

10 WATTS CHANNEL 22 UHF 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**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบยูเอชเอฟ ช่อง 22 กำลังส่ง 10 วัตต์			
ชื่อนักศึกษา	นายฉลวย	ศรีเมือง	รหัสนักศึกษา	47015564
	นายชาคริต	เสวตจามร	รหัสนักศึกษา	47015597
	นายภูวนาท	ลิมเกษมสุข	รหัสนักศึกษา	47015610
	นายเอกพล	สินชู	รหัสนักศึกษา	47015623
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย			
	อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล			
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ			
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ			
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

เครื่องส่งโทรทัศน์ระบบ UHF ช่อง 22 ประกอบด้วยส่วนหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ

1. ชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator), มอดูเลเตอร์ (Modulator) และ ปริแอมป์ลิไฟด์ เอช (Pre Amplifier) ที่ให้ Output 350 mV
2. ชุดภาคขยายสัญญาณ RF (RF Power Amplifier) จะรับสัญญาณที่ได้จากภาค Pre Amplifier เพื่อทำการขยาย โดยภาค RF Power Amplifier จะมีอยู่ด้วยกัน 2 Stage ซึ่ง Stage แรก จะรับสัญญาณจาก Output ของภาค Pre Amplifier และขยายให้มีกำลังส่ง 5 Watts และส่งให้เป็น Input ของ Stage ที่สอง ซึ่งมีกำลังขยายที่ Output 40 Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	10 Watts Channel 22 UHF Television Transmitter		
Student	Mr. Chaluy	Srimuang	ID. 47015564
	Mr. Charkrit	Savadjarmoon	ID. 47015597
	Mr. Puvanard	Limkasamsuk	ID. 47015610
	Mr. Ekkapon	Sinchu	ID. 47015623
Advisor	Mr. Sompoph	Keawmeechai	
	Mr. Sorapong	Wachirarattanapornkul	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering		
Department	Information Engineering		
Academic Year	2006		

ABSTRACT

The television transmitter type of 22 Channel in UHF system has for 2 main

1. Oscillator, Modulator, Pre Amplifier which output equal to 350 mV.
2. RF power Amplifier which duties on receiving the signal from Pre Amplifier 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 5 Watts of power to be input of second stage to gain for 40 Watts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงไปด้วยดีในทุกๆ ด้าน ก็ด้วยความร่วมมือและการช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ทุกๆ ท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านอาจารย์สมภพ แก้วมีชัย และ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการนี้ ให้เป็นผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา และต้องขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก ซึ่งต้องขออภัยที่ไม่ได้กล่าวนามได้ทั้งหมด

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ทางการศึกษาและกำลังใจด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวความคิดและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของงาน	1
1.4 องค์ประกอบโดยรวมของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 หลักการของระบบโทรทัศน	3
2.2 โครงสร้างของสัญญาณโทรทัศน	3
2.3 ความถี่ที่ใช้ในการส่งโทรทัศน	8
2.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio : SWR)	12
2.5 การวัดค่า VSWR	13
2.6 ชนิดและคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ	14
2.7 สายแบบใช้อากาศเป็นฉนวน	15
2.8 สายแบบเฟล็กซิเบิ้ล (Flexible Line)	18
2.9 ข้อพิจารณาการเลือกใช้สาย	25
บทที่ 3 การมอดูเลชัน	
3.1 ประเภทของการมอดูเลชัน	27
3.1.1 การมอดูเลตแบบ ASK	27
3.1.2 การมอดูเลตแบบ FSK	27
3.1.3 การมอดูเลตแบบ PSK	27
3.1.4 แอมพลิจูดมอดูเลชัน	27
3.1.5 แบบแองเกิลมอดูเลชัน	30
บทที่ 4 การแมทซ์ซิ่ง (Matching) ในระบบสายอากาศ	
4.1 การแมทซ์ซิ่งทางอิมพีแดนซ์ด้วยอุปกรณ์ RLC	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 เมทซ์ด้วยช่วงสายนำสัญญาณยาว $\frac{l}{4\lambda}$	40
4.3 การเมทซ์ซึ่งด้วยสตัป	42
4.4 การเมทซ์ด้วยหลักการของไดโพล	47
บทที่ 5 การออกแบบวงจรรขยาย	
5.1 คลาสวงจรรขยาย	54
5.1.1 วงจรรขยายคลาส A	56
5.1.2 วงจรรขยายคลาส B	63
5.1.3 วงจรรขยายคลาส AB	66
5.1.4 วงจรรขยายคลาส C	68
5.2 การออกแบบวงจรรขยายกำลังความถี่สูง	73
5.3 การหาค่าโหลดที่เหมาะสมที่สุด	73
5.4 วงจรป้องกันสำหรับวงจรรขยายกำลังความถี่สูง	73
บทที่ 6 ผลการทดลองและระบบการทำงาน	
6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์ UHF Ch 22 กำลังส่ง 40 W	75
6.2 ภาค Oscillator, Modulation และ Pre Amplifier	75
6.3 ภาค RF Power Amplifier Stage1 ได้กำลังขยายที่ Output 5 Watts	77
6.4 ภาค RF Power Amplifier Stageสอง ได้กำลังขยายที่ Output 40 Watts	79
6.5 การวัดค่าสัญญาณย้อนกลับ	83
6.6 ชุด Power Supply	83
สรุป	85
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานสัญญาณระบบ CCIR	3
รูปที่ 2.2 แสดง Response สัญญาณช่อง 22	4
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแบ่งเส้นสแกนของโทรทัศน์	4
รูปที่ 2.4 แสดง Vertical and Horizontal Sync	6
(ก) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กคิงทางแนวนอน	5
(ข) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กคิงทางแนวตั้ง	6
รูปที่ 2.5 สัญญาณแบล็กคิง	7
รูปที่ 2.6 แสดง Synchronizing Signal	8
รูปที่ 2.7 แสดงโนโมกราฟของ VSWR	13
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของสายโอเพ่น (Open Wire)	15
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายที่มีควมนำวางขนานกัน	16
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของสายที่ใช้อากาศเป็นฉนวน	17
รูปที่ 2.11 แสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายโคแอกเซียลที่มีอากาศเป็นฉนวน	18
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างแบบต่างๆ ของเฟล็กซีเบิล	19
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่าการลดทอนในสายกับความถี่ใช้งาน	24
รูปที่ 3.1 การ โมดูเลชันแบบ ไซค์แบนด์	28
รูปที่ 3.2 วิธีการกรอง	28
รูปที่ 3.3 วิธีการกำเนิดสัญญาณ SSB	29
รูปที่ 3.4 วิธีการสร้างสัญญาณ FM และ PM โดยตรง	30
รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องสันสะเทือน LC	31
รูปที่ 3.6 หลักการของระบบอาร์มสตรองในการสร้าง FM แบบแถบความถี่แคบ	31
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างความถี่เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบเป็นสัญญาณ FM แบบแถบความถี่กว้าง	32
รูปที่ 3.8 วงจรแวนิเอเบิลทรานสคอนคักแดนอยู่ในการมอดูเลตแบบผลคูณ	32
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างวงจรการมอดูเลตแบบ AM	32
เอกสารรูปที่ 3.10 หลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบสวิทซ์ซิง นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 33 คำ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.1 การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด	34
รูปที่ 4.2 การใช้เมทซ์ซึ่งเนทเวอร์ค	35
รูปที่ 4.3 การเมทซ์ซึ่งสายนำสัญญาณกับตัวสายอากาศ	36
รูปที่ 4.4 การเมทซ์ซึ่งรูปตัวแอล	37
รูปที่ 4.5 การเมทซ์ซึ่งเมื่อโหลด ไม่ได้เป็นค่าตัวต้านทาน	38
รูปที่ 4.6 การเมทซ์ซึ่งด้วยวงจรรูปตัว T	39
รูปที่ 4.7 การเมทซ์ซึ่งรูปตัว π	39
รูปที่ 4.8 การเมทซ์ซึ่งด้วยสายยาว $\frac{1}{4\lambda}$	41
รูปที่ 4.9 สตัมป์ที่ใช้การเมทซ์ซึ่ง	42
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวของสตัมป์แบบลัดวงจร	43
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการหาความยาวสตัมป์แบบเปิดวงจร	44
รูปที่ 4.12 บาซูก้า บาลัน	45
รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลของบาซูก้าบาลัน	45
รูปที่ 4.14 บาลันชนิดตัวนำขนานความยาว $\frac{1}{4\lambda}$	46
รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลบาลันชนิดตัวนำขนาน	46
รูปที่ 4.16 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ	47
รูปที่ 4.17 ไดโพลที่มีการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์	47
รูปที่ 4.18 เมทซ์ซึ่งรูปตัว T	48
รูปที่ 4.19 วงจรสมมูลรูปตัว T	48
รูปที่ 4.20 เมทซ์ซึ่งรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์	49
รูปที่ 4.21 วงจรสมมูลของเมทซ์ซึ่งรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์	50
รูปที่ 4.22 แกมมาเมทซ์ซึ่ง	50
รูปที่ 4.23 วงจรสมมูลของแกมมาเมทซ์ซึ่ง	51
รูปที่ 4.24 หม้อแปลงบาลัน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.25 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:1	52
รูปที่ 4.26 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:4	52
รูปที่ 5.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในวงจรขยายคลาสต่างๆ	55
(ก) สัญญาณอินพุต	54
(ข) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส A	55
(ค) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส AB	55
(ง) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส B	55
(จ) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส C	55
รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดใหญ่ชนิดคลาส A	57
รูปที่ 5.3 กราฟเอาต์พุตแสดงเส้น โหลด DC และจุดทำงาน (Q)	58
รูปที่ 5.4 สัญญาณอินพุตถูกขยายออกเอาต์พุต	59
(ก) สัญญาณอินพุตเบา	58
(ข) สัญญาณอินพุตแรง	59
รูปที่ 5.5 วงจรสมมูลไฟ AC และเส้น โหลด DC ใช้หาเส้น โหลด AC	61
(ก) วงจรขยายวิเคราะห์ในรูปสัญญาณไฟ AC	61
(ข) เส้น โหลด DC	61
รูปที่ 5.6 เส้น โหลด DC และเส้น โหลด AC	63
รูปที่ 5.7 วงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว	64
(ก) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงบวก	63
(ข) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงลบ	64
รูปที่ 5.8 วงจรขยายคลาส B ต่อวงจรแบบ พูซ – พูล	64
รูปที่ 5.9 สัญญาณเอาต์พุตเกิดการผิดเฟสระหว่างรอยต่อ	67
รูปที่ 5.10 วงจรขยายคลาส AB ต่อแบบพูซ – พูล	67
รูปที่ 5.11 วงจรขยายคลาส AB ต่อแบบพูซ – พูล ใช้ไดโอดเป็นไบอัสอัตโนมัติ	68
รูปที่ 5.12 วงจรขยายคลาส C และรูปสัญญาณที่วัดได้	69

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ก) วงจร อนุญาตให้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
(ข) รูปคลื่นสัญญาณ	69
รูปที่ 5.13 ความถี่ที่กำเนิดขึ้นมาจากวงจรเทงค์ L_2, C_2	71
(ก) ค่าความถี่พื้นฐาน	71
(ข) ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2	71
รูปที่ 5.14 แสดงวงจรป้องกันวงจรภาคขยายกำลังเสียหาย จากการไม่แมชของโหลด และวงจรขยายกำลัง	74
รูปที่ 6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์	75
รูปที่ 6.2 Oscillator, Modulation และ Pre Amplifier	75
รูปที่ 6.3 ชุด Modulation และ Pre Amplifier	76
รูปที่ 6.4 การวัด Wave Form ของ ชุด Pre Amplifier ได้ Gain การขยาย = -68.67 dBm	76
รูปที่ 6.5 วงจร RF Power Amplifier Stage 1 จะ ได้ RF Output 5 Watts	77
รูปที่ 6.6 ชุด RF Power Amplifier 5 Watts	77
รูปที่ 6.7 การวัด Wave Form ของ ชุด RF Power Amplifier Stageแรก ได้ Gain การขยาย = - 57.50 dBm	78
รูปที่ 6.8 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stageแรก ได้กำลังส่ง 5Watts	78
รูปที่ 6.9 วงจร RF Power Amplifier Stageสอง ได้ RF Output 40 Watts	79
รูปที่ 6.10 ชุด RF Power Amplifier 40 Watts	79
รูปที่ 6.11 ANTENNA แบบที่ 1	80
รูปที่ 6.12 การวัด Wave Form ของชุด RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 1 ได้ Gain การขยาย = -25.33 dBm	80
รูปที่ 6.13 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna ตัวที่ 1 ได้กำลังส่ง 50 Watts	81
รูปที่ 6.14 ANTENNA แบบที่ 2	81
รูปที่ 6.15 การวัด Wave Form ของชุด RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 2 ได้ Gain การขยาย = -31.33 dBm	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 6.16 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 2 ได้กำลังส่ง 40 Watts	82
รูปที่ 6.17 ชุด Power Supply ของ Modulation และ Pre-Amplifier	83
รูปที่ 6.18 ชุด Power Supply ของ RF Power Amplifier 5 Watts	84
รูปที่ 6.19 ชุด Power Supply ของ RF Power Amplifier 40 Watts	84
รูปที่ 6.20 เครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบยูเอชเอฟ ช่อง 22 กำลังส่ง 10 วัตต์	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความถี่วิทยุในประเทศไทย	9
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ FCC และ VHF	10
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ CCIR ย่าน VHF	10
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ CCIR ย่าน UHF	11
ตารางที่ 2.5 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเซียลแสดงดังต่อไปนี้	21
ตารางที่ 2.6 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเซียลแสดงดังต่อไปนี้	22
ตารางที่ 2.7 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเซียลที่มีเปลือกหุ้มเป็นอะลูมิเนียม , โฟมไดอิเล็กตริก	23
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพของวงจรขยายคาสต่างๆ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดและที่มา

สังคมในขณะปัจจุบันเป็นยุคของข้อมูลและข่าวสาร ยุคที่การสื่อสารครอบคลุมไปทั่วทุก
หนทุกแห่ง ประเทศไทยก็เช่นเดียวกันมีความเชื่อมโยงสื่อสารเป็นของตนเอง จึงได้มีการเร่งพัฒนา
เทคโนโลยีบริการสื่อสารข้อมูลทั้งที่เป็น ข้อความ เสียง และภาพอย่างมีประสิทธิภาพ การติดต่อ
เชื่อมโยงหรือการติดต่อสื่อสารกับอีกซีกโลกหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปนั้น ในบางโอกาสก็ต้องอาศัย
โทรทัศน์ ซึ่งเป็นสื่อที่นิยมทุกครอบครัว

ในส่วนของ การสื่อสารด้าน โทรทัศน์นั้น ไม่ว่าจะเป็นการแพร่ภาพและเสียง ได้มีการใช้กัน
อย่างแพร่หลาย ซึ่งส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งก็คือ เครื่องส่งโทรทัศน์ หรือแม้แต่โทรศัพท์ในปัจจุบันนี้
ที่กำลังนิยมกันก็คือ โทรศัพท์ที่ปรากฏภาพคู่สนทนาขณะคุยกัน ซึ่งทำให้เหมือนว่าคุยกันจริงๆ

ดังนั้น จุดประสงค์ของโครงการเรื่องเครื่องส่งโทรทัศน์ ระบบ ยู เอช เอฟ ก็เพื่อที่จะศึกษา
ถึงระบบต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องส่งรวมทั้งการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ อาจจะเป็น ในกิจการของ
สถาบัน เช่น งานลาดกระบังนิทัศน์ งานถ่ายทอดพิธีพระราชทานปริญญาบัตร เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสร้างเครื่องส่งโทรทัศน์ระบบยูเอชเอฟ แชนนอล 22 กำลังส่ง 10 วัตต์
2. เพื่อศึกษาถึงระบบการทำงานต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องส่งโทรทัศน์ระบบยูเอชเอฟ แชน
นอล 22
3. เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอน ในเรื่องการแพร่กระจายคลื่น ระบบเครื่องส่ง
โทรทัศน์
4. เพื่อวัดคุณสมบัติต่างๆ ในเครื่องรับโทรทัศน์
5. เพื่อศึกษาเทคนิคการแก้ปัญหาและใช้ย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประโยชน์สูงสุด

1.3 ขอบเขตของงาน

1. สร้างเครื่องส่ง 5 W และ 10 W UHF CH. 22
2. ชุด Modulator
3. Power Supply 30 V , 15 A และ 32 V , 20 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 องค์ประกอบโดยรวมของโครงการงาน

เครื่องส่งโทรทัศนระบบ UHF แชนนอล 22 ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILATOR) , มอดูเลเตอร์ (MODULATOR) และ ปริแอมป์ (PREAMP) ที่ให้ Output 350 mV
2. ชุดภาคขยายสัญญาณ RF (RF POWER AMPLIFIER) จะรับสัญญาณที่ได้จากภาค PRE AMPLIFIER เพื่อทำการขยาย โดยภาค RF POWER AMPLIFIER จะมีอยู่ด้วยกัน 2 Stage ซึ่ง Stage แรก จะรับสัญญาณจาก Output ของภาค PRE AMPLIFIER และขยายให้มีกำลังส่ง 5 Watts และส่งให้เป็น Input ของ Stage ที่สอง ซึ่งมีกำลังขยายที่ Output 40 Watts

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน

1. ศึกษาหาข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการทำโครงการงาน
2. ทำการทดลองจากแนวทางที่ได้ศึกษามา
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการของโครงการหรือไม่ และควรจะลดหรือเพิ่มส่วนใดบ้าง
4. สรุปปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองและการทำโครงการงาน
5. นำปัญหาต่างๆ ที่ได้มาทำการแก้ไข
6. ทำการวิเคราะห์ถึงแนวทางในการพัฒนาโครงการงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

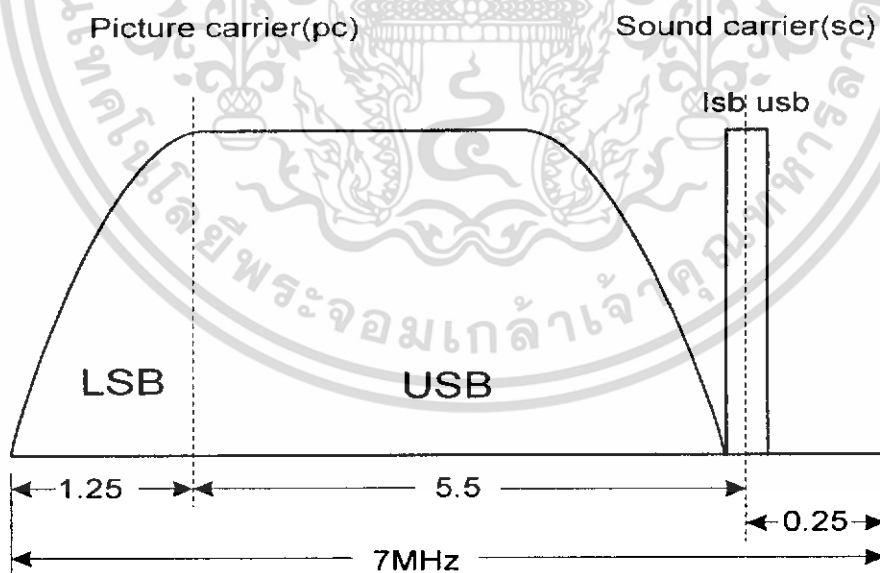
บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 หลักการของระบบโทรทัศน์

โทรทัศน์คือ การส่งกระจายเสียงพร้อมทั้งภาพที่เคลื่อนไหวออกในรูปของสัญญาณโทรทัศน์ และทางด้านเครื่องรับมาเปลี่ยนเป็นภาพ และเสียงตามต้องการ ภาพที่เกิดขึ้นบนจอโทรทัศน์ จะประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆจำนวนมากประกอบกันเข้าเป็นเส้นภาพ และเส้นภาพหลายๆเส้นประกอบเข้าเป็นภาพ ภาพที่เรามองเห็นในความเป็นจริงเป็นภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลายๆภาพ ต่อเวลาทำให้เรามองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหว

2.2 โครงสร้างของสัญญาณโทรทัศน์

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

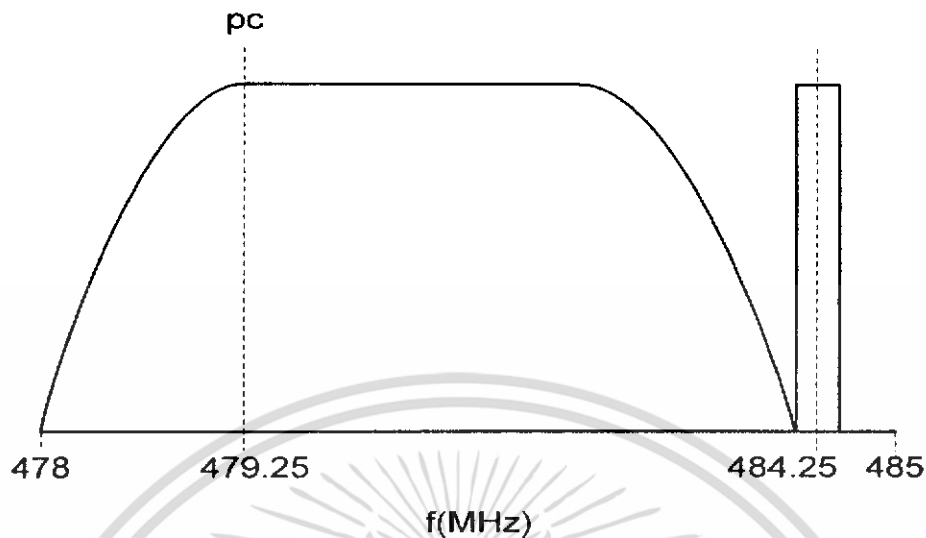


รูปที่ 2.1 แสดงมาตรฐานสัญญาณระบบ CCIR

ในที่นี้เราได้ใช้ช่อง 22 ซึ่งมีความถี่ในช่วง 478 – 485 MHz ซึ่งมี Picture Carrier 479.5

MHz และ Sound Carrier 484.75 MHz ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

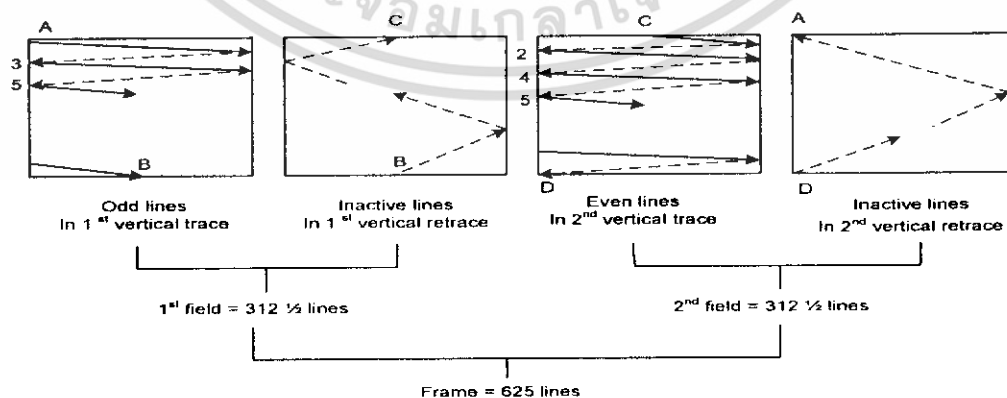


รูปที่ 2.2 แสดง Response สัญญาณช่อง 22

Comp Osite 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 ซึ่งแบ่งเป็นฟิลล์คู่ (Even File) และฟิลล์คี่ (Odd File) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



