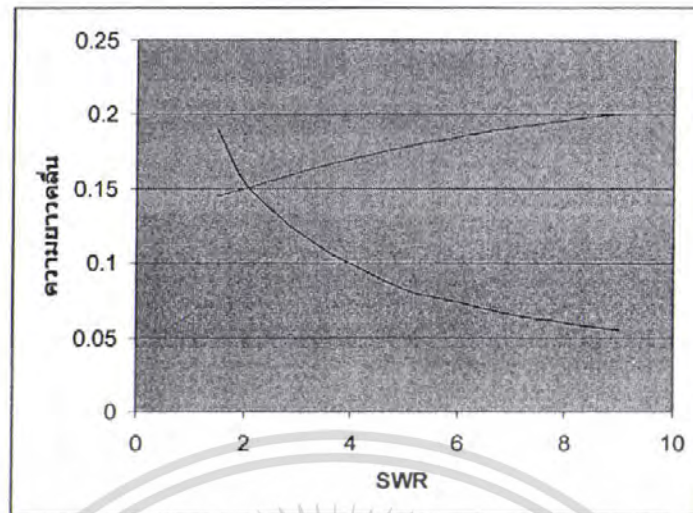
ค่าความยาวของแท่งอลูมิเนียมที่ควรใช้ความยาว

$$\frac{276}{f(\text{MHz})} \text{ (ฟุต)} \quad (4.13)$$

#### 4.7 การแมทซ์ชิงด้วยสตัด์

เมื่อนำสายสัญญาณ 2 เส้นมาต่อกันโดยที่อิมพีแดนซ์ของสายไม่เท่ากัน การสะท้อนของคลื่นย่อมเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ค่า SWR ของการส่งหรือรับมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่เป็นรีแอกตีฟปรากฏขึ้น วิธีแก้ไขปัญหานี้คือใช้ สตัด์ สตัด์เป็นสายที่นำมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณเพื่อให้อิมพีแดนซ์รวมของสายแมทซ์กันได้กับต้นกำเนิดสัญญาณหรือโหลด ถ้าพิจารณาในส่วนของการสะท้อนของคลื่นโดยไม่มีสตัด์การเคลื่อนที่เหนี่ยวนำของคลื่นในสายสัญญาณจะเสมือนเป็นคลื่น ซึ่งให้ค่า SWR สูงแต่เมื่อนำสตัด์มาต่อก็จะทำให้คลื่นในสายเรียบ





รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวของสัดับแบบสัดับวงจร

#### วิธีการใช้กราฟ

1. หาค่า SWR ของสายด้วยวิธีการคำนวณการไม่แมตซ์ของสาย ซึ่งอาจจะหาจากวิธีการวัดด้วย Two way wattmeter หรือ SWR meter
2. หากค่าโหนดมีค่าความต้านทานสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้สัดับ จะใช้สัดับแบบสัดับวงจร
3. ถ้าโหนดมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทานของสายที่ใช้ทำสัดับแบบเปิดวงจร
4. จากค่า SWR ที่มีวัดได้เลือกค่า A กราฟ
5. จากค่า SWR คำนวณหาค่าความยาว B จากกราฟ
6. คำนวณหาค่า A เป็นฟุตได้จากสูตร

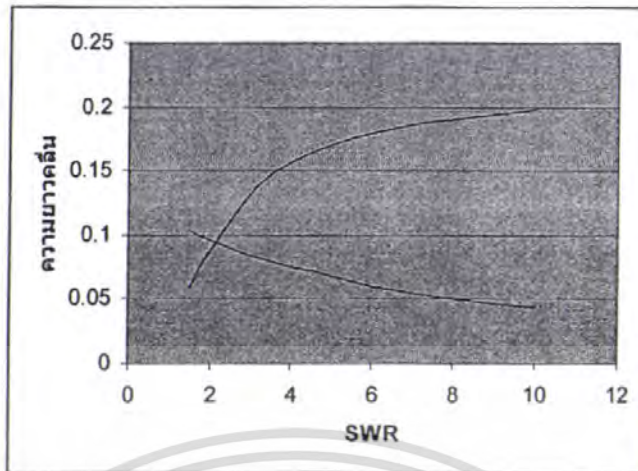
$$A = \frac{984 \times VC}{f} \times a \quad (4.14)$$

เมื่อ  $f$  มีหน่วยเป็น (MHz)

7. คำนวณหาค่า B เป็นฟุตได้จากสูตร

$$B = \frac{984 \times VC}{f} \times b \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

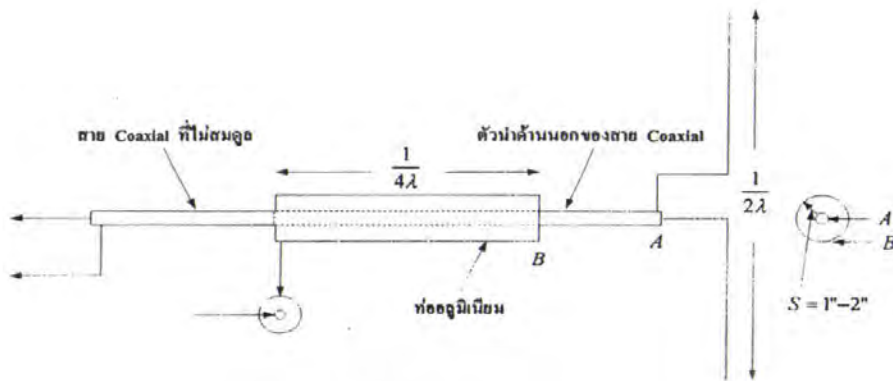


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการหาความยาวคลื่นแบบเป็ควงจร

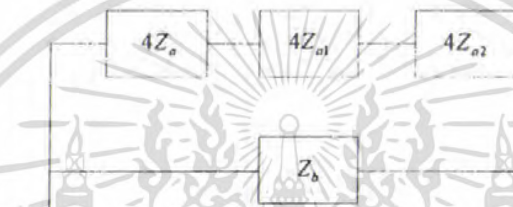
การใช้บางส่วนของสายนำสัญญาณเป็นตัวเมทซ์ซึ่ง

สายที่อิมพีแดนซ์ที่มีค่าไม่เท่ากับสายอากาศ เช่น สายนำสัญญาณ 70 โอห์มใช้กับสายอากาศฮาล์ฟเวฟโคโรลา ซึ่งย่อทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น การสะท้อนของคลื่นมักจะเหนี่ยวนำออกมาภายนอกในกรณีที่กำลังคลื่นสแตนด์เวฟมีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งก็ทำให้เกิดคลื่นในลักษณะแนวตั้งขึ้น คลื่นในแนวตั้งที่เกิดขึ้นจากสายนำสัญญาณนี้จะทำให้สายนำสัญญาณที่ใช้กับตัวสายอยู่ในสภาพที่ไม่เมทซ์กันมากยิ่งขึ้น ซึ่งแก้ไขเพื่อให้เกิดสภาวะเมทซ์ได้ด้วยวิธีของบาชูก้า บาลัน

บาชูก้า บาลัน เป็นวิธีหนึ่งในการช่วยทำการเมทซ์สายให้ดีขึ้น สาเหตุที่เรียกว่า บาชูก้า เพราะว่ารูปร่างที่ใช้งานมีลักษณะเหมือนกับปืนบาชูก้า โดยใช้ท่ออลูมิเนียมที่มีความยาว  $\frac{1}{4\lambda}$  สวมใส่สายนำสัญญาณ โดยให้ตอนล่างของท่ออลูมิเนียมเชื่อมติดกับกราวด์ของสายนำสัญญาณ ท่อที่ใช้ควรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1-2 นิ้วดังรูปที่ 4.12 บาชูก้าบาลันนี้จะมีแบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบ เพราะเมื่อความถี่เปลี่ยนไป ความยาวส่วนที่บาลันจะผิดพลาดไปจาก  $\frac{1}{4\lambda}$  ซึ่งหมายถึงจะมีกระแสไหล และทำให้บาลันสูญเสียคุณลักษณะของบาลันที่ดี



รูปที่ 4.12 บาลูน ก้า บาลัน

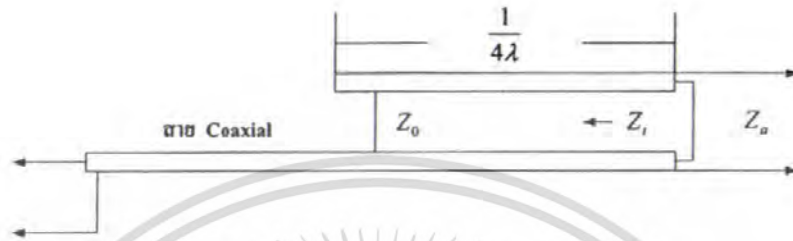


รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลของบาลูนก้าบาลัน

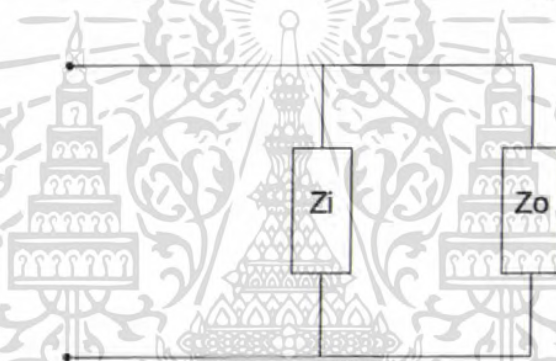
บาลูนชนิดฮาล์ฟเวฟชนิดตัวนำขนานความยาว  $\frac{1}{4\lambda}$  บาลูนชนิดบาลูนก้ามีข้อเสียที่จะใช้ได้กับความถี่ที่ทำให้ความยาวของตัวบาลูนเท่ากับ  $\frac{1}{4\lambda}$  ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับความถี่สูงๆคือย่าน VHF และย่าน UHF ข้อเสียของการแมทซ์ด้วยวิธีนี้คือต้องใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้รูปร่างใหญ่โต

4.8 บาลูนแบบลวดตัวนำขนาน โครงสร้างแบบขดลวดตัวนำขนานใช้ขดลวดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของสายโคแอกเซียลและยาว  $\frac{1}{4\lambda}$  มาวางขนานกับสายโคแอกเซียล โดยที่ปลายด้านที่ใกล้กับปลายสายโคแอกเซียลต่อโลหะในของสายโคแอกเซียล ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อกับโลหะด้านนอกของสายโคแอกเซียล บาลูนแบบนี้จะมีวงจรสมมูลแสดงในรูปที่ 4.13 ถ้าอิมพีแดนซ์ของส่วนที่ทำหน้าที่เป็นบาลูนคือ  $Z_b$  มีค่าเป็นอนันต์ก็จะมีกระแสไหลเข้าสู่สายคู่ขนานเท่านั้น และถ้า  $Z_b$  ไม่เป็นอนันต์หรือความยาวของขดลวดตัวนำไม่เท่ากับ  $\frac{1}{4\lambda}$  จะมีกระแสไหลในตัวนำกับผิวนอกของโลหะนอกของสายแอกเซียล เนื่องจากตามโครงสร้างในรูปที่ 4.14 ของตัวนำกับผิวนอกของสายโคแอกเซียลจะทำหน้าที่เป็นสายแบบบาลานซ์อยู่ ดังนั้นกระแสที่ไหลนี้จะขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้ามและกระแสที่ไหลอยู่ที่ผิวนอกของสายโคแอกเซียล

นี้จะอยู่เฉพาะตรงบริเวณที่มีขดลวดตัวนำขนานอยู่เท่านั้น ลักษณะการไหลของกระแสดังกล่าวนี้ จะไม่ทำให้เกิดการส่งคลื่นที่ไม่ต้องการออกไป ดังนั้นบาลันชนิดนี้จึงมีแบนด์วิดท์กว้าง เพราะ ถึงแม้  $Z_0$  จะไม่เป็นอนันต์ก็ยังสามารถทำหน้าที่บาลันได้ บาลันแบบนี้จะมีอัตราการแปลงอิมพีแดนซ์ เป็น 1:1



รูปที่ 4.14 บาลันชนิดตัวนำขนานความยาว  $\frac{1}{4\lambda}$



รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลบาลันชนิดตัวนำขนาน

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเมื่อทำการแมทช์แล้วจะมีค่าซึ่งหาได้จากสูตร  $Z_0 = \frac{276}{\sqrt{K}} \log \frac{2D}{d}$

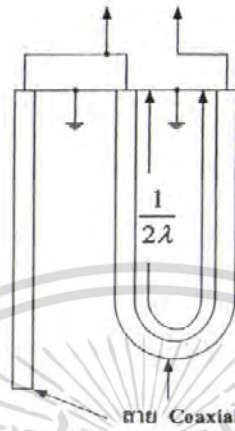
ซึ่งสามารถคำนวณให้เหมาะสมกับสายอากาศได้ แต่ความยาวของท่อออลูมิเนียมต้องมีความยาวตามสูตร

$$\frac{234}{f(\text{MHz})} \text{ (ฟุต)} \quad (4.16)$$

4.9 บาลันชนิดฮาร์ทเฟลพ ในการใช้บาลันทำให้สายนำสัญญาณมีขนาดอิมพีแดนซ์เท่ากับขนาดของสายอากาศ ซึ่งเป็นการแมทช์ด้วยอัตราส่วน 1:1 หรือการทำให้สายนำสัญญาณไม่มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

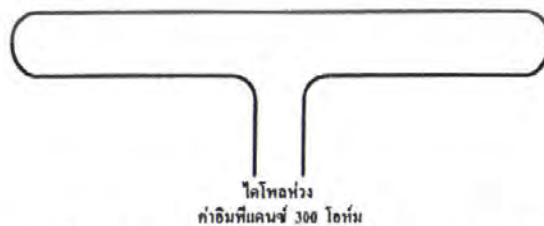
ต่อค่าอิมพีแดนซ์รวมนั่นเอง ซึ่งเหมาะกับการใช้เปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ในระบบสายอากาศคือ จาก 75 โอห์มกับ 300 โอห์ม แต่มีข้อเสียที่ให้คุณสมบัติตอบสนองต่อความถี่ในช่วงแคบๆ เท่านั้น



รูปที่ 4.16 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ

#### 4.10 การแมทช์ด้วยหลักการของไดโพล

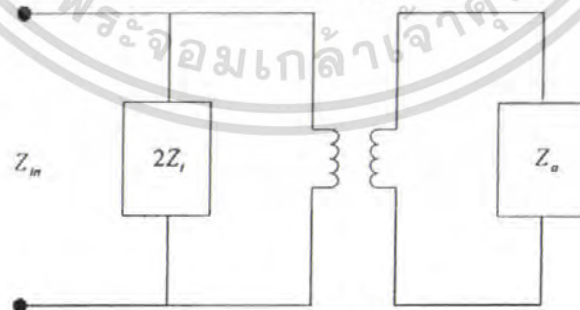
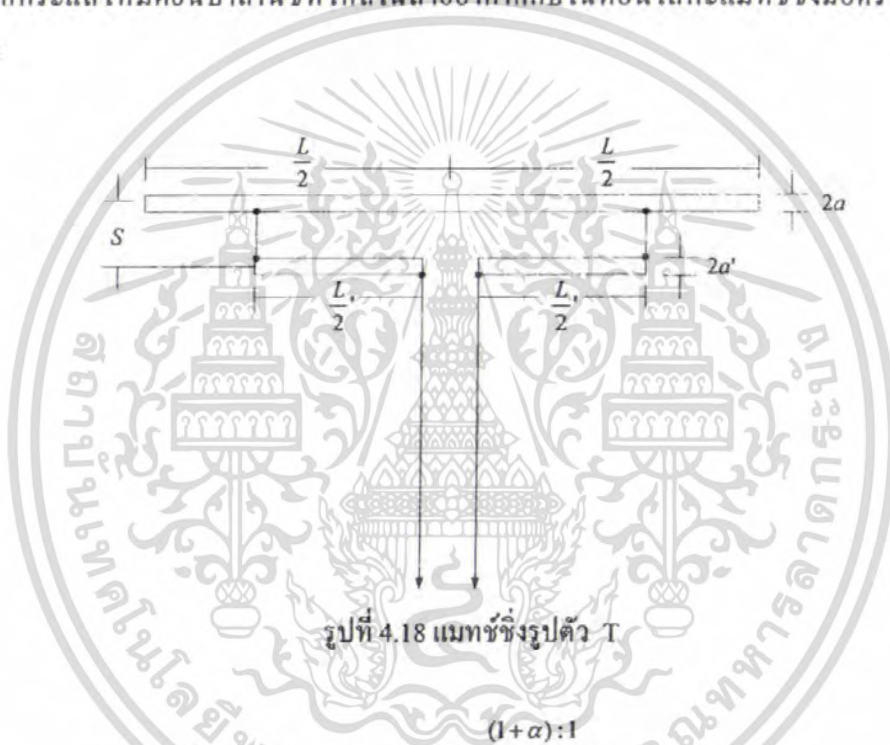
โดยปกติสายอากาศชนิดครึ่งคลื่นที่ทำจากแท่งตัวนำจะมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 70-75 โอห์มซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางจากกราวด์ด้วย ถ้าหากงอโค้งให้เป็นชนิดไดโพลห้วงจะมีค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าคือประมาณ 300 โอห์มถ้าเพิ่มอีกด้านโดยกระจายเป็นไดโพลห้วง 2 ด้านค่าอิมพีแดนซ์ก็จะเพิ่มเป็น 9 เท่า คือประมาณ 675 โอห์ม ดังนั้นสายอากาศชนิดไดโพลห้วงจึงต้องใช้สายทวนลัดที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มทำการค่อนำสัญญาณ



รูปที่ 4.17 ไดโพลที่มีการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 แมทซ์ซึ่งรูปตัว T วงจรแมทซ์ซึ่งตัว T แสดงดังรูปที่ 14.18 คือใช้ท่อนโลหะคู่หนึ่งความค้ำณะ  $\frac{L}{2}$  มาวางขนานกับสายอากาศไดโพลที่ปิดช่องตรงกลางแล้วต่อปลายของท่อนโลหะทั้งสองเข้ากับสายอากาศไดโพลตรงตำแหน่งนั้น การป้อนเพาเวอร์จะเป็นการป้อนจากสายบาลานซ์เข้าทางท่อนโลหะคู่ดังกล่าว การทำงานจะเหมือนกับการทำงานของสายอากาศไดโพลคือ  $a' < a$  และความยาวก็สั้นกว่าคือ  $L' < L$  ในสภาพเช่นนี้การไหลของกระแสในโหมดอันบาลานซ์ซึ่งเป็นโหมดที่จะกระจายคลื่นออกไปจะแตกต่างไปจากกรณีที่  $a' = a$  คือขนาดของกระแสโหมดอันบาลานซ์ที่ไหลผ่านในท่อนโลหะที่มีขนาดไม่เท่ากันจะมีขนาดกระแสไม่เท่ากันด้วย ขาวถ้าให้กระแสโหมดอันบาลานซ์ที่ไหลในสายอากาศกับในท่อนโลหะแมทซ์ซึ่งมีอัตราส่วนเป็น  $1:\alpha$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_m = R_m + jX_m = \frac{2Z_c(1+\alpha)^2 Z_a}{2Z_c + (1+\alpha)^2 Z_a} \quad (4.17)$$

โดยที่  $Z_a$  และ  $Z_c$  เป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลและอิมพีแดนซ์สายนำสัญญาณวงจรถ่ายยาว  $\frac{L'}{2}$

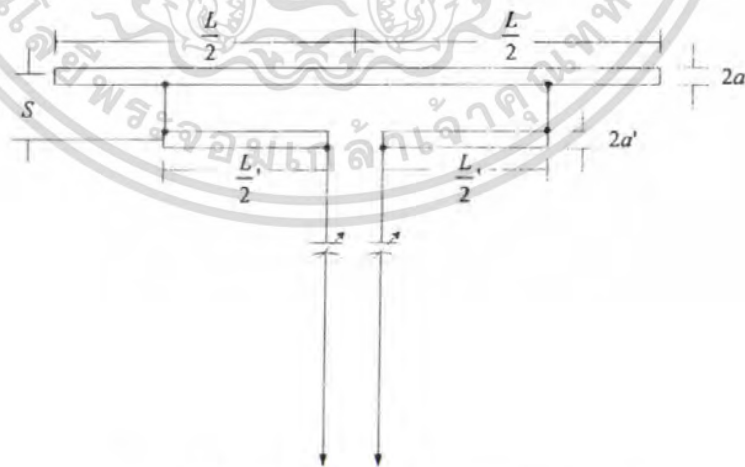
$$Z_c = jZ_0 \tan(k\frac{L'}{2}) \quad (4.18)$$

$$Z_c = 60 \cosh^{-1}\left(\frac{s^2 - a^2 - a'^2}{2aa'}\right) \quad (4.19)$$

$$\alpha = \frac{\cosh^{-1}\left(\frac{v^2 - u^2 + 1}{2v}\right)}{\cosh^{-1}\left(\frac{v^2 + u^2 - 1}{2uv}\right)} \quad (4.20)$$

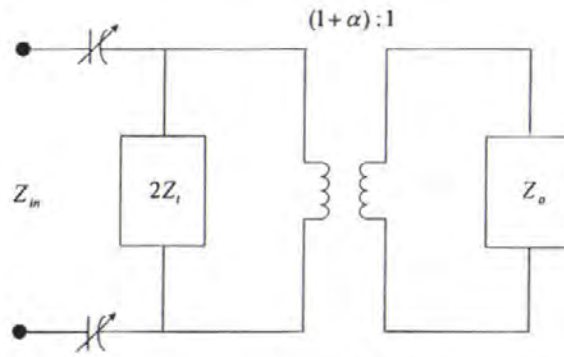
โดยที่  $u = \frac{a}{a'}$  และ  $v = \frac{s}{a'}$

จากการทำงานของวงจรถ่ายยาวรูปตัว T สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งอิมพีแดนซ์  $Z_a$  จะถูกยกให้สูงขึ้น  $(1+\alpha)^2$  เท่า และเนื่องจากโดยทั่วไปค่ารีแอกแตนซ์ของ  $Z_m$  จะเป็นแบบอินดักทีฟ ดังนั้นจึงมักใช้ค่าการปาดซีเตอร์ C อนุกรมเข้าไปเพื่อให้เกิดรีโชนแนนซ์และกำจัดค่ารีแอกแตนซ์



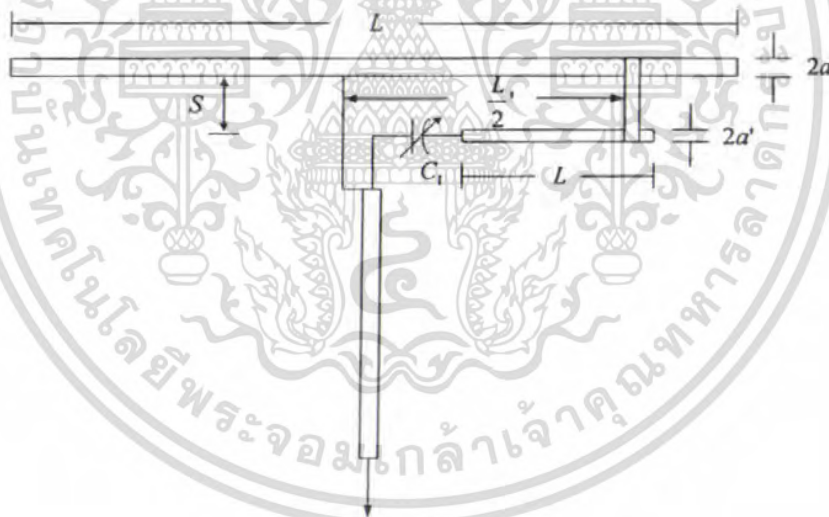
รูปที่ 4.20 แมทซ์รูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