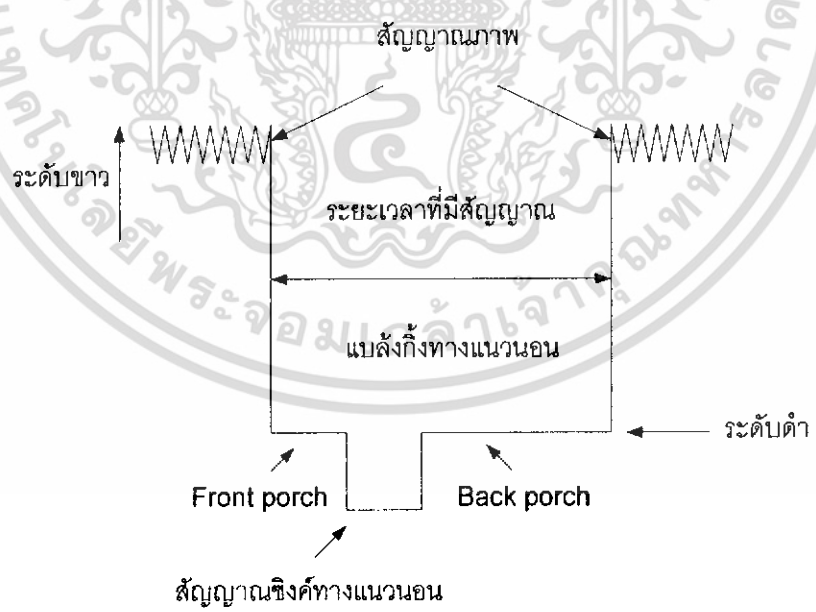
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแบ่งเส้นสแกนของโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

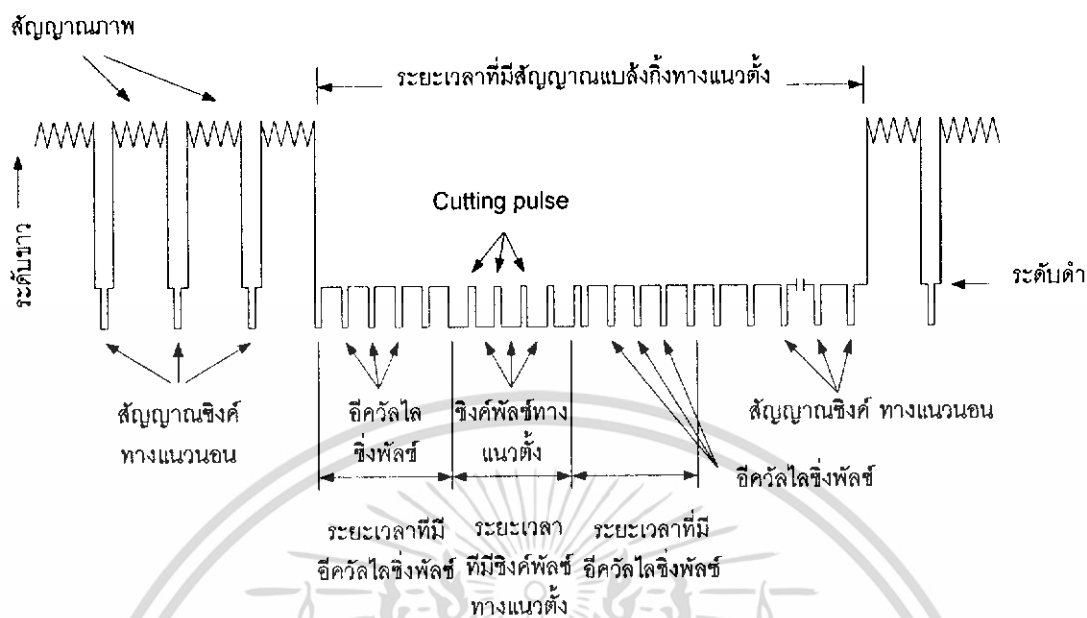
ภาพที่ปรากฏที่หน้าจอ ตามความจริงแล้วเป็นภาพที่มีความแตกต่างกัน ตามระยะเวลาซึ่งมนุษย์ไม่สามารถจับได้ เพราะความเฉื่อยในการมอง จึงทำให้ดูเหมือนภาพเคลื่อนไหว โดยมี 25 ภาพต่อหนึ่งวินาที (จำนวนภาพมากกว่า 16 ภาพต่อวินาที จะทำให้ตามนุษย์มองเป็นภาพเคลื่อนไหว)

การเกิดภาพโดยการยิงอิเล็กตรอน ไปกระทบจุดบนจอภาพที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง บนหน้าจอภาพหรือเรียกว่าการสแกน (Scanning) การทำให้จุดสว่างนี้เคลื่อนที่ไปตามจังหวะที่ต้องการซึ่งทำให้เคลื่อนที่ไปตามแนวนอนและแนวตั้ง โดยอาศัยความเข้มของสนามแม่เหล็กเข้าช่วย การสแกนจะเกิดขึ้นตามรูปที่ 2.3

หัวใจสำคัญของการรับ - ส่งโทรทัศน์ คือ จะต้องหาวิธีการที่ทำให้เครื่องส่งและเครื่องรับทำงานพร้อมกัน (Synchronization) เพราะถ้าเครื่องส่งกับเครื่องรับทำงานไม่พร้อมกัน ภาพจะสั่นหรือไม่มีภาพ 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 และจะมีเส้นสเปคตรัม (Flyback) เพื่อเรียก Scan File ใหม่ ดังรูปที่ 2.4



(ก) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็งก์ทางแนวนอน



(ข) ระยะเวลาที่มีสัญญาณแบล็กคิงทั้งทางแนวตั้ง

รูปที่ 2.4 แสดง Vertical and Horizontal Sync

สัญญาณที่แสดงในรูปข้างล่างจะประกอบด้วย

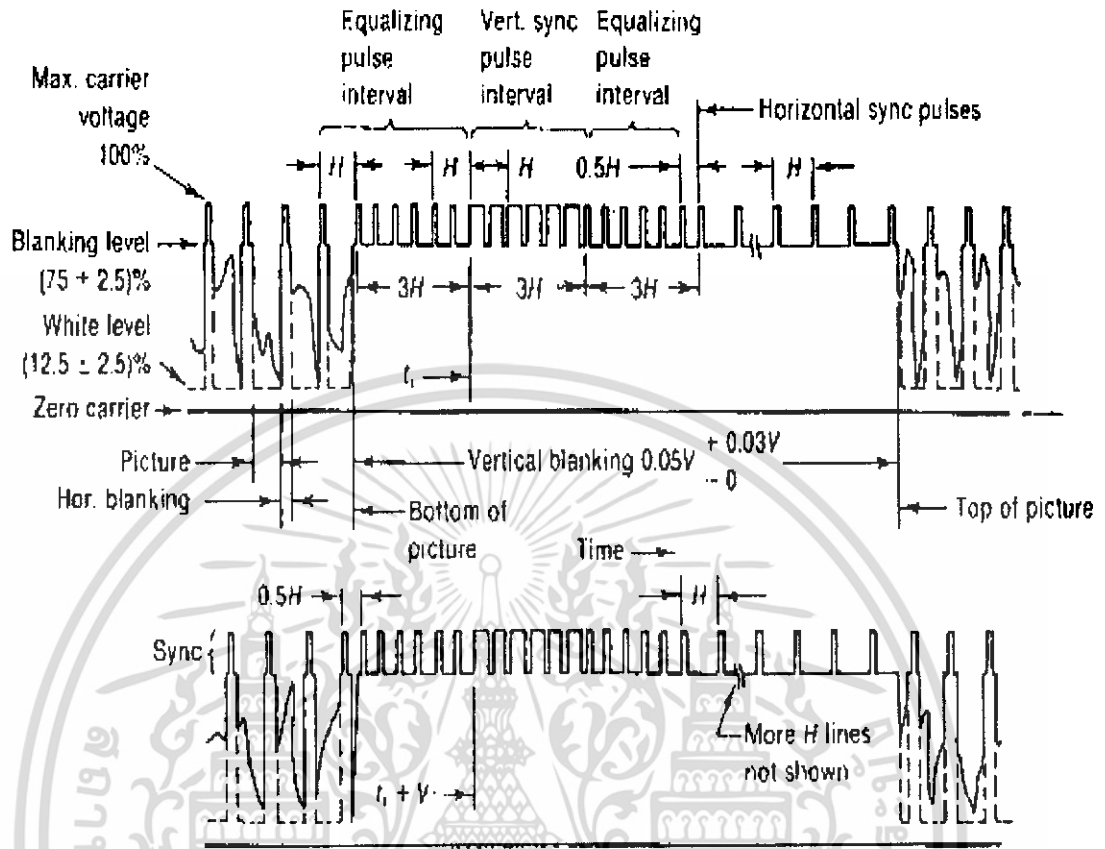
- สัญญาณภาพ (Video Signal) และสัญญาณเสียง (Sound Signal)
- สัญญาณแบล็กคิง (Blanking Signal)
- สัญญาณซิงคิง (Synchronizing Signal)
- สัญญาณอีควัลไลซิง (Equalizing Signal)

สัญญาณเหล่านี้โดยทั่วไปเรียกว่า สัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) โดยใช้ส่วนหน้าของภาพเป็นตัวพาดอกอากาศ รวมกับคลื่นพาห้ของสัญญาณเสียง

หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ

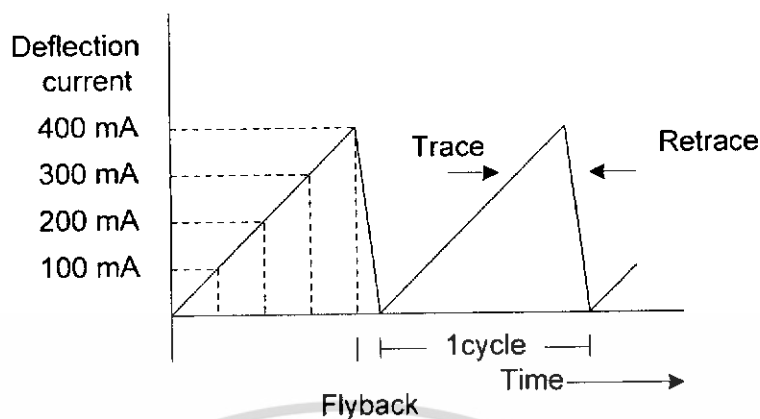
1. สัญญาณภาพ (video Signal) และสัญญาณเสียง (Sound Signal) เป็นสัญญาณที่ทำให้เกิดภาพความเป็นจริงที่หน้าจอ และสัญญาณเสียงให้มีเสียงออกที่ลำโพงตามความต้องการ
2. สัญญาณแบล็กคิง (Blanking Signal) เป็นสัญญาณเพื่อลบเส้นสเปกตรัม ทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง โดยที่จุดเริ่มต้นของ Sync ทางแนวนอนและแนวตั้งจะต้องเริ่มต้นอย่างเหมาะสม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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 สัญญาณแบลิ่งคิง

3. สัญญาณซิงค์ (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

การส่งสัญญาณสื่อสารด้วยระบบโทรทัศน์นั้น มีมาหลายปีแล้ว และได้เริ่มเข้ามาในประเทศไทยประมาณ 20 กว่าปีนี้เอง มาตรฐานการส่งโทรทัศน์ตามมาตรฐานสากลมีหลายระบบ ในแต่ละระบบก็ใช้กันหลายกลุ่มประเทศ แต่ละกลุ่มก็ใช้กันในย่านความถี่วีเอชเอฟ และย่านยูเอชเอฟ โดยแต่ละระบบก็มีจำนวนช่องและความถี่ที่ใช้แตกต่างกัน โดยในระบบวีเอชเอฟมีจำนวนช่องอยู่ประมาณ 12 ช่อง ส่วนในย่านความถี่ยูเอชเอฟจะมีจำนวนช่องอยู่ประมาณ 83 ช่อง ระบบใหญ่ๆที่ใช้ในการส่งทั่วโลกขณะนี้แบ่งเป็นสองระบบคือ ในระบบแรกเป็นระบบที่ใช้อักษรย่อว่า เอฟซีซี (FCC) เป็นส่วนหนึ่งของการส่งโทรทัศน์ในระบอ่ยที่เรียกว่า ระบบเอ็มตามมาตรฐานสากลของระบบความถี่มาตรฐาน ระบบนี้ใช้กันในอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน พม่า กัมพูชา อาร์เจนตินา โบลิเวีย อูรุกวัย จาไมก้า เป็นต้น ส่วนในอีกระบบหนึ่ง เป็นระบบซีซีไออาร์ (CCIR) เป็นระบบการส่งทีวีส่วนหนึ่งของระบบที่ใช้ในประเทศแถบยุโรป ตะวันออกกลาง แอฟริกา เป็นต้น

ทั้งระบบเอฟซีซี (FCC) และระบบซีซีไออาร์ (CCIR) แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.2 และที่ 2.3

ส่วนระบบการส่งทีวีในประเทศไทยแต่เดิมใช้ระบบเอฟซีซี (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 แต่ปัญญาก็ยังต้องขบคิดกันอีก เพราะในขณะนั้น ได้มีเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้ในประเทศไทยในระบบเก่าอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบใหม่ที่จะนำมาแทนนั้นต้องเหมาะสมกับไฟ 50 Hz แล้วยังต้องใช้กับเครื่องรับระบบเก่าได้อีกด้วย จึงได้ตกลงเปลี่ยนมาเป็นระบบซีซีไออาร์ (CCIR) หรือระบบบี และจำนวนช่องที่ส่งทั้งหมดในขณะนี้มี 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 แต่จะเห็นว่าแบความถี่ของช่อง 7 ระบบซีซีไออาร์มีความถี่เกินกว่าช่อง 9 ระบบเอฟซีซีมาก ดังนั้นเครื่องรับในระบบเอฟซีซีจะรับได้ในช่อง 9 แต่สัญญาณเสียงจะรับไม่ได้จึงต้องมีเอเดปเตอร์คิดเพิ่มอีก ส่วนช่อง 9 ระบบซีซีไออาร์จะรับได้ในช่อง 12 ในระบบเอฟซีซี

เมื่อกล่าวถึงความถี่ของการส่งทีวี ใคร่อยากจะทำกล่าวถึงย่านความถี่วิทยุในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความถี่วิทยุในประเทศไทย

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

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ 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
	5	76-82	77.25	81.75	149.5	7.6
วีเอชเอฟแถบบน (High band)	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 ตารางแสดงความถี่การส่งที่วีระบบ 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
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	56 – 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
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	”	”	”	”
	69	854 – 861	855.25	860.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

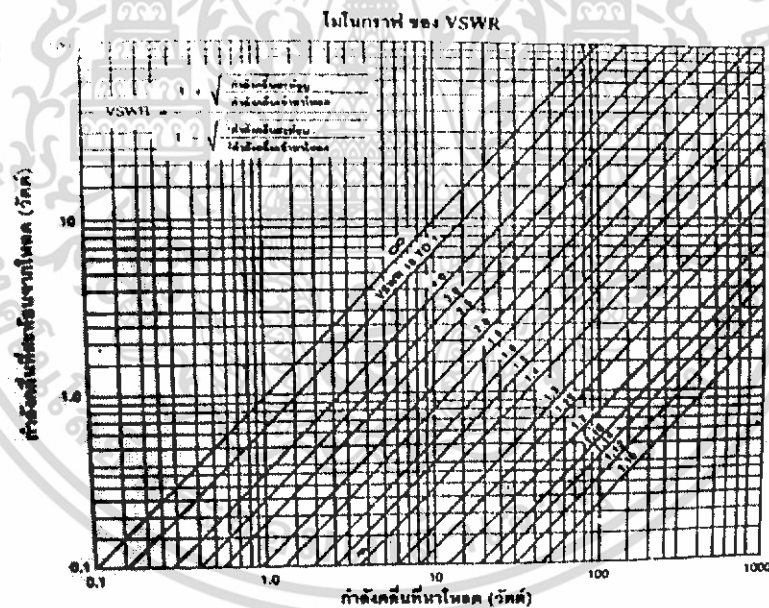
2.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio : SWR)

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

เขียนเป็นสูตรว่า

$$VSWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \quad (2.1)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่ากระแสมากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด $\frac{I_{\max}}{I_{\min}}$ ก็หาเช่นเดียวกับ VSWR
 พิจารณารูป 2.7 แสดงโนโมแกรมของการหา VSWR โดยคิดจากกำลังคลื่นที่สะท้อนและส่วนที่มาหาโหลด



รูปที่ 2.7 แสดงโนโมแกรมของ VSWR

นอกจากนี้ SWR ยังใช้บอกคุณสมบัติต่างๆ ของสายที่ไม่แมชได้ด้วย หรือใช้บอกถึงประสิทธิภาพของสายได้ โดยถ้าโหลดไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์อยู่เลย ค่า SWR จึงคิดได้จากอัตราส่วนระหว่างความต้านทานของโหลด (R) กับอิมพีแดนซ์ประจำตัว (Z_0) ของสาย หรือแยกพิจารณาเป็นกรณี 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SWR = \frac{R}{Z_0} \quad (\text{ค่า } R \text{ มากกว่า } Z_0) \quad (2.2)$$

$$\text{หรือ } = \frac{Z_0}{R} \quad (\text{ค่า } R \text{ น้อยกว่า } Z_0) \quad (2.3)$$

เราสรุปได้ว่า การไม่แมชของสายนำสัญญาณเกิดมากขึ้น จะมีผลให้ความแตกต่างระหว่างค่า Z_0 และ R มีมากขึ้น หรือค่า SWR มีขนาดมากขึ้น ส่วนสายที่มีการแมชกับโหลดอย่างสมบูรณ์ จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดบนสาย และมีลักษณะคลื่นเป็นเส้นตรงตลอดความยาวของสายบางกรณีค่า SWR สามารถหาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน (ρ) ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายนำสัญญาณชนิดค่าการสูญเสียต่ำ (Low-loss line) มีอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 70 โอห์ม และถูกต่อกับสายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม จงคำนวณหาค่า SWR บนสาย

คำตอบ

$$\text{หาค่า} \quad \rho = \frac{75 - 70}{75 + 70} = 0.35$$

(ในที่นี้สายอากาศเทียบได้กับโหลด)

$$\text{ดังนั้นค่า} \quad SWR = \frac{1 + 0.35}{1 - 0.35} = 1.07 \quad (\text{Ans.})$$

2.5 การวัดค่า VSWR

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

โดยถ้าโหลดมีอิมพีแดนซ์เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว จะมีวิธีคำนวณง่ายขึ้น

สมมุติให้ $Z_L = R_L = 3R_0$ จะได้ (กรณี R_L มากกว่า Z_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้น

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

ในทางกลับกัน ถ้าให้

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

ดังนั้น

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

เห็นได้ว่า VSWR ทั้งของอัตราส่วน R_L / Z_o หรือ Z_o / R_L มีค่าเท่ากันกับการคำนวณข้างต้น ใช้เฉพาะกรณีไม่คิดการสูญเสียในสาย และโหลดที่มาต่อเป็นค่าความต้านทานเท่านั้น

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า VSWR (หรือ SWR) ของสายนำสัญญาณชนิดไม่มีการสูญเสียที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 50 โอห์ม มีค่า 4.2

จงคำนวณหาค่าโหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเดียว และมีค่ามากกว่า 50 โอห์ม

คำตอบ

จาก
$$\frac{R_L}{Z_L} = VSWR = 4.2$$

ดังนั้น

$$R_L = (SWR) \times (Z_o) = 4.2 \times 50 = 210 \text{ โอห์ม} \quad (\text{Ans.})$$

2.6 ชนิดและคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

พื้นฐานของสายนำสัญญาณ เราสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด อย่างแรกได้แก่

1. สายบาลานซ์ (Balance Line)

จัดเป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะเหมือนกันวางต่อขนานกันโดยมีตัวกลางหรือสายไดอิเล็กตริก (Dielectric) กั้นกลางอยู่ เช่น สายแบบโอเฟ่นไวร์ หรือสายเปลือยและมีฉนวนต่อขีดสาย (Spacers) หรือเรียกว่าสเปซเซอร์เพื่อความแข็งแรงและรักษาการขนานกันของตัวนำไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ผ่านการคัดค้านจากผู้เกี่ยวข้อง หรือหากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สายแบบอับบาลานซ์ (Unbalance Line)

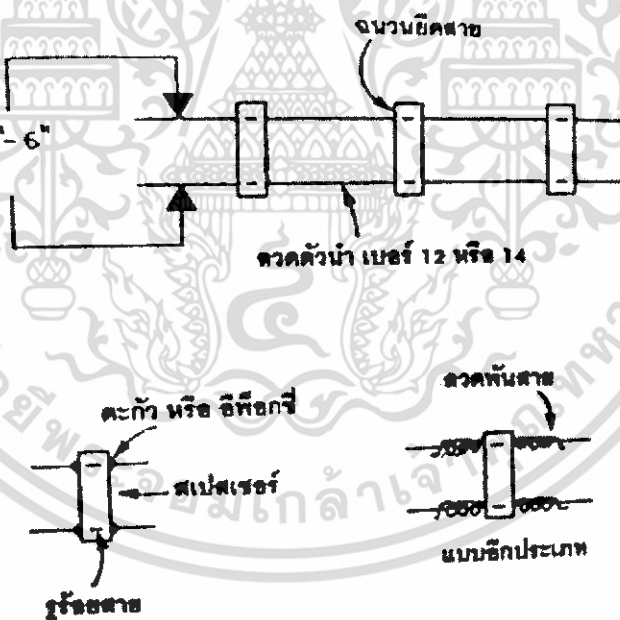
เป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะต่างกัน หรือที่นิยมใช้กันมาก คือสายแอกเซียล (Coaxial Cable) สายชนิดนี้ดีกว่าสายแบบบาลานซ์ในแง่ที่สามารถป้องกันการแพร่คลื่นกระจายจากสาย และป้องกันไม่ให้เกิดคลื่นวิทยุภายนอกแทรกเข้ามาได้ ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใกล้กับโลหะได้ โดยไม่มีการสูญเสียคลื่นออกจากสาย

นอกจากนี้ทั้งสองชนิดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภทตามชนิดฉนวนคือ

1. ฉนวนส่วนใหญ่ระหว่างตัวนำคืออากาศ อาจมีน้อยส่วนที่เป็นไดอิเล็กทริกแข็งไว้เสริมโครงสร้างให้แข็งแรง
2. ฉนวนที่กั้นระหว่างตัวนำเป็นสารไดอิเล็กทริกแข็ง

2.7 สายแบบใช้อากาศเป็นฉนวน

โครงสร้างเป็นตัวนำ 2 เส้นวางขนานกัน ดังแสดงดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของสายโอเพ่น (Open Wire)

จากรูปตัวนำถูกยึดด้วยฉนวนยึดสาย เพื่อให้ระยะห่างคงที่สปริงเซอร์อาจใช้ได้หลายแบบ เช่น ทำจาก เทฟลอน, เหล็กแก๊ส, โพลีเอททีลิน หรือลูไรท์ เป็นต้น ความยาวของสปริงเซอร์มีตั้งแต่ขนาด 2 นิ้ว – 6 นิ้ว ในงานวิทยุสมัครเล่น ตัวนำเบอร์ 12 หรือ 14 ที่ใช้ค่าระหว่าง 500-600 โอห์ม

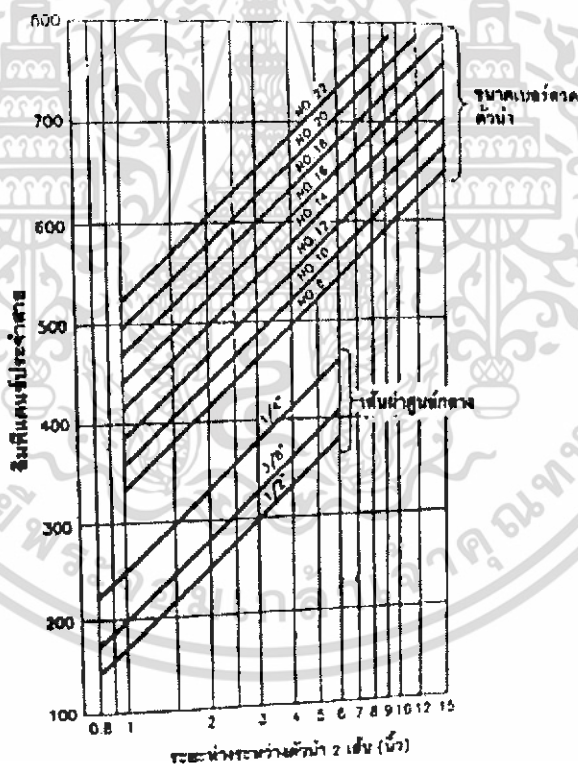
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย (Characteristic Impedance)
- หาได้จากสูตร (ไม่คิดผลจากสเปซเซอร์)

$$Z_o = 276 \log \frac{2S}{d} \tag{2.5}$$

เมื่อ Z_o แทนอิมพีแดนซ์ประจำสาย (โอห์ม)
 S = ระยะระหว่างจุดกลางของแต่ละตัวนำ
 d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำ (มีหน่วยเดียวกับ S)