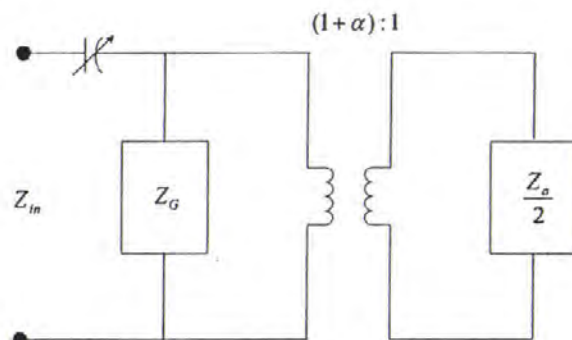
รูปที่ 4.21 วงจรสมมูลของแมทซ์ซึ่งรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์

4.12 แกมมาแมทซ์ซึ่ง แกมมาแมทซ์ซึ่งอาศัยหลักการเช่นเดียวกับการแมทซ์ซึ่งรูปตัว T แต่จะมีเพียงครึ่งหนึ่งของการแมทซ์ซึ่งรูปตัว T และลักษณะการแมทซ์ซึ่งจะเหมือนกันกับรูปตัว T ทุกประการ เพียงแต่ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ได้ด้วยวิธีการแมทซ์ซึ่งด้วยวิธีนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 50-75 โอห์ม ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับสายอากาศชนิดใช้กับสายเคเบิล ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 หรือ 75 ลักษณะของการต่อสายและโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แกมมาแมทซ์ซึ่ง

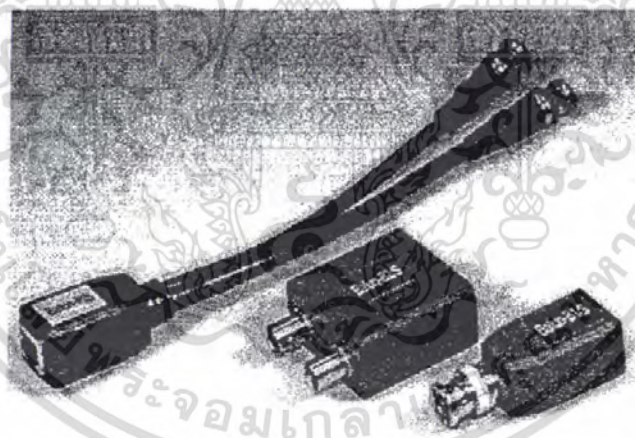
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 วงจรสมมูลของแกมมาแมทซ์จิ่ง

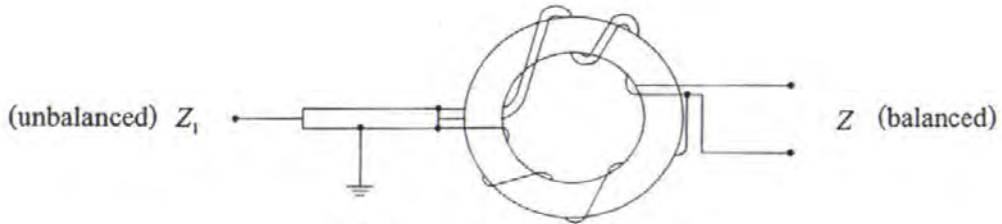
#### 4.13 หม้อแปลงบาลัน

หม้อแปลงบาลันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์กันมากที่สุด เพราะมีขนาดเล็กราคาถูกติดตั้งง่ายและใช้ได้ผลดี หลักการของหม้อแปลงบาลันนี้เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป โดยใช้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก แต่เกรดของเหล็กต้องใช้ได้ดีที่ความถี่ที่ต้องการ เช่น ถ้าใช้ในความถี่ VHF เหล็กต้องให้ผลตอบสนองได้ตลอดย่านความถี่นี้ โดยปกติการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ใช้หลักการเดียวกับหม้อแปลง แต่จำนวนรอบที่พันจะพันรอบน้อย

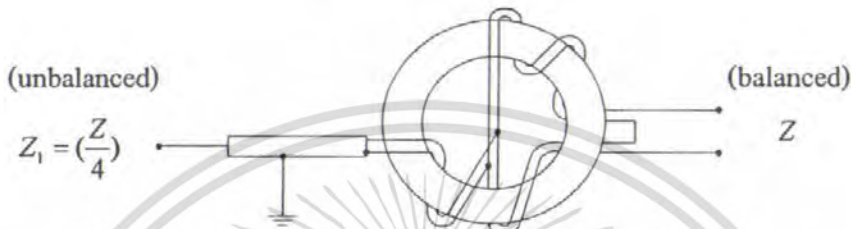


รูปที่ 4.24 หม้อแปลงบาลัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:1



รูปที่ 4.26 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:4

การแมทซ์ซึ่งระบบสายอากาศมีด้วยกันหลายวิธีแล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงเหตุผลหลายประการ ทั้งทางด้านรูปร่าง ความเหมาะสม ราคา และคุณภาพของการรับอีกด้วย

#### 4.14 การออกแบบสายอากาศย่าน VHF CH 10

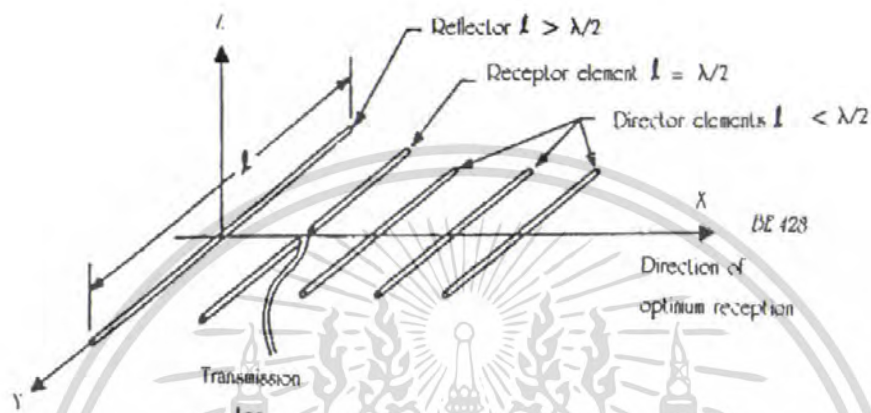
##### 4.14.1 สายอากาศแบบยาก็

เป็นการค้นคว้าของนายยาก็ อูตะ ชาวญี่ปุ่น นับเป็นระบบสายอากาศแบบทิศทางเฉพาะ วิธีการเช่นนี้มีผลทำให้อัตราขยายสัญญาณเพิ่มได้มากขึ้น เนื่องจากมุมแบนด์วิดท์จะแคบลงเรื่อยๆ การติดตั้งสายอากาศแบบนี้จะต้องหมุนหาทิศทางให้ถูกต้องจึงจะรับได้ดีที่สุด ซึ่งสายอากาศแบบนี้มีส่วนประกอบใหญ่ๆ 3 องค์ประกอบด้วยกัน คือ

ตัวรับสัญญาณ (Receptor Element) หรือตัวไดโพล เป็นตัวที่มีหน้าที่ในการรับสัญญาณ แล้วถ่ายทอดสัญญาณนั้น ไปยังเครื่องโทรทัศน์ โดยผ่านทางสายส่งหรือสายนำสัญญาณ นับเป็นองค์ประกอบแรกของระบบสายอากาศแบบนี้

ตัวชี้นำ (Director Element) เป็นองค์ประกอบที่สองของระบบนี้ ตัวชี้นำต้องหันไปทางที่สัญญาณส่งมา ตัวชี้นำอาจจะมีมากกว่า 1 ชิ้นก็ได้ ยิ่งมากขึ้นส่วนความแรงของสัญญาณก็จะมากขึ้นด้วยในเวลาเดียวกัน ตัวชี้นำจะมีความขายน้อยกว่าความยาวของไดโพล

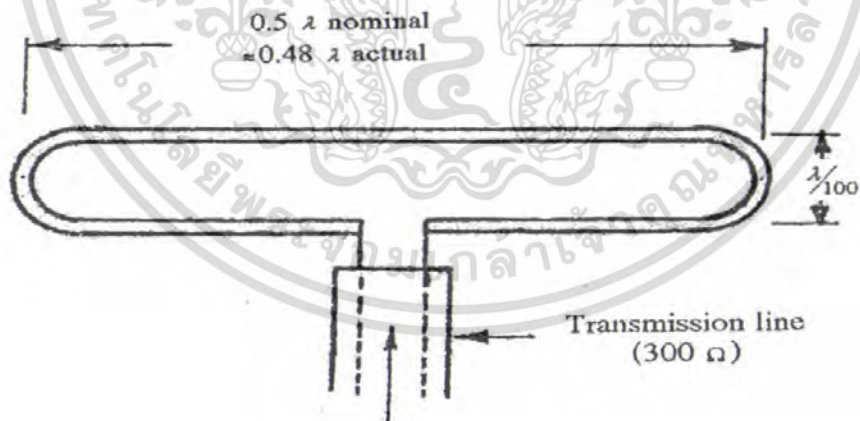
ตัวสะท้อนกลับ (Reflector Element) เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้ประสิทธิภาพของการรับมากที่สุด เพราะในส่วนของอำนาจสนามไฟฟ้าจำเป็นจะต้องมีการบังคับเส้นแรงมิให้อ่านางแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหลุดหายไประหว่างองค์ประกอบอื่น ความยาวของตัวสะท้อนกลับต้องยาวกว่าไดโพลเล็กน้อย



แผงสายอากาศแบบยาคิ ยูดา

รูปที่ 4.27 รูปตัดผ่านประกอบต่างๆ ของสายอากาศ Yagi

การออกแบบสายอากาศ YAGI-UDA จะใช้ระยะช่วงห่างของไดโพล ประมาณ  $\lambda/100$



รูปที่ 4.28 แบบสายอากาศ YAGI-UDA

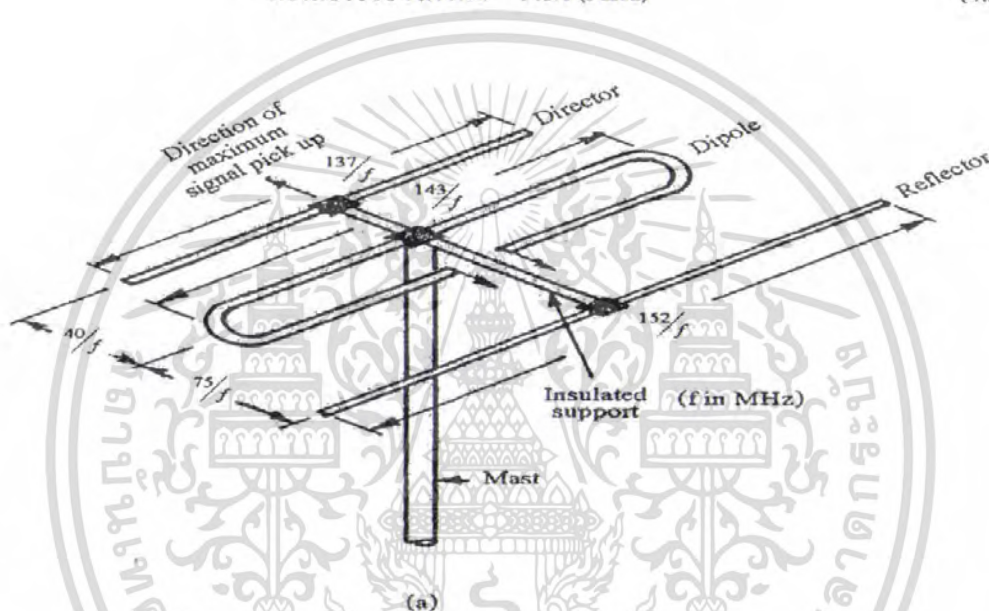
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบสายอากาศ YAGI ย่าน VHF CH 10 ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 209 MHz – 216 MHz ก็จะได้ความถี่กลาง  $(209+216)/2 = 212.5$  MHz โดยใช้ สายอากาศแบบ  $\lambda/2$  (Half Wave) จะได้

$$\text{ความยาวของไดโพล} = \lambda/2 = 150 / f (\text{MHz}) \quad (4.21)$$

ในทางปฏิบัติ จะให้ลด ยี่สิบเปอร์เซ็นต์ 5 - 6% ก็จะได้

$$\text{ความยาวของไดโพล} = 143 / f (\text{MHz}) \quad (4.22)$$



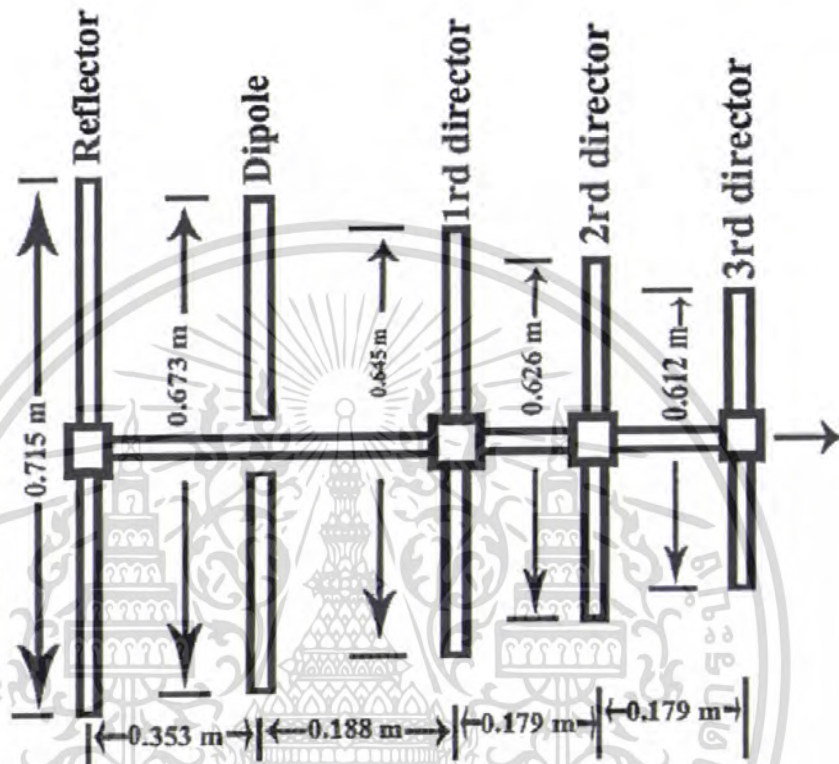
รูปที่ 4.29 รูปแสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ

จากสูตร นำมาคำนวณได้ดังนี้

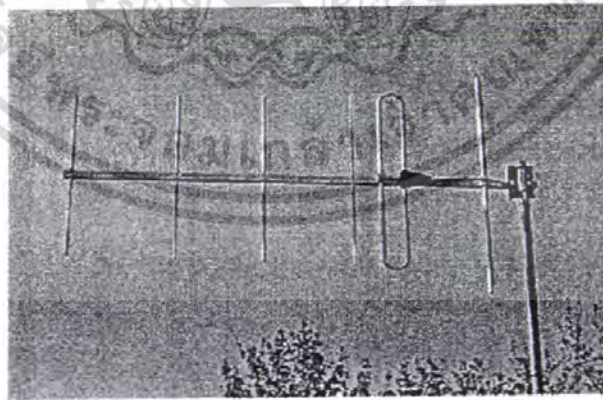
ความยาวของไดโพล	$\approx 143/f = 143/212.5 = 0.673$	m
ความยาวของรีเฟลคเตอร์	$\approx 152/f = 152/212.5 = 0.715$	m
ความยาวของไดเรกเตอร์ ตัวที่ 1	$\approx 137/f = 137/212.5 = 0.645$	m
ความยาวของไดเรกเตอร์ ตัวที่ 2	$\approx 133/f = 133/212.5 = 0.626$	m
ความยาวของไดเรกเตอร์ ตัวที่ 3	$\approx 130/f = 130/212.5 = 0.612$	m
ระยะห่างของไดโพลและรีเฟลคเตอร์	$\approx 75/f = 75/212.5 = 0.353$	m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างของไดโพลและไดเรกเตอร์ตัวที่ 1	$\approx 40/f = 40/212.5 = 0.188$	m
ระยะห่างของไดเรกเตอร์ตัวที่ 1 และไดเรกเตอร์ตัวที่ 2	$\approx 38/f = 38/212.5 = 0.179$	m
ระยะห่างของไดเรกเตอร์ตัวที่ 2 และไดเรกเตอร์ตัวที่ 3	$\approx 38/f = 38/212.5 = 0.179$	m

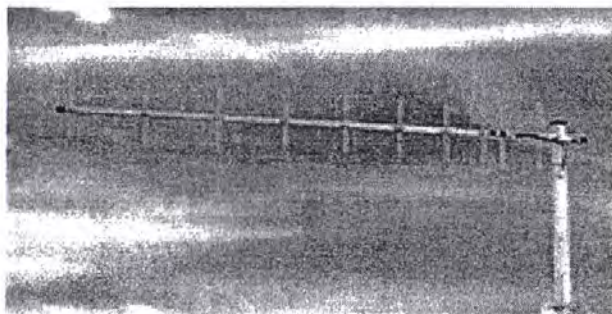


รูปที่ 4.30 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน VHF CH 10 ที่ได้ออกแบบมา



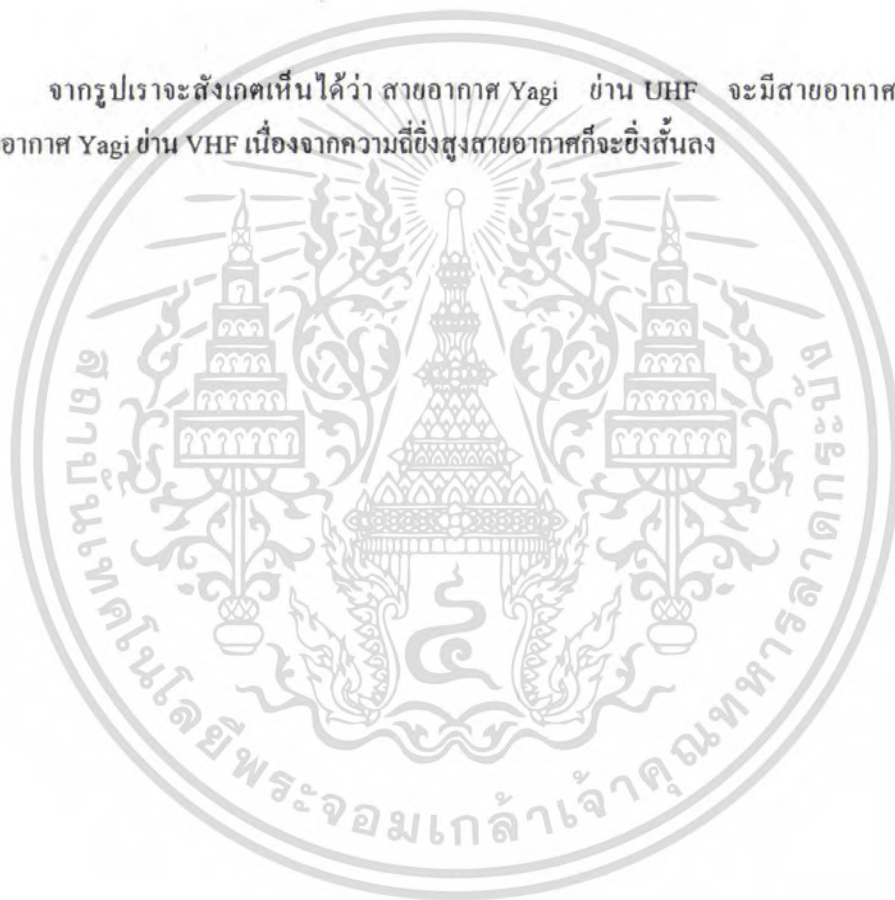
รูปที่ 4.31 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 รูปสายอากาศ Yagi ย่าน UHF

จากรูปเราจะสังเกตเห็นได้ว่า สายอากาศ Yagi ย่าน UHF จะมีสายอากาศที่สั้นกว่าสายอากาศ Yagi ย่าน VHF เนื่องจากความถี่ที่สูงสายอากาศก็จะยิ่งสั้นลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การออกแบบ

สัญญาณทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณวิทยุ สัญญาณในระบบไฟฟ้า ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ และในระบบสื่อสาร ตลอดจนสัญญาณอื่นๆ อีกมากมายที่กำเนิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดทุกชนิด มักจะมีความแรงของสัญญาณต่ำ การนำสัญญาณเหล่านี้ไปใช้งานโดยตรงทำได้ไม่สะดวก หรือถึงแม้ทำได้ก็ไม่สามารถทำได้อย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เพราะสัญญาณที่เบานั้นไม่สามารถเดินทางไปได้ไกล ไม่สามารถควบคุมการทำงานของวงจรหรือการทำงานของระบบไฟฟ้าอื่นๆ ได้ และอาจเกิดการสูญเสียกำลังจากความต้านทานในวงจรและระบบได้ง่าย ด้วยเหตุดังกล่าวมาจึงมีความจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้มีระดับความแรงมากขึ้นก่อนการนำไปใช้งาน โดยส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้าให้สูงเพิ่มขึ้น

การจัดแบ่งชนิดของเครื่องขยายขึ้นอยู่กับการเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั่นๆ โดยแบ่งออกเป็นชนิดหรือคลาสได้เป็น Class A , Class B , Class AB และ Class C

วงจรขยายชนิดนี้จะมีจุดทำงานอยู่ในช่วงที่เรียกว่า Active หรือช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์จะเป็นเชิงเส้น คืออยู่สูงกว่าจุดคัทออฟ โดยอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลในวงจรอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตก็ตาม

วงจรขยายกำลังช่วยให้กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นที่โหลดมีค่าความต้านทานต่ำๆ โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังจะได้กำลังที่เอาต์พุตมีค่ามากกว่า 1 วัตต์ ด้วยความต้านทานโหลดอยู่ในช่วง 300 โอห์ม (สำหรับสายอากาศส่งสัญญาณ) ถึง 4 โอห์ม (สำหรับลำโพง) ไม่สามารถครอบคลุมการทำงานได้กับโหลดทุกค่า ปกตินิยมใช้งานกับโหลดมีค่าความต้านทานต่ำเสมอ วงจรขยายกำลังในทางอุดมคติจะถือว่าสามารถขยายสัญญาณและส่งผ่านสัญญาณจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดได้ 100 % แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถทำได้ เพราะเกิดการสูญเสียจากส่วนประกอบวงจรขยายบางส่วน ประสิทธิภาพในการขยายสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\eta = \frac{P_{L(AC)}}{P_{DC}} \times 100 \quad (5.1)$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของวงจรขยาย มีหน่วยเป็น %

$P_{L(AC)}$  = กำลังของโหลดเป็นไฟ AC มีหน่วยเป็น W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_{DC}$  = กำลังของอินพุตเป็นไฟ DC มีหน่วยเป็น W

ประสิทธิภาพของวงจรรขยายจะสูงมากขึ้นจนเข้าใกล้ในทางอุดมคติ ขึ้นอยู่กับค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ของการจัดระดับวงจรรขยายหรือจัดคลาส (class) วงจรรขยายที่นำไปใช้งานจัดออกได้เป็น Class A , Class B , Class AB , Class C , และ Class D ในแต่ละคลาสวงจรรขยายจะมีประสิทธิภาพของวงจรรขยายแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพของวงจรรขยายคลาสต่างๆ

คลาส	A	AB	B	C	D
รอบคลื่น ในการทำงาน	360°	180° ถึง 360°	180°	น้อยกว่า 180°	การทำงานของพัลส์
ประสิทธิภาพกำลังขยาย	25% ถึง 50%	ระหว่าง 25% (50%) และ 75%	78.5%	มากกว่า 90%	ทั่วไปมากกว่า 90%

### 5.1 คลาสวงจรรขยาย

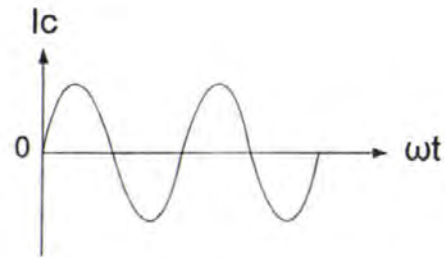
คลาสการทำงานของวงจรรขยายถูกกำหนดโดยเปอร์เซ็นต์ของรอบคลื่น (cycle) ทางอินพุตทำให้เกิดกระแสทางเอาต์พุต คลาสการทำงานของวงจรรขยายหาได้จากประสิทธิภาพกำลังที่ได้ รูปคลื่นสัญญาณในคลาสต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.1



(ก) สัญญาณอินพุต

รูปที่ 5.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในวงจรรขยายคลาสต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) กระแส  $I_c$  ที่ได้ของคลาส A(ค) กระแส  $I_c$  ที่ได้ของคลาส AB(ง) กระแส  $I_c$  ที่ได้ของคลาส B(จ) กระแส  $I_c$  ที่ได้ของคลาส C

รูปที่ 5.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในวงจรขยายคลาสต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Class A เป็นวงจรถบายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเต็มรูปคลื่นทั้ง  $360^\circ$  มีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีรูปร่างสัญญาณเหมือนอินพุตที่ป้อนเข้ามาดังรูป (ข) จุดทำงาน (Q) วงจรถบายคลาส A อยู่ที่จุดกึ่งกลางเส้นโหลดไฟ DC ช่วยให้สัญญาณสามารถแกว่ง (swing) ไปทางช่วงบวกและช่วงลบได้

Class B เป็นวงจรถบายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาครึ่งรูปคลื่นหรือเพียง  $180^\circ$  ของหนึ่งรอบคลื่นไซน์ อาจเป็นครึ่งซีกบวกหรือครึ่งซีกลบก็ได้ ดังรูป (ค) จุดทำงาน (Q) อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งออฟบนเส้นโหลดไฟ DC พอดีทำให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาถูกตัดทิ้งไปครึ่งสัญญาณ

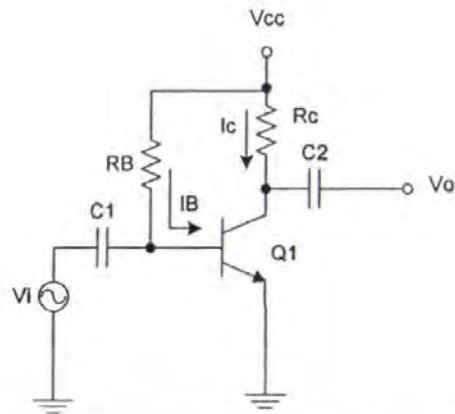
Class AB เป็นวงจรถบายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามากกว่า  $180^\circ$  ถึงน้อยกว่า  $360^\circ$  ในหนึ่งรอบคลื่นไซน์ โดยวงจรถบายทำงานอยู่ระหว่างคลาส A กับคลาส B แสดงดังรูป (ง) จุดทำงาน (Q) อยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าจุดกึ่งออฟเล็กน้อย การจัดวงจรถบายคลาส AB นิยมใช้งานกับวงจรถบายแบบพุช – พูล และคอมพิเมนต์ารี

Class C เป็นวงจรถบายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาน้อยกว่า  $180^\circ$  ในหนึ่งรอบคลื่นไซน์ เป็นบางส่วนของซีกบวก หรือบางส่วนของซีกครึ่งลบ ดังรูป (จ) จุดทำงาน (Q) ของวงจรถบายคลาส C อยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าจุดกึ่งออฟ นิยมใช้งานในวงจรรุ่นของวิทยุหรือระบบสื่อสาร

Class D เป็นวงจรถบายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตพัลส์หรือดิจิตอล จะทำงาน (ON) เมื่อเป็นช่องว่างพัลส์สั้นๆ และหยุดทำงาน (OFF) เมื่อเป็นช่องว่างพัลส์ยาวๆ โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบดิจิตอลทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในหนึ่งรอบคลื่นด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างเอาต์พุตขึ้นใหม่จากการนำสัญญาณอินพุตมาต่อเข้าด้วยกัน

#### 5.1.1 วงจรถบายคลาส A

วงจรถบาย Class A คือ วงจรที่มีกระแสเอาต์พุตไหลตลอดเวลา ไม่ว่าจะ มีสัญญาณอินพุตหรือไม่ก็ตาม แต่ความแรงของสัญญาณอินพุตก็จะถูกกำหนดไว้ไม่ให้ แรงเกินไปจนทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน หรืออ้อมตัว ในวงจร Class A นั้นโดยทั่วไปจะมี คุณสมบัติของการขยายสัญญาณก่อนข้างลิเนียร์ จึงมีผู้นิยมใช้กันมาก แต่ก็มีข้อเสียคือ มีการ สูญเสียมมาก โดยเฉลี่ยมี ประสิทธิภาพต่ำกว่า 25% ของกำลังทั้งหมด วงจรเบื้องต้นวิเคราะห์ด้วยวงจรไบอัสคงที่



รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดใหญ่ชนิด Class A

ค่าไบอัส DC

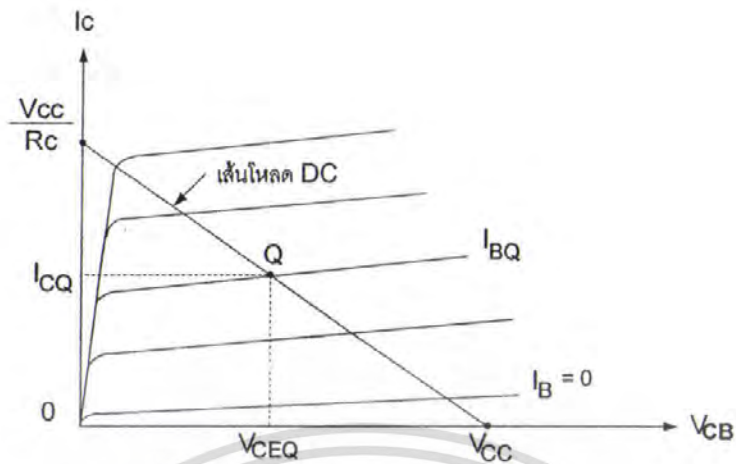
$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7V}{R_B} \quad (5.2)$$

$$I_C = \beta I_B \quad (5.3)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (5.4)$$

นำค่าสมการที่ได้ไปหาค่าเส้นโหลด DC ได้จากกราฟคุณสมบัติทางเอาต์พุตเพื่อหาจุดทำงาน (Q) ของวงจร จะได้เส้น โหลด DC และจุดทำงาน (Q) ดังแสดงในรูปที่ 5.3

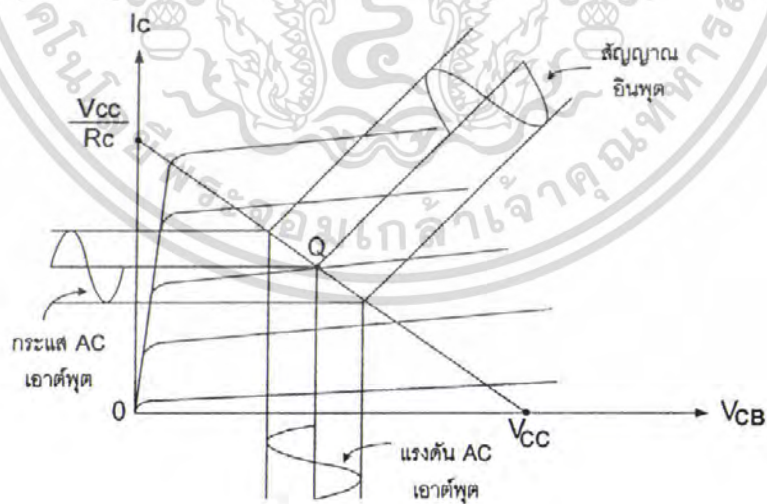
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟเอาต์พุตแสดงเส้นโหลด DC และจุดทำงาน (Q)

การทำงานเมื่อเป็น AC Load line

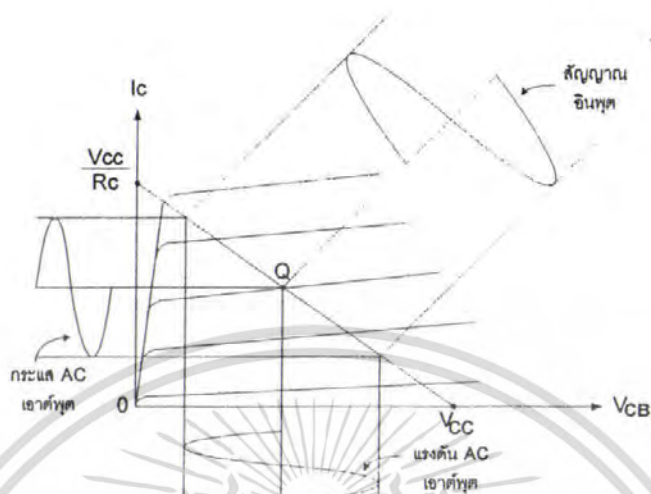
เป็นการวิเคราะห์ห้วงจรขยายคลาส A ต่อไฟ AC ที่ป้อนเข้ามา เมื่อมีสัญญาณ AC ป้อนเข้ามาที่อินพุตของรูปที่ 5.4 (ข) จะได้เอาต์พุตไฟ DC กระเพื่อม เกิดแรงดันและกระแสเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา ได้รูปสัญญาณไฟ AC ของแรงดันและกระแสดังแสดงในรูปที่ 5.4 (ก)



(ก) สัญญาณอินพุตเบา

รูปที่ 5.4 สัญญาณอินพุตถูกขยายออกเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญญาณอินพุตแรง  
รูปที่ 5.4 (ต่อ)

การพิจารณากำลังขยายของวงจร

กำลังขยายของวงจรประกอบด้วย 2 ส่วนคือ กำลังขยายทางอินพุต หาได้จากแหล่งจ่ายไฟ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตกับกระแสคอลเลกเตอร์ไฟ DC ไหลที่  $I_{CQ}$  กำลังขยายทางอินพุตหาได้ดังนี้

$$P_{DC} = V_{CC} I_{CQ} \quad (5.5)$$

และกำลังขยายทางเอาต์พุตหาได้จากแรงดันไฟ AC ที่เอาต์พุตกับกระแสไฟ AC ที่เอาต์พุตไปตกคร่อมที่โหลด  $R_C$  ในรูปที่ 5.2 กำลังขยายทางเอาต์พุตหาได้หลายลักษณะดังนี้

ในรูปสัญญาณเป็นค่า RMS

$$P_{L(AC)} = V_{CE(rms)} I_{(rms)} \quad (5.6)$$

$$P_{L(AC)} = I_{C(rms)}^2 R_C \quad (5.7)$$

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{C(rms)}^2}{R_C} \quad (5.8)$$

ในรูปสัญญาณเป็นค่ายอด (peak)

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{CE(P)} I_{C(P)}}{2} \quad (5.9)$$

$$P_{L(AC)} = \frac{I_{C(P)}^2 R_C}{2} \quad (5.10)$$

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{CE(P)}^2}{2 R_C} \quad (5.11)$$

ในรูปสัญญาณเป็นค่ายอดถึงยอด (peak-to-peak)

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{CE(PP)} I_{C(PP)}}{8} \quad (5.12)$$

$$P_{L(AC)} = \frac{I_{C(PP)}^2 R_C}{8} \quad (5.13)$$

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{CE(PP)}^2}{8 R_C} \quad (5.14)$$

ประสิทธิภาพของวงจรขยาย

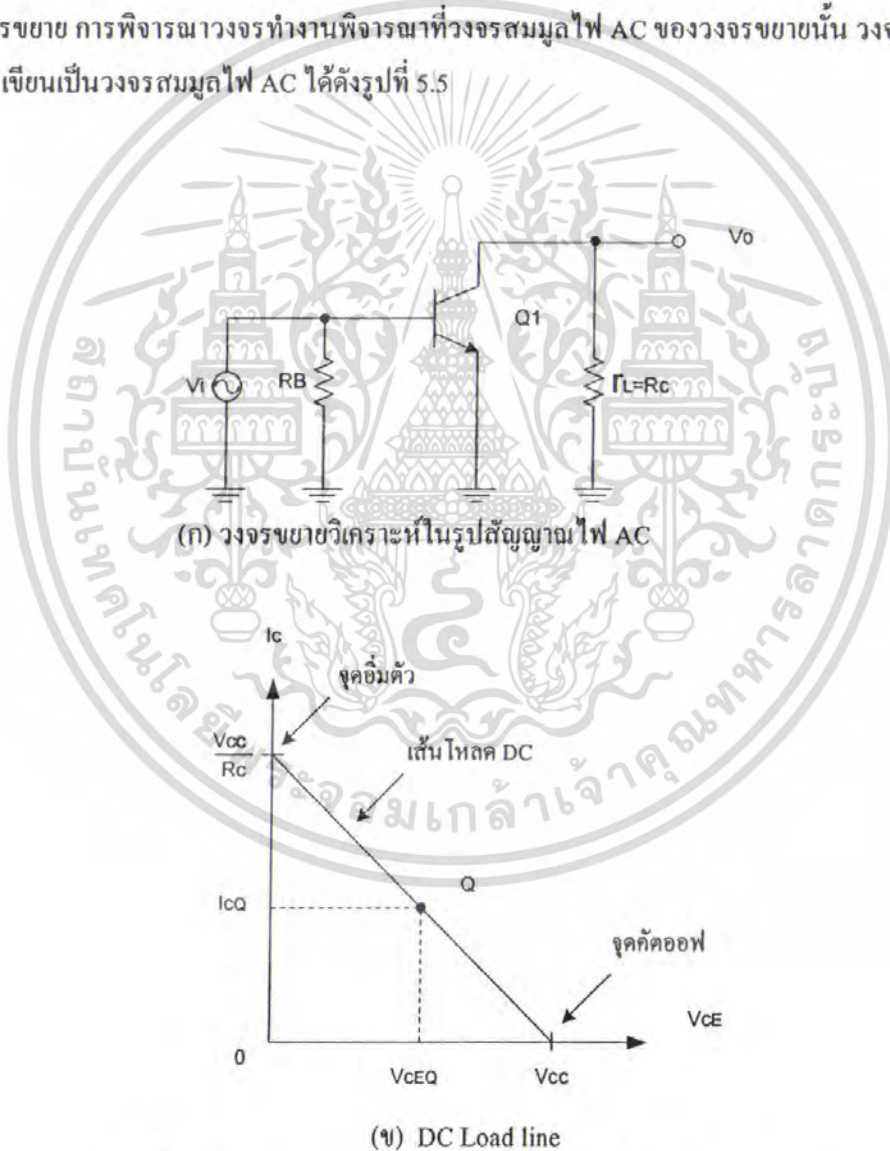
บอกถึงคุณภาพในการทำงานของวงจรขยาย ประสิทธิภาพของวงจรหาได้จากสมการดังนี้

$$\eta = \frac{P_{L(AC)}}{P_{DC}} \times 100 \quad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### AC Load line

AC Load line เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สร้างขึ้นบนกราฟคุณสมบัติเอาต์พุตของวงจรรขยาย ใช้เพื่อความมุ่งหมายในการแทนส่วนประกอบไฟ AC ในวงจรรขยาย ส่วนประกอบคือกระแส  $i_c$  และแรงดัน  $V_{ce}$  ช่วยให้ทราบถึงอัตราการขยายสัญญาณไฟ AC ในวงจรรขยายคลาส A และคลาส B มองเห็นค่าการขยายที่เหมาะสมในวงจรร AC Load line สามารถหาได้ในทำนองเดียวกับ DC Load line โดยพิจารณาที่จุดทำงาน (Q) ของวงจรรขยาย ร่วมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสในวงจรรขยาย การพิจารณาวงจรรทำงานพิจารณาที่วงจรรสมมูลไฟ AC ของวงจรรขยายนั้น วงจรรขยายรูปที่ 2 เขียนเป็นวงจรรสมมูลไฟ AC ได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วงจรรสมมูลไฟ AC และ DC Load line ใช้หา AC Load line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมี  $V_i$  ป้อนเข้ามาทำให้เกิดกระแส  $I_C$  เปลี่ยนแปลง ( $\Delta I_C$ ) และแรงดัน  $V_{ce}$  เปลี่ยนแปลง ( $\Delta V_{CE}$ ) พิจารณาการทำงานที่จุด Q ของ DC Load line จากจุด Q ถึงจุดอิมิตัว แรงดัน  $V_{CE}$  เปลี่ยนแปลงจาก  $V_{CEQ}$  ถึง 0 V คือ  $\Delta V_{CE} = V_{CEQ}$  ทำให้กระแส  $I_C$  เปลี่ยนแปลงจากจุด Q ถึงจุดอิมิตัวจะได้

$$\Delta I_C = \frac{V_{CEQ}}{r_L} = \frac{V_{CEQ}}{R_C} \quad (5.16)$$

$$i_{c(sat)} = I_{CQ} + \Delta I_C \quad (5.17)$$

$$\therefore i_{c(sat)} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_L} \quad (5.18)$$

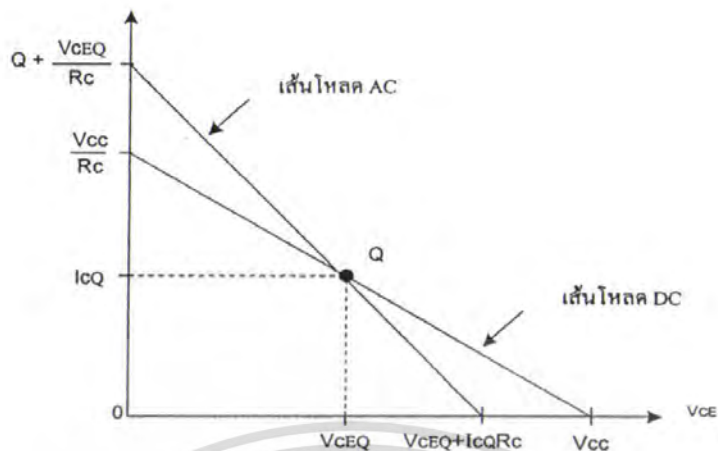
จากจุด Q ถึงจุดคัตออฟ กระแส  $I_C$  เปลี่ยนแปลงจาก  $I_{CQ}$  ถึง 0 A คือ  $\Delta I_C = I_{CQ}$  ทำให้แรงดัน  $V_{CE}$  เปลี่ยนแปลงจากจุด Q ถึงจุดคัตออฟ จะได้

$$\Delta V_{CE} = (\Delta I_C)r_L = I_{CQ}R_C \quad (5.19)$$

$$V_{ce(off)} = V_{CEQ} + \Delta V_{CE} \quad (5.20)$$

$$\therefore V_{ce(off)} = V_{CEQ} + I_{CQ}r_L \quad (5.21)$$

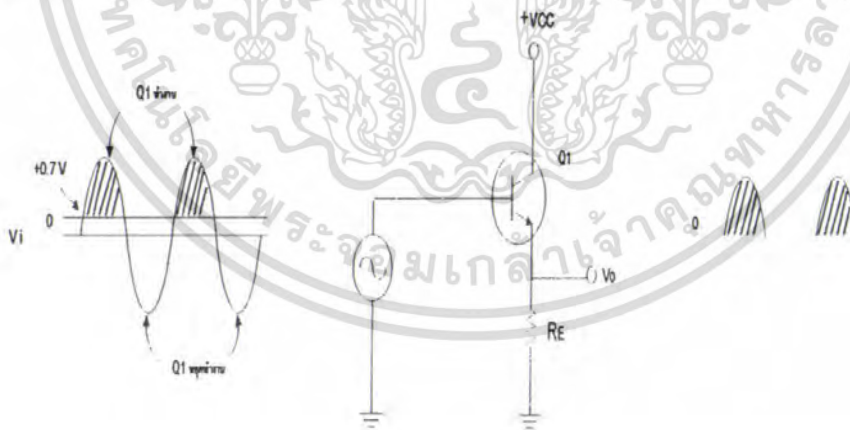
นำค่าที่ได้ไปเขียน AC Load line ในกราฟคุณสมบัติเอาต์พุตของวงจรขยาย ได้กราฟออกมา ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 DC Load line และ AC Load line

### 5.1.2 วงจรขยายคลาส B

วงจรขยายคลาส B เป็นการจับวงจรขยายมีจุดไบอัสที่จุดคัทออฟ วงจรขยายไม่ทำงานขณะไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา การทำงานของวงจรเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณอินพุตซิกที่ถูกต้องป้อนเข้ามาทำให้วงจรขยายทำงานเพียงครึ่งสัญญาณอินพุตที่ป้อน การจะทำให้วงจรขยายทำงานได้กับสัญญาณอินพุตทั้งสองซีกต้องใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวทำงานตัวละครึ่งสัญญาณต่อการทำงานร่วมกัน โดยจัดวงจรขยายแบบ พูซ - พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารี การทำงานของวงจรขยายคลาส B แสดงดังรูปที่ 5.7

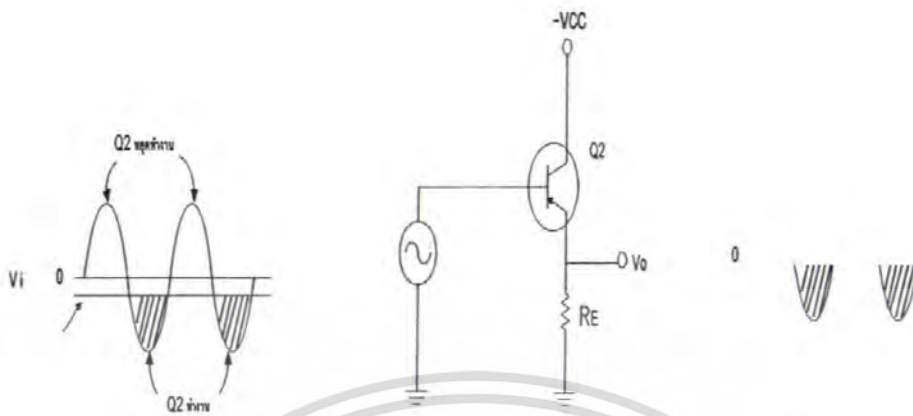


(ก) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงบวก

(ข) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงบวก

รูปที่ 5.7 วงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

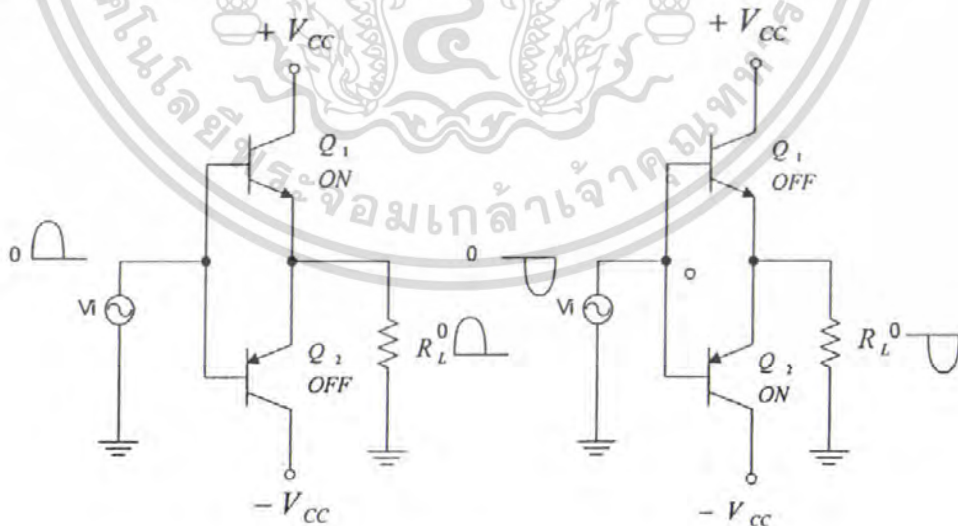


(ก) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงลบ

(ข) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงลบ

รูปที่ 5.7 (ต่อ)