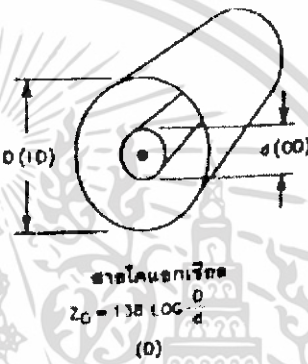
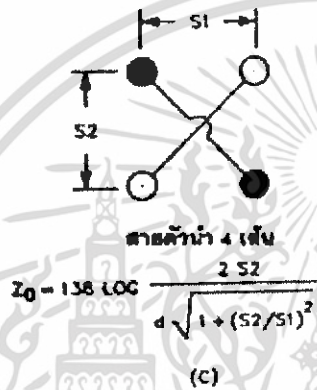
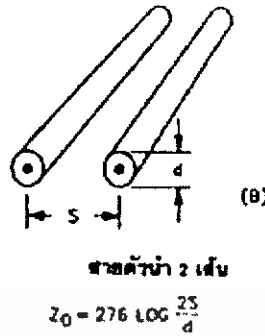
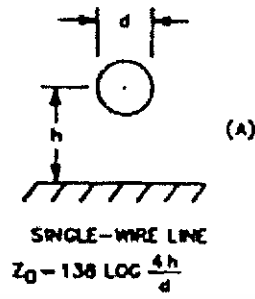
ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของตัวนำเบอร์ต่างๆ ดูเทียบได้จากกราฟในรูป 2.9 ส่วนการกำหนดขนาดต่างๆ ในสูตรคำนวณ ดูได้จากรูป 2.10 (b)



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายที่มีตัวนำวางขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.10 แสดง โครงสร้างของสายที่ใช้อากาศเป็นฉนวน

- สายตัวนำ 4 เส้น

จากรูป 2.10 (C) แสดงเส้นตัดขวางของสายตัวนำ 4 เส้น (Four - Wire - Line) วางกันในแต่ละมุมเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยตัวนำที่อยู่ตรงข้ามในแนวแท่งมุมจะต่อถึงกัน สายแบบนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายต่ำกว่าแบบตัวนำ 2 เส้น เนื่องจากมีโครงสร้างที่สมมาตรจึงมีความสมดุลทางไฟฟ้ากับพื้นดินหรือกราวด์ และวัตถุอื่นที่อยู่ใกล้สายได้ดีกว่า

- สายโคแอกเซียล

จากรูปที่ 2.10 (D) สายชนิดนี้มีการสูญเสียบนสายต่ำกว่าแบบอื่น ก่อนหน้านี้มีสูตรคำนวณหาอิมพีแดนซ์ประจำสาย คือ

$$Z_0 = 138 \log \frac{D}{d} \tag{2.6}$$

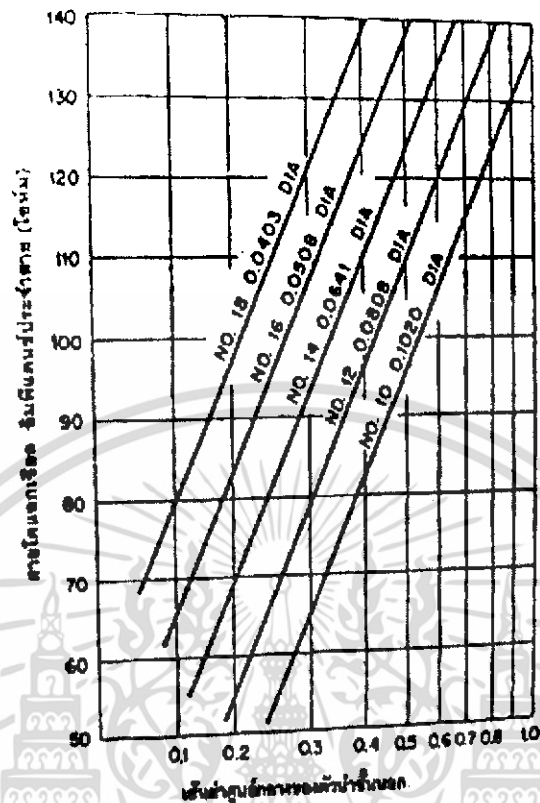
เมื่อ

Z_0 = อิมพีแดนซ์ประจำสาย

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำชั้นนอก

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำชั้นใน (มีหน่วยเดียวกับ D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงอิมพีแดนซ์ประจำสายโคแอกเซียลที่มีอากาศเป็นฉนวน

2.8 สายแบบเฟล็กซิเบิล (Flexible Line)

มีลักษณะพิเศษ คือสามารถโค้งงอหรือม้วนสายได้โดยง่าย ซึ่งมีสารไดอิเล็กทริกแบบอ่อนอยู่ และข้อดีกว่าแบบใช้อากาศเป็นฉนวนดังนี้

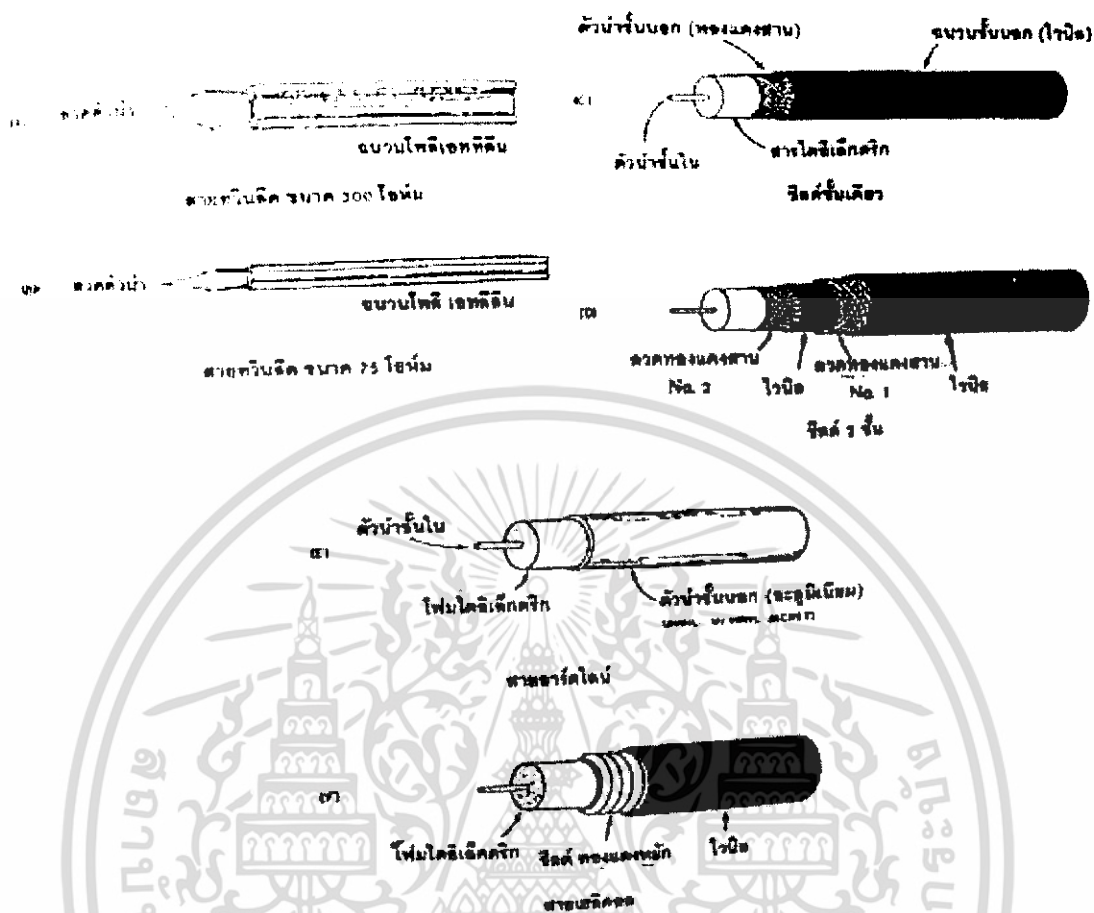
- มีน้ำหนักเบา
- มีระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองอย่างแน่นอน
- ง่ายในการติดตั้ง

สายแบบตัวนำวางขนาดกับสายโคแอกเซียล มีแบบเฟล็กซิเบิลด้วย ข้อเสียที่เห็นได้ชัดของสายแบบเฟล็กซิเบิล คือ ค่าการสูญเสียกำลังต่อหน่วยความยาวมีมากกว่าสายแบบฉนวนเป็นอากาศ โดยกำลังคลื่นสูญเสียไปในรูปความร้อน และถ้าร้อนจนมากเกินไป อาจทำให้สายเสียหายทั้งทางกายภาพและทางไฟฟ้าได้

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

1. สายแบบตัวนำวางขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดง โครงสร้างแบบต่างๆ ของเฟล็กซีเบิ้ล

จากรูป 2.12 (A) สายทวินลิคขนาด 300 โอห์ม (หรือเรียกว่าแบบริบอน – Ribbon) จะใช้ ลวดตัวนำขนาดเบอร์ 20 และวงขนาน โดยมีฉนวนโพลีเอททิลีนหุ้มกันห่างกันประมาณ ½ นิ้ว สาย แบบนี้มีข้อเสียอยู่บ้าง คือ ความชื้นในชั้นบรรยากาศจะมีผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเปลี่ยนไป ทำให้เกิดการไม่แมชกับโหลด และสูญเสียพลังงานไปในสายอากาศอาจแก้ไขได้โดยทำความสะอาดเป็นครั้งคราวหรือใช้สารเคลือบกันน้ำ เช่น ซิลิโคน หรือซีฟี่ทางรถยนต์ เป็นต้น

สำหรับรูป 2.12 (B) เป็นสายทวินลิคขนาด 75 โอห์ม ที่ใช้ลวดตัวนำเบอร์ 12 และมี ระยะห่างระหว่างตัวนำน้อยกว่า มีข้อดีคือ ทนต่อความชื้นในบรรยากาศได้ดีกว่าแบบ 300 โอห์ม

2. สายโคแอกเซียล

รูปแบบต่างๆ ของสายโคแอกเซียล ดูได้จากรูป 2.12 (C), (D), (E), (F) ซึ่งจะมี หลักการเหมือนกัน

กำลังที่ใช้ในสายกับขนาดของสาย เป็นสัดส่วนโดยตรงระหว่างกัน อธิบายคือ ถ้าขนาด ของไดอิเล็กตริก และตัวนำหนาขึ้น จะสามารถนำไปใช้กับแรงดันไฟฟ้า และกระแสได้ปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าการสูญเสียในสายลดลง ถ้าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น รูปร่างของสายโคแอกเชียลโดยทั่วไป เหมือนในรูป 2.12 (C) คือ แกนของสายเป็นตัวนำเส้นกลม อาจเป็นเส้นเดี่ยวหรือเส้นเล็กหลายเส้นพันรวมกัน หุ้มด้วยสายโคอิเล็กทริก โดยถ้าใช้งานย่านความถี่ต่ำ จะใช้สายโพลีเอททีลีน หรือโพลีเอททีลีนโฟม แต่ถ้าใช้งานในความถี่สูงมักใช้สายเทฟลอนแทน บางกรณี จะใช้ก๊าซเป็นสาร โคอิเล็กทริกแทน เช่น ในโคโรเจน ที่มีคุณสมบัติกำจัดความชื้นไป และต้องคอยควบคุมปริมาณ, ความดันของก๊าซไว้ตลอด

สายโคแอกเชียลบางแบบมีการป้องกัน คลื่นรบกวนจากภายนอก เข้ามาในสายอย่างเป็นทางการพิเศษ คือ สายแบบมีชีลด์ 2 ชั้น [ดูได้จากรูป 2.12 (D)] บางครั้งฉนวนที่หุ้มเป็นวัสดุแข็ง เช่น ใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวนำชั้นนอก

การพิจารณาเลือกใช้สายโคแอกเชียล

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือ การเลือกใช้สายนำสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับสายอากาศให้ได้ดีที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในสายให้น้อยที่สุด

สายโคแอกเชียล ได้มีวางขายในท้องตลาดมากมาย แต่จะมีมาตรฐานกำหนดคอยุ่อย่างแน่นอนดังนี้

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

- มาตรฐาน JIS C3501 เป็นของประเทศญี่ปุ่น

ในหนังสือเล่มนี้จะเน้นอธิบายตามมาตรฐาน MIL - C - 17 เป็นส่วนใหญ่ ก่อนอื่นขออธิบายให้เข้าใจถึงความหมายของเบอร์สายแต่ละชนิดดังนี้

- มาตรฐาน MIL - C - 17 เช่น เบอร์ RG - 8 A/U

RG หมายถึง Radio Guide (สายนำสัญญาณวิทยุ)

8 หมายถึง เบอร์ของสายโคแอกเชียล

A หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วัสดุทำเปลือกหุ้มเปลี่ยนไป, จำนวนลวดตรงกลางต่างกัน, อิมพีแดนซ์ต่างกันเล็กน้อย, อัตราการสูญเสียต่างกันเล็กน้อย ฯลฯ (ตัวอักษรอาจเป็น B, C ได้หรือ ไม่มีแล้วแต่กรณี)

U หมายถึง Utility หรือ Universal คือ ใช้งานทั่วไป

- มาตรฐาน JIS C3501 เช่น เบอร์ 3C-2V

3 หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก โดยประมาณของโคอิเล็กทริก

C หมายถึง ค่าอิมพีแดนซ์

โดย C = 75 โอห์ม (เปลือกหุ้มจะมีสีดำหรือขาว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D = 50 โอห์ม (เปลือกหุ้ม PVC เป็นสีเทาหรือขาว ถ้าเป็น PE จะมีสีดำ)

2 หมายถึง วัสดุที่ทำไดอิเล็กตริก โดยเลข 2 คือ PE (โพลีเอทิลีน) อักษร F คือ โฟม (Cellular PE)

V หมายถึง ลักษณะของซีลด์ และเปลือกหุ้มสาย

โดย B คือ ซีลด์ทองแดง + ซีลด์อะลูมิเนียม + PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์)

E คือ ซีลด์ทองแดง + PE

L คือ ซีลด์อะลูมิเนียม + PVC

N คือ ซีลด์ทองแดง + ไนลอนติก

V คือ ซีลด์ทองแดง + PVC

W คือ ซีลด์ทองแดง 2 ชั้น + PVC

ตารางที่ 2.5 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลแสดงดังต่อไปนี้

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุที่ใช้ทำ ไดอิเล็กตริก	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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลแสดงดังต่อไปนี้

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริก	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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เบอร์ต่างๆ ของสายโคแอกเชียลที่มีเปลือกหุ้มเป็นอะลูมิเนียม, 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	-		-
สายคอปิลาร์	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

ความหมายของตัวย่อของสายที่ทำเป็นไดอิเล็กตริก

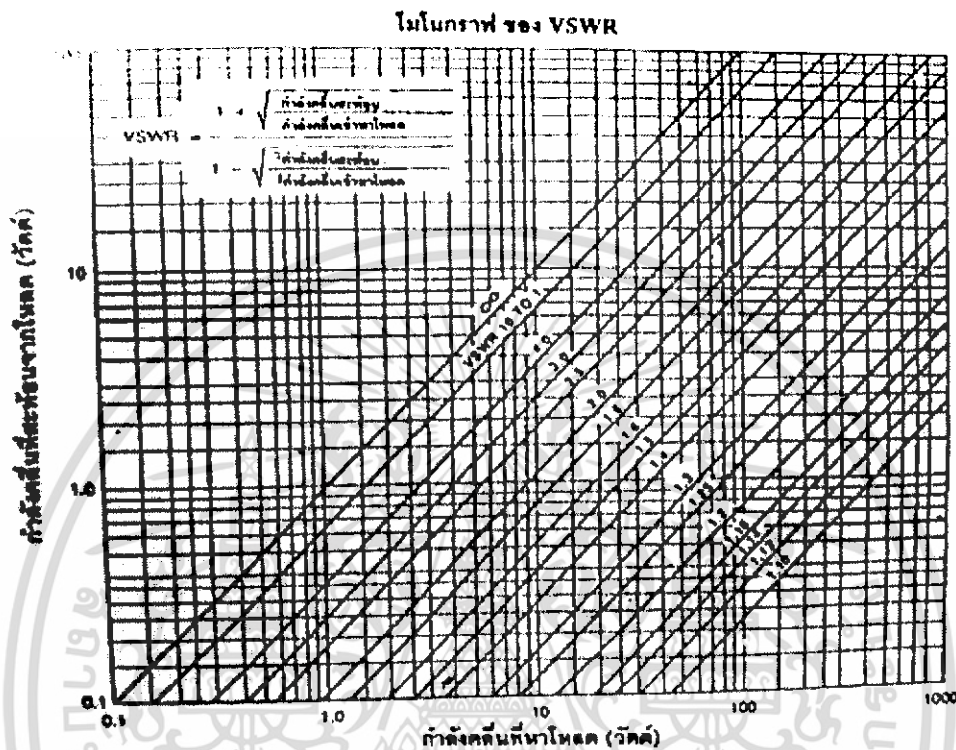
pe	โพลีเอทิลีน	อุณหภูมิใช้งาน (C°)	-65° ถึง 80°
Foam PE	โฟมโพลีเอทิลีน	อุณหภูมิใช้งาน (C°)	-65° ถึง 80°
PTFE	เทฟลอน	อุณหภูมิใช้งาน (C°)	-250° ถึง +250°

- ค่าอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน $\pm 4\%$ และตัวคูณความเร็วที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน $\pm 3\%$

- ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต) ใช้พิจารณาว่าสายโคแอกเชียลไปโหลดการทำงานของเครื่องส่งเพียงใด (เป็นคุณสมบัติสำหรับการออกแบบวงจร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองพิจารณากราฟในรูป 2.13 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนในสายกับความถี่ที่ใช้งาน



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

$$P_o = P_i \times 10^{(Aten/10)} \quad (2.7)$$

โดยที่ P_o = แทนกำลังส่งที่ไปถึงสายอากาศ
 P_i = แทนกำลังส่งของเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atten = แทนค่าการลดทอนของสายนำสัญญาณ

2.9 ข้อพิจารณาการเลือกใช้สาย

เงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณามีดังนี้

1. การสูญเสียในสาย

สายที่มีอัตราการสูญเสียในสายต่ำถือว่ามีคุณภาพดี ให้กำลังส่งไปถึงสายอากาศได้ดีมีข้อสังเกตว่า ถ้าใช้โฟมไดอิเล็กทริกจะช่วยลดอัตราการสูญเสียลงได้มาก เช่น สายเบอร์ RG - / U แบบโฟมมีค่าอัตราการสูญเสียน้อยกว่า 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 - C/U หรือพิจารณาที่สาร ไดอิเล็กทริก ไม่ควรใช้แบบโฟมเพราะไดอิเล็กทริกจะนิ่มและมีรูพรุน ถ้ามีการบิดสายไปมาอาจทำให้แนวลวดตัวนำไม่อยู่ตรงกลาง ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนไป และค่าการสูญเสียในสายเพิ่มขึ้น สำหรับสายโฟมและสายเดี่ยว ควรใช้กับงานที่มีการติดตั้งสายในตำแหน่งแน่นอน

3. การชิลด์ (Shield) สายนำสัญญาณ

เราชิลด์สายเพราะต้องการป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกมารบกวนคลื่นวิทยุในสายได้ และกันไม่ให้คลื่นวิทยุในสายไปกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกเช่นกันดังนั้นสายโคแอกเชียลที่มีการชิลด์ที่ดี จะให้คุณภาพดีขึ้น

วิธีการชิลด์ที่ใช้มี

- การใช้ลวดทองแดงสานเป็นตัวนำชั้นนอก โดยพิจารณาว่าสามารถครอบคลุมพื้นที่ไดอิเล็กทริกได้มากเท่าใด เช่น อาจครอบคลุมได้ 95 % หรือ ในการรบกวนสูง ต้องใช้ถึง 100 % ก็ได้ โดยดูได้จากความถี่แน่นในการสานลวดทองแดง

- ใช้ท่ออะลูมิเนียม (ในสายฮาร์ด ลอน) หรือท่อทองแดง (ในสายเฮลิคอกอล)

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

4. ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในสายสำคัญมาก เพราะถ้ามีมากเกินไปจนขีดกำหนดอาจทำให้สายเสียหายแตกหักได้

ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้

- อัตราทนแรงดันของสาร ไดอิเล็กทริก
- ค่าความต้านทานของลวดตัวนำ
- ขีดจำกัดของอุณหภูมิของสาร ไดอิเล็กทริกและเปลือกหุ้ม
- ระยะเวลาใช้งาน
- อัตราลดทอนที่ความถี่นั้นๆ

5. อายุการใช้งาน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่อไปนี้

- สภาพการใช้งานทางไฟฟ้าและสภาพการติดตั้งสาย
- คุณสมบัติของสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้ม เช่น PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์), NMV (Non-Migratory PVC) เป็นต้น

เราพิจารณาตามเนื้อสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้มดังนี้

- สาร PVC ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารที่ผสมใน PVC ซึมผ่านสายไดอิเล็กทริกทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไป ค่าอิมพีแดนซ์สูงขึ้นเกิดการลดทอนมากกว่าเดิม การซึมผ่านของสาร PVC ถือเป็นเรื่องปกติ แต่ถ้าได้รับความร้อนจะเกิดเร็วขึ้น มีผลให้สายเสื่อมคุณภาพลงถ้าระยะเวลาที่เกิดการซึมผ่านเกิดขึ้นถึงระดับหนึ่ง

- สาร NMV จัดเป็นสาร PVC ชนิดพิเศษที่ไม่เกิดการซึมผ่านเลย ดังนั้นในสายที่ติดตั้งแดดตากฝนตลอดปี ควรเลือกแบบ NMV แทน PVC เช่น สายเบอร์ RG – 58 C / U แทน RG – 58 A / U

ส่วนสายที่มีซิลด์เป็นท่อโลหะหุ้มล้อมรอบจะเลือกใช้สารใดก็ได้ เพราะมีโลหะป้องกันสารไดอิเล็กทริกไว้แล้ว

บทที่ 3

การมอดูเลชัน

ในขบวนการมอดูเลต เราใช้คลื่นรูปขายนี่ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออกดีโอ (หรือเสียงพูด) สัญญาณภาพ หรือข่าวสารอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้ เราเรียกว่า การมอดูเลต

3.1 ประเภทของการมอดูเลชัน

3.1.1 การมอดูเลตแบบ ASK

เป็นการอาศัยหลักการของแอมพลิจูดมอดูเลชันสัญญาณ ASK นี้เวลาที่มีสัญญาณมาร์คหรือสัญญาณเปิดจะส่งสัญญาณพัลส์และเวลาที่มีสัญญาณสเปสหรือสัญญาณปิดจะไม่ส่งสัญญาณ สัญญาณ ASK อาจใช้เป็นสัญญาณ โทรเลขหรือใช้เป็นสัญญาณดิจิทัลมอดูเลชันแบบต่างๆ ที่ไม่ต้องการความเร็วในการส่ง (bit rate) สูง

3.1.2 การมอดูเลตแบบ FSK

เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเบสแบนด์พัลส์พีซีเอ็ม และเหมาะกับการส่งข้อมูลที่อัตราเร็วต่ำตามข้อกำหนดรายละเอียด (CITT V.21) และนิยมใช้ FSK ชนิด 2 ความถี่เท่านั้น เพราะความถี่สามารถกำเนิดและรับได้ง่าย

3.1.3 การมอดูเลตแบบ PSK

จะใช้ในการสื่อสารที่มีอัตราความเร็วสูง ทั้งนี้เพราะ PSK มีค่า พรอบบะลิตีดีความผิดพลาดต่ำและต้องการแถบความถี่ประมาณ 2 เท่าของอัตราความเร็วของบิต PSK ใช้เป็นวิธีการมอดูเลชันใน โมเด็มที่มีความเร็วสูง