จากรูปที่ 5.7 แสดงวงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว สามารถทำงานเพียงสัญญาณครึ่งซีกที่ระดับแรงดันอินพุตสูงกว่าแรงดัน  $V_{BE}$  ของตัวทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณซีกบวก ชนิด PNP ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณซีกลบ การที่จะทำให้วงจรขยายคลาส B ขยายสัญญาณ ได้สองซีกต้องนำวงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว รูป (ก) และ (ข) มาต่อร่วมกันแบบ พุช - พูล ได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 วงจรขยายคลาส B ต่อวงจรแบบ พุช - พูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค่ากำลังอินพุตไฟ DC

กำลังที่จ่ายไปยังโหลดโดยเครื่องขยายเป็นการจ่ายมาจากภาคจ่ายไฟคือกำลังทางอินพุตหรือกำลังไฟ DC กำลังทางอินพุตคำนวณได้ดังนี้

$$P_{DC} = V_{CC} I_{DC} \quad (5.22)$$

กระแส  $I_{DC}$  เป็นกระแสเฉลี่ยหรือกระแสไฟ DC ถูกจ่ายมาจากภาคจ่ายไฟในวงจรขยายคลาส B เป็นกระแสจากภาคจ่ายไฟจุดเดียวต่อวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น หรือถ้าใช้ชนิดภาคจ่ายไฟสองจุดแต่ละจุดใช้วงจรเรกติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น ค่ากระแสเฉลี่ยเขียนสมการได้ดังนี้

$$I_{DC} = \frac{2}{\pi} I_{(P)} \quad (5.23)$$

เมื่อ  $I_{(P)}$  = ค่ากระแสสูงสุดที่ออกเอาต์พุต  
นำสมการที่ (5.23) แทนลงในสมการที่ (5.22) จะได้เป็น

$$P_{DC} = V_{CC} \frac{2}{\pi} I_{(P)} \quad (5.24)$$

$$\therefore P_{DC} = \frac{2}{\pi} V_{CC} I_{(P)} \quad (5.25)$$

### ค่ากำลังเอาต์พุตไฟ AC

กำลังเอาต์พุตที่ถูกส่งไปยังโหลดปกติคือ RL สามารถคำนวณหาได้หลายแบบ เช่น ค่าสัญญาณที่วัดได้ เป็น RMS เป็นค่าขอมหรือค่าขอดถึงขอด เขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$P_{L(AC)} = \frac{V_{L(rms)}^2}{R_L} \quad (5.26)$$

$$\text{หรือ} \quad P_{L(AC)} = \frac{V_{L(P)}^2}{2R_L} \quad (5.27)$$

$$\text{หรือ } P_{L(AC)} = \frac{V_{L(P)}^2}{8R_L} \text{ (peak-to-peak)} \quad (5.28)$$

### ประสิทธิภาพ

วงจรขยายแบบคลาส B สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพได้โดยใช้สมการเบื้องต้นได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_{L(AC)}}{P_{DC}} \times 100 \quad (5.29)$$

นำสมการที่ (5.25) และ (5.27) แทน ได้สมการใหม่ออกมาเป็น

$$\eta = \frac{V_{L(P)}^2 / 2R_L}{(2/\pi)V_{CC}I_{(P)}} \times 100 = \frac{\pi V_{L(P)}^2}{4R_L V_{CC} I_{(P)}} \quad (5.30)$$

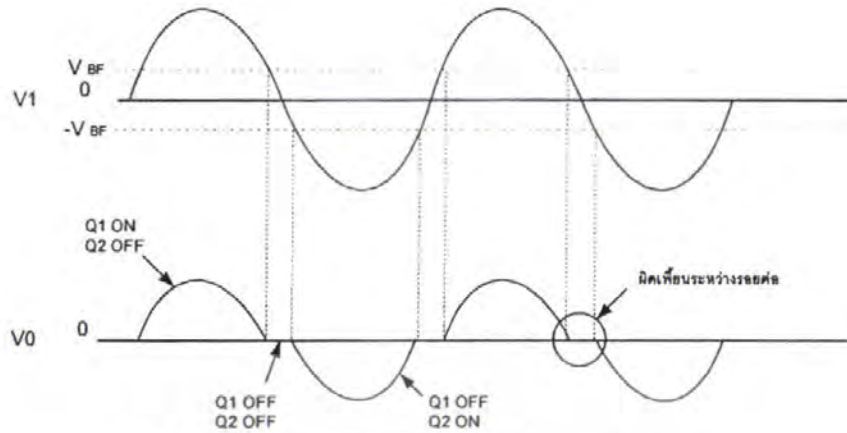
$$I_{(P)} = \frac{V_{L(P)}}{R_L} \quad (5.31)$$

$$\eta = \frac{\pi V_{L(P)} I_{(P)}}{4 V_{CC} I_{(P)}} \times 100 \quad (5.32)$$

$$\eta = \frac{\pi V_{L(P)}}{4 V_{CC}} \times 100 \quad (5.33)$$

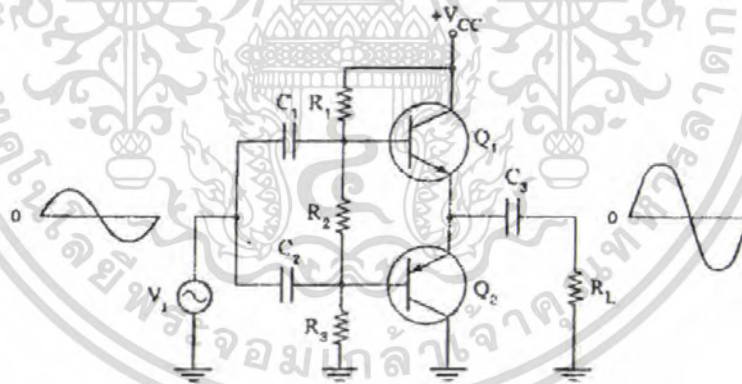
### 5.1.3 วงจรขยายคลาส AB

การทำงานของวงจรขยาย B ที่คือวงจรขยายแบบพุช – พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารีสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของสัญญาณอินพุต แต่เนื่องจากการจัดไบอัสให้วงจรขยายที่จุดคัตออฟมีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตบางส่วนผิดเพี้ยนไป เกิดการผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อ (cross-over distortion) ขึ้น ลักษณะความผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อแสดงดังรูปที่ 5.9



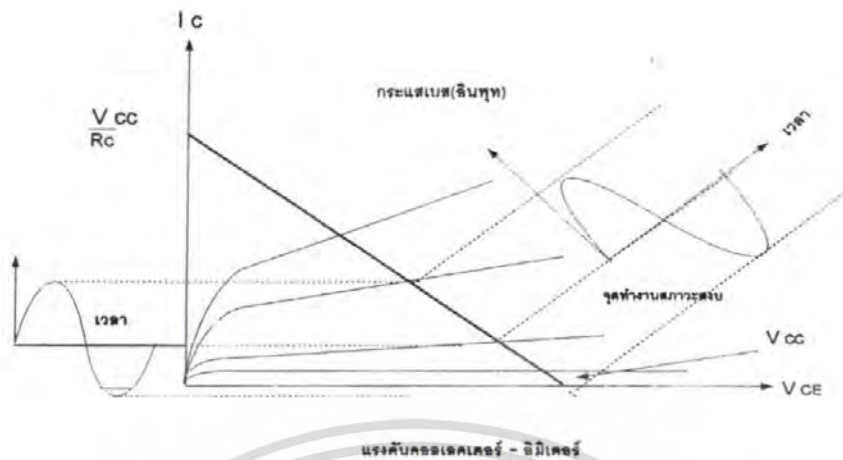
รูปที่ 5.9 สัญญาณเอาต์พุตเกิดการผิดเฟสขึ้นระหว่างรอยต่อ

ในการแก้ไขความผิดเฟสขึ้นระหว่างรอยต่อทำได้ด้วยการจัดไบอัสให้วงจรขยายเล็กน้อยเกินจุดตัดออฟเซ็ทขึ้นมาประมาณแรงดัน  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$  ช่วยทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวที่จัดวงจรขยายแบบพุช – พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารีนำกระแสเล็กน้อย ขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวพร้อมที่จะทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ทันที การจัดวงจรขยายลักษณะนี้เป็นแบบคลาส AB ลักษณะวงจรถูกแสดงดังรูปที่ 5.10



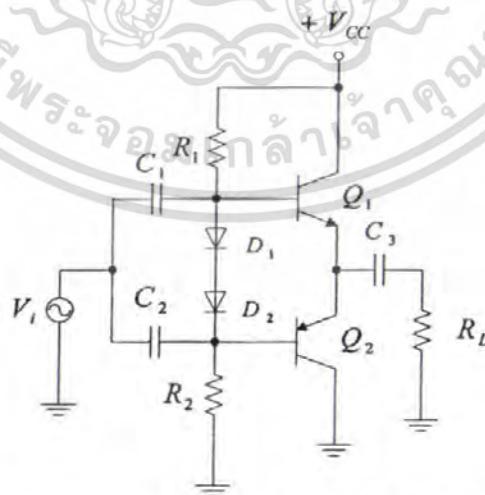
รูปที่ 5.10 วงจรขยายคลาส AB คอแบบพุช – พูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส AB

จากรูปแสดงวงจรขยายคลาส AB คือแบบพุช - พูล มีตัวต้านทาน  $R_1, R_2, R_3$  คือวงจรแบบวงจรแบ่งแรงดัน กำหนดแรงดันไบอัสเล็กน้อยต่อคร่อม  $R_2$  ปล่อยให้ขาเบสของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  ทำให้อทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  นำกระแสเล็กน้อย คงที่ค่าหนึ่งตลอดเวลา พร้อมทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามาวงจรขยายคลาส AB ทำการขยายออกเอาต์พุตทันที ได้รูปสัญญาณออกเอาต์พุตไม่ผิดเพี้ยน วงจรขยายคลาส AB อีกแบบหนึ่งใช้ไดโอดเข้ามาในวงจรไบอัสแบบวงจรแบ่งแรงดัน ไดโอดที่ใช้งานนี้ถูกเรียกว่า ไดโอดไบอัสอัตโนมัติช่วยควบคุมไบอัส  $V_{BE}$  ให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เหมาะสมตลอดเวลา ลักษณะวงจรขยายคลาส AB แบบพุช - พูล ใช้ไดโอดไบอัสอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 5.12

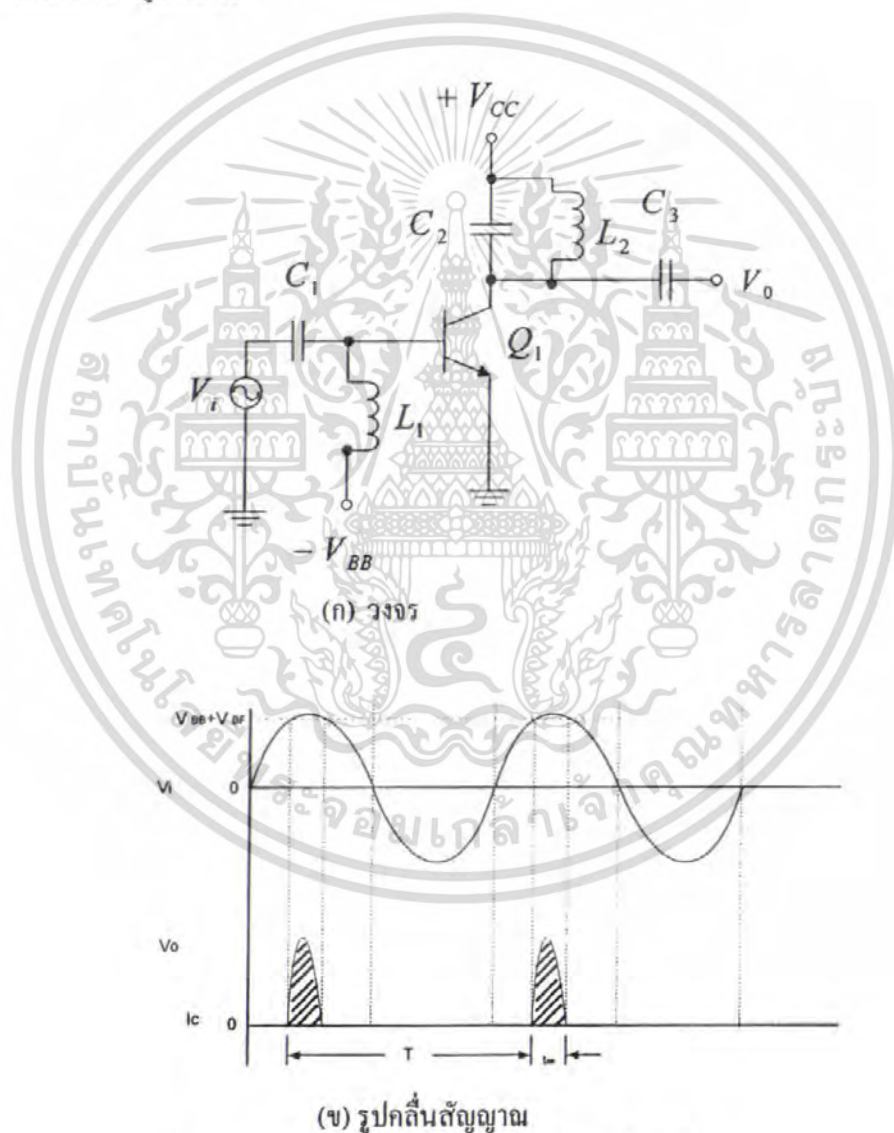


รูปที่ 5.12 วงจรขยายคลาส AB คือแบบพุช - พูล ใช้ไดโอดเป็นไบอัสอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.1.4 วงจรขยายคลาส C

วงจรขยายคลาส C เป็นวงจรขยายที่ถูกจัดไบอัสให้ต่ำกว่าจุดคัทออฟ มีกระแส  $I_C$  ของทรานซิสเตอร์ไหลที่  $120^\circ$  หรือน้อยกว่านี้ เมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามาทำให้กระแส  $I_C$  ไหลในเวลาสั้นๆ เหมือนพัลส์แคบๆ กระแส  $I_C$  ไหลไม่ต่อเนื่อง มีส่วนประกอบของฮาร์มอนิกจำนวนมาก เพราะว่ามีควมคิดเพี้ยนสูงมาก วงจรขยายคลาส C ไม่สามารถใช้ในวงจรขยายเสียงได้ แต่ใช้งานได้กับวงจรขยายจูน RF สามารถกรองเอาความถี่ฮาร์มอนิกที่ไม่ต้องการออกได้ด้วยวงจรเทงก์แบบ LC ( LC tank circuit ) เหลือเฉพาะความถี่พื้นฐานถูกส่งไปให้โหลด RL วงจรขยายคลาส C เบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 วงจรขยายคลาส C และรูปสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

ในวงจรขยายคลาส C มีการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่ำ เพราะเปอร์เซ็นต์การทำงานของวงจรน้อยคือสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา กระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_C$ ) ที่ไหลทางเอาต์พุตเป็นลักษณะพัลส์ มีช่วงเวลาระหว่างพัลส์เป็นคาบเวลา (period) หรือ T ของสัญญาณแรงดัน AC อินพุต แสดงดังรูปที่ 5.13 (ข) ความสิ้นเปลืองไฟฟ้าในช่วงเวลาการทำงาน (ON) คือ

$$P_{D(ON)} = V_{CE(sat)} I_{C(SAT)} \quad (5.34)$$

ทรานซิสเตอร์ทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ ที่  $t_{on}$  และหยุดการทำงานในเวลาที่เหลือ การหาค่าความสิ้นเปลืองกำลังเฉลี่ยหาได้ดังนี้

$$P_{D(avg)} = \frac{t_{on}}{T} P_{D(ON)} \quad (5.35)$$

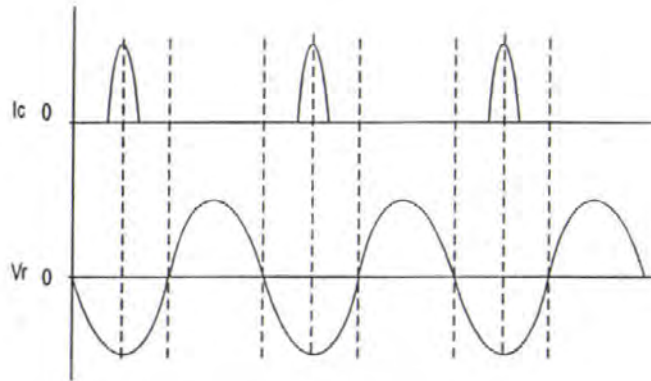
$$P_{D(avg)} = \frac{t_{on}}{T} V_{CE(sat)} I_{C(SAT)} \quad (5.36)$$

เมื่อ

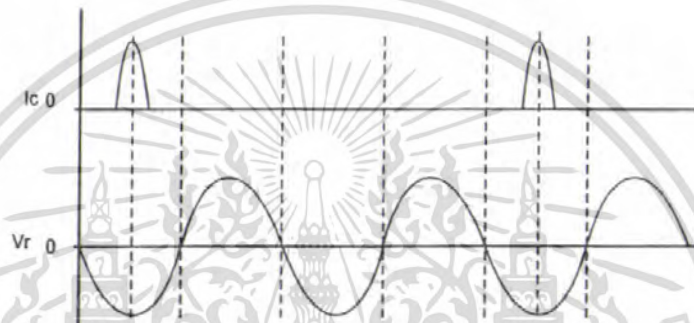
- $P_{D(ON)}$  = ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า (power dissipation) มีหน่วยเป็น W
- $P_{D(avg)}$  = ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (average power dissipation) มีหน่วยเป็น W
- $t_{on}$  = เวลาทำงานของทรานซิสเตอร์ มีหน่วยเป็น S
- T = ช่วงเวลาระหว่างพัลส์ มีหน่วยเป็น S
- $V_{CE(sat)}$  = แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ต่ำสุดขณะทรานซิสเตอร์ทำงาน มีหน่วยเป็น V
- $I_{C(sat)}$  = กระแสคอลเล็กเตอร์ไหลผ่านทรานซิสเตอร์สูงสุด มีหน่วยเป็น A

### กำลังเอาต์พุตสูงสุด

การทำงานของวงจรแทงค์  $L_2, C_2$  ตามรูปที่ 5.13 (ก) เกิดขึ้นได้จากการที่กระแส  $I_C$  ไหลส่งผลให้เกิดการรอสซิชิตเลตความถี่ขึ้นมา เป็นสัญญาณไฟ AC ตกคร่อมวงจรแทงค์  $L_2, C_2$  ดังแสดงในรูปที่ 5.13



(ก) ความสัมพันธ์



(ข) ความสัมพันธ์ที่ 2

รูปที่ 5.14 ความถี่ที่กำเนิดขึ้นมาจากวงจรเทงก์  $L_2, C_2$

แรงดันที่ตกคร่อมวงจรเทงก์  $L_2, C_2$  เป็นค่าขอดีขอยอด มีค่าประมาณ  $2V_{CC}$  ค่ากำลังเอาต์พุตสูงสุดหาได้ดังนี้

$$P_{out} = \frac{V_{rms}^2}{R_C} \quad (5.37)$$

$$= \frac{(0.707V_{CC})^2}{R_C}$$

$$\therefore P_{out} = \frac{0.5V^2_{CC}}{R_C} \quad (5.38)$$

ผลรวมทั้งหมดที่จ่ายให้วงจรขยายคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_T = P_{out} + P_{D(avg)} \quad (5.39)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{D(avg)}} \times 100 \quad (5.40)$$

- เมื่อ  $P_{out}$  = กำลังเอาต์พุตสูงสุดมีหน่วยเป็น W  
 $P_T$  = ผลรวมกำลังทั้งหมดที่จ่ายให้วงจรขยาย มีหน่วยเป็น W  
 $R_C$  = วงจรสมมูลความต้านทานขานของวงจรเทงค์ มีหน่วยเป็น  $\Omega$

## 5.2 การศึกษาวงจรขยาย

ตารางที่ 5.2 แสดงแอมพลิฟายเออร์ในคลาสต่างๆ

คุณสมบัติ	คลาส A	คลาส AB	คลาส B	คลาส C
ประสิทธิภาพ	50%	ระหว่างคลาส A และคลาส B	78.5%	100%
มุมการนำไฟฟ้า (องศา)	360	ระหว่างคลาส A และคลาส B	180	น้อย (ประมาณ 90)
ความผิดเพี้ยน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
การไบอัส	ตรง (ตรงกลางเส้นโพล)	ตรง (ใกล้จุดคัทออฟ)	ศูนย์ (ที่จุดคัทออฟ)	กลับ (ขึ้นอยู่กับคัทออฟ)
การนำไปใช้	แอมพลิฟายเออร์สำหรับวงจรขนาดปานกลางในงานสำหรับออดิโอ	ขั้นตอนของ high Power ซึ่งใช้ในงานสำหรับออดิโอและความถี่วิทยุ	ขั้นตอนของ high-Power ซึ่งไม่ใช้ในงานออดิโอการใช้งานขึ้นอยู่กับความผิดเพี้ยน	โดยทั่วไปใช้ในความถี่วิทยุและวงจรจูนซึ่งกำจัดความผิดเพี้ยนได้มาก

จากการศึกษาคุณสมบัติ และการทำงานของวงจรขยายในแต่ละคลาส Class สามารถจัดแบ่งชนิดของเครื่องขยายซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั้น ๆ โดยแบ่งออกเป็นชนิดหรือคลาสได้เป็น Class A , Class B , Class A-B และ Class C ซึ่งพอ อธิบายชนิดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรได้ดังนี้ วงจรขยายชนิดนี้จะมีจุดทำงานอยู่ในช่วงที่เรียกว่า Active หรือ ช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์จะเป็นเชิงเส้น คืออยู่สูงกว่าจุดคัทออฟ

โดยอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดมี กระแสคอลเล็กเตอร์ไหลใน วงจรตลอดเวลา ถึงแม้ว่าไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตก็ตาม

## สรุป

วงจรขยายกำลังทำหน้าที่เพิ่มระดับความแรงของสัญญาณไฟฟ้าให้แรงมากขึ้นก่อนที่จะส่งไปให้โหลด โดยปกติโหลดของวงจรขยายกำลังมีค่าความต้านทานต่ำเสมอ ประสิทธิภาพของวงจรขยายจะมีค่าสูงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการจัดคลาสของกรขยาย ซึ่งแบ่งออกได้เป็นคลาส A, Class B, Class AB, Class C และ Class D

วงจรขยาย Class A ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเต็มรูปคลื่นทั้ง  $360^\circ$  มีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีรูปร่างสัญญาณเหมือนสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25% ถึง 50%

วงจรขยาย Class B ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาครึ่งรูปคลื่นเพียง  $180^\circ$  มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตเพียงซีกเดียว อาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25% (อาจเป็น 50%) และ 78.5%

วงจรขยาย Class AB ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามากกว่า  $180^\circ$  ถึงน้อยกว่า  $360^\circ$  มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีซีกหนึ่งขยายได้ทั้งหมด และอีกซีกหนึ่งขยายได้บางส่วน ต้องจัดวงจรขยายแบบ พูช – พูล หรือแบบคอมพลิเมนต์ารี มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 78.5%

วงจรขยาย Class C ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาน้อยกว่าครึ่งรูปคลื่น หรือน้อยกว่า  $180^\circ$  มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตบางส่วนของซีกบวกหรือเพียงบางส่วนของซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายมากกว่า 90%

วงจรขยาย Class D ทำการขยายสัญญาณอินพุต ในรูปสัญญาณพัลส์หรือดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการทำงานแบบวิธีสุ่มตัวอย่างสัญญาณคลื่นไซน์ ได้สัญญาณดิจิทัลออกเอาต์พุต มีประสิทธิภาพกำลังขยายมากกว่า 90%

### 5.3 การออกแบบวงจรขยายกำลังความถี่สูง

ในการศึกษาการออกแบบวงจรขยายความถี่สูง สำหรับวงจรขยายสัญญาณที่แรงๆ จำเป็นต้องศึกษาการแมชอิมพีแดนซ์ ซึ่งลักษณะการคล้ายๆ ซึ่งเป็นการขยายสัญญาณอ่อนๆ ในการคำนวณและวิเคราะห์จะอาศัย  $Y$  และ  $S$  พารามิเตอร์เป็นส่วนใหญ่ ในบางครั้ง ต้องอาศัยคู่มือทรานซิสเตอร์ประกอบ เพราะการมองอิมพีแดนซ์ทางเข้า และอิมพีแดนซ์ทางออก แต่ละความถี่จะแตกต่างกัน ทำให้การคำนวณผิดพลาดไปมาก หลักสำคัญในการออกแบบวงจรขยายความถี่สูงพอจะกำหนดได้เป็น 2 ประเด็นคือ ให้อินพุตแมชกับ Source มากที่สุด และให้อเอาต์พุตแมชกับโหลดมากที่สุด ถ้าทำให้แมชได้ยากก็ต้องอาศัยวงจรแบบต่างๆ ในบทที่ 3 มาเป็นตัวช่วยแมชด้วย

### 5.4 การหาค่าโหลดที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าโหลดสำหรับวงจรขยายความถี่สูงนี้ จำเป็นต้องศึกษาให้ละเอียด เพราะถ้ามีโหลดน้อยไป (RL น้อย) ก็จะทำให้วงจรทรานซิสเตอร์ ทำงานหนักอาจจะเสียได้ หรือถ้าโหลดมีค่ามาก (RL มาก) ก็ทำให้วงจรทำงานไม่เต็มที่ สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ดังนั้นถ้าเราอาศัยคู่มือทรานซิสเตอร์ประกอบและคำนวณง่ายๆ ตามสมการที่ (5.41) ก็พอจะทราบ RL ได้

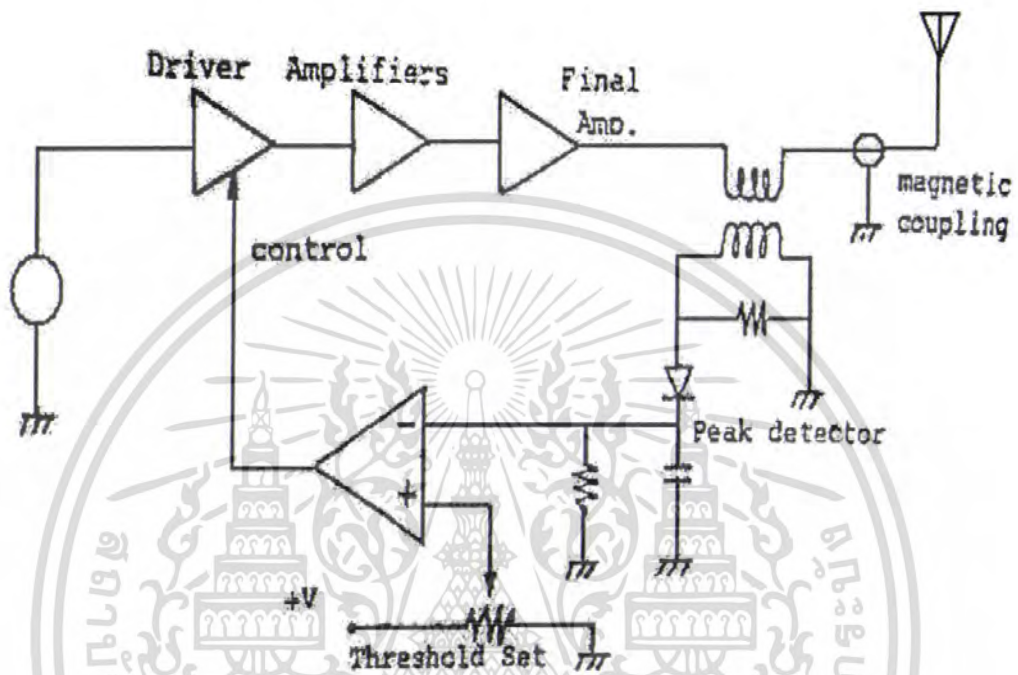
$$R_L = (V_{CC} - V_{sat})^2 / 2P \quad (5.41)$$

เมื่อ  $R_L$  = อิมพีแดนซ์ของโหลด  
 $V_{CC}$  = แรงดันแหล่งจ่ายไฟ (Volts)  
 $V_{sat}$  = แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะทำงานเต็มที่  
 $P$  = ค่า output power ที่ต้องการ

### 5.5 วงจรป้องกันสำหรับวงจรขยายกำลังความถี่สูง

โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังความถี่สูงนี้ จะใช้ทรานฟอ์เมอร์ ในการกลับปลิง ดังนั้น เมื่อความถี่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ก็จะทำให้กระแสไหลอย่างมากจนอาจเป็นอันตรายกับทรานซิสเตอร์กำลังได้ และอีกประการหนึ่งในการใช้เครื่องส่ง จะต้องให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศและเครื่องส่งแมชกัน ถ้าไม่แมชกันก็อาจเกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ในกรณีที่สายอากาศไม่ได้ต่อหรือขาด ก็เป็นผลให้คลื่นสะท้อนกลับเกือบทั้งหมด และเป็นอันตรายต่อ

ทรานซิสเตอร์ขยายกำลังภาคสุดท้ายเป็นอย่างมาก อาจจะพังไปเลยก็ได้ ดังนั้นวงจรที่ตีจะประกอบไปด้วย วงจรป้องกันดังรูปที่ 5.15

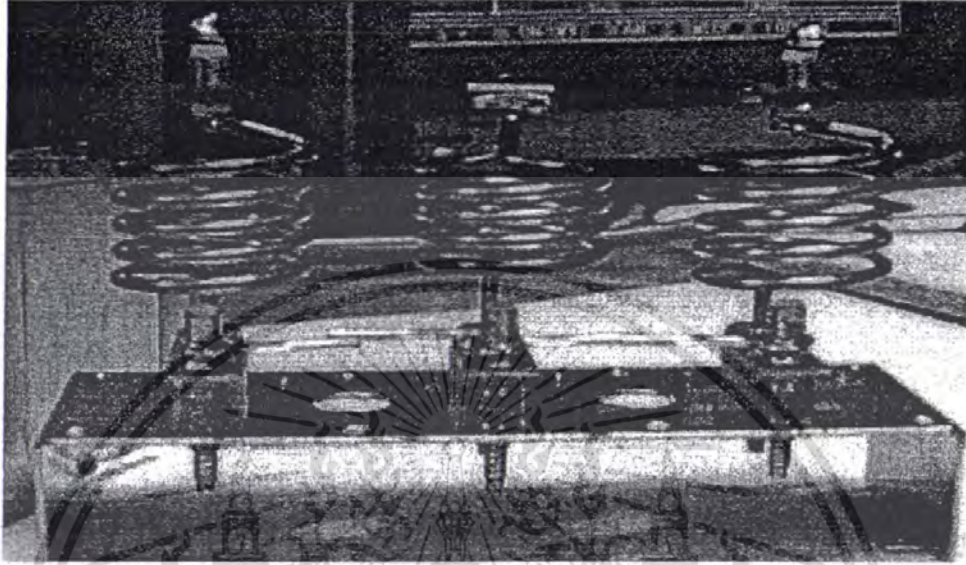


รูปที่ 5.15 แสดงวงจรป้องกันวงจรภาคขยายกำลังเสียหาย จากการไม่เมฆของโหลด และวงจรขยายกำลัง

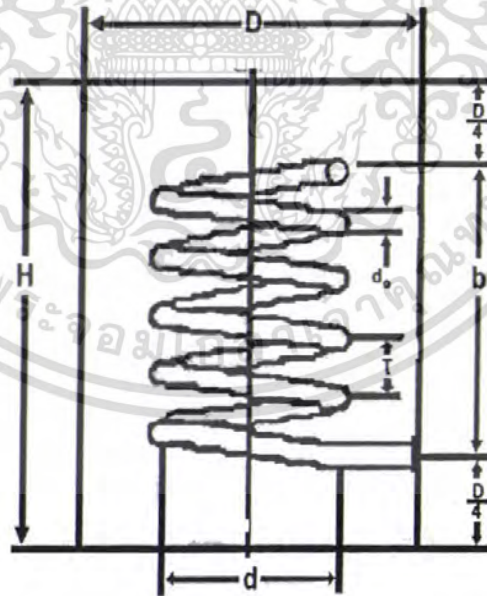
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 การออกแบบชุดฟิลเตอร์

จากรูปแสดงการคำนวณขนาดลวดคู่ได้จากสมการ 5.42 เป็นต้นไป



รูปที่ 5.16 Passive Filter แบบ Helical resonator ดันแบบ 144 – 146 MHz



รูปที่ 5.17 แสดงสัญลักษณ์ของขนาดลวดที่นำมาทำทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = 0.0025n^2 \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right) \right] \quad \mu h / axialInch \quad (5.42)$$

- เมื่อ  $L$  = การเหนี่ยวนำของขดลวด  
 $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง Diameter  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน shield

$$n = \frac{1}{\tau} \quad (turn / inch) \quad (5.43)$$

$\tau$  = ระยะห่างของขดลวดแต่ละเกลียว

$$C = \frac{0.75}{\log \left( \frac{D}{d} \right)} \quad (\mu f / axial \ inch) \quad (5.44)$$

เมื่อ  $C$  = ความเร็วแสงในอากาศ

### 5.6.1 สมการตามเงื่อนไขที่สมบูรณ์

$$\frac{b}{d} = 1.5 \quad (5.45)$$

เมื่อ  $b$  = ความยาวแกนขดลวด

$$1.0 < \frac{b}{d} < 4.0$$

$$0.45 < \frac{d}{b} < 0.6$$

$$0.4 < \frac{d_o}{\tau} < 0.6 \text{ at } \frac{b}{d} = 1.5$$

$$0.5 < \frac{d_o}{\tau} < 0.7 \text{ at } \frac{b}{d} = 4.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau < \frac{d}{2} \quad (5.46)$$

เมื่อ  $d_o$  = เส้นผ่าศูนย์กลาง conductor

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f_o} \times 10^{-6} \quad (5.47)$$

เมื่อ  $f_o$  = ความถี่

$$b = \frac{250}{f_o \sqrt{LC}} \quad (5.48)$$

ตั้งผลกระทบนอกของ Self-capacitance ของ coil กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ส่วน  
ของความยาวคลื่น

$$b = \frac{0.94\lambda}{4} = \frac{0.235v}{f_o} = \frac{235}{f_o \sqrt{LC}} \quad (5.49)$$

จากสมการ (5.42, 5.45, 5.47)

$$\frac{1}{\tau} = n = \frac{1720}{f_o D^2 \left(\frac{b}{d}\right) \left(\frac{d}{D}\right)^2} \left[ \frac{\log_{10}\left(\frac{D}{d}\right)}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.50)$$

จำนวนรอบ

$$N = nb = \frac{1720}{f_o D \left(\frac{d}{D}\right)} \left[ \frac{\log_{10}\left(\frac{D}{d}\right)}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของ impedance ของ resonator

$$Z_o = \frac{1000}{\sqrt{LC}} = 183nd \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right] \log_{10} \left( \frac{D}{d} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \text{ ohm} \quad (5.52)$$

ถ้า

$$\frac{d}{D} = 0.55 \text{ และ } \frac{b}{D} = 1.5$$

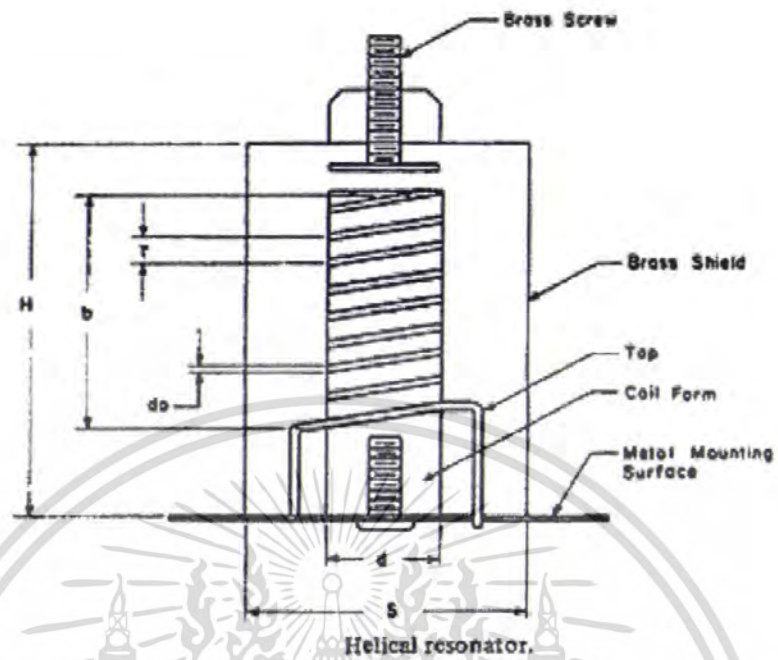
แล้ว

$$N = \frac{1900}{f_o D} \text{ รอบ} \quad (5.53)$$

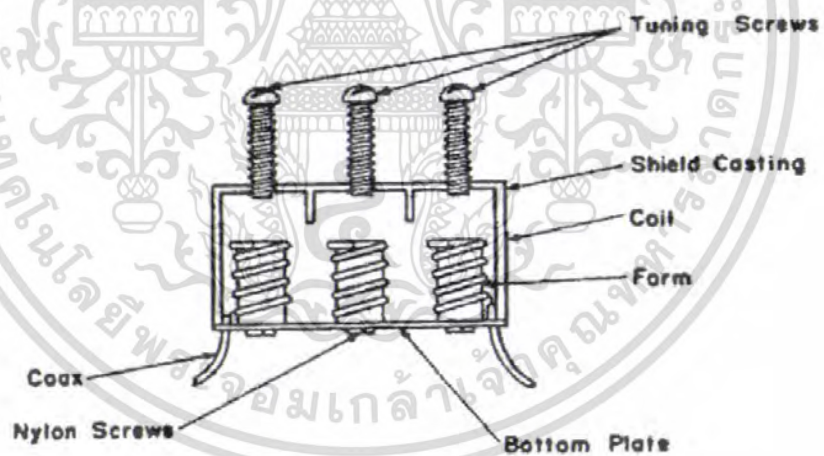
และ

$$Z_o = \frac{98000}{f_o D} \text{ ohm} \quad (5.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงกล่องที่นำมาใส่ขดลวด



รูปที่ 5.19 ภาพตัดขวางกล่องที่นำมาใส่ขดทั้ง 3 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.6.2 การคำนวณกล่องสี่เหลี่ยม

$$S = \text{ความกว้าง one side} = \frac{D}{1.2} \quad (5.55)$$

$$Q = 60S\sqrt{f_o} \quad (5.56)$$

$$N = \frac{1600}{f_o S} \quad (5.57)$$

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{1600}{S^2 f_o} \quad (5.58)$$

$$Z_o = \frac{81500}{f_o S} \quad (5.59)$$

$$d = 0.66S \text{ for } \frac{d}{D} = 0.55 \quad (5.60)$$

$$b = S \text{ for } \frac{b}{d} = 1.5 \quad (5.61)$$

$$H = 1.6S \quad (5.62)$$

- เมื่อ
- D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก
  - S = ความกว้างกล่องสี่เหลี่ยม
  - H = ความสูงกล่องสี่เหลี่ยม
  - b = ความยาวของขดลวดที่แล้ว
  - d = เส้นผ่าศูนย์กลาง diameter
  - n = ความยาวเส้นลวดทองแดง
  - do = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดทองแดง
  - N = จำนวนรอบขดลวด
  - $\tau$  = ระยะห่างเกลียว

$Z_o$  = ค่าความต้านทาน

$f_o$  = ความถี่

### 5.6.3 กำหนดค่าของ $Z_o$ ที่เหลื่อมจากสูตร

กำหนดคดลอง  $D$  : มีขนาดความกว้าง 1.5 นิ้ว

$$D = 1.5S$$

$$S = \frac{1.5}{1.2} = 1.25 \text{ inch}$$

$$Q = S60\sqrt{f_o} = 1.25(60)\sqrt{212.5} = 1093.30$$

$$n = \frac{1600}{s^2 f_o} = \frac{1600}{(1.25)^2 \times 212.5} = 4.81 \text{ turn/inch}$$

$$\tau = \frac{1}{n} = \frac{1}{4.81} = 0.207 \text{ inch}$$

$$Z_o = \frac{81500}{f_o S} = \frac{81500}{212.5 \times 1.25} = 306.82$$

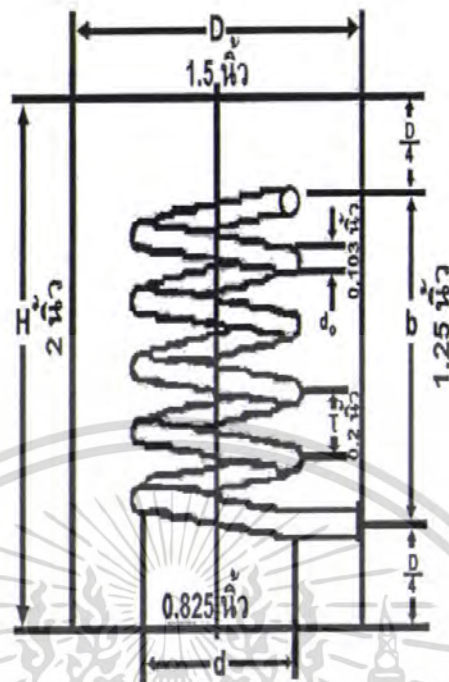
$$d = 0.66 \times 1.25 = 0.825 \text{ inches}$$

$$N = \frac{1600}{f_o(s)} = \frac{1600}{212.5 \times 1.25} = 6.02 \text{ turns/inch}$$

$$d_o = \frac{1}{2n} = \frac{1}{2(4.82)} = 0.103 \text{ inch}$$

$$H = 1.6 \times S = 1.6 \times 1.25 = 2 \text{ inch}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 แสดงขนาดของกลองและเส้นลวดที่  $D =$  กว้าง 1.5 นิ้ว  
กำหนดกลอง  $D$  : มีขนาดความกว้าง 2.0 นิ้ว

$$D = 2.0S$$

$$S = \frac{2}{1.2} = 1.66 \text{ inch}$$

$$Q = S60\sqrt{f_o} = 1.66(60)\sqrt{212.5} = 1451.907$$

$$n = \frac{1600}{s^2 f_o} = \frac{1600}{(1.66)^2 \times 212.5} = 2.73 \text{ turn / inch}$$

$$\tau = \frac{1}{n} = \frac{1}{2.73} = 0.366 \text{ inch}$$

$$Z_o = \frac{81500}{f_o S} = \frac{81500}{212.5 \times 1.66} = 231.04$$

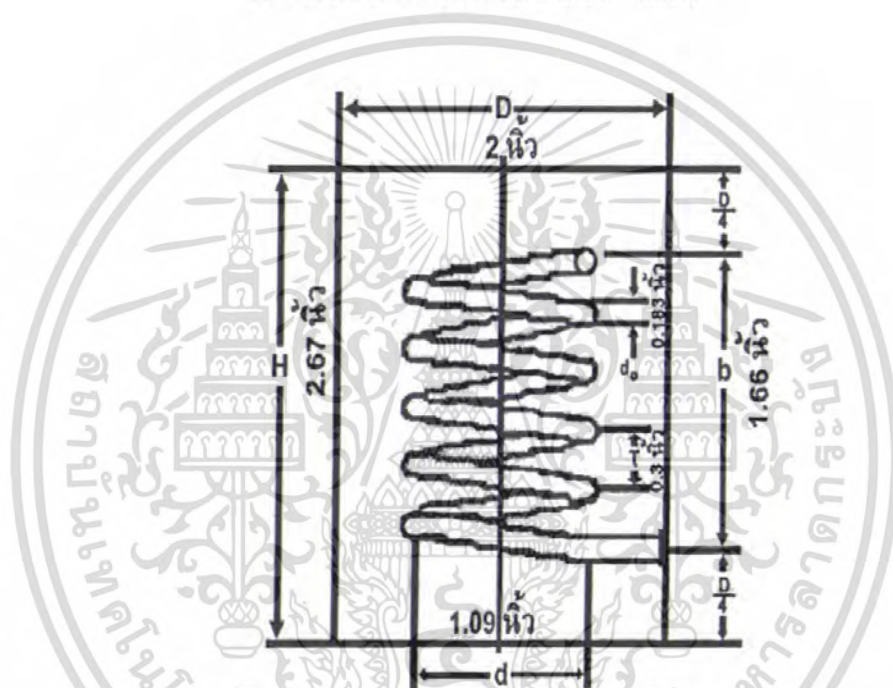
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = 0.66 \times 1.66 = 1.0956 \text{ inches}$$

$$N = \frac{1600}{fo(s)} = \frac{1600}{212.5 \times 1.66} = 4.53 \text{ turns / inch}$$

$$d_o = \frac{1}{2n} = \frac{1}{2(2.73)} = 0.183 \text{ inch}$$

$$H = 1.6 \times S = 1.6 \times 1.66 = 2.67 \text{ inch}$$



รูปที่ 5.21 แสดงขนาดของกล่องและเส้นลวดที่  $D =$  กว้าง 2.0 นิ้ว

กำหนดกล่อง  $D$  : มีขนาดความกว้าง 1.2 นิ้ว คำนวณจากกล่องต้นแบบ

$$D = 1.2S$$

$$S = \frac{1.2}{1.2} = 1 \text{ inch}$$

$$Q = S60\sqrt{fo} = 1(60)\sqrt{160} = 758.94$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{1600}{s^2 f_o} = \frac{1600}{(1)^2 \times 212.5} = 10 \text{ turn/inch}$$

$$\tau = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ inch}$$

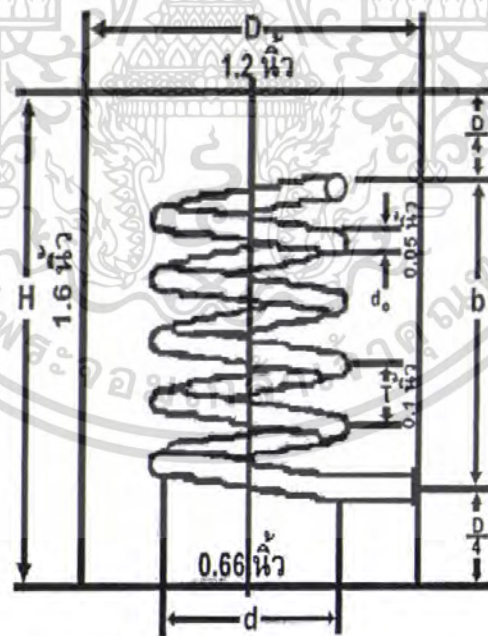
$$Z_o = \frac{81500}{f_o S} = \frac{81500}{160 \times 1} = 509.38$$

$$d = 0.66 \times 1 = 0.66 \text{ inches}$$

$$N = \frac{1600}{f_o(s)} = \frac{1600}{160 \times 1} = 10 \text{ turns / inch}$$

$$d_o = \frac{1}{2n} = \frac{1}{2(10)} = 0.05 \text{ inch}$$

$$H = 1.6 \times S = 1.6 \times 1 = 1.6 \text{ inch}$$



รูปที่ 5.22 แสดงขนาดของกล่องและเส้นลวดที่  $D =$  กว้าง 1.2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงขนาดต่างๆของกล่องและขดลวดที่ได้คำนวณ

D	Q	$r$ (นิ้ว)	$Z_0$	D(นิ้ว)	n	$d_0$ (นิ้ว)	H(นิ้ว)	N(นิ้ว)
1.5 นิ้ว	1093.30	0.207	306.82	0.825	4.81	0.103	2	6.02
2 นิ้ว	1451	0.366	231.04	1.09	2.73	0.183	2.67	4.53
คั่นแบบ 1.2 นิ้ว	758.94	0.1	509.38	0.66	10	0.05	1.6	10