ดังนั้น ทั้ง 3 แบบนี้จะมีความต้องการความถี่ประมาณ 2 เท่าของอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล แต่ถ้าต้องการที่จะเลือกใช้ระบบดิจิทัลโมดูลชันในงานที่มีข้อจำกัดทางด้านแถบความถี่ (bandwidth limitation) ก็ไม่ควรเลือกระบบเอฟเอสเค

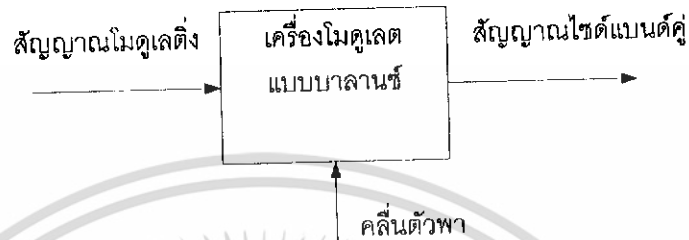
3.1.4 แอมพลิจูดมอดูเลชัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4.1 แบบไฮด์แบนด์คู่

เป็นวิธีการมอดูเลชันแบบตรงไปตรงมา โดยการคูณสัญญาณมอดูเลตติ้งกับคลื่นตัวพา อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า เครื่องมอดูเลทแบบบาลานซ์



รูปที่ 3.1 การมอดูเลชันแบบไฮด์แบนด์คู่

3.1.4.2 แบบ AM

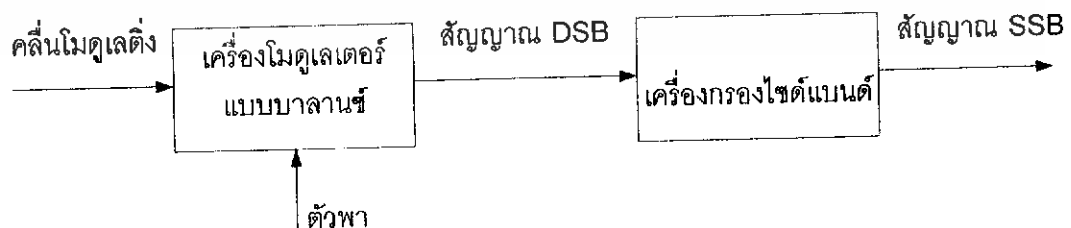
เป็นแบบที่ใช้กันทั่วไป เกิดได้จากการรวมของสัญญาณ DSB เข้ากับคลื่นตัวพา ใช้กันทั่วไปตามสถานีวิทยุกระจายเสียง คลื่นเมื่อทำการมอดูเลตจะมีค่าเฉลี่ย (mean value) ค่าหนึ่งเพื่อไม่ให้เอมเพลโลปของคลื่น AM เกิดการทับกัน ดังเช่นในกรณีของ DSB

3.1.4.3 แบบไฮด์แบนด์เดี่ยว

ในการกำหนด SSB นั้นอาจทำได้ 2 วิธีคือ

3.1.4.3.1 วิธีการกรอง

นี้ใช้หลักการกำหนด DSB แล้วเพิ่มเครื่องกรองไฮด์แบนด์เข้าไปในวงจร เพื่อขอมให้ไฮด์แบนด์ใด ไฮด์แบนด์หนึ่งของสัญญาณ DSB ผ่านเท่านั้นผลที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณ SSB

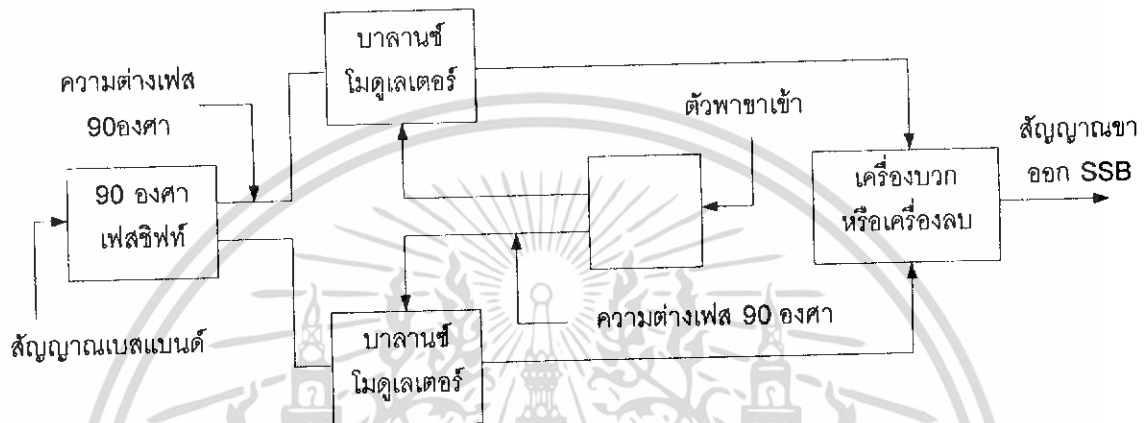


รูปที่ 3.2 วิธีการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.3.2 วิธีการจัดเฟส

จะใช้เครื่องมือคูณเตอร์แบบบาลานซ์ 2 ตัวที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาให้นำสัญญาณคลื่นที่มอดูเลตแล้วทั้งสองมารวมกันหรือลบกันก่อนส่งออกสัญญาณขาออกจะเป็น 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 สัญญาณข่าวสาร เข้าไปมอดูเลตบนพาหะแล้วปรากฏเป็นสัญญาณ ไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (คือ USB กับ LSB)

3.1.5 แบบแองเกิลมอดูเลชัน

3.1.5.1 สัญญาณ FM และ PM

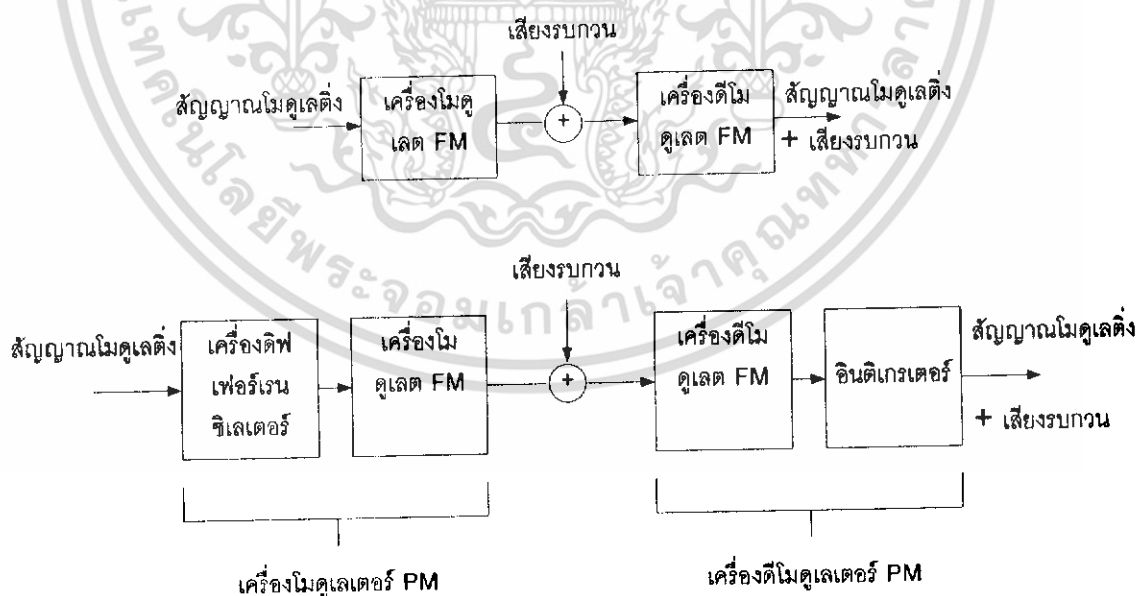
สัญญาณ FM คือ สัญญาณที่เกิดจากมอดูเลชันที่เปลี่ยนความถี่ของตัวพา ตามขนาดของสัญญาณมอดูเลตติ้ง โดยมีขนาดของตัวพาคงที่เสมอ

ส่วนสัญญาณ PM คือ สัญญาณที่เกิดจากมอดูเลชันที่เปลี่ยนเบสของตัวพา ตามขนาดของสัญญาณมอดูเลตติ้ง โดยมีขนาดของตัวพาคงที่เสมอ

3.1.5.2 การกำเนิดสัญญาณ FM มี 2 แบบ คือ วิธีตรงและวิธีอ้อม

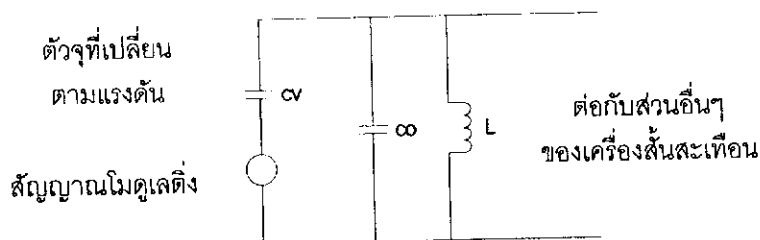
จากรูปด้านล่าง แสดงระบบสร้างสัญญาณ FM และ PM ถ้าผ่านสัญญาณมอดูเลตติ้งเข้าไปในเครื่องสันตะเทือนที่ควบคุมด้วยแรงดัน (V_{CO}) ซึ่งเป็นเครื่องมอดูเลต FM จะได้สัญญาณ FM

แต่ถ้าผ่านสัญญาณมอดูเลตติ้งเข้าไปในเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลเฟสก่อนแล้วค่อยผ่านเครื่องสันตะเทือนที่ควบคุมด้วยแรงดัน ก็จะได้แรงดัน PM ตามต้องการ



รูปที่ 3.4 วิธีการสร้างสัญญาณ FM และ PM โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



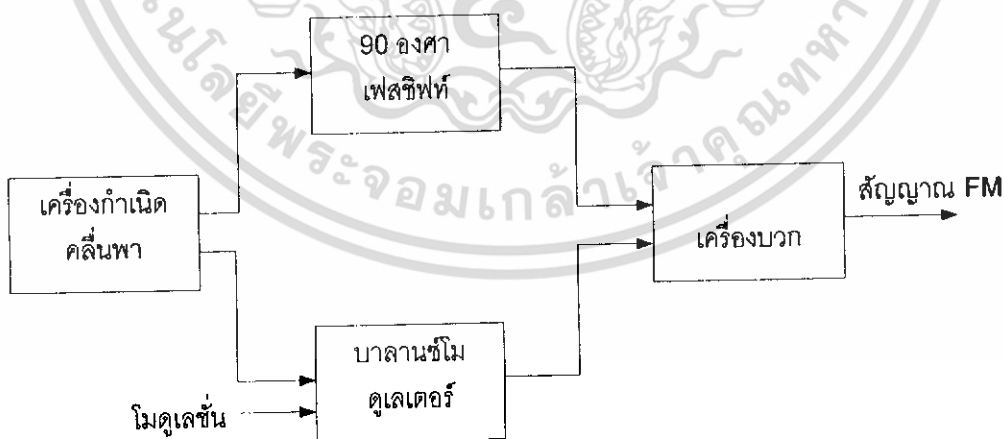
รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องส่งสะเทือน LC

3.1.5.3 วิธีสร้างสัญญาณ FM ทางอ้อม

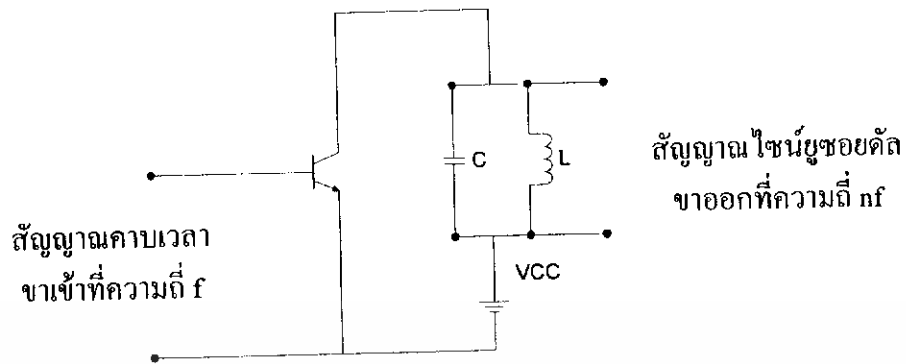
นั้นจะสร้างสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบ (NBFM) ก่อน โดยใช้เครื่องมอดูเลตแบบแอมพลิจูด หรือ ใช้เครื่องมอดูเลตแบบบาลานซ์แล้วนำสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบนี้เปลี่ยนเป็นสัญญาณแถบความถี่กว้าง (WBFM) โดยการคูณความถี่

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

ฉะนั้นถ้าสัญญาณมอดูเลตติงผ่านเครื่องอินทิเกรทก่อนแล้วค่อยผ่านการมอดูเลตตามระบบอาร์มสตรอง จะได้สัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบ



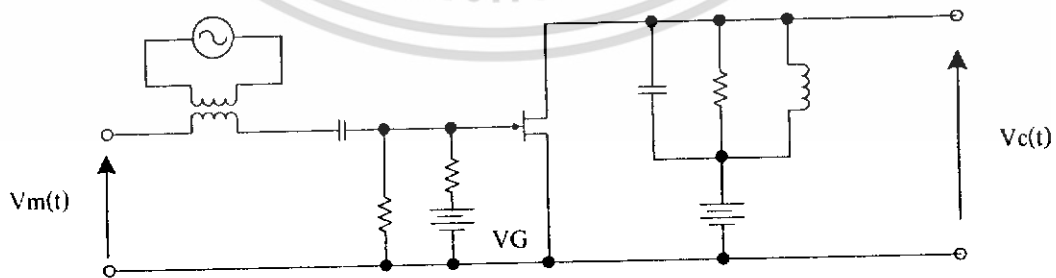
รูปที่ 3.6 หลักการของระบบอาร์มสตรองในการสร้าง FM แบบแถบความถี่แคบ



รูปที่ 3.7 ตัวคูณความถี่เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ FM แบบแถบความถี่แคบเป็นสัญญาณ FM แบบแถบความถี่กว้าง

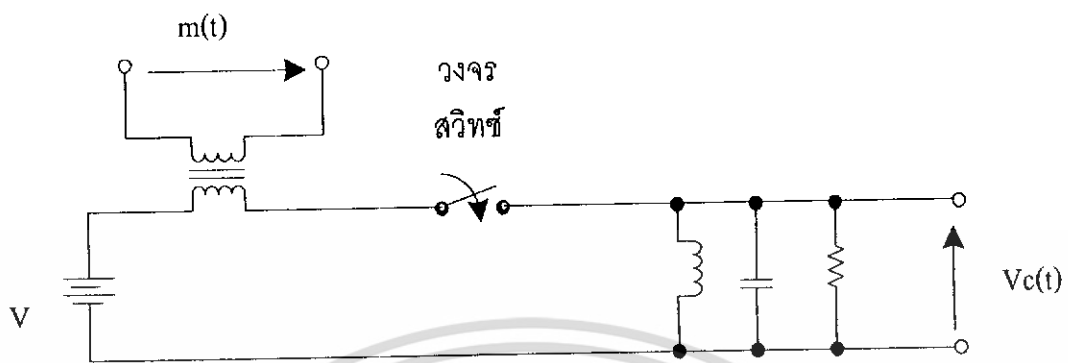


รูปที่ 3.8 วงจรแวลูเอเบิลทรานสคอนดักเตอร์ในการมอดูเลตแบบผลคูณ



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างวงจรการมอดูเลตแบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 หลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบสวิทซ์ซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

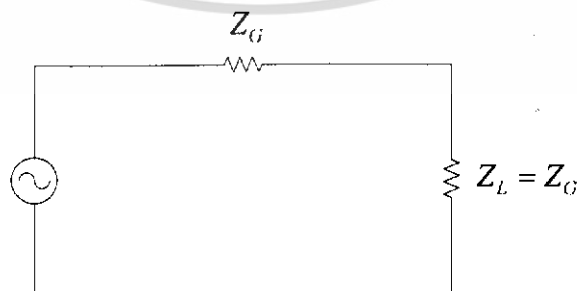
บทที่ 4

การแมทซ์ซิง (Matching) ในระบบสายอากาศ

สัญญาณที่จะรับหรือส่งจะดีไม่ได้ขึ้นอยู่กับหลายสิ่งหลายอย่างประกอบกัน รวมทั้งการเลือกชนิดของสาย โดยคำนึงถึงลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของสาย และสิ่งที่จะช่วยในการเลือกสายหรือคำนึงถึงอย่างหนึ่งคือ การแมทซ์ซิง

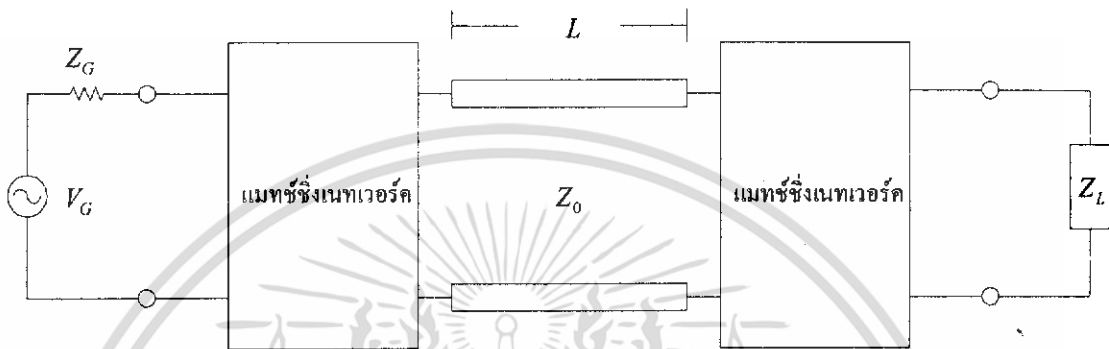
ถ้าป้อนพลังงานให้กับสายอากาศแล้วพลังงานเหล่านั้นถูกส่งแพร่ออกไปในอากาศได้หมดก็แสดงว่า เครื่องส่งกับสายอากาศมีการแมทซ์ซิงกันพอดี แต่ถ้าหากสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับมาทำให้กำลังในการส่งออกอากาศไปได้เพียงจำนวนเล็กน้อยก็แสดงว่า เครื่องส่งไม่แมทซ์ซิงกับสายอากาศ ดังนั้นการแมทซ์ซิง จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อระบบสายอากาศทั้งระบบการรับและการส่ง การถ่ายทอดพลังงานสูงสุด

ถ้ามีแหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่เครื่องหนึ่ง ที่สามารถจ่ายสัญญาณป้อนไปยังโหลดได้ และถ้าหากให้แหล่งกำเนิดสัญญาณมีค่าอิมพีแดนซ์ภายใน Z_G เมื่อนำเอาแหล่งกำเนิดสัญญาณนี้มาจ่ายกำลังงานให้โหลดตัวหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้ จะพบว่ากำลังงานที่ไปยังโหลคนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด ถ้านำวัตต์มิเตอร์ทำการวัดกำลังงานที่โหลด เมื่อทำการปรับตัวอิมพีแดนซ์ โหลดวัตต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้สูงสุด เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดในส่วนที่เป็นตัวต้านทานจะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องกำเนิดสัญญาณในส่วนที่เป็นตัวต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์ที่ โหลดจะมีค่าเท่ากับค่ารีแอคแตนซ์ภายในเครื่องกำเนิดสัญญาณ 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 แมตซ์ซึ่งเนทเวอร์คที่อยู่ด้านซ้ายจะทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของสายส่งให้มีขนาดพอดีกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด และแมตซ์ซึ่งเนทเวอร์คที่อยู่ด้านขวามือจะปรับอิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศให้มีขนาดเท่ากัน

แต่สำหรับระบบสายอากาศต้นกำเนิดสัญญาณคือเครื่องส่งจะส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณไปยังโหลดคือตัวสายอากาศ สำหรับสายค่าความต้านทานของสายอากาศหรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เช่น 75 โอห์ม 300 โอห์ม ซึ่งความต้านทานสายอากาศหมายถึงความต้านทานในการแพร่กระจายของคลื่น ในทำนองเดียวกับเครื่องรับ สายอากาศก็เปรียบเสมือนตัวรับสัญญาณที่มาจาก การแพร่มาในบรรยากาศแล้วส่งต่อมายังเครื่องรับ การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้ไม่สามารถวัดได้ด้วยโอห์มมิเตอร์ ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากโอห์มมิเตอร์หรือบริดจ์มิเตอร์ จะวัดได้เพียงความต้านทานในการสูญเสียเท่านั้น

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

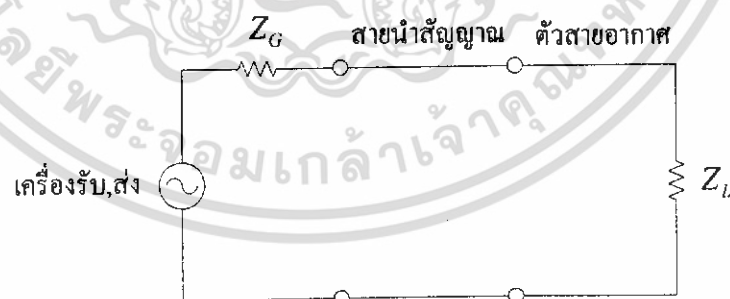
4. เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากโหลดจะเข้าสู่เครื่องส่งหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งอาจทำให้เครื่องส่งหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียหายได้

การใช้งานต้องการให้ค่า VSWR ลดลงต้องใช้โหลดที่แมทซ์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด วิธีแก้มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. เลือกสายส่งหรือสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่สุดต่อ
2. ปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้พอดีหรือใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะประจำสายนำสัญญาณ

วิธีที่ 1 ง่ายและไม่ยุ่งยากแต่มีข้อจำกัด เพราะอิมพีแดนซ์ของสายที่หาได้ค่าพอดีกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหาได้ยากและมีน้อย

วิธีที่ 2 เป็นอิสระในการประยุกต์ใช้งานสูง แต่มีความยุ่งยากในการสร้าง



รูปที่ 4.3 การแมทซ์ซึ่งสายนำสัญญาณกับตัวสายอากาศ

สายอากาศทั่วไปจะทำหน้าที่กระจายคลื่น (เครื่องส่ง) หรือรับคลื่นจากบรรยากาศ โดยปกติการกระจายคลื่นหรือการรับคลื่นจะเป็นไปได้โดยสมบูรณ์นั้นค่าอิมพีแดนซ์สำหรับการกระจายกับอิมพีแดนซ์ของสายตลอดจนถึงอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับหรือเครื่องส่งต้องมีค่าเท่ากันตลอด สำหรับอิมพีแดนซ์ของสายนั้นจะมีลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ คือ ไม่ว่าจะตัดสายมาใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานอย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายจะมีค่าคงที่ ถ้าให้สัญญาณจากสายอากาศมายังเครื่องรับ เป็นไปได้มากที่สุดจะต้องให้ระบบอยู่ในสภาวะแมทซ์ซึ่งกันพอดี คือ ให้กำลังงานไปถึงโหลด สูงสุด

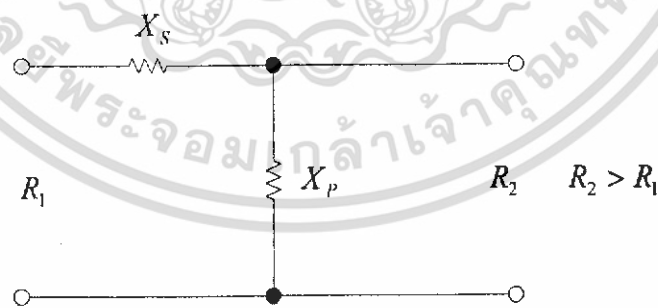
การสะท้อนของคลื่นกับการแมทซ์ซึ่ง

สายอากาศจะกระจายคลื่นได้ดีที่สุดหรือเครื่องรับจะรับสัญญาณได้แรงที่สุดจะต้องให้ค่า อิมพีแดนซ์ของโหลดกับอิมพีแดนซ์ของต้นกำเนิดแมทซ์ซึ่งกันพอดี ถ้าหากอิมพีแดนซ์ทางโหลดมี ลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณต้องกำเนิดสัญญาณเป็นคอกจุกเท

สายนำสัญญาณมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็ให้ลักษณะสำคัญทางอิมพีแดนซ์แตกต่างกัน ใน การใช้สายอากาศกับเครื่องรับหรือเครื่องส่ง ถ้าหากว่าสายนำสัญญาณที่ใช้กับตัวสายอากาศหรือ เครื่องรับเครื่องส่งมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นที่ นั่นคือจะมีพลังงาน บางส่วนไปยังโหลดได้ แต่บางส่วนกลับมาหรือพลังงานที่จะส่งไปมีค่าไม่สูงสุด ดังนั้นการ พิจารณาถึงอิมพีแดนซ์ของสายจึงเป็นเรื่องจำเป็นมากสำหรับการรับส่ง แต่ยังมีวิธีแก้ไขในกรณีนี้ ที่ การรับหรือส่งอยู่ในสภาวะไม่แมทซ์ โดยการใส่แมทซ์ซึ่งเนทเวอร์คด้วยอุปกรณ์ RLC

4.1 การแมทซ์ทางอิมพีแดนซ์ด้วยอุปกรณ์ RLC

การแมทซ์อิมพีแดนซ์ เป็นวิธีที่ง่ายและผลดีในย่านความถี่วิทยุในแถบความถี่ต่ำเท่านั้น ง่ายต่อการออกแบบและใช้ได้ผลดี ทำงานไม่ซับซ้อน การแมทซ์ซึ่งด้วยอิมพีแดนซ์ใช้ในความถี่สูง ไม่ได้เพราะอุปกรณ์ที่ใช้คือตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งคุณสมบัติของค่าตัวเก็บประจุตัวนๆ และค่าตัวเหนี่ยวนำตัวนๆหาได้ยาก



รูปที่ 4.4 การแมทซ์ซึ่งรูปตัวแอล

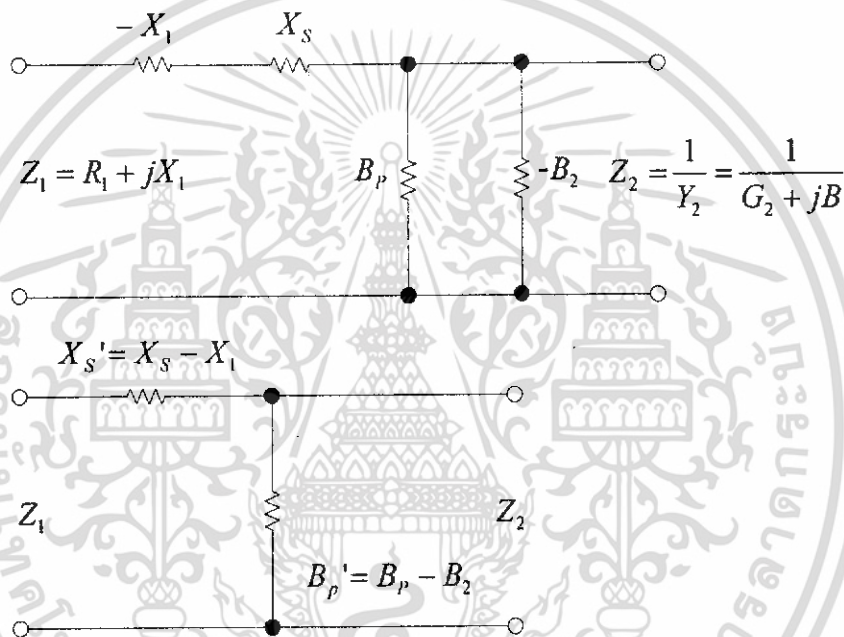
$$X_p = \pm \left(R_2 \frac{R_1}{R_2 - R_1} \right) = -\frac{1}{B_p} \quad (4.1)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

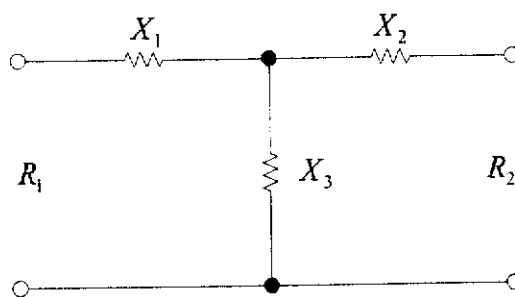
สมการที่ใช้ในการหาค่าตัวอุปกรณ์ที่ใช้ ค่า X คือค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งมีค่าเป็นส่วนกลับของค่าซัสเซพแตนซ์ B นั้นเอง ค่า X สามารถเป็นไปได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ ในกรณีเป็นตัวเหนี่ยวนำก็จะได้ค่า X เป็นบวกถ้าเป็นตัวเก็บประจุจะได้ X เป็นลบ ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลดหรือของตัวกำเนิดสัญญาณไม่ใช่ตัวต้านทานล้วน (หาได้จากการคำนวณโดยใช้ผังสมิท)



รูปที่ 4.5 การแทนที่ซึ่งเมื่อโหลดไม่ได้เป็นค่าตัวต้านทาน

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

วิธีการแทนที่ด้วยรูปตัว T และตัว π การออกแบบแทนที่ซึ่งด้วยวงจรรูปตัวทีและรูปตัวพายระหว่างโหลดที่เป็นตัวต้านทาน และความต้านทานต้นกำเนิด



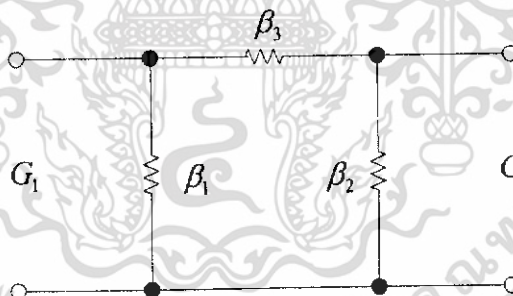
รูปที่ 4.6 การแมทซ์ซึ่งด้วยวงจรรูปตัว T

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

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

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

$$\beta_2 = -\frac{G_2}{\tan \theta} - \beta_3 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$Z_{ms} = \sqrt{Z_a \cdot Z_l} \quad (4.10)$$

เมื่อ Z_{ms} คือลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่เป็นตัวแมทช์ซึ่ง

Z_a คืออิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ

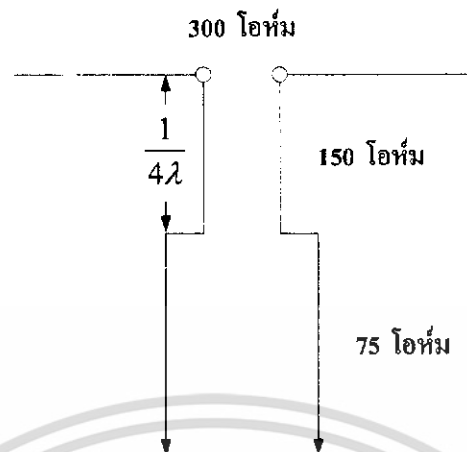
Z_l คืออิมพีแดนซ์ของตัวเครื่องรับหรือส่ง

จากรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างการต่อแมทช์ซึ่งโดยสมมติว่าตัวสายอากาศเป็นชนิดที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มเพื่อต่อเข้ากับเครื่องทีวีสีที่มีอิมพีแดนซ์เพียง 75 โอห์ม/ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ต้องการคือ

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

$$= 145 \text{ โอห์ม}$$

ซึ่งเหมาะที่จะใช้สายขนาด 150 โอห์ม



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

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 แต่ยังมีวิธีแก้ไขโดยการใช้ท่ออลูมิเนียมแท่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d วางห่างกัน D โดยค่าอิมพีแดนซ์ของอลูมิเนียมคู่มีค่าเป็น

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

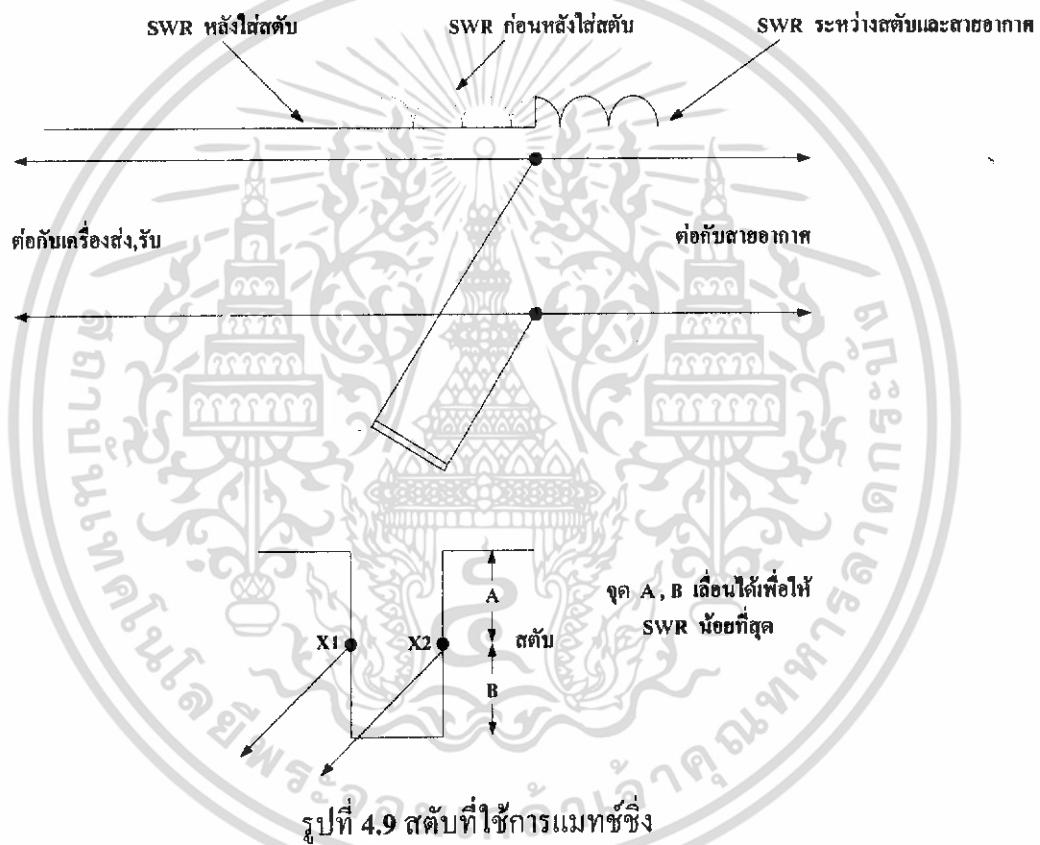
ค่าความยาวของแท่งอลูมิเนียมที่ควรใช้ควายาว

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

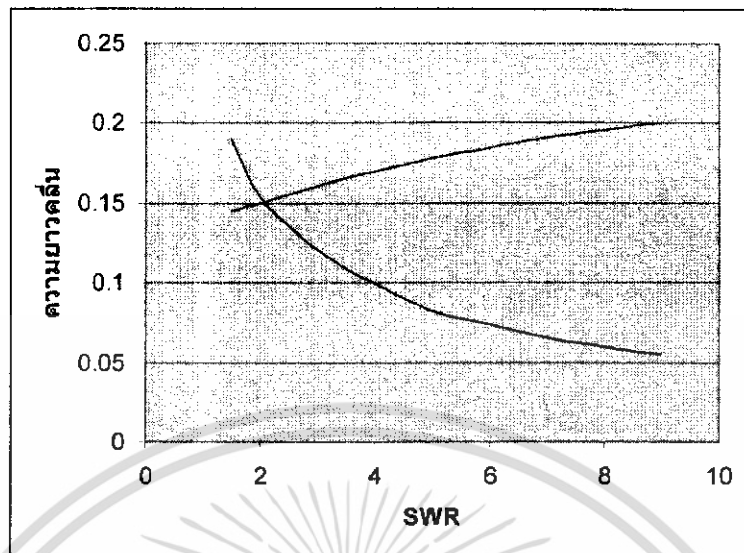
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การแมทซ์ซึ่งด้วยสตัด

เมื่อนำสายสัญญาณ 2 เส้นมาต่อกันโดยที่อิมพีแดนซ์ของสายไม่เท่ากัน การสะท้อนของคลื่นย่อมเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ค่า SWR ของการส่งหรือรับมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่เป็นรีแอกตีฟปรากฏขึ้น วิธีแก้ไขปัญหานี้คือใช้ สตัด สตัดเป็นสายที่นำมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณเพื่อให้อิมพีแดนซ์รวมของสายแมทซ์กันได้กับต้นกำเนิดสัญญาณหรือโหลด ถ้าพิจารณาในส่วนของการสะท้อนของคลื่นโดยไม่มีสตัดการเคลื่อนที่เหนี่ยวนำของคลื่นในสายสัญญาณจะเสมือนเป็นคลื่น ซึ่งให้ค่า SWR สูงแต่เมื่อนำสตัดมาต่อก็จะทำให้คลื่นในสายเรียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการหาความยาวของสัดับแบบลัดวงจร

วิธีการใช้กราฟ

1. หาค่า SWR ของสายด้วยวิธีการคำนวณการไม่แมทซ์ของสาย ซึ่งอาจจะหาจากวิธีการวัดด้วย Two way wattmeter หรือ SWR meter
2. หากว่าโหลดมีค่าความต้านทานสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้สัดับ จะใช้สัดับแบบลัดวงจร
3. ถ้าโหลดมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทานของสายที่ใช้ทำสัดับแบบเปิดวงจร
4. จากค่า SWR ที่มีวัดได้เลือกค่า A กราฟ
5. จากค่า SWR กำหนดหาค่าความยาว B จากกราฟ
6. กำหนดหาค่า A เป็นฟุตได้จากสูตร

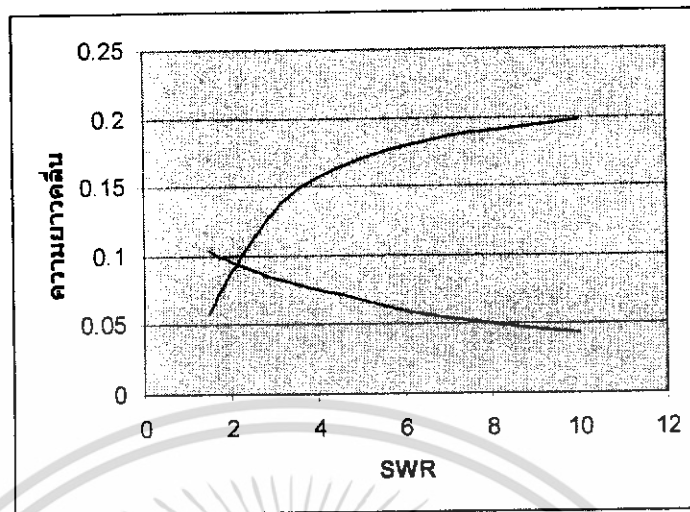
$$A = \frac{984 \times VC}{f} \times a \quad (4.14)$$

เมื่อ f มีหน่วยเป็น (MHz)

7. กำหนดหาค่า B เป็นฟุตได้จากสูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

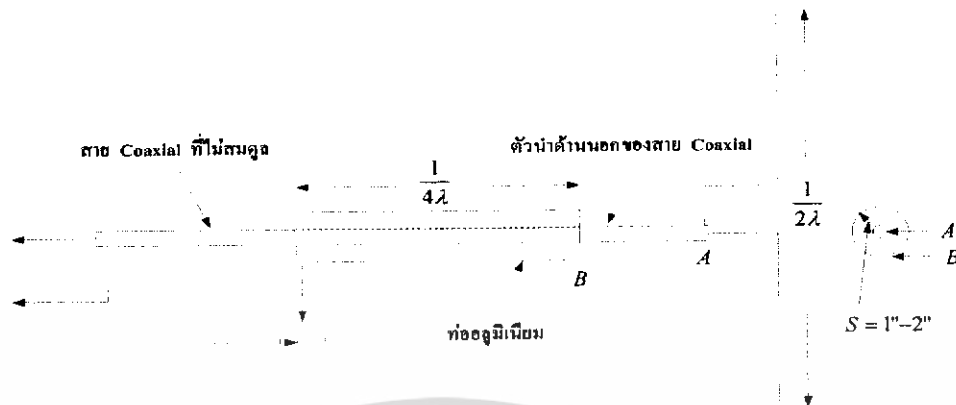


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการหาความยาวสลับแบบเปิดวงจร

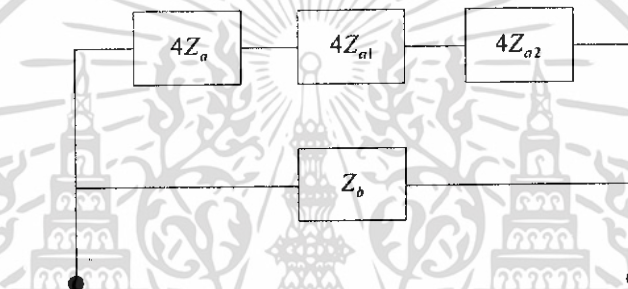
ใช้บางส่วนของสายนำสัญญาณเป็นตัวแมทซ์ซึ่ง

สายที่อิมพีแดนซ์ที่มีค่าไม่เท่ากับสายอากาศ เช่น สายนำสัญญาณ 70 โอห์มใช้กับสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพล ซึ่งยอมทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น การสะท้อนของคลื่นมักจะเหนี่ยวนำออกมาภายนอกในกรณีที่มีค่าแรงดันสแตนด์วอลท์ไม่เหมาะสม ซึ่งก็ทำให้เกิดคลื่นในลักษณะแนวตั้งขึ้น คลื่นในแนวตั้งที่เกิดขึ้นจากสายนำสัญญาณนี้จะทำให้สายนำสัญญาณที่ใช้กับตัวสายอยู่ในสภาพที่ไม่แมทซ์กันมากยิ่งขึ้น ซึ่งแก้ไขเพื่อให้เกิดสถานะแมทซ์ได้ด้วยวิธีของบาชูก้า บาลัน

บาชูก้า บาลัน เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการช่วยทำการแมทซ์สายให้ดีขึ้น สาเหตุที่เรียกว่า บาชูก้า เพราะว่ารูปร่างที่ใช้งานมีลักษณะเหมือนกับปืนบาชูก้า โดยใช้ท่อลูมิเนียมที่มีความยาว $\frac{1}{4\lambda}$ สวมใส่สายนำสัญญาณ โดยให้คอนล่างของท่อลูมิเนียมเชื่อมติดกับกราวด์ของสายนำสัญญาณ ท่อที่ใช้ควรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1-2 นิ้ว ดังรูปที่ 10.1 บาชูก้าบาลันนี้จะมีแบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบ เพราะเมื่อความถี่เปลี่ยนไป ความยาวส่วนที่บาลันจะผิดพลาดไปจาก $\frac{1}{4\lambda}$ ซึ่งหมายถึงจะมีกระแสไหล และทำให้บาลันสูญเสียคุณลักษณะของบาลันที่ดี



รูปที่ 4.12 ภาซูก้า บาลัน



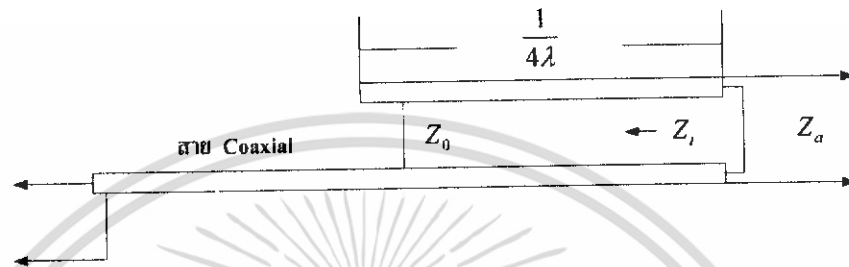
รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลของภาซูก้าบาลัน

บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟชนิดตัวนำขนานความยาว $\frac{1}{4\lambda}$ บาลันชนิดภาซูก้ามีข้อเสียที่จะใช้ได้กับความถี่ที่ทำให้ความยาวของตัวบาลันเท่ากับ $\frac{1}{4\lambda}$ ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับความถี่สูงๆคือย่าน VHF และย่าน UHF ข้อเสียของการแมทซ์ด้วยวิธีนี้คือต้องใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้รูปร่างใหญ่โต

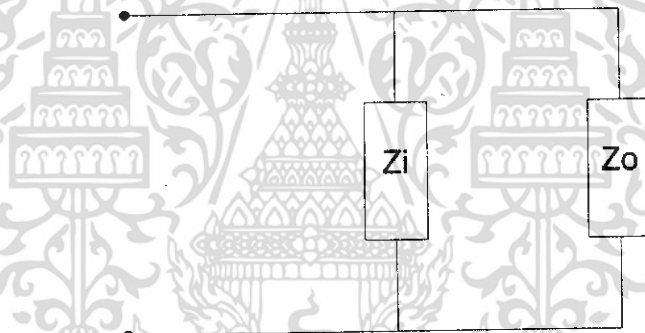
บาลันแบบลวดตัวนำขนาน โครงสร้างแบบขดลวดตัวนำขนานใช้ขดลวดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของสาย โคนอกเฉียงและยาว $\frac{1}{4\lambda}$ มาวางขนานกับสายโคแอกเฉียง โดยที่ปลายด้านที่ใกล้กับปลายสายโคแอกเฉียงต่อโลหะในของสายโคแอกเฉียง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อกับโลหะด้านนอกของสายโคแอกเฉียง บาลันแบบนี้จะมีวงจรสมมูลแสดงในรูปที่ .. ถ้าอิมพีแดนซ์ของส่วนที่ทำหน้าที่เป็นบาลันคือ Z_0 มีค่าเป็นอนันต์ก็จะมีกระแสไหลเข้าสู่สายคู่ขนานเท่านั้น และถ้า Z_0 ไม่เป็นอนันต์หรือความยาวของขดลวดตัวนำไม่เท่ากับ $\frac{1}{4\lambda}$ จะมีกระแสไหลในตัวนำกับผิวนอกของโลหะนอกของสายแอกเฉียง เนื่องจากตามโครงสร้างในรูปที่ 11.1 ของตัวนำกับผิวนอกของสายโคแอกเฉียงจะทำหน้าที่เป็นสายแบบบาลานซ์อยู่ ดังนั้นกระแสที่ไหลนี้จะขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้ามและกระแสที่ไหลอยู่ที่ผิวนอกของสายโคแอกเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้จะอยู่เฉพาะตรงบริเวณที่มีขดลวดตัวนำขนานอยู่เท่านั้น ลักษณะการไหลของกระแสดังกล่าวนี้ จะไม่ทำให้เกิดการส่งคลื่นที่ไม่ต้องการออกไป ดังนั้นบาลันชนิดนี้จึงมีแบนด์วิดท์กว้าง เพราะ ถึงแม้ Z_0 จะไม่เป็นอนันต์ก็ยังทำหน้าที่บาลันได้ บาลันแบบนี้จะมีอัตราการแปลงอิมพีแดนซ์ เป็น 1:1



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



รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลบาลันชนิดตัวนำขนาน

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

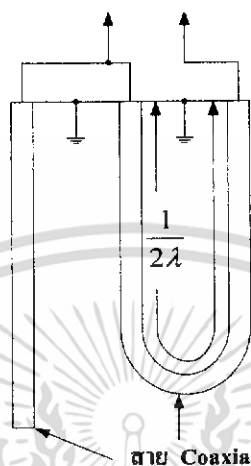
ซึ่งสามารถคำนวณให้เหมาะสมกับสายอากาศได้ แต่ความยาวของท่ออลูมิเนียมต้องมีความยาวตามสูตร

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

บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ ในการใช้บาลันทำให้สายนำสัญญาณมีขนาดอิมพีแดนซ์เท่ากับขนาดของสายอากาศ ซึ่งเป็นการแมทซ์ด้วยอัตราส่วน 1:1 หรือการทำให้สายนำสัญญาณไม่มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

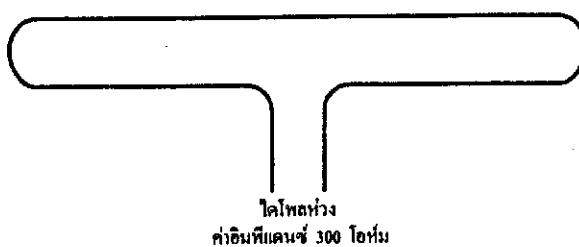
ต่อค่าอิมพีแดนซ์รวมนั่นเอง ซึ่งเหมาะกับการใช้เปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ในระบบสายอากาศคือ จาก 75 โอห์มกับ 300 โอห์ม แต่มีข้อเสียที่ให้คุณสมบัติตอบสนองต่อความถี่ในช่วงแคบๆ เท่านั้น