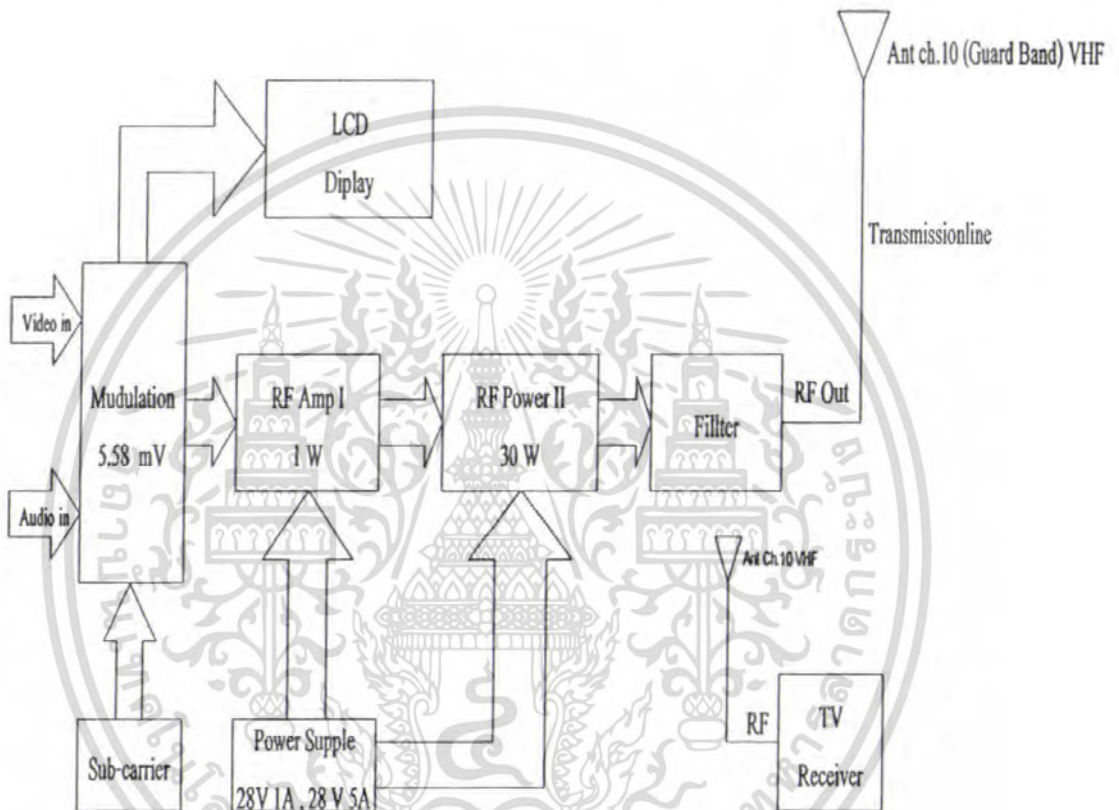


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดลองและระบบการทำงาน

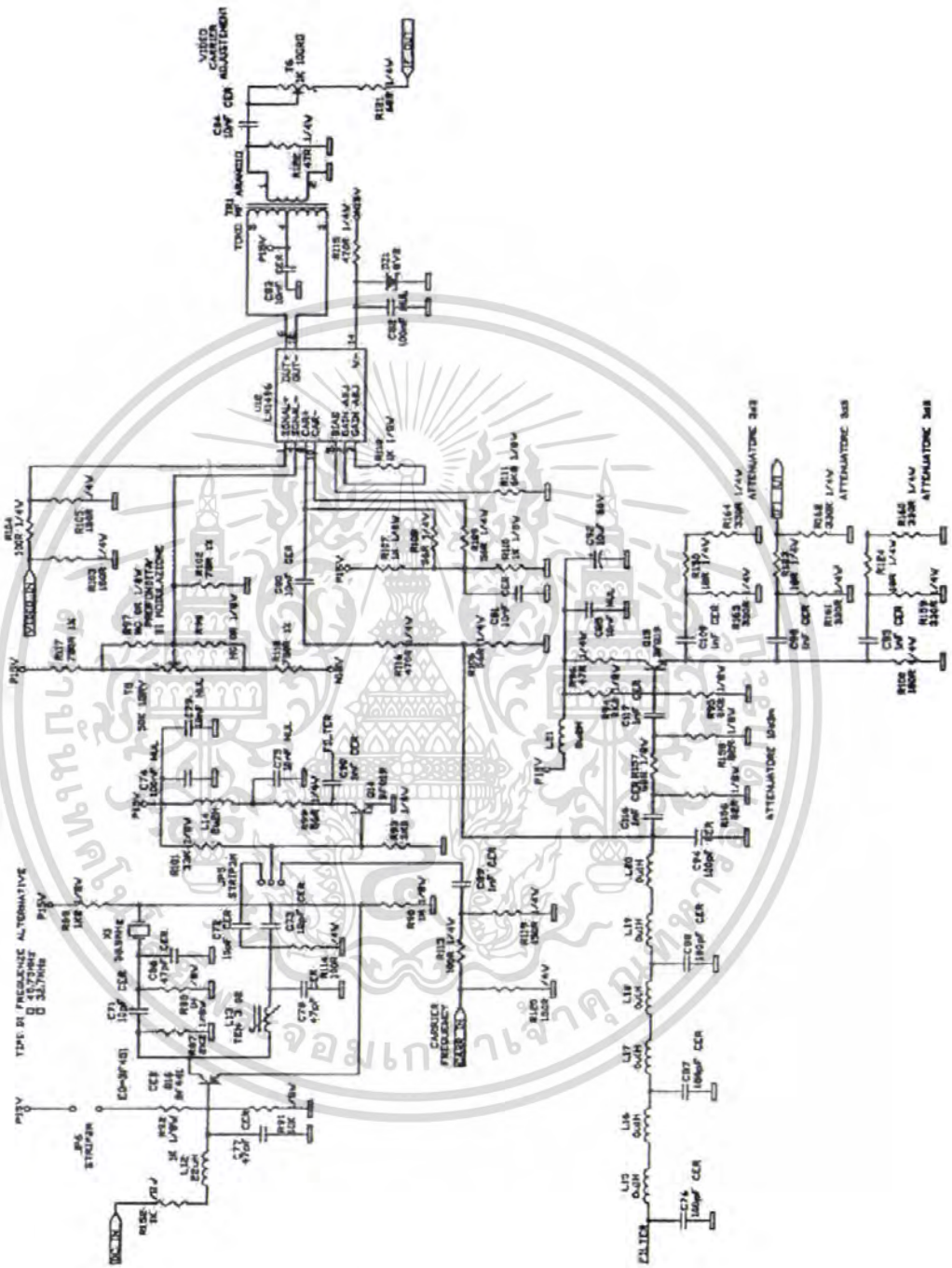
#### 6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์ VHF Ch 10 กำลังส่ง 30 W



รูปที่ 6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ภาค Oscillator, Modulation

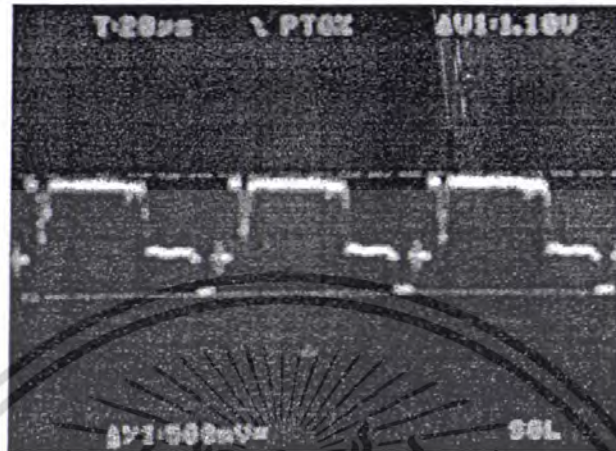


รูปที่ 6.2 วงจร Oscillator, Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ทดลองวัดสัญญาณภาค Oscillator, Modulation

#### 6.4.1 รูปวงจรรูปที่ 6.2 ป้อนสัญญาณภาพ 1.26 Vp-p และสัญญาณเสียง 200 mV



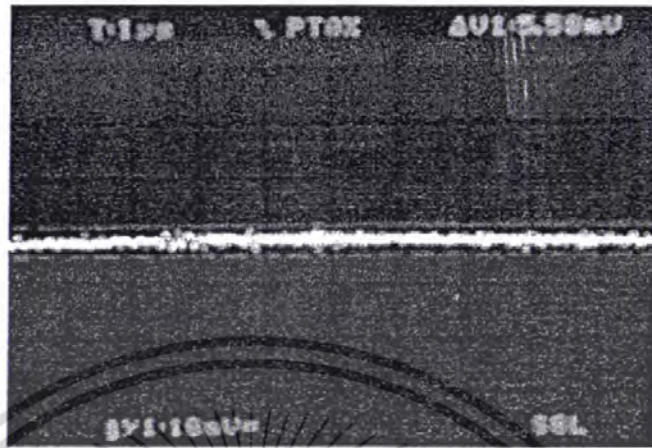
รูปที่ 6.3 ป้อนสัญญาณภาพ 1.10 Vp-p



รูปที่ 6.4 ป้อนสัญญาณเสียง 1.26 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2 วัด Output ที่ชุด Modulation ได้ 5.58 mV



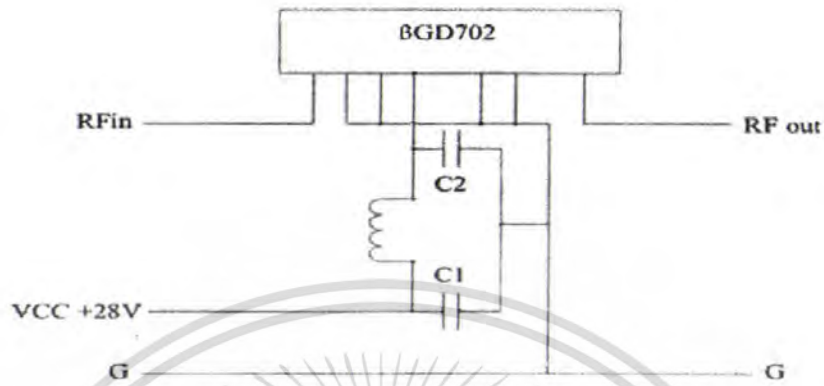
รูปที่ 6.5 Output RF ที่ชุด Modulation

6.4 ภาค RF Power Pre Amplifier ได้กำลังขยาย Output 1 Watt



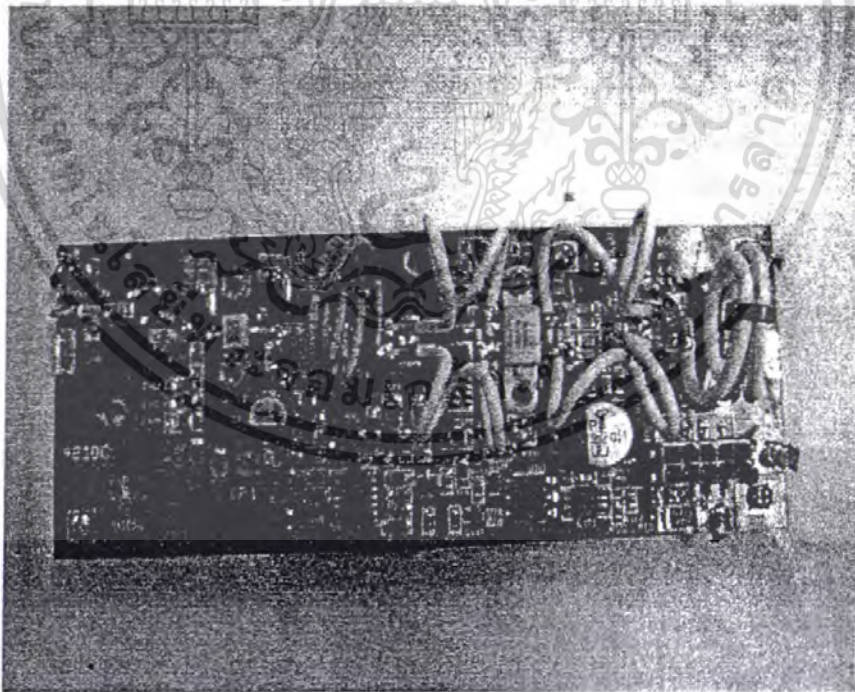
รูปที่ 6.6 RF Power Pre Amplifier 1 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



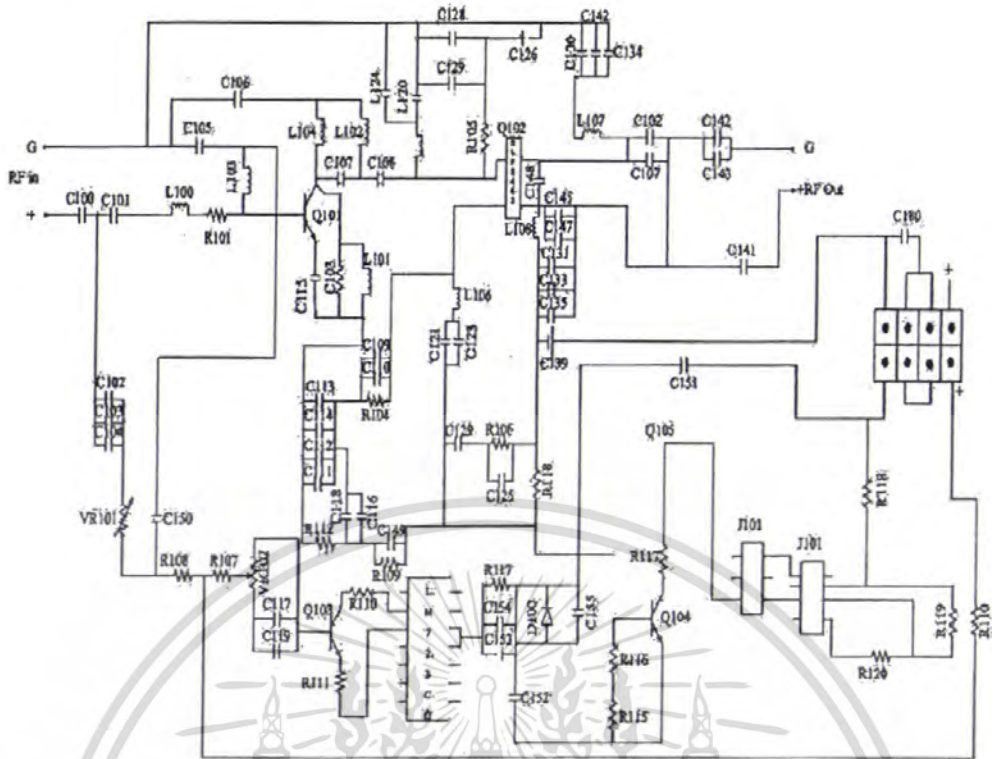
รูปที่ 6.7 วงจร RF Power Pre Amplifier 1 Watt

6.5 ภาค RF Power Amplifier ได้กำลังขยาย Output 30 Watts

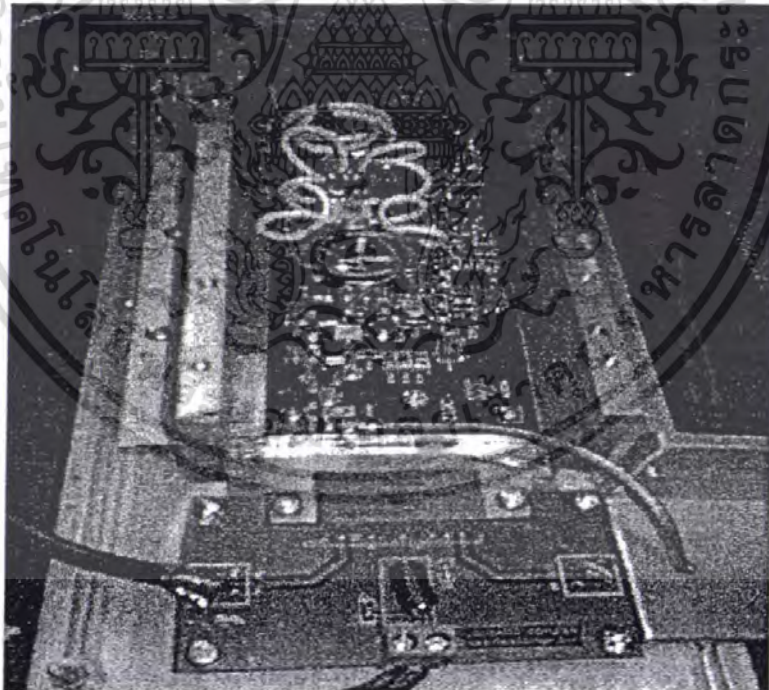


รูปที่ 6.8 RF Power Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

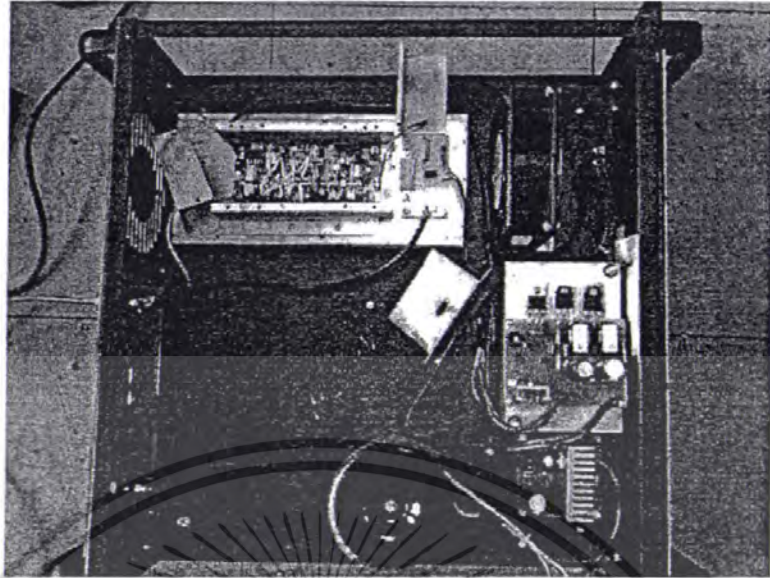


รูปที่ 6.9 วงจร RF Power Amplifier จะได้ RF Output 30 Watts

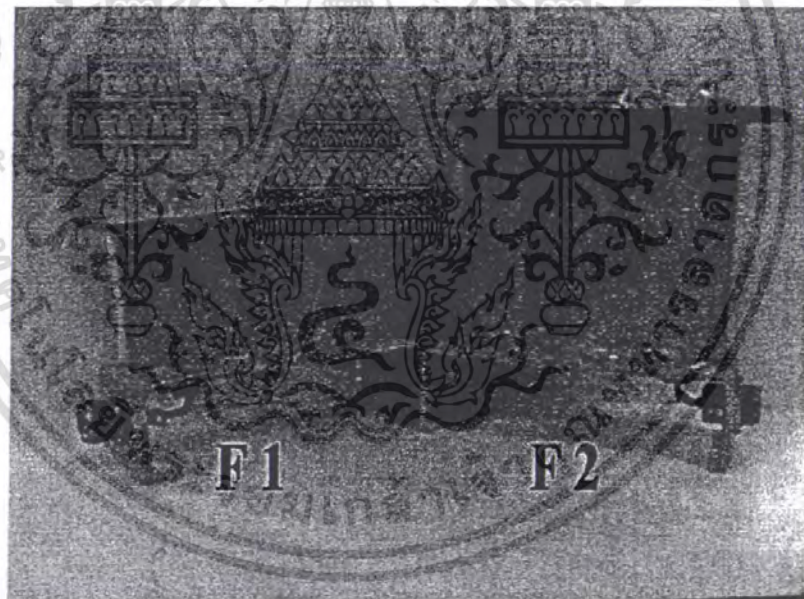


รูปที่ 6.10 RF Power Pre Amplifier ต่อกับ RF Power Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 เมื่อดึงกล่องสำเร็จ Power Amplifier

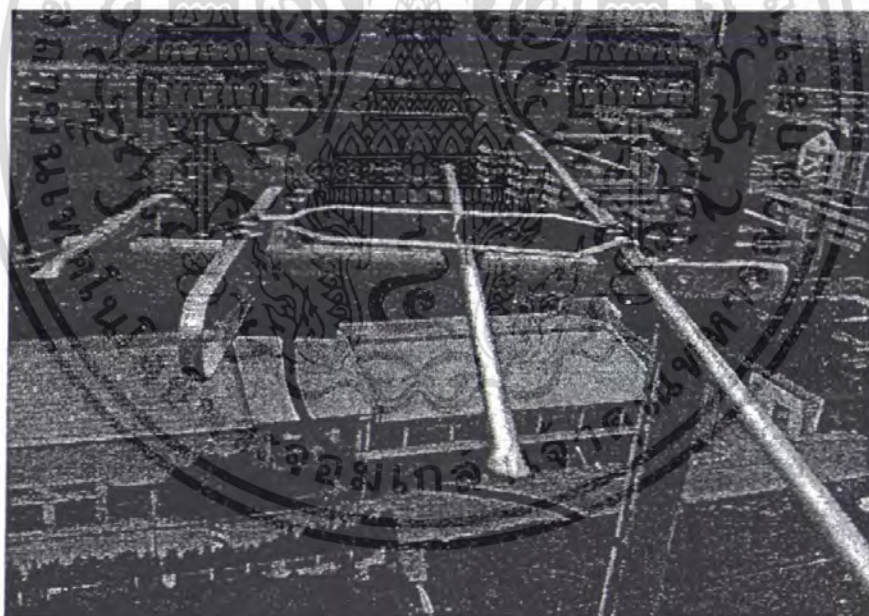


รูปที่ 6.12 ฟิลเตอร์ที่นำมาทดลองแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



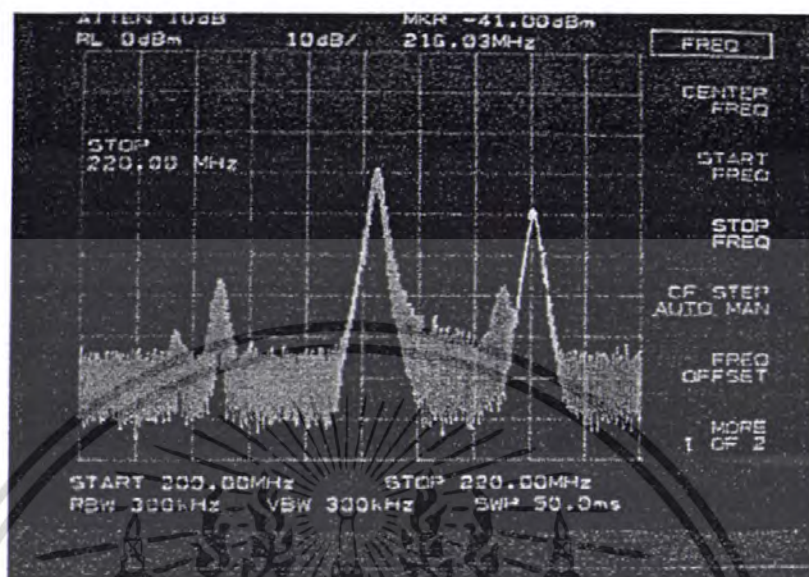
รูปที่ 6.13 ANTENNA ที่เครื่องส่ง Ch. 10



รูปที่ 6.14 ANTENNA ที่เครื่องรับโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.6 การวัด Wave Form ของ ชุด Power Amplifier

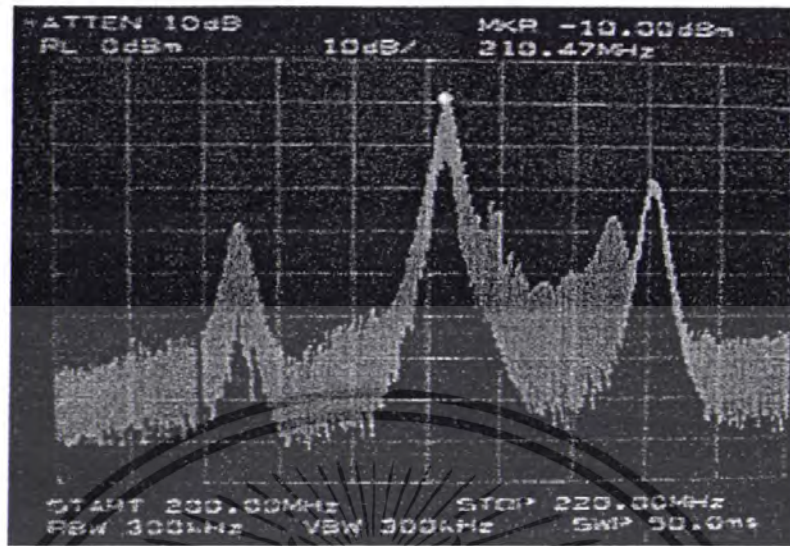


รูปที่ 6.15 การวัด Wave Form ของ ชุด Power Amplifier เมื่อต่อคิมมีโพลด ได้ Gain การขยาย = -41.00 dBm

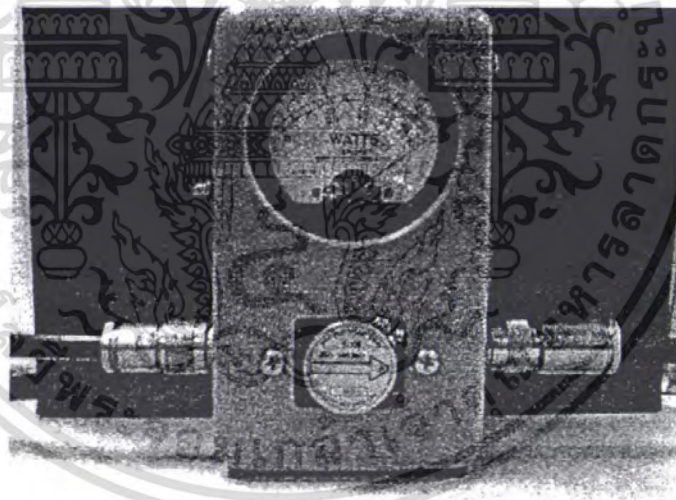


รูปที่ 6.16 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier ของคิมมีโพลดตัวที่ได้กำลังส่ง 29 Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 การวัด Wave Form ของชุด RF Power Amplifier ของ Antenna Gain  
การขยาย = -10.00 dBm



รูปที่ 6.18 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier ของ Antenna ได้กำลังส่ง  
มากกว่า 50 Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.7 ทดลองส่งออกอากาศ



รูปที่ 6.19 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 10



รูปที่ 6.20 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 9 ไล่ฟิลเตอร์ F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพสัญญาณที่ส่งออกไป ทำให้กวนช่อง 9 มาก ทำให้ฟิลเตอร์ F1 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการใช้ส่งออกอากาศ



รูปที่ 6.21 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง J1 (NBT) ใส่ฟิลเตอร์ F1

จากภาพสัญญาณที่ส่งออกไป ทำให้กวนช่อง H (NBT) มาก ทำให้ฟิลเตอร์ F1 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการใช้ส่งออกอากาศ



รูปที่ 6.22 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 9 ใส่ฟิลเตอร์ F2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพสัญญาณที่ส่งออกไป ทำให้กวนช่อง 9 น้อยลง จนสังเกตได้อย่างชัดเจน ทำให้ฟิลเตอร์ F2 เหมาะที่จะนำมาใช้ในการใช้ส่งออกอากาศ



รูปที่ 6.23 ภาพที่รับได้จากเครื่องโทรทัศน์ ช่อง 11 (NBT) ใส่ฟิลเตอร์ F2

จากภาพสัญญาณที่ส่งออกไป ทำให้กวนช่อง 9 น้อยลง จนสังเกตได้อย่างชัดเจน ทำให้ฟิลเตอร์ F2 เหมาะที่จะนำมาใช้ในการใช้ส่งออกอากาศ

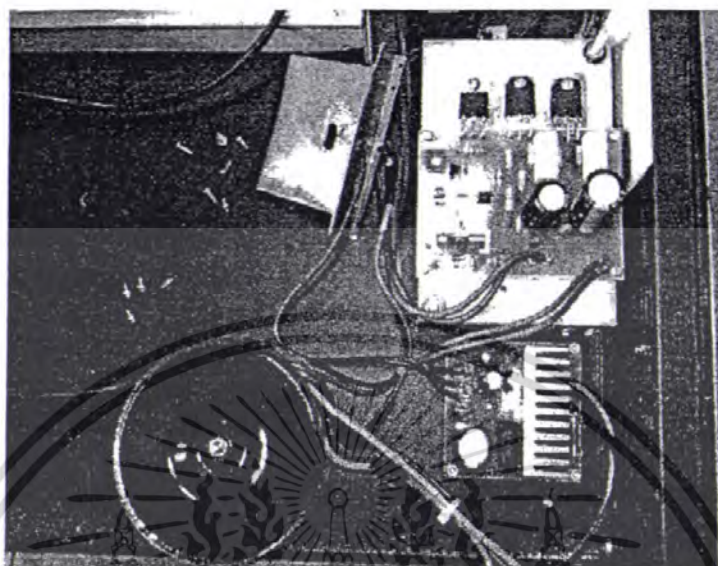
## 6.8 การวัดค่าสัญญาณย้อนกลับ

6.7.1 ต่อเครื่องวัดวัตต์มิเตอร์ ระหว่าง Transmission กับ Antenna ได้สัญญาณย้อนกลับ

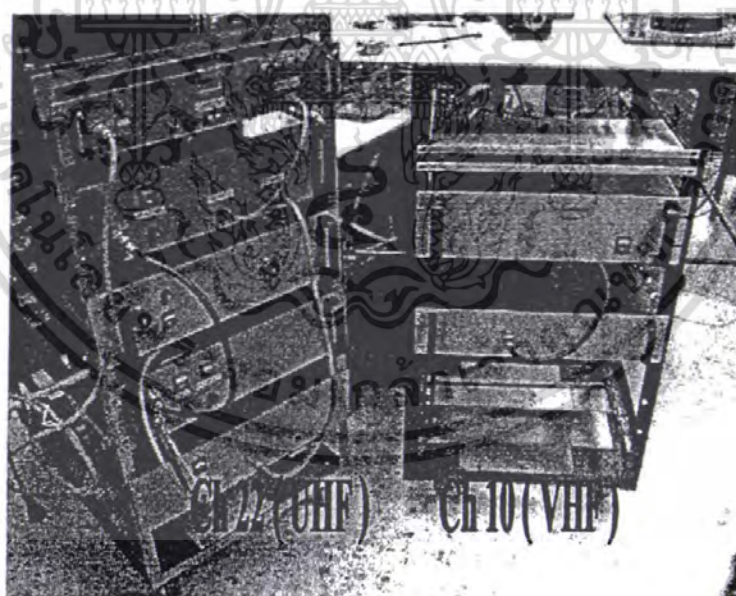
7 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.9 ชุด Power Supply



รูปที่ 6.24 ชุด Power Supply ของ Pre-Amplifier และ Power Amplifier



รูปที่ 6.25 เครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบวีเอชเอฟ ช่อง 10 กำลังส่ง 30 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.10 สรุป

1. RF Power Amplifier ทั้ง 2 Stage จะ ได้กำลังส่ง 1W และ 30 – 40 W ตามลำดับ
2. เมื่อต่อฟิลเตอร์เข้าไปฟิลเตอร์ F2 จะทำหน้าที่กรองสัญญาณไม่ให้รบกวนช่อง 9 ได้กว่าช่อง 11
3. ปัญหาสัญญาณรบกวนช่อง 9 และช่อง 11 ต้องทำการชิลด์แต่ละ Stage โดยนำแผ่นทองแดงทำเป็นบล็อกหุ้มอย่างมิดชิด เพื่อไม่ให้มีสัญญาณรบกวนออกมาจากตัวเครื่อง
4. การที่ได้ Watt น้อยเมื่อต่อ F2 เนื่องจากการสูญเสียในฟิลเตอร์ จึงต้องมี RF Power Amplifier มีกำลังขยายสูงขึ้น
5. การไม่แมทของเสาอากาศและสายนำสัญญาณต้องสร้างเสาอากาศให้ตรงกับความถี่ Chaanel 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

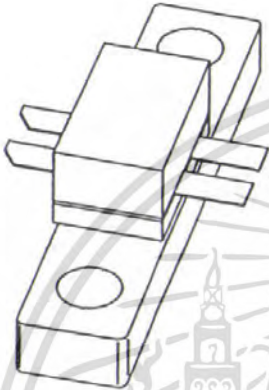
1. Dennis Roddy, and John Coolen. **Electronic Communications**. Third Edition. Ontario: Prentice – Hall International
2. รัชัช เมฆสุวรรณค์ และ โยชิตะชิ ซาวามูระ. 2528. **Textbook Of Color Television Engineering**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ดวงกมล
3. วิโรจน์ แก้วจันทร์. 2548. **ทฤษฎีเครื่องส่งวิทยุและสายอากาศ**. ปทุมธานี: สกายนิกส์
4. วสันต์ อาชาเดโชพล และ แอควานซ์ เอ็นจิเนียริงกรุ๊ป. **สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง**. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
5. ถวิล พึ่งมา. 2530. **การออกแบบวงจรทางโทรคมนาคม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. ประกิจ ดั่งติสานนท์. 2527. **วิศวกรรมการสื่อสารไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET



## **BLF245B** VHF push-pull power MOS transistor

Product specification  
Supersedes data of 1998 Jan 08

2000 Oct 17

Philips  
Semiconductors



# PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# VHF push-pull power MOS transistor

BLF245B

### FEATURES

- High power gain
- Easy power control
- Good thermal stability
- Gold metallization ensures excellent reliability.

### DESCRIPTION

Dual push-pull silicon N-channel enhancement mode vertical D-MOS transistor designed for large signal amplifier applications in the VHF frequency range.

The transistor is encapsulated in a 4-lead, SOT279 balanced flange envelope, with a ceramic cap. The mounting flange provides the common source connection for the transistors.

### PIN CONFIGURATION

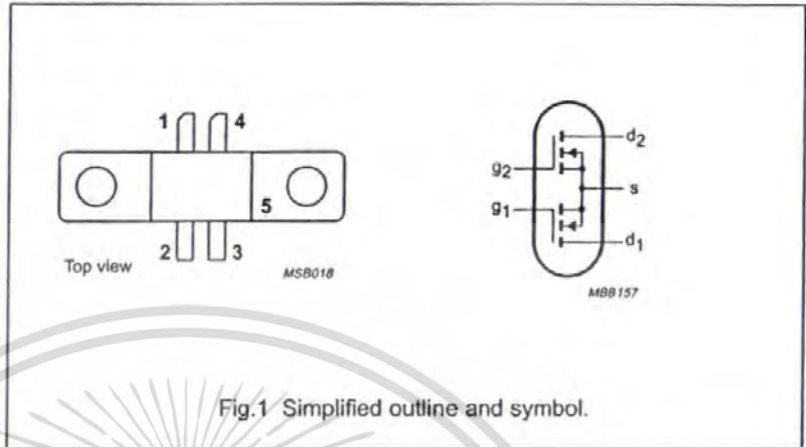


Fig.1 Simplified outline and symbol.

### CAUTION

The device is supplied in an antistatic package. The gate-source input must be protected against static charge during transport and handling.

### PINNING - SOT279

PIN	DESCRIPTION
1	drain 1
2	gate 1
3	gate 2
4	drain 2
5	source

### WARNING

#### Product and environmental safety - toxic materials

This product contains beryllium oxide. The product is entirely safe provided that the BeO disc is not damaged. All persons who handle, use or dispose of this product should be aware of its nature and of the necessary safety precautions. After use, dispose of as chemical or special waste according to the regulations applying at the location of the user. It must never be thrown out with the general or domestic waste.

### QUICK REFERENCE DATA

RF performance at  $T_h = 25\text{ }^\circ\text{C}$  in a push-pull common source test circuit.

MODE OF OPERATION	f (MHz)	$V_{DS}$ (V)	$P_L$ (W)	$G_p$ (dB)	$\eta_D$ (%)
CW, class-B	175	28	30	> 14	> 55

VHF push-pull power MOS transistor

BLF245B

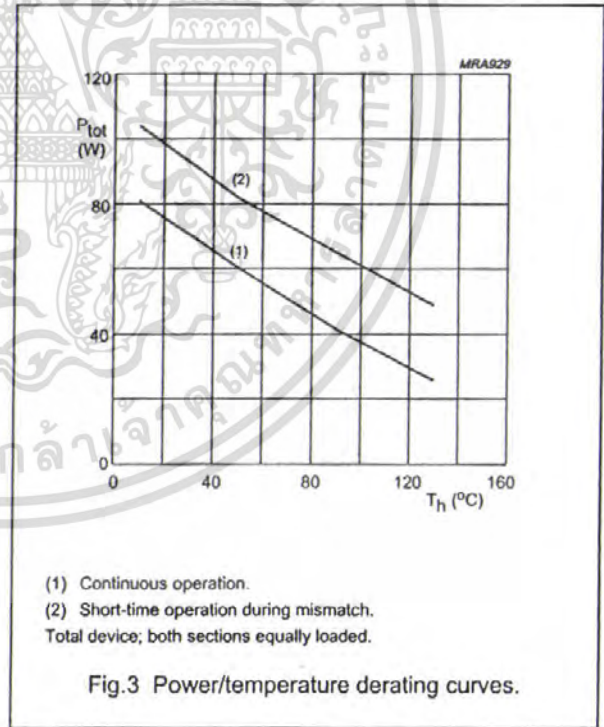
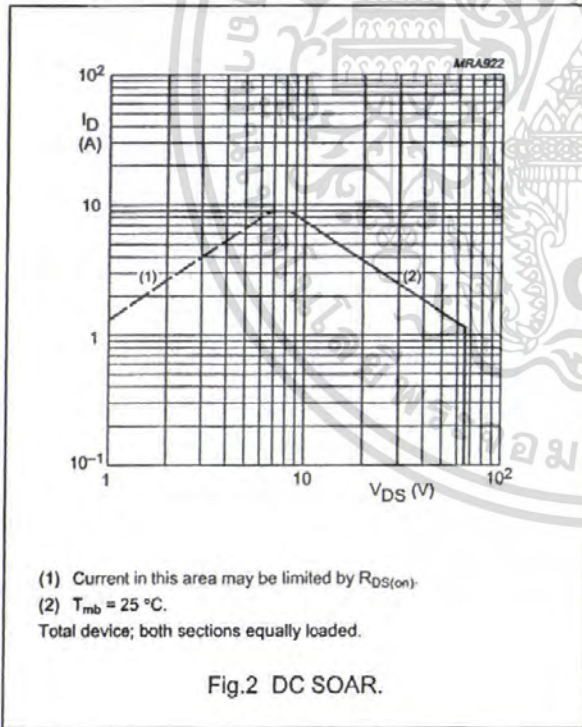
**LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum System (IEC 60134).  
Per transistor section unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DS}$	drain-source voltage		-	65	V
$\pm V_{GS}$	gate-source voltage		-	20	V
$I_D$	DC drain current		-	4.5	A
$P_{tot}$	total power dissipation	up to $T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; total device; both sections equally loaded	-	75	W
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
$T_j$	junction temperature		-	200	$^\circ\text{C}$

**THERMAL CHARACTERISTICS**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	thermal resistance from junction to mounting base	total device; both sections equally loaded	2.3	K/W
$R_{th\ mb-h}$	thermal resistance from mounting base to heatsink	total device; both sections equally loaded	0.3	K/W



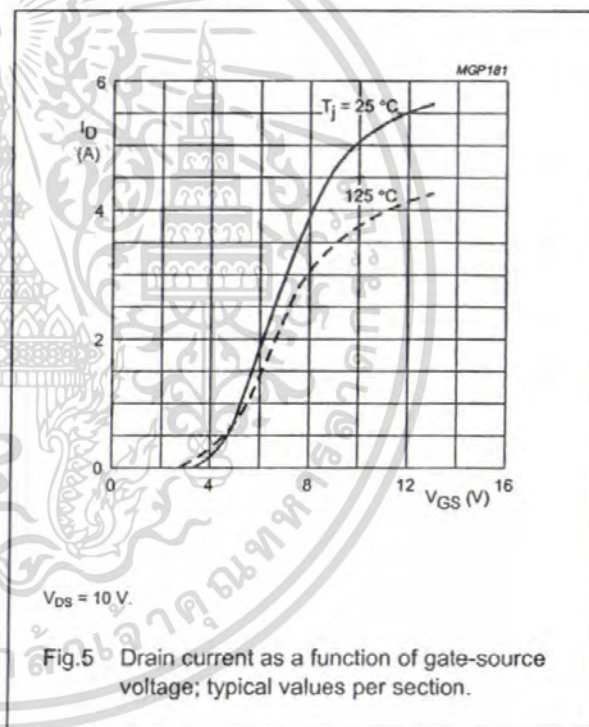
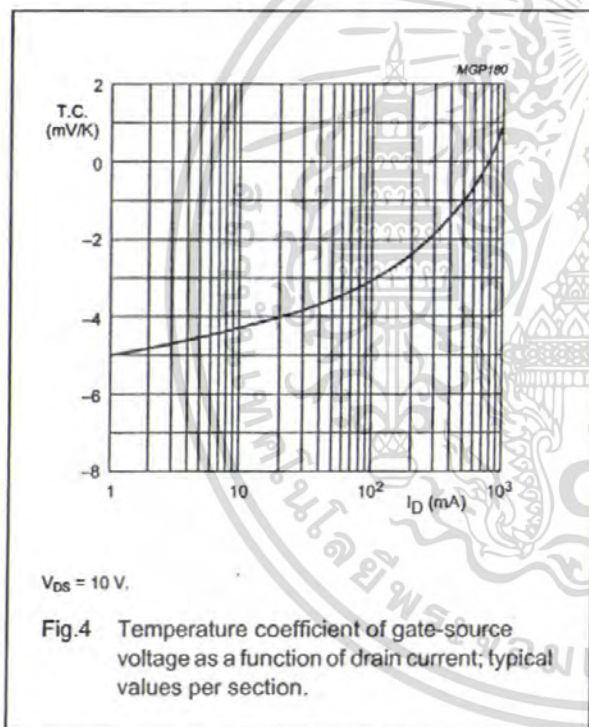
VHF push-pull power MOS transistor

BLF245B

CHARACTERISTICS (per section)

T<sub>J</sub> = 25 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V <sub>(BR)DSS</sub>	drain-source breakdown voltage	I <sub>D</sub> = 5 mA; V <sub>GS</sub> = 0	65	–	–	V
I <sub>DSS</sub>	drain-source leakage current	V <sub>GS</sub> = 0; V <sub>DS</sub> = 28 V	–	–	1	mA
I <sub>GSS</sub>	gate-source leakage current	±V <sub>GS</sub> = 20 V; V <sub>DS</sub> = 0	–	–	1	µA
V <sub>GS(th)</sub>	gate-source threshold voltage	I <sub>D</sub> = 5 mA; V <sub>DS</sub> = 10 V	2	–	4.5	V
g <sub>fs</sub>	forward transconductance	I <sub>D</sub> = 0.75 A; V <sub>DS</sub> = 10 V	600	850	–	mS
R <sub>DS(on)</sub>	drain-source on-state resistance	I <sub>D</sub> = 0.75 A; V <sub>GS</sub> = 10 V	–	0.8	1.5	Ω
I <sub>DSX</sub>	on-state drain current	V <sub>GS</sub> = 10 V; V <sub>DS</sub> = 10 V	–	5	–	A
C <sub>is</sub>	input capacitance	V <sub>GS</sub> = 0; V <sub>DS</sub> = 28 V; f = 1 MHz	–	60	–	pF
C <sub>os</sub>	output capacitance	V <sub>GS</sub> = 0; V <sub>DS</sub> = 28 V; f = 1 MHz	–	40	–	pF
C <sub>rs</sub>	feedback capacitance	V <sub>GS</sub> = 0; V <sub>DS</sub> = 28 V; f = 1 MHz	–	4.5	–	pF



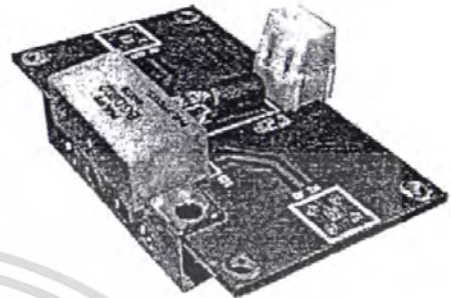


# Broadband Amplifier

MODEL : AMP-10018

### Features

- Wide band amplifier to 1GHz
- 18 dB gain
- Class A operation
- High grade PCB
- Easy to use
- Low cost

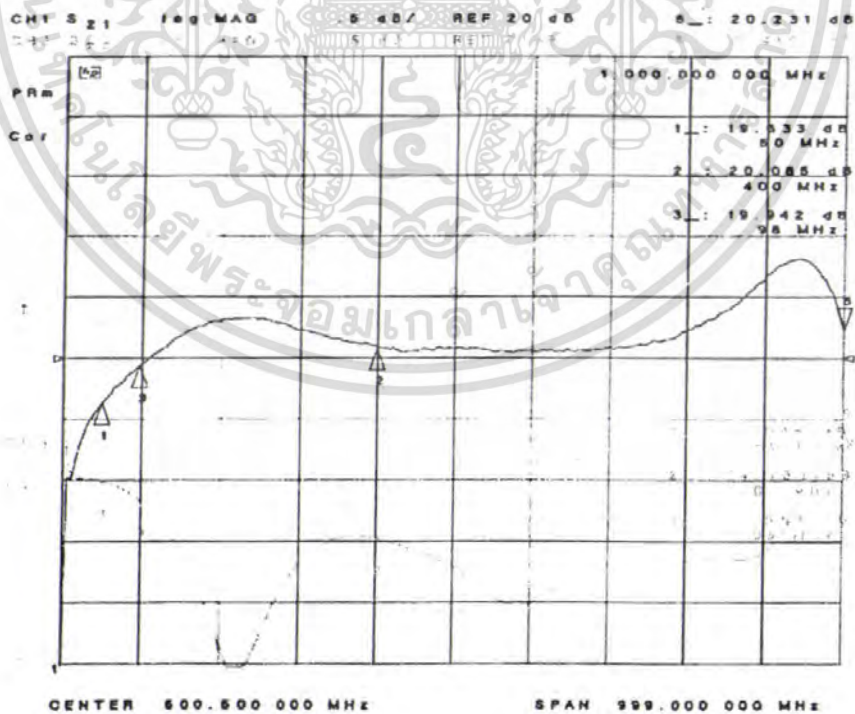


### General Specifications:

- Operating frequency 50 – 1000 MHz
- Power rating 1.Watt (max)
- Gain 18 dB
- Input impedance 50 ohm
- Output impedance 50 ohm
- Power requirement 12-24 VDC

### Physical and Environmental Specifications

- General Amplifier
- Operating Temperature -10°C to +50°C
- Storage Temperature -10°C to +50°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1112

Part Number

# PA25-VHF-H-34

Amplifier Name

Revision 1.d Release Date July 24, 2007  
Revision Notes Added module information

This document applies to part numbers 1112 and 3881

## Technical Specifications Summary

Frequency Range: 170 - 230 MHz  
P1dB: 50 Watts CW  
Class: A  
Supply Voltage: 28.0V

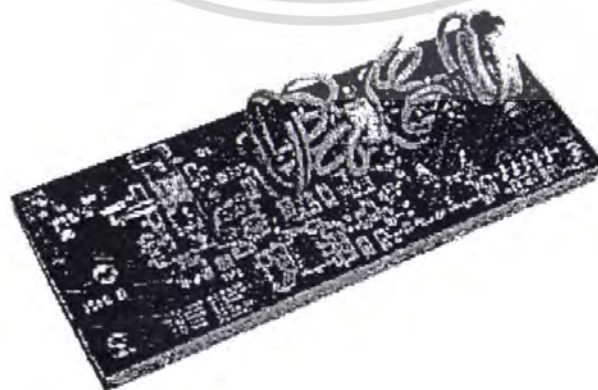
Gain: 34dB  
Efficiency: 11%  
Temperature Range: 0 to 60°C  
Max VSWR: 5:1

## Amplifier General Description

The PA25-VHF-H-34 is a versatile output or driver pallet amplifier. Offering a minimum of 34dB gain, this two stage amplifier can be used as a driver or output stage depending on the application. With no circuit changes required, the PA25-VHF-H-34 can be configured as a Class A driver or Class AB output stage offering excellent flexibility. All gold-metallized MOSFETS are used in construction.