รูปที่ 4.16 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ

4.4 การแมทช์ด้วยหลักการของไดโพล

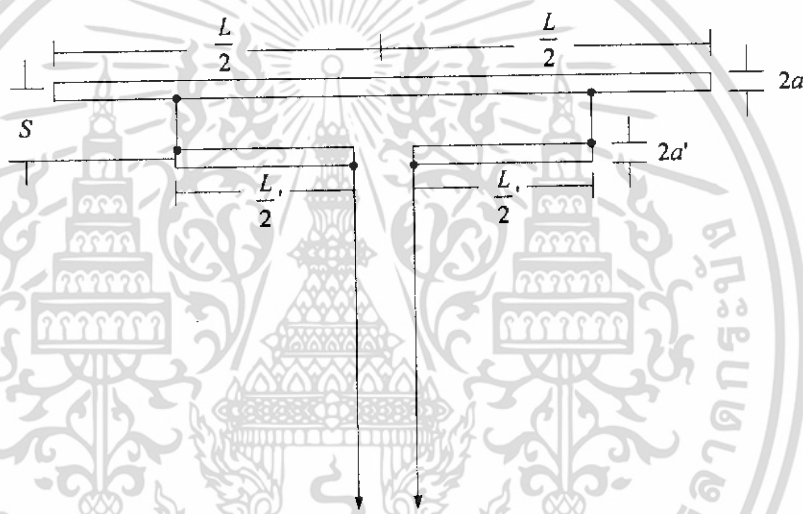
โดยปกติสายอากาศชนิดครึ่งคลื่นที่ทำจากแท่งตัวนำจะมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 70-75 โอห์มซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางจากกราวนด์ด้วย ถ้าหากงอโค้งให้เป็นชนิดไดโพลห้วงจะมีค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าคือประมาณ 300 โอห์มถ้าเพิ่มอีกด้านโดยกระจายเป็นไดโพลห้วง 2 ด้านค่าอิมพีแดนซ์ก็จะเพิ่มเป็น 9 เท่า คือประมาณ 675 โอห์ม ดังนั้นสายอากาศชนิดไดโพลห้วงจึงต้องใช้สายทวินลีดที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มมาทำการต่อนำสัญญาณ



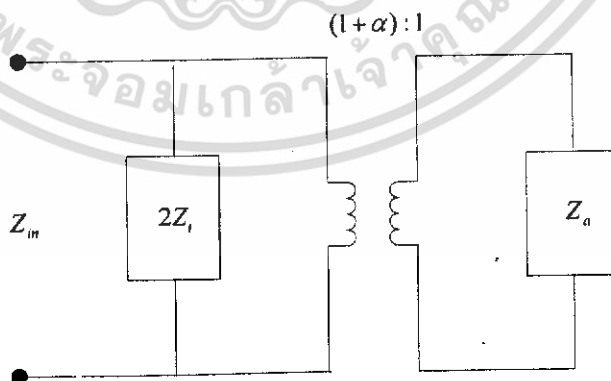
รูปที่ 4.17 ไดโพลที่มีการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมทซ์ซึ่งรูปตัว T วงจรแมทซ์ซึ่งตัว T แสดงดังรูปที่ 14.1 คือใช้ท่อนโลหะคู่หนึ่งความ
 ด้านละ $\frac{L}{2}$ มาวางขนานกับสายอากาศไดโพลที่ปิดช่องตรงกลางแล้วต่อปลายของท่อนโลหะทั้ง
 สองเข้ากับสายอากาศไดโพลตรงตำแหน่งนั้น การป้อนเพาเวอร์จะเป็นการป้อนจากสายบาลานซ์
 เข้าทางท่อนโลหะคู่ดังกล่าว การทำงานจะเหมือนกับการทำงานของสายอากาศไดโพลคือ $a' < a$
 และความยาวก็สั้นกว่าคือ $L' < L$ ในสภาพเช่นนี้การไหลของกระแสในโหมคอันบาลานซ์ซึ่ง
 เป็นโหมคที่จะกระจายคลื่นออกไปจะแตกต่างไปจากกรณีที่ $a' = a$ คือขนาดของกระแสโหมคอัน
 บาลานซ์ที่ไหลผ่านในท่อนโลหะที่มีขนาดไม่เท่ากันจะมีขนาดกระแสไม่เท่ากันด้วย ยาว ถ้าให้
 กระแสโหมคอันบาลานซ์ที่ไหลในสายอากาศกับในท่อนโลหะแมทซ์ซึ่งมีอัตราส่วนเป็น $1:\alpha$



รูปที่ 4.18 แมทซ์ซึ่งรูปตัว T



รูปที่ 4.19 วงจรสมมูลรูปตัว T

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Z_a และ Z_c เป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลและอิมพีแดนซ์สายนำสัญญาณวงจรมัลติเพลกซ์ยาว $\frac{L}{2}$

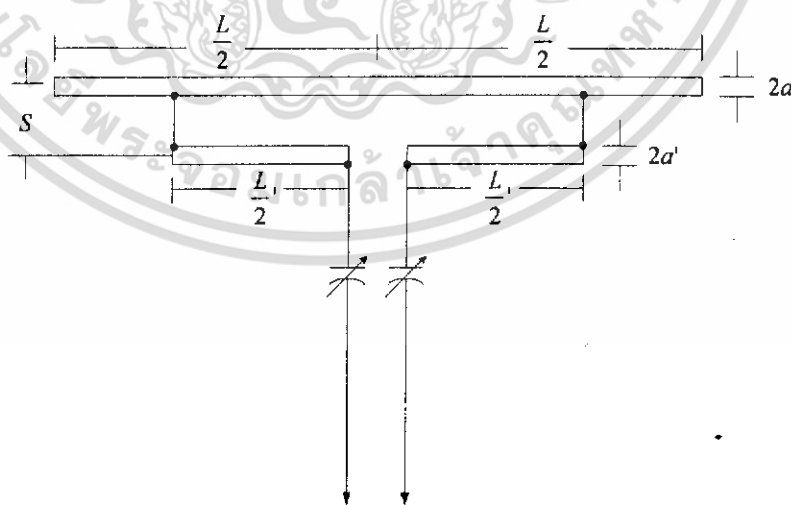
$$Z_c = jZ_a \tan(k\frac{L}{2}) \quad (4.18)$$

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

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

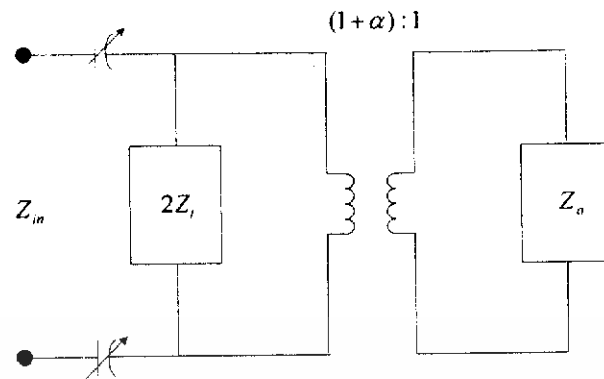
โดยที่ $u = \frac{a}{a'}$ และ $v = \frac{s}{a'}$

จากการทำงานของวงจรมัลติเพลกซ์ซึ่งรูปตัว T สามารถเขียนวงจรมัลติเพลกซ์ได้ดังรูปที่ 15.2 ซึ่งอิมพีแดนซ์ Z_a จะถูกยกให้สูงขึ้น $(1+\alpha)^2$ เท่า และเนื่องจากโดยทั่วไปค่ารีแอกแตนซ์ของ Z_m จะเป็นแบบอินดักทีฟ ดังนั้นจึงมักใช้ค่าคาปาซิเตอร์ C อนุกรมเข้าไปเพื่อให้เกิดเรโซแนนซ์และกำจัดค่ารีแอกแตนซ์



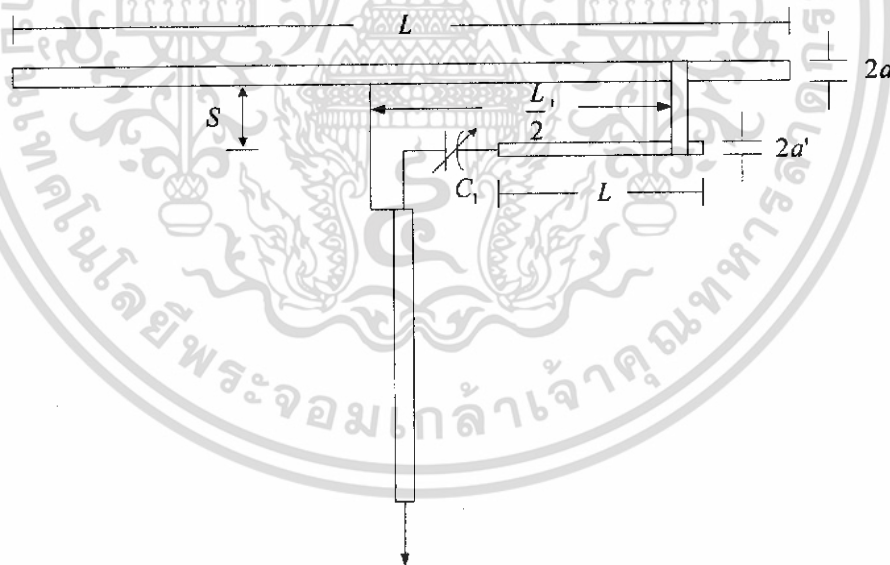
รูปที่ 4.20 แมทซ์ซึ่งรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



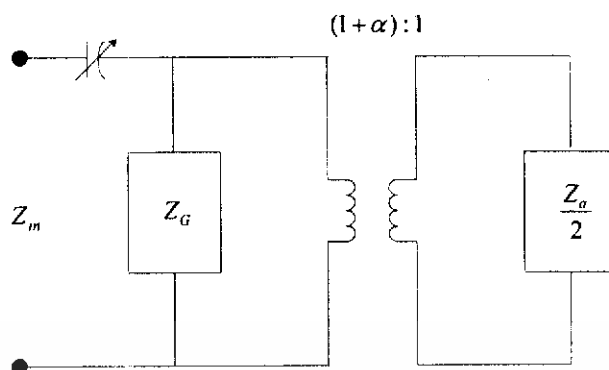
รูปที่ 4.21 วงจรสมมูลของแมทซ์ซึ่งรูปตัว T ที่ต่อคาปาซิเตอร์

แกมมาแมทซ์ซึ่ง แกมมาแมทซ์ซึ่งอาศัยหลักการเช่นเดียวกับการแมทซ์ซึ่งรูปตัว T แต่จะมีเพียงครึ่งหนึ่งของการแมทซ์ซึ่งรูปตัว T และลักษณะการแมทซ์ซึ่งจะเหมือนกันกับรูปตัว T ทุกประการ เพียงแต่ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ได้ด้วยวิธีการแมทซ์ซึ่งด้วยวิธีนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 50-75 โอห์ม ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับสายอากาศชนิดใช้กับสายเคเบิล ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 หรือ 75 ลักษณะของการต่อสายและโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.22 แกมมาแมทซ์ซึ่ง

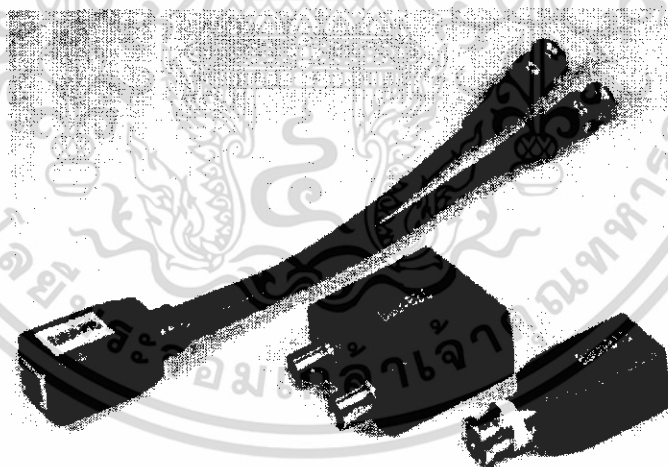
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



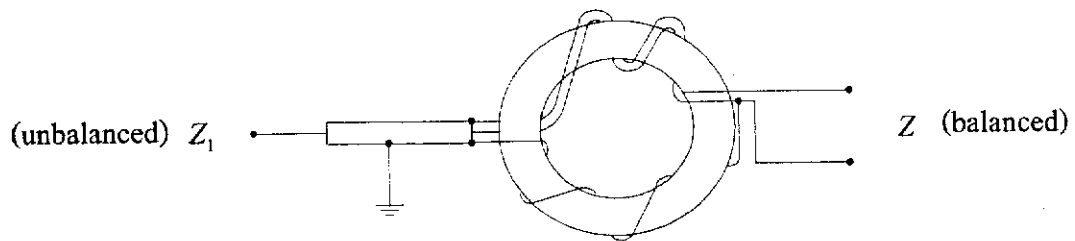
รูปที่ 4.23 วงจรสมมูลของแกมมาแมทซ์ซิ่ง

หม้อแปลงบาลัน

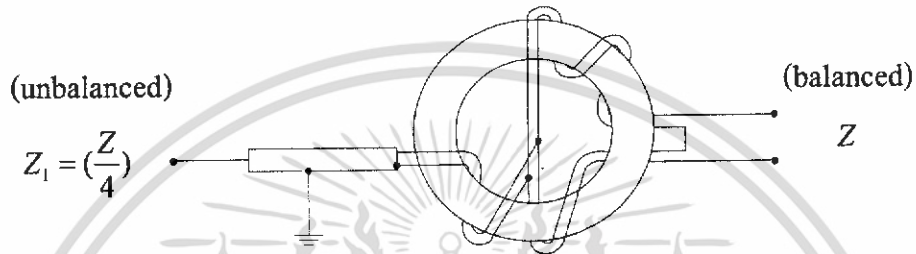
หม้อแปลงบาลันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์กันมากที่สุด เพราะมีขนาดเล็กราคาถูกติดตั้งง่ายและใช้ได้ผลดี หลักการของหม้อแปลงบาลันนี้เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป โดยใช้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก แต่เกรดของเหล็กต้องได้ดีที่ความถี่ที่ต้องการ เช่น ถ้าใช้ในความถี่ VHF เหล็กต้องให้ผลตอบสนองได้ดีตลอดย่านความถี่นี้ โดยปกติการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ใช้หลักการเดียวกับหม้อแปลง แต่จำนวนรอบที่พันจะพันรอบน้อย



รูปที่ 4.24 หม้อแปลงบาลัน



รูปที่ 4.25 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:1



รูปที่ 4.26 กรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:4

การแมตช์ซึ่งระบบสายอากาศมีด้วยกันหลายวิธีแล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงเหตุผลหลายประการ ทั้งทางด้านรูปร่าง ความเหมาะสม ราคา และคุณภาพของการรับอีกด้วย

บทที่ 5

การออกแบบวงจรขยาย

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

การจัดแบ่งชนิดของเครื่องขยายขึ้นอยู่กับการเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั้นๆ โดยแบ่งออกเป็นชนิดหรือคลาสได้เป็น คลาส-เอ (class A) คลาส-บี (class B) คลาส เอ-บี (class A-B) และ คลาส-ซี (class C)

วงจรขยายชนิดนี้จะมีจุดทำงานอยู่ในช่วงที่เรียกว่า แอกทีฟ (active) หรือช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์จะเป็นเชิงเส้น คืออยู่สูงกว่าจุดคัทออฟ โดยอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดกระแสคอลเลกเตอร์ไหลในวงจรอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตก็ตาม

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

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

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของวงจรขยาย มีหน่วยเป็น %

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{DC} = กำลังของอินพุตเป็นไฟ DC มีหน่วยเป็น W

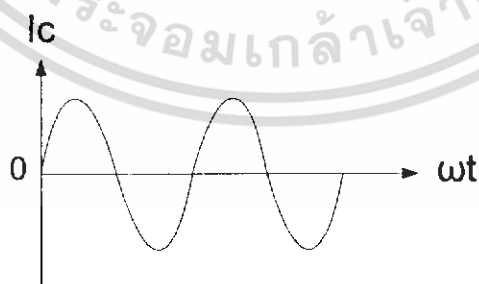
ประสิทธิภาพของวงจรถยายจะสูงมากขึ้นจนเข้าใกล้ในทางอุดมคติ ขึ้นอยู่กับค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ของการจัดระดับวงจรถยายหรือจัดคลาส (class) วงจรถยายที่นำไปใช้งานจัดออกได้เป็น คลาส A, คลาส B, คลาส AB, คลาส C, และ คลาส D ในแต่ละคลาสวงจรถยายจะมีประสิทธิภาพของวงจรถยายแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพของวงจรถยายคลาสต่างๆ

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%

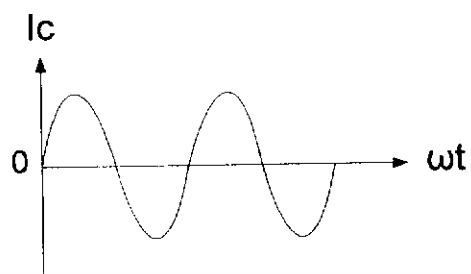
5.1 คลาสวงจรถยาย

คลาสการทำงานของวงจรถยายถูกกำหนดโดยเปอร์เซ็นต์ของรอบคลื่น (cycle) ทางอินพุตทำให้เกิดกระแสทางเอาต์พุต คลาสการทำงานของวงจรถยายหาได้จากประสิทธิภาพกำลังที่ได้ รูปคลื่นสัญญาณในคลาสต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.1

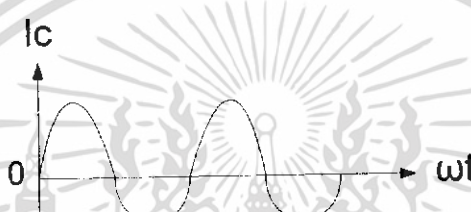


(ก) สัญญาณอินพุต

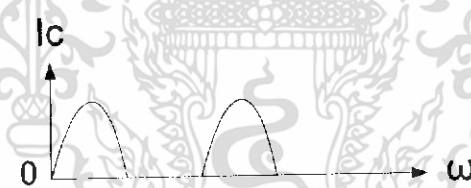
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



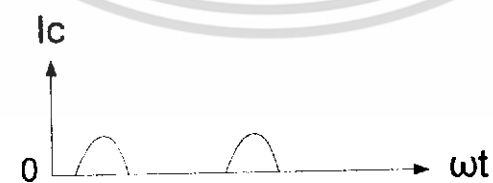
(ข) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส A



(ค) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส AB



(ง) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส B



(จ) กระแส I_c ที่ได้ของคลาส C

รูปที่ 5.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ในวงจรขยายคลาสต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาส A เป็นวงจรขยายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเต็มรูปคลื่นทั้ง 360° มีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีรูปร่างสัญญาณเหมือนอินพุตที่ป้อนเข้ามาดังรูป (ข) จุดทำงาน (Q) วงจรขยายคลาส A อยู่ที่จุดกึ่งกลางเส้นโหลดไฟ DC ช่วยให้สัญญาณสามารถแกว่ง (swing) ไปทางช่วงบวกและช่วงลบได้

คลาส B เป็นวงจรขยายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาครึ่งรูปคลื่นหรือเพียง 180° ของหนึ่งรอบคลื่นไซน์ อาจเป็นครึ่งซีกบวกหรือครึ่งซีกลบก็ได้ ดังรูป (ค) จุดทำงาน (Q) อยู่ที่ตำแหน่งคัทออฟบนเส้นโหลดไฟ DC พอดีทำให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาถูกตัดทิ้งไปครึ่งสัญญาณ

คลาส AB เป็นวงจรขยายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามากกว่า 180° ถึงน้อยกว่า 360° ในหนึ่งรอบคลื่นไซน์ โดยวงจรขยายทำงานอยู่ระหว่างคลาส A กับคลาส B แสดงดังรูป (ง) จุดทำงาน (Q) อยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าจุดคัทออฟเล็กน้อย การจัดวงจรขยายคลาส AB นิยมใช้งานกับวงจรขยายแบบพวช – พูล และคอมพิเมนตารี

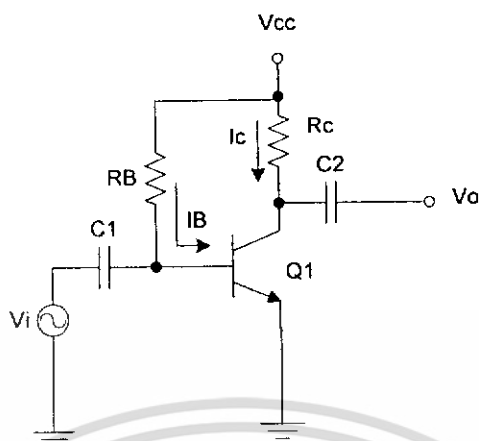
คลาส C เป็นวงจรขยายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาน้อยกว่า 180° ในหนึ่งรอบคลื่นไซน์ เป็นบางส่วนของซีกบวก หรือบางส่วนของซีกครึ่งลบ ดังรูป (จ) จุดทำงาน (Q) ของวงจรขยายคลาส C อยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าจุดคัทออฟ นิยมใช้งานในวงจรจูนของวิทยุหรือระบบสื่อสาร

คลาส D เป็นวงจรขยายที่ทำการขยายสัญญาณอินพุตพัลส์หรือดิจิตอล จะทำงาน (ON) เมื่อเป็นช่องว่างพัลส์สั้นๆ และหยุดทำงาน (OFF) เมื่อเป็นช่องว่างพัลส์ยาวๆ โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบดิจิตอลทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในหนึ่งรอบคลื่นด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างเอาต์พุตขึ้นใหม่จากการนำสัญญาณอินพุตมาต่อเข้าด้วยกัน

5.1.1 วงจรขยายคลาส A

วงจรขยายคลาส A คือ วงจรที่มีกระแสเอาต์พุตไหลตลอดเวลา ไม่ว่าจะมีส่วนสัญญาณอินพุตหรือไม่ก็ตาม แต่ความแรงของสัญญาณอินพุตก็จะถูกกำหนดไว้ไม่ให้ แรงเกินไปจนทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน หรืออ้อมตัว ในวงจรคลาส A นั้นโดยทั่วไปจะมี คุณสมบัติของการขยายสัญญาณค่อนข้างดีเยี่ยม จึงมีผู้นิยมใช้กันมาก แต่ก็มีข้อเสียคือ มีการ สูญเสียมาก โดยเฉลี่ยมีประสิทธิภาพต่ำกว่า 25% ของกำลังทั้งหมด วงจรเบื้องต้นวิเคราะห์ด้วยวงจรไบอัสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดใหญ่ชนิดคลาส A

ค่าไบอัส DC

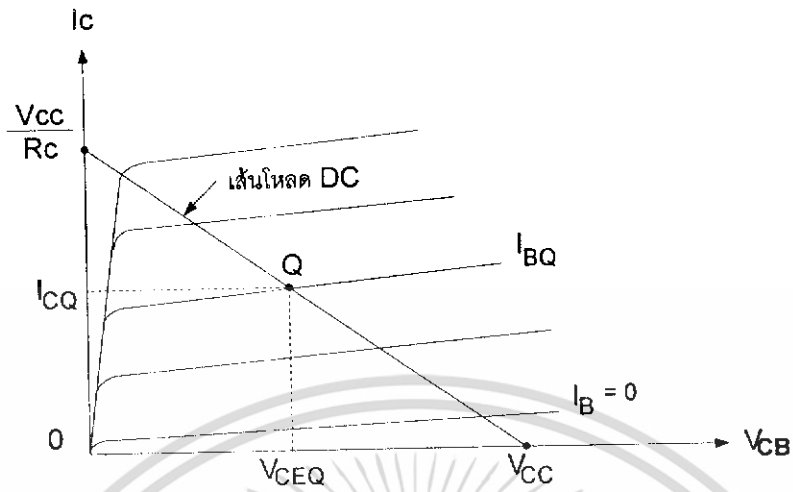
$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7V}{R_B} \quad (5.2)$$