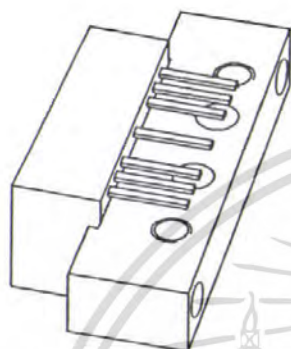
- No RF assembly or circuit tuning!
- 25 Watts of Linear Output Power Minimum!
- 34dB typical gain at Channel 13!
- Combined Video and Aural at full rated power!
- Modular Construction for ease of Integration!
- Proper Heatsink Required

## Amplifier Picture



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET



**BGD702**  
750 MHz, 18.5 dB gain  
power doubler amplifier

Product specification  
Supersedes data of 2001 Nov 02

2001 Nov 27

Philips  
Semiconductors



# PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

750 MHz, 18.5 dB gain power doubler amplifier

BGD702

FEATURES

- Excellent linearity
- Extremely low noise
- Silicon nitride passivation
- Rugged construction
- Gold metallization ensures excellent reliability.

PINNING - SOT115J

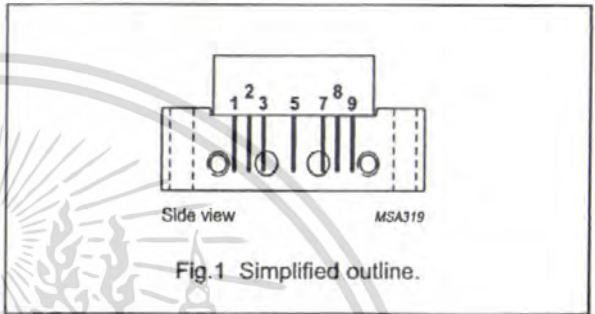
PIN	DESCRIPTION
1	input
2, 3	common
5	+V <sub>B</sub>
7, 8	common
9	output

APPLICATIONS

- CATV systems operating in the 40 to 750 MHz frequency range.

DESCRIPTION

Hybrid amplifier module in a SOT115J package operating at a supply voltage of 24 V (DC).



QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
G <sub>p</sub>	power gain	f = 50 MHz	18	19	dB
		f = 750 MHz	18.5	–	dB
I <sub>tot</sub>	total current consumption (DC)	V <sub>B</sub> = 24 V	–	435	mA

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V <sub>i</sub>	RF input voltage	–	65	dBmV
T <sub>stg</sub>	storage temperature	–40	+100	°C
T <sub>mb</sub>	operating mounting base temperature	–20	+100	°C

## 750 MHz, 18.5 dB gain power doubler amplifier

BGD702

## CHARACTERISTICS

Table 1 Bandwidth 40 to 750 MHz;  $V_B = 24$  V;  $T_{mb} = 35$  °C;  $Z_S = Z_L = 75$   $\Omega$ 

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$G_p$	power gain	$f = 50$ MHz	18	18.5	19	dB
		$f = 750$ MHz	18.5	19.7	–	dB
SL	slope cable equivalent	$f = 40$ to 750 MHz	0.2	1.3	2	dB
FL	flatness of frequency response	$f = 40$ to 750 MHz	–	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	dB
$S_{11}$	input return losses	$f = 40$ to 80 MHz	20	27	–	dB
		$f = 80$ to 160 MHz	19	30	–	dB
		$f = 160$ to 320 MHz	18	29	–	dB
		$f = 320$ to 640 MHz	17	22	–	dB
		$f = 640$ to 750 MHz	16	21	–	dB
$S_{22}$	output return losses	$f = 40$ to 80 MHz	20	23	–	dB
		$f = 80$ to 160 MHz	19	24	–	dB
		$f = 160$ to 320 MHz	18	23	–	dB
		$f = 320$ to 640 MHz	17	21	–	dB
		$f = 640$ to 750 MHz	16	21	–	dB
$S_{21}$	phase response	$f = 50$ MHz	–45	–	+45	deg
CTB	composite triple beat	110 channels flat; $V_o = 44$ dBmV; measured at 745.25 MHz	–	–59	–58	dB
$X_{mod}$	cross modulation	110 channels flat; $V_o = 44$ dBmV; measured at 55.25 MHz	–	–64	–62	dB
CSO	composite second order distortion	110 channels flat; $V_o = 44$ dBmV; measured at 746.5 MHz	–	–63	–58	dB
$d_2$	second order distortion	note 1	–	–78	–68	dB
$V_o$	output voltage	$d_{im} = -60$ dB; note 2	61	64	–	dBmV
NF	noise figure	$f = 50$ MHz	–	4.5	5.5	dB
		$f = 450$ MHz	–	–	6.5	dB
		$f = 550$ MHz	–	–	6.5	dB
		$f = 600$ MHz	–	–	7	dB
		$f = 750$ MHz	–	6.5	8.5	dB
$I_{tot}$	total current consumption (DC)	note 3	–	425	435	mA

## Notes

- $f_p = 55.25$  MHz;  $V_p = 44$  dBmV;  
 $f_q = 691.25$  MHz;  $V_q = 44$  dBmV;  
measured at  $f_p + f_q = 746.5$  MHz.
- Measured according to DIN45004B:  
 $f_p = 740.25$  MHz;  $V_p = V_o$ ;  
 $f_q = 747.25$  MHz;  $V_q = V_o - 6$  dB;  
 $f_r = 749.25$  MHz;  $V_r = V_o - 6$  dB;  
measured at  $f_p + f_q - f_r = 738.25$  MHz.
- The modules normally operate at  $V_B = 24$  V, but are able to withstand supply transients up to  $V_B = 30$  V.

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Notes
Frequency	170		230	MHz	
P1dB	50			W, CW	
Linear Power Out	25	40		W, PK sync	
IMD3	-54	-58		dBc	For 2 tones, 1MHz spacing, 25 W PEP
Power Input	8	10	13	+dBm	
Gain		34		dB	
Vsupply		28		V, DC	
Drain Current		3		A, DC	
Input VSWR		1.1:1	1.5:1		
Insertion Phase Variation		±5		°	Unit to unit
Gain Variation		±1		dB	Unit to unit
F2 Second Harmonic		-15		dBc	
F3 Third Harmonic		-25		dBc	
Baseplate Operating Temperature	0		60	°C	

Physical Dimensions 2.0" x 5.0" x 1.0" / 5cm x 13cm x 3cm

All specifications valid for 50 Ω output load,  $V_{sup} = +28VDC$ ,  $I_{dq} = 2.77A$

Absolute Maximum Ratings

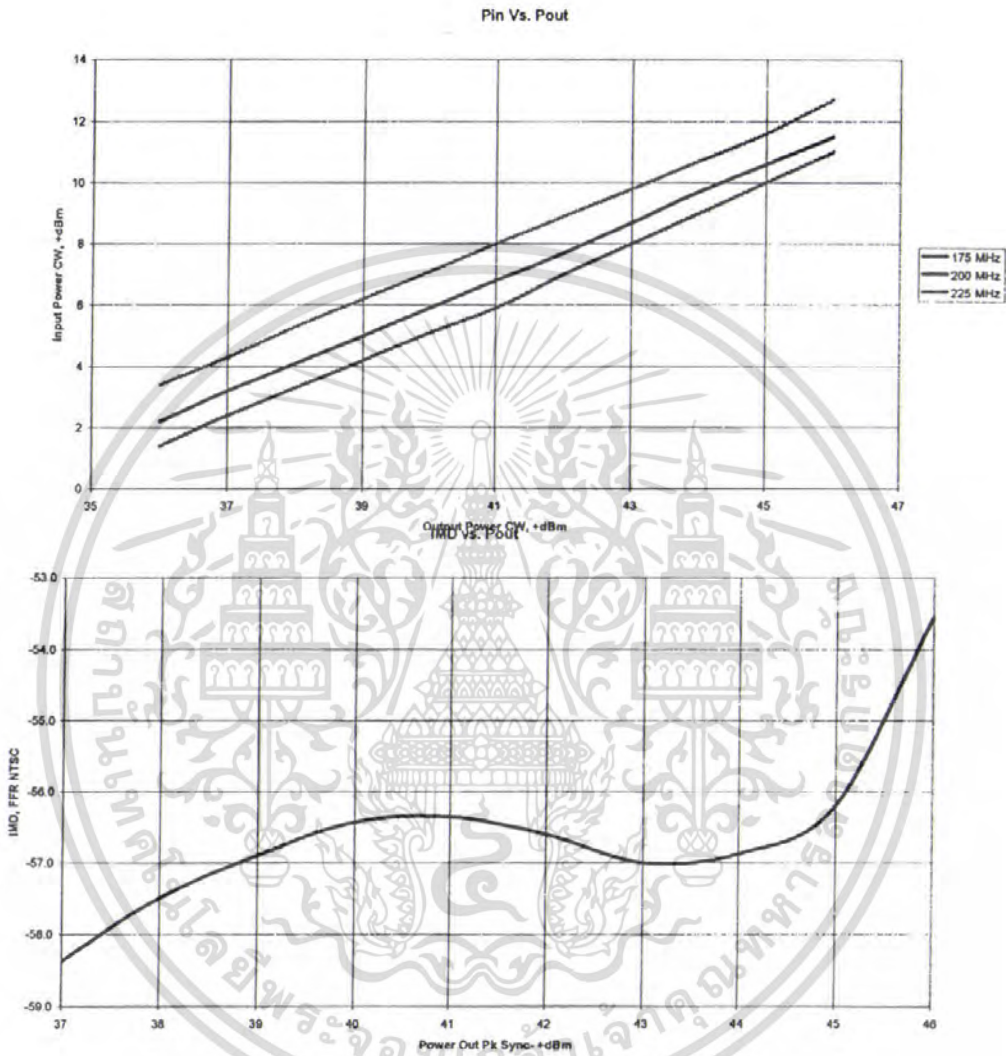
Parameter	Value	Units	Notes
Maximum Operating Voltage	32	VDC	
Stable Operating Voltage	26 to 32	VDC	
Maximum Bias Current, Q1	0.25	A, DC	
Maximum Bias Current, Q2	3.0	A, DC	
Maximum Drain Current	5	A, DC	
Load Mismatch Survival	3:1		
Storage Temperature	-40 to +105	°C	
Maximum Operating Baseplate Temp	+60	°C	

Features, Auxillary Functions

- ◆ Temperature Compensated Bias
- ◆ Temperature Controller - Analog Temperature Output
- ◆ High Temperature Alarm with Selectable Automatic PA Disable
- ◆ High Temperature Alarm Output
- ◆ Amplifier Disable
- ◆ Current Sense, Each Transistor
- ◆ Connectorized Power and I/O



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



This amplifier has been designed for two purposes - as an output stage and as an ultra-linear driver.

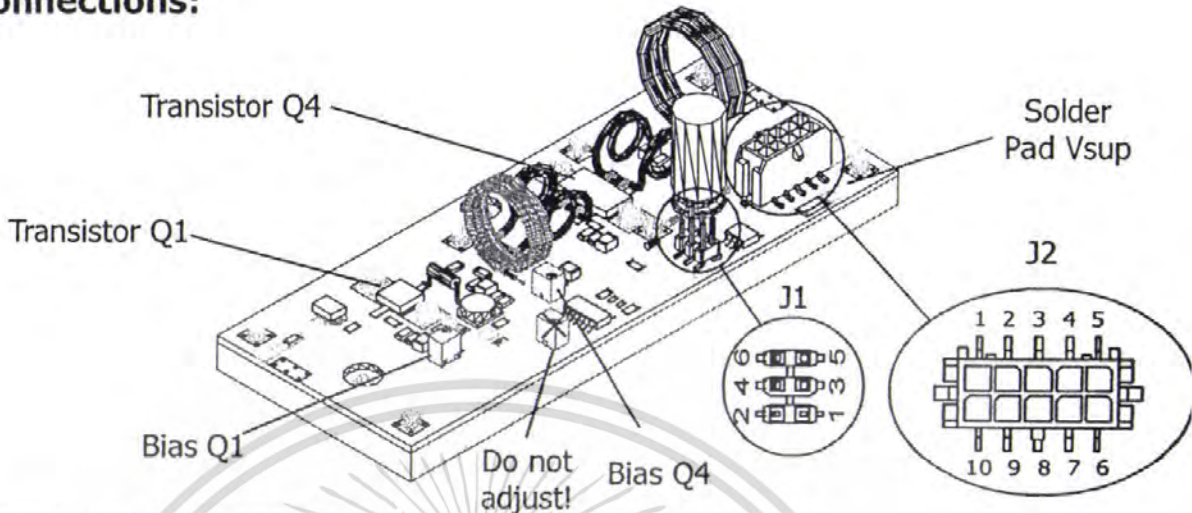
**Driver** - the amplifier is shipped from the factory biased best case for driver use from 2 - 20W, depending on needed output power (please see curves above). Frequency specific improvements may be made by adjusting the bias on Q1 (refer to page 4). Do not exceed rated bias current for Q1.

**Output Stage** - for improved harmonic performance and efficiency, reset bias for Q1 to 0.250A, and reset bias to Q4 to 0.500A. Minor adjustments may need to be performed on Q1 / Q4 for optimum IMD performance. Do not exceed rated bias current for Q1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Connections:



<b>IO</b> Standard 0.100" pitch DIP IDC header. SAMTEC type 005D, HC5D 3M type 80106-0101 AMP 102383-1, 102386-1 BERG 71802-308 or Solder directly to Pin in IO connector	J1-1	ALARM_OUT	TTL Hi when baseplate exceeds 70C
	J1-2	ALARM_IN	Jumper to J1-1 for automatic shutdown at 70C; automatically re-enables at 60C
	J1-3	GROUND	
	J1-4	BIAS_SUP	Not used for this amplifier; Vsup internally connected here.
	J1-5	TEMP	Baseplate Temperature
	J1-6	DISABLE	TTL Hi to Disable amplifier
<b>Power</b> 3.0mm Micro Connector MOLEX 43025-1000 MOLEX Pin 40030-0001, 40030-0007 AMP 1-794817-0 AMP Pin 794810, 794806 or Solder directly to pad adjacent to connector	J2-1,10	CURRENT	Current Sense; Transistor Q1, Q4
	J2-2,3,8,9	GROUND	System Ground
	J2-4,5,6,7	Vsup	+28 to +32 VDC

### Connections:

Connect amplifier to +Vsup and Ground using either 3.0mm modular 10-position plug (J2) or soldering directly to pad adjacent to connector. If using Single connection, 14 gauge wire is recommended, 12 gauge ground wire, 20 gauge wire is recommended for use in modular connector, and all power connections must be used! In all cases, use of teflon insulated wire is highly recommended. I/O connector (J1) connections are optional. Connect coaxial cable to input and output RF connections (semi rigid or flexible) using best RF practices. Ensure output cable is of sufficient power handling rating. Pads are provided for ground on co-axial connections.

### Amplifier Startup

+Vsup should be applied to amplifier with no drive applied. The system must allow drain voltage to reach +26V minimum before applying drive or damage will result to the amplifier and void warranty. This typically takes between 2 - 10 seconds and should be verified by the system integrator. This can be accomplished in several ways:

- 1) Apply power to amp at J2. After proper voltage has been reached, amplifier is ready for use.
- 2) Apply power to amp at J2. Place a TTL Hi (+5V) to J1-6 DISABLE. After proper voltage has been reached, remove TTL Hi from J1-6 DISABLE. Amplifier is ready for use.

### Bias Current:

Bias current is controlled via temperature compensated bias system that uses a hermetically sealed glass thermistor as reference. If excessive air is directed above the amplifier such that the thermistor is cooled below the temperature of the baseplate, this circuitry may not perform properly. Bias has been pre-set at the factory to 0.020A Q1 and 2.750A Q4 at +28.0V DC. This bias point has been selected to offer the optimum balance between IMD performance, efficiency, and gain. If the bias point is changed, take great care not to exceed the bias listed on page 1 - Absolute Maximum Ratings. Please refer to applications note on Page 2.

### Fault Condition - Bad VSWR

Current sense J2-1, J2-10 (pins are internally connected) should be monitored for excessive current. The voltage difference between J2-1, J2-10 (transistors Q1, Q4) to J2-4, 5, 6, 7 is scaled 1A per 0.010 V. If transistors experience currents in excess of normal operation, a fault condition exists, and the amplifier should be disabled through J1-6 DISABLE.

### Temperature Sense and Temperature Fault

An on board temperature controller reports temperature on pin J1-5 TEMP. This is scaled to +395mV + (Temperature °C X +6.20mV/°C) and has an output impedance of 1.5kohm typical. An output alarm, J1-1 ALARM OUT, is TTL Low when the temperature exceeds approximately 70°C, and the alarm is cleared when the baseplate temperature drops below approximately 60°C. For automatic operation, jumper J1-1 ALARM OUT to J1-2 ALARM IN and the amplifier will automatically disable by removing bias when the temperature exceeds 70°C, and automatically re-enable when the temperature drops below 60°C.

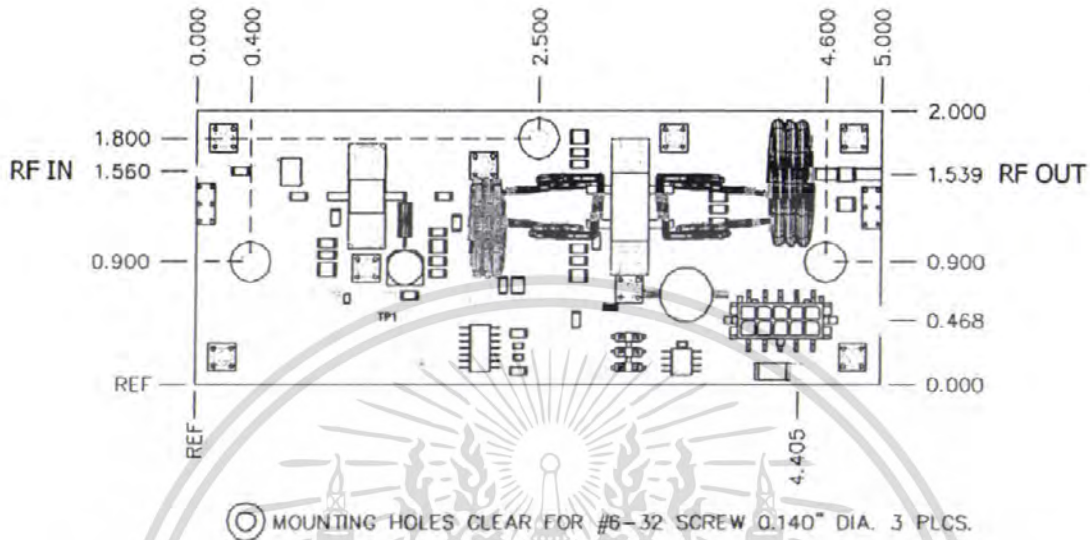
### Amplifier Shutdown

To prevent damage to amplifier and surrounding systems, bias and drive should be removed prior to powering down PA. This can be accomplished by applying TTL Hi (+5V) to J1-6 DISABLE. Power can safely be removed from PA.

### Miscellaneous:

Placing noisy analog or digital systems, such as additional control circuitry, directly over the top of transistors or RF path can cause improper operation. Care should be taken to locate these components where they will not cause interference.





**Tips for Mechanical Mounting:**

- 1 All holes are clear for #6 Screw. Stainless Steel mounting hardware is recommended, grade 18-8 or better. A lock washer of same material should also be used.
- 2 Ensure mounting surface is flat to better than 0.003" / "
- 3 Use a thin layer of thermal compound on the backside of the PA - no more than 0.001" - 0.002" thickness!
- 4 Torque all screws to 10-12 in-lbs

**Considerations for Mechanical Mounting:**

- Considerations for proper thermal design include
- Total power dissipated = Total DC Power Consumed x (1-Efficiency)
- Ambient Airflow
- Thermal Resistance of Heat Sink

For this PA, typical DC efficiency is 30%. At 25W Pk power output, 15W Average, +28.0V DC operation, 84 total watts are consumed, which leaves 70W dissipated power. If we assume an input air temperature of +25°C, and a maximum desired baseplate temperature of 55°C, this leaves a temperature differential between baseplate and ambient air of 30°C. The desired thermal resistance for heatsink mounting surface to air is therefore  $30^{\circ}\text{C}/74\text{W} = 0.4^{\circ}\text{C/W}$ .

Since the baseplate is aluminum, it is important to find a heat sink that is sized at least as big as the outline of the PA which can give this thermal resistance. For example, a 100mm x 54mm heat sink with serrated fins, 70mm in length, (20 fins across 127mm dimension) with an air velocity of 4 m / s exceeds this value.



**Ordering Information:**

Order Code	Description	DRFT Reference
PA25-VHF-H-34	PA25-VHF-H-34	1112
PAB25-VHF-H-34	Amplifier in Enclosure	3881

**Options**

-A11	SMA Female Connectors In / Out	0201
-A12	Heat Sink Option	0202
-A13	Heat Sink Option with DC Fan, pre wired	0203
-A14	Ruggedized for vibration	0204
-A15	Wire harness, 1' length, 10 wires for pallet amplifier only (NON-FM)	0205
-A16	Wire harness, customer specified length for pallet amplifier only	0206
-T2	Extended Burn In	0271
-T3	Extended Data Collection	0272

**Standard Pallet Options:**

**SMA Female Connectors, Input and Output.** Stainless Body, Gold Center pin, 4-hole SMA bolted to pallet amplifier edge through bottom two holes located at amplifiers RF IN and RF OUT locations. All stainless steel hardware.

**Enclosure -** all aluminum machined enclosure available for most pallet amplifiers. Anodized aluminum, alloy 6061-T6. SMA Female input and output RF connectors. Supply voltage and ground through solder / feedthrough connections. Module must be bolted to appropriate heatsink.

**Heat Sink -** aluminum extruded heat sink, black anodized. Pallet amplifier or module will be bolted to heatsink. Customer will be required to provide adequate airflow.

**Heat sink with fan -** aluminum extruded heat sink as above, with included fan bolted to push air through the heat sink. Depending on heat requirements, a second fan may also be provided on the output of the unit.

**Ruggedized -** all screws have threadlocking compound applied, and all flying components are staked and attached to base. Designed to withstand MIL-STD-810E 514.4 Category 8.

**Power Connector -** a 10 pin molex connector is used on all standard pallet amplifiers to supply +Vsup and Ground connections, as well as hi-side current shunts for current monitoring. Delta RF offers the mating connector with 1' wires - Red (Vsup), Black (Ground), Yellow (Current monitor). All wires are 18 gauge teflon insulated wires. Customer may optionally specify wire length and wire color.

**Testing Options:**

**Standard -** includes power test and brief burn - in under laboratory conditions. Printed test report gives graph of Gain and Input Return Loss at rated P1dB and Voltage Conditions. Report shows pass/fail criteria. All amplifiers include this test.

**Extended burn in -** 8-hour burn in at P1dB with standard test run at completion. Unit is monitored during test and any discrepancy reported. Standard test data is included.

**Extended data collection -** Standard data is run and included. Detailed data is taken point by point giving the customer 25 - 70 frequency points, depending on the amplifier model. For each frequency point, data is generated to include gain, input power, input return loss, current, second harmonic, third harmonic, efficiency, audio distortion.

**Other tests available -** Vibration, Temp cycling, Shock. Please inquire.

The specifications contained herein are subject to change without notice. Delta RF Technology, Inc. assumes no liability for the use of this information. This data sheet and contents are the property of Delta RF Technology, Inc. © Delta RF Technology, Inc. 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