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

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

นำค่าสมการที่ได้ไปหาค่าเส้นโหลด DC ได้จากกราฟคุณสมบัติทางเอาต์พุตเพื่อหาจุดทำงาน (Q) ของวงจร จะได้เส้นโหลด DC และจุดทำงาน (Q) ดังแสดงในรูปที่ 5.3

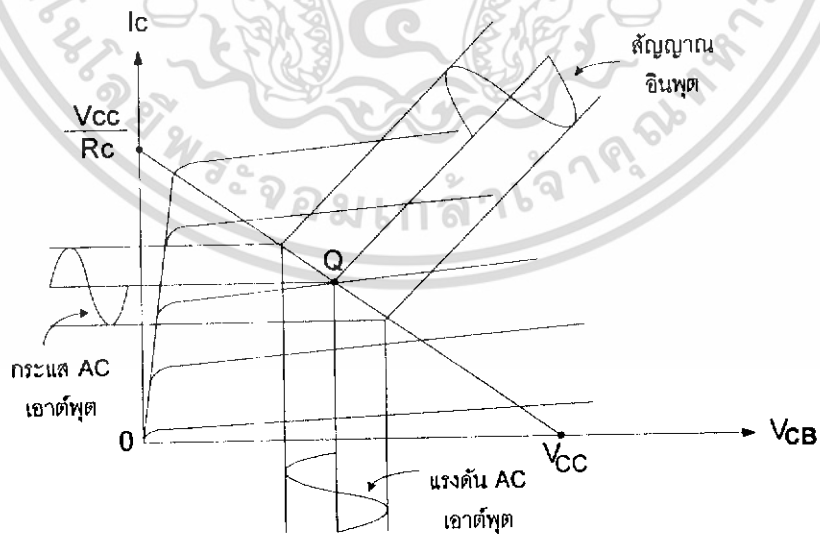
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแอด์พุดมแสดงเส้นโหลด DC และจุดทำงาน (Q)

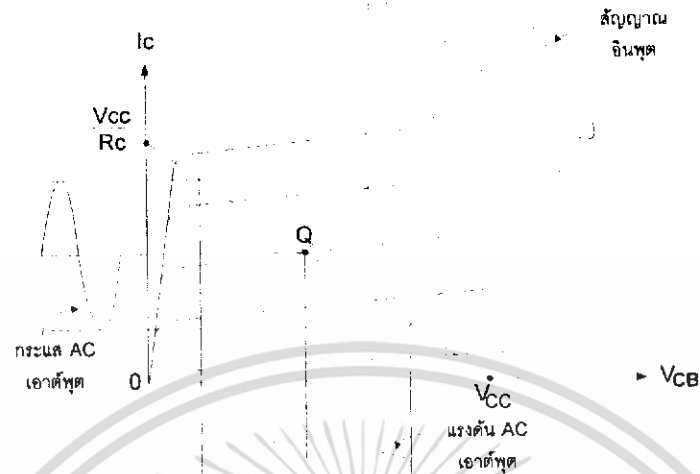
การทำงานต่อไฟ AC

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



(ก) สัญญาณอินพุตเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญญาณอินพุตแรง

รูปที่ 5.4 สัญญาณอินพุตถูกขยายออกเอาต์พุต

การพิจารณากำลังขยายของวงจร

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

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

และกำลังขยายทางเอาต์พุตหาได้จากแรงดันไฟ AC ที่เอาต์พุตกับกระแสไฟ AC ที่เอาต์พุตไปต่อคร่อมที่โหลด R_C ในรูปที่ 5.2 กำลังขยายทางเอาต์พุตหาได้หลายลักษณะดังนี้

ในรูปสัญญาณเป็นค่า RMS

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ในรูปสัญญาณเป็นค่ายอด (peak)

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

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

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

ในรูปสัญญาณเป็นค่ายอดถึงยอด (peak-to-peak)

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

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

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

ประสิทธิภาพของวงจรขยาย

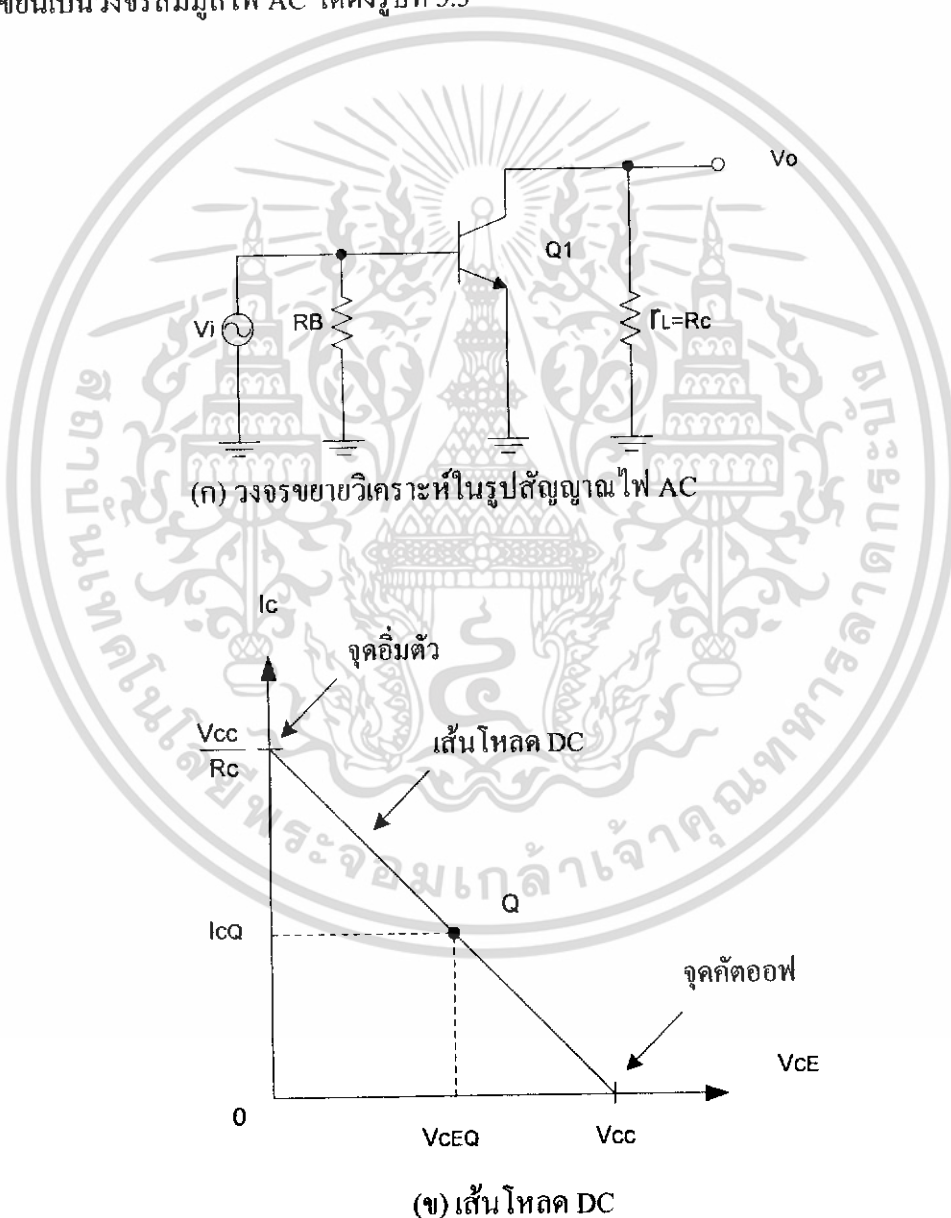
บอกถึงคุณภาพในการทำงานของวงจรขยาย ประสิทธิภาพของวงจรหาได้จากสมการดังนี้

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

เส้นโหลด AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโหลด AC เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สร้างขึ้นบนกราฟคุณสมบัติเอาต์พุตของวงจรขยาย ใช้เพื่อความมุ่งหมายในการแทนส่วนประกอบไฟ AC ในวงจรขยาย ส่วนประกอบคือกระแส i_c และแรงดัน V_{ce} ช่วยให้ทราบถึงอัตราขยายสัญญาณไฟ AC ในวงจรขยายคลาส A และคลาส B มองเห็นค่าการขยายที่เหมาะสมในวงจร เส้นโหลด AC สามารถทำได้ในทำนองเดียวกับเส้น โหลด DC โดยพิจารณาที่จุดทำงาน (Q) ของวงจรขยาย ร่วมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสใน วงจรขยาย การพิจารณาวงจรทำงานพิจารณาที่วงจรสมมูลไฟ AC ของวงจรขยายนั่น วงจรขยายรูป ที่ 2 เขียนเป็นวงจรสมมูลไฟ AC ได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วงจรสมมูลไฟ AC และเส้น โหลด DC ใช้หาเส้น โหลด AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

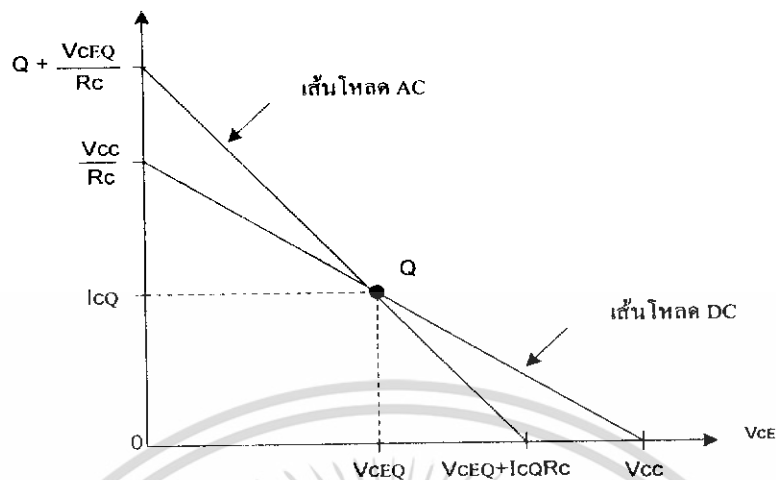
$$\Delta V_{CE} = (\Delta I_C)r_L = I_{CQ}R_C \quad (5.19)$$

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

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

นำค่าที่ได้ไปเขียนเส้นโหลด AC ในกราฟคุณสมบัติเอาต์พุตของวงจรขยาย ได้กราฟออกมาดังรูปที่

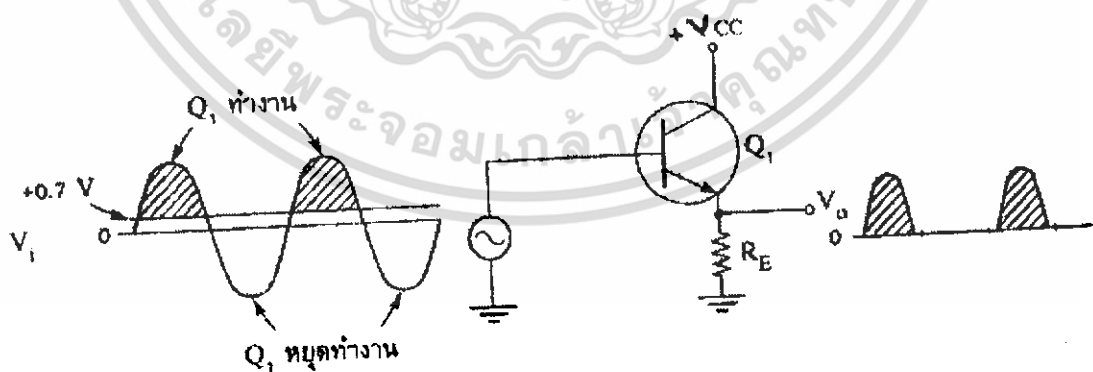
5.6



รูปที่ 5.6 เส้นโหลด DC และเส้นโหลด AC

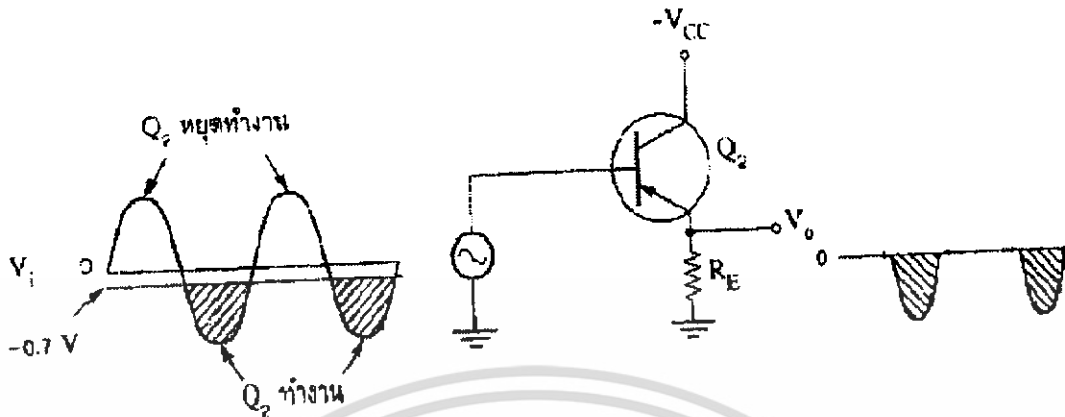
5.1.2 วงจรขยายคลาส B

วงจรขยายคลาส B เป็นการจัดวงจรขยายมีจุดไบอัสที่จุดคัตออฟ วงจรขยายไม่ทำงานขณะไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา การทำงานของวงจรเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณอินพุตซิกที่ถูกต้องป้อนเข้ามาทำให้วงจรขยายทำงานเพียงครึ่งสัญญาณอินพุตที่ป้อน การจะทำให้วงจรขยายทำงานได้กับสัญญาณอินพุตทั้งสองซิกต้องใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวทำงานตัวละครึ่งสัญญาณต่อการทำงานร่วมกัน โดยจัดวงจรขยายแบบ พุช - พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารี การทำงานของวงจรขยายคลาส B แสดงดังรูปที่ 5.7



(ก) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงบวก

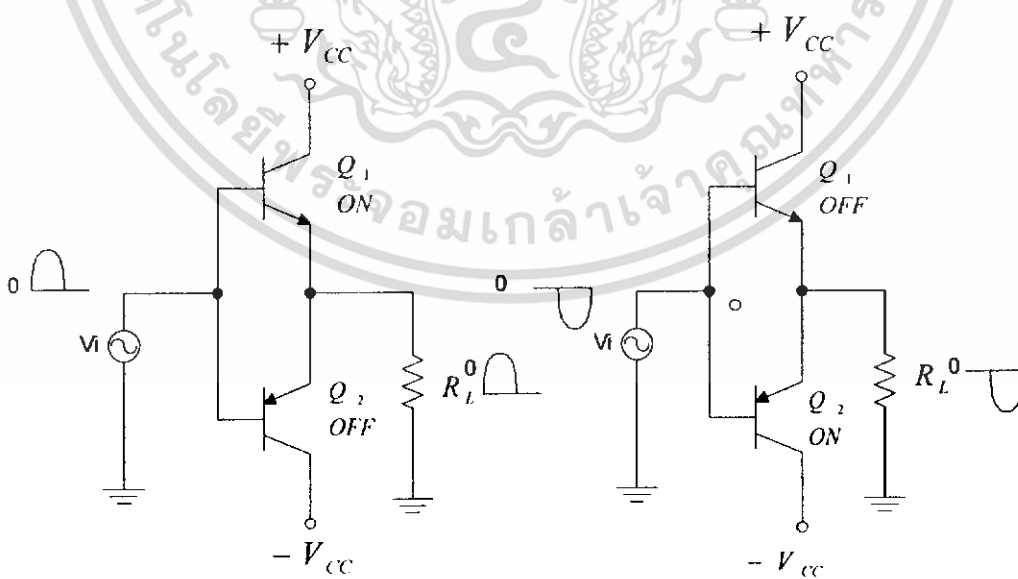
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ทรานซิสเตอร์ทำงานช่วงลบ

รูปที่ 5.7 วงจรขยายคลาส B ชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียว

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



รูปที่ 5.8 วงจรขยายคลาส B ต่อวงจรแบบ พุช - พูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังอินพุตไฟ DC

กำลังที่จ่ายไปยังโหลดโดยเครื่องขยายเป็นการจ่ายมาจากภาคจ่ายไฟคือกำลังทางอินพุตหรือกำลังไฟ DC กำลังทางอินพุตคำนวณได้ดังนี้

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

กระแส I_{DC} เป็นกระแสเฉลี่ยหรือกระแสไฟ DC ถูกจ่ายมาจากภาคจ่ายไฟในวงจรขยายคลาส B เป็นกระแสจากภาคจ่ายไฟชุดเดียวต่อวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น หรือถ้าใช้ชนิดภาคจ่ายไฟสองชุด แต่ละชุดใช้วงจรเรกติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น ค่ากระแสเฉลี่ยเขียนสมการ ได้ดังนี้

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

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 เป็นค่ายอดหรือค่ายอดถึงยอด เขียนสมการออกมาได้ดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ประสิทธิภาพ

วงจรรขยายแบบคลาส B สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพได้โดยใช้สมการเบื้องต้นได้ดังนี้

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

นำสมการที่ (5.25) และ (5.27) แทน ได้สมการใหม่ออกมาเป็น

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

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

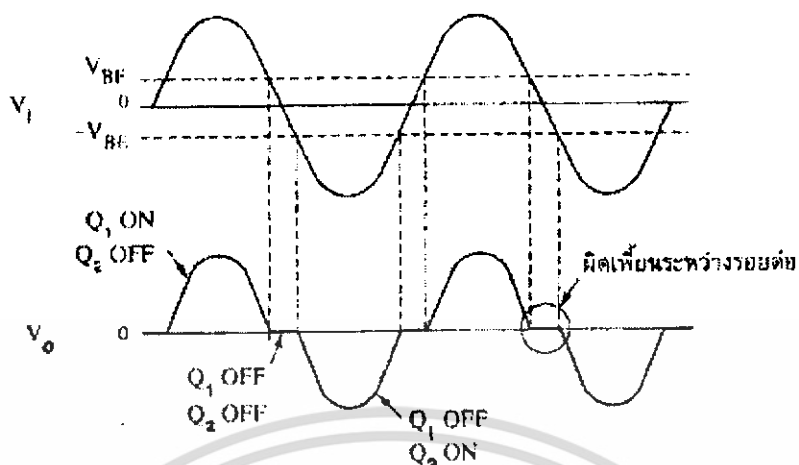
$$\eta = \frac{\pi V_{L(P)} I_{(P)}}{4 V_{CC} I_{(P)}} \times 100 \quad (5.32)$$

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

5.1.3 วงจรรขยายคลาส AB

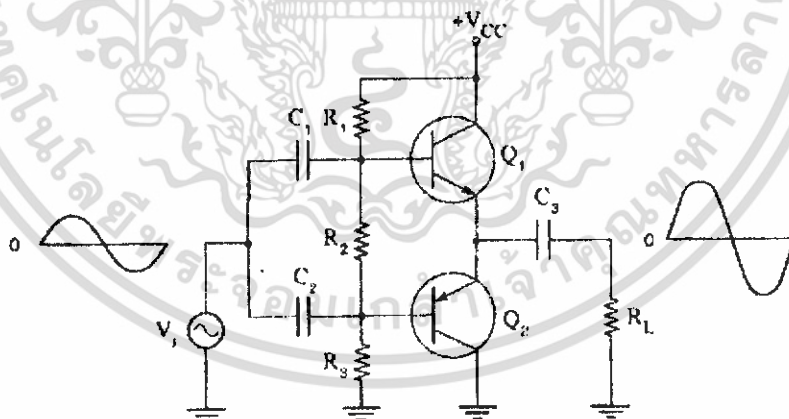
การทำงานของวงจรรขยาย B ที่คือวงจรรขยายแบบพุช – พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารีสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของสัญญาณอินพุต แต่เนื่องจากการจัดไบอัสให้วงจรรขยายที่จุดคัตออฟมีผลให้สัญญาณที่ถูกรขยายออกเอาต์พุตบางส่วนผิดเพี้ยนไป เกิดการผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อ (cross-over distortion) ขึ้น ลักษณะความผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อแสดงดังรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 สัญญาณเอาต์พุตเกิดการผิดเฟสระหว่างรอยต่อ

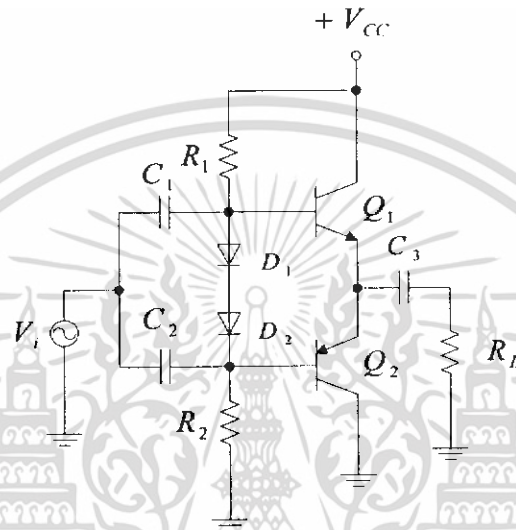
ในการแก้ไขความผิดเฟสระหว่างรอยต่อทำได้ด้วยการจัดไบอัสให้วงจรรขยายเล็กน้อยเกินจุดตัดออฟขึ้นมาประมาณแรงดัน $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ช่วยทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวที่จัดวงจรรขยายแบบพุช-พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารีนำกระแสเล็กน้อย ขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวพร้อมที่จะทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ทันที การจัดวงจรรขยายลักษณะนี้เป็นแบบคลาส AB ลักษณะวงจรรจะแสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 วงจรรขยายคลาส AB ต่อแบบพุช - พูล

จากรูปแสดงวงจรรขยายคลาส AB ต่อแบบพุช - พูล มีตัวต้านทาน R_1, R_2, R_3 ต่อวงจรรแบบจรรแบ่งแรงดัน กำหนดแรงดันไบอัสเล็กน้อยต่อคร่อม R_2 จ่ายไปให้ขาเบสของ Q_1 และ Q_2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 นำกระแสเล็กๆ คงที่ค่าหนึ่งตลอดเวลา พร้อมทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามาวงจรรขยายคลาส AB ทำการขยายออกเอาต์พุต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

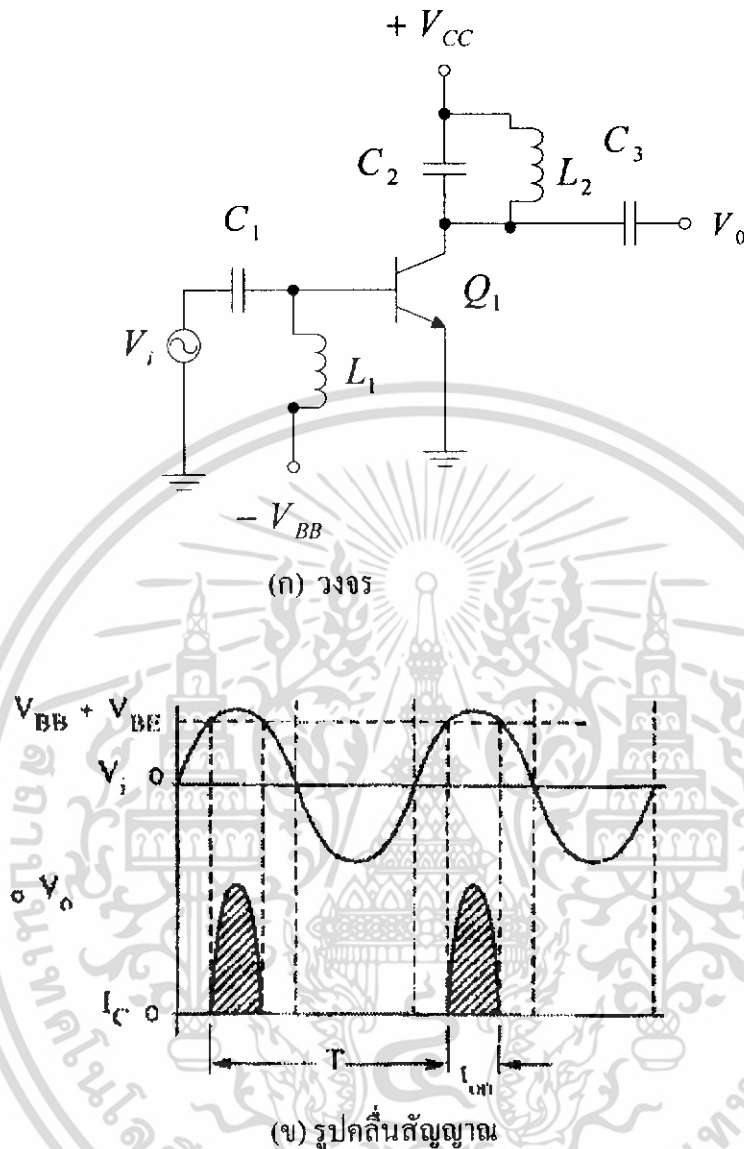
ทันที ได้รูปสัญญาณออกเอาต์พุตไม่ผิดเพี้ยน วงจรขยายคลาส AB อีกแบบหนึ่งใช้ไดโอดเข้ามาใน วงจรไบอัสแบบวงจรแบ่งแรงดัน ไดโอดที่ใช้งานนี้ถูกเรียกว่า ไดโอดไบอัสอัตโนมัติช่วยควบคุม ไบอัส V_{BE} ให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เหมาะสมตลอดเวลา ลักษณะวงจรขยายคลาส AB แบบ พุช - พูล ใช้ไดโอดไบอัสอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 วงจรขยายคลาส AB ต่อแบบพุช - พูล ใช้ไดโอดเป็นไบอัสอัตโนมัติ

5.1.4 วงจรขยายคลาส C

วงจรขยายคลาส C เป็นวงจรขยายที่ถูกจัดไบอัสให้ต่ำกว่าจุดตัดออฟ มีกระแส I_C ของ ทรานซิสเตอร์ไหลที่ 120° หรือน้อยกว่านี้ เมื่อมีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามาทำให้กระแส I_C ไหล ในเวลาสั้นๆ เหมือนพัลส์แคบๆ กระแส I_C ไหลไม่ต่อเนื่อง มีส่วนประกอบของฮาร์โมนิกจำนวนมาก เพราะว่ามีควมผิดเพี้ยนสูงมาก วงจรขยายคลาส C ไม่สามารถใช้ในวงจรขยายเสียงได้ แต่ใช้ งานได้กับวงจรขยายจูน RF สามารถกรองเอาความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกได้ด้วยวงจรเทงก์ แบบ LC (LC tank circuit) เหลือเฉพาะความถี่พื้นฐานถูกส่งไปให้โหลด RL วงจรขยายคลาส C เบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 วงจรขยายคลาส C และรูปสัญญาณที่วัดได้

ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

ในวงจรขยายคลาส C มีการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่ำ เพราะเปอร์เซ็นต์การทำงานของวงจรน้อยต่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา กระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) ที่ไหลทางเอาต์พุตเป็นลักษณะพัลส์ มีช่วงเวลาระหว่างพัลส์เป็นคาบเวลา (period) หรือ T ของสัญญาณแรงดัน AC อินพุต แสดงดังรูปที่ (ข) ความสิ้นเปลืองไฟฟ้าในช่วงเวลาการทำงาน (ON) คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ ที่ t_{on} และหยุดการทำงานในเวลาที่เหลือ การหาค่าความสิ้นเปลืองกำลังเฉลี่ยหาได้ดังนี้

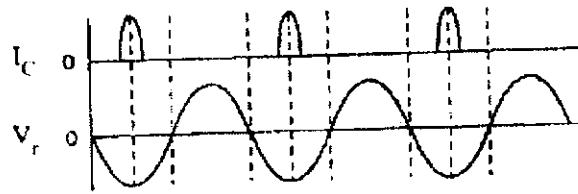
$$P_{D(avg)} = \frac{t_{on}}{T} P_{D(ON)} \quad (5.35)$$

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

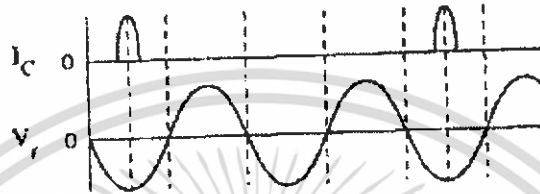
- เมื่อ $P_{D(ON)}$ = ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า (power dissipation) มีหน่วยเป็น W
 $P_{D(avg)}$ = ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (average power dissipation) มีหน่วยเป็น W
 t_{on} = เวลาทำงานของทรานซิสเตอร์ มีหน่วยเป็น S
 T = ช่วงเวลาระหว่างพัลส์ มีหน่วยเป็น S
 $V_{CE(sat)}$ = แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ต่ำสุดขณะทรานซิสเตอร์ทำงาน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

กำลังเอาต์พุตสูงสุด

การทำงานของวงจรแอมป์ L_2, C_2 ตามรูปที่ (ก) เกิดขึ้นได้จากการที่กระแส I_C ไหลส่งผลให้เกิดการออสซิลเลตความถี่ขึ้นมา เป็นสัญญาณไฟ AC ตกคร่อมวงจรแอมป์ L_2, C_2 ดังแสดงในรูปที่ 5.13



(ก) ความสัมพันธ์พื้นฐาน



(ข) ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2

รูปที่ 5.13 ความถี่ที่กำเนิดขึ้นมาจากวงจรเทงก์ L_2, C_2

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

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

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

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

ผลรวมทั้งหมดที่จ่ายให้วงจรขยายคือ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ P_{out} = กำลังเอาต์พุตสูงสุดมีหน่วยเป็น W
 P_T = ผลรวมกำลังทั้งหมดที่จ่ายให้วงจรขยาย มีหน่วยเป็น W
 R_C = วงจรสมมูลความต้านทานขนานของวงจรเทงค์ มีหน่วยเป็น Ω

สรุป

วงจรขยายกำลังทำหน้าที่เพิ่มระดับความแรงของสัญญาณไฟฟ้าให้แรงมากขึ้นก่อนที่จะส่งไปให้โหลดโดยปกติโหลดของวงจรขยายกำลังมีค่าความต้านทานต่ำเสมอ ประสิทธิภาพของวงจรขยายจะมีค่าสูงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการจัดคลาสของกรขยาย ซึ่งแบ่งออกได้เป็นคลาส A, คลาส B, คลาส AB, คลาส C และคลาส D

วงจรขยายคลาส A ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเต็มรูปคลื่นทั้ง 360° มีผลให้สัญญาณที่ถูกรขยายออกเอาต์พุตมีรูปร่างสัญญาณเหมือนสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25% ถึง 50%

วงจรขยายคลาส B ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาครึ่งรูปคลื่นเพียง 180° มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกรขยายออกเอาต์พุตเพียงซีกเดียว อาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25% (อาจเป็น 50%) และ 78.5%

วงจรขยายคลาส AB ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามากกว่า 180° ถึ้นน้อยกว่า 360° มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกรขยายออกเอาต์พุตมีซีกหนึ่งขยายได้ทั้งหมด และอีกซีกหนึ่งขยายได้บางส่วน ต้องจัดวงจรขยายแบบ พุช – พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารี มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 78.5%

วงจรขยายคลาส C ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาน้อยกว่าครึ่งรูปคลื่น หรือน้อยกว่า 180° มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกรขยายออกเอาต์พุตบางส่วนของซีกบวกหรือเพียงบางส่วนของซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายมากกว่า 90%

วงจรขยายคลาส D ทำการขยายสัญญาณอินพุตในรูปสัญญาณพัลส์หรือดิจิตอล โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบวิธีสุมตัวอย่างสัญญาณคลื่นไซน์ ได้สัญญาณดิจิตอลออกเอาต์พุต มีประสิทธิภาพกำลังขยายมากกว่า 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 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 4 มาเป็นตัวช่วยแมชด้วย

5.3 การหาค่าโหลดที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าโหลดสำหรับวงจรขยายความถี่สูงนี้ จำเป็นต้องศึกษาให้ละเอียด เพราะถ้ามีโหลดน้อยไป (RL น้อย) ก็จะทำให้วงจรทรานซิสเตอร์ ทำงานหนักอาจจะเสียได้ หรือถ้าโหลดมีค่ามาก (RL มาก) ก็ทำให้วงจรทำงานไม่เต็มที่ สิ้นเปลืองโดยใช้เหตุ ดังนั้นถ้าเราอาศัยคู่มือทรานซิสเตอร์ประกอบและคำนวณง่ายๆ ตามสมการที่ (5.2) ก็พอจะทราบ RL ได้

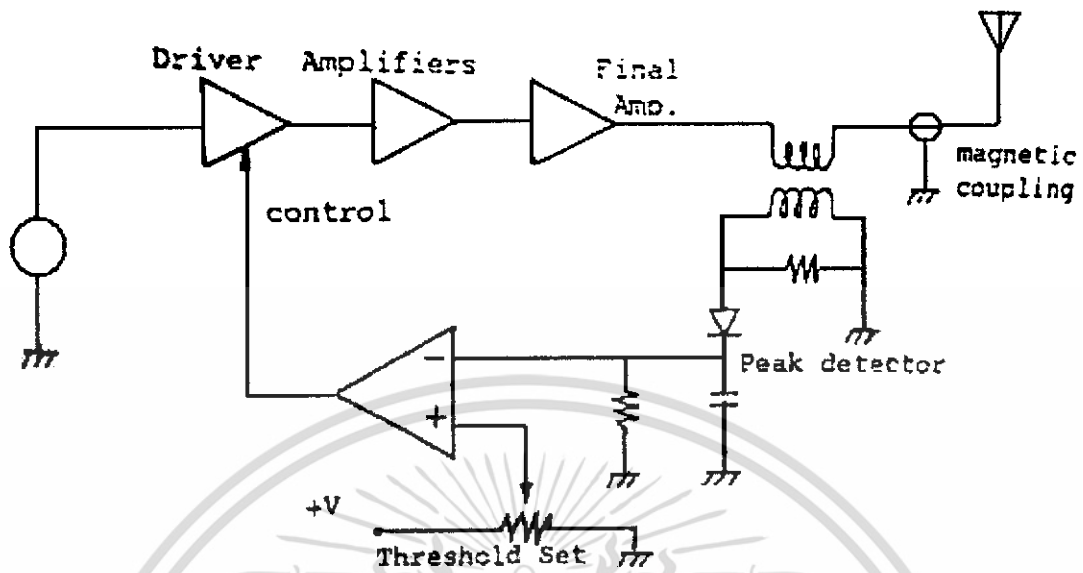
$$R_L = (V_{CC} - V_{sat})^2 / 2P \quad (5.41)$$

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

5.4 วงจรป้องกันสำหรับวงจรขยายกำลังความถี่สูง

โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังความถี่สูงนี้ จะใช้ทรานฟอเมอร์ ในการกลับปolarity ดังนั้น เมื่อความถี่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ก็จะทำให้กระแสไหลอย่างมากจนอาจเป็นอันตรายกับทรานซิสเตอร์กำลังได้ และอีกประการหนึ่งในการใช้เครื่องส่ง จะต้องให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศและเครื่องส่งแมชกัน ถ้าไม่แมชกันก็อาจเกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ในกรณีที่สายอากาศไม่ได้ต่อหรือขาด ก็เป็นผลให้คลื่นสะท้อนกลับเกือบทั้งหมด และเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ขยายกำลังภาคสุดท้ายเป็นอย่างมาก อาจจะพังไปเลยก็ได้ ดังนั้นวงจรที่ดีจะประกอบไปด้วย วงจรป้องกันคังรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



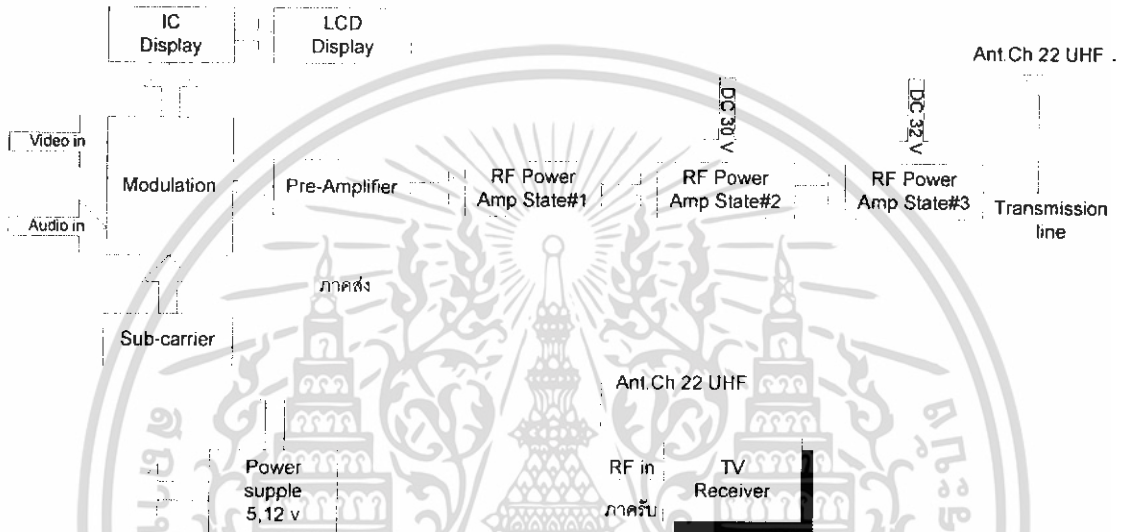
รูปที่ 5.14 แสดงวงจรป้องกันวงจรขยายกำลังเสียหาย จากการไม่แมชของโหลด และวงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

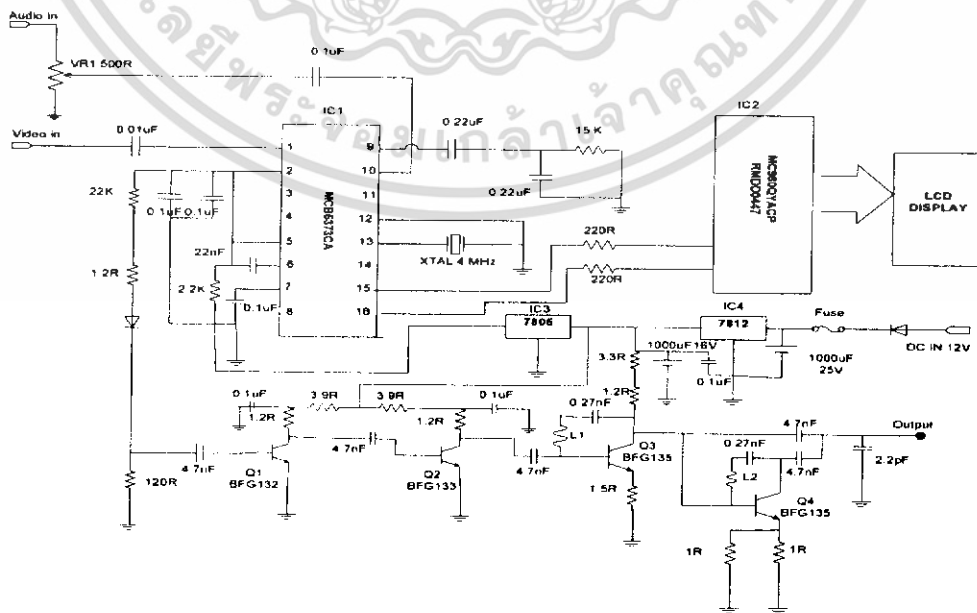
ผลการทดลองและระบบการทำงาน

6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์ UHF Ch 22 กำลังส่ง 40 W



รูปที่ 6.1 Block Diagram ของเครื่องส่งโทรทัศน์

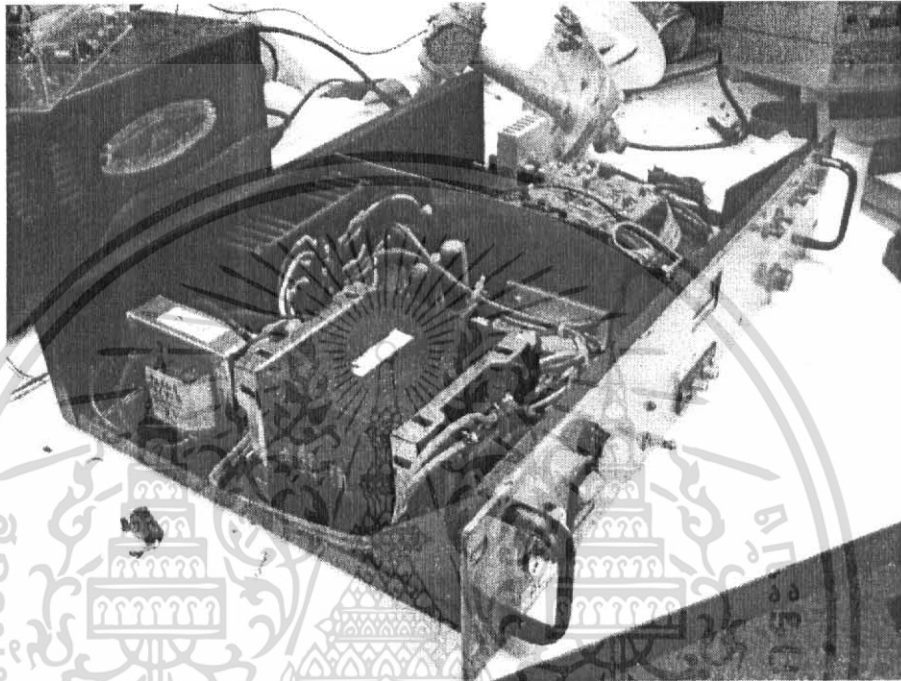
6.2 ภาค Oscillator, Modulation และ Pre Amplifier



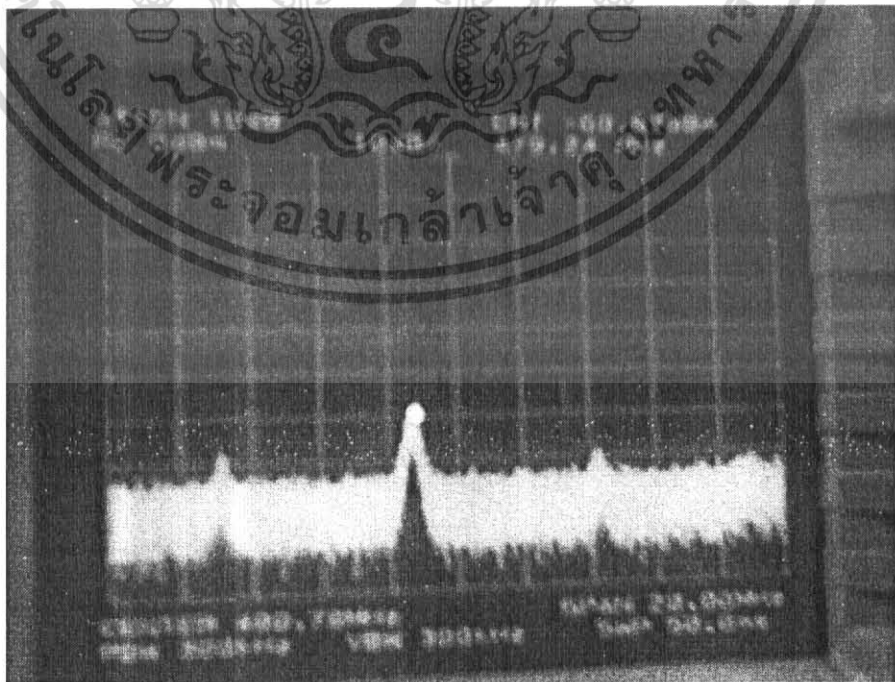
รูปที่ 6.2 Oscillator, Modulation และ Pre Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.2.1 ตามรูปวงจรที่ 6.2 ป้อนสัญญาณภาพ 1 Vp-p และสัญญาณเสียง 200 mV
- 6.2.2 Output ที่ชุด Modulation ได้ 120 mV
- 6.2.3 Output ที่ชุด Pre Amplifier ได้ 350 mV

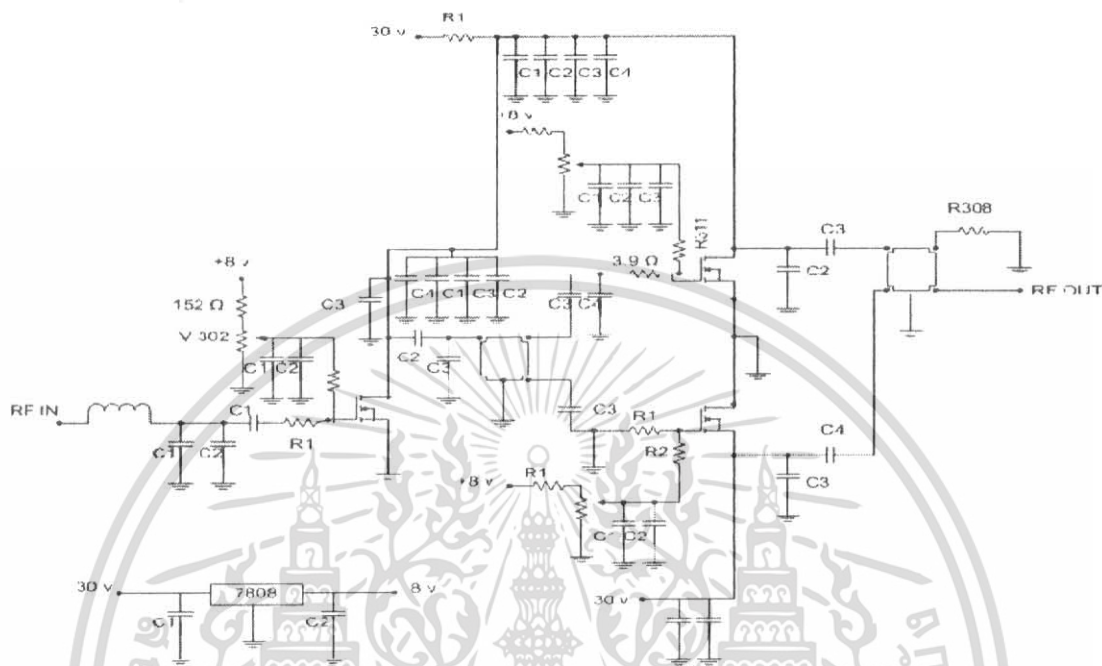


รูปที่ 6.3 ชุด Modulation และ Pre Amplifier



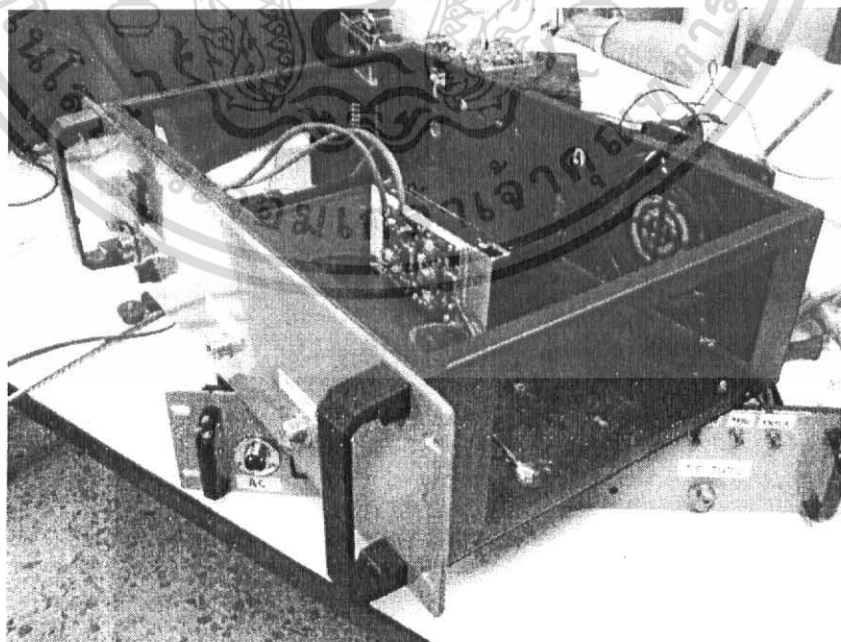
รูปที่ 6.4 การวัด Wave Form ของ ชุด Pre Amplifier ได้ Gain การขยาย = -68.67 dBm
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในช่องทางใด ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ภาค RF Power Amplifier Stage1 ได้กำลังขยายที่ Output 5 Watts



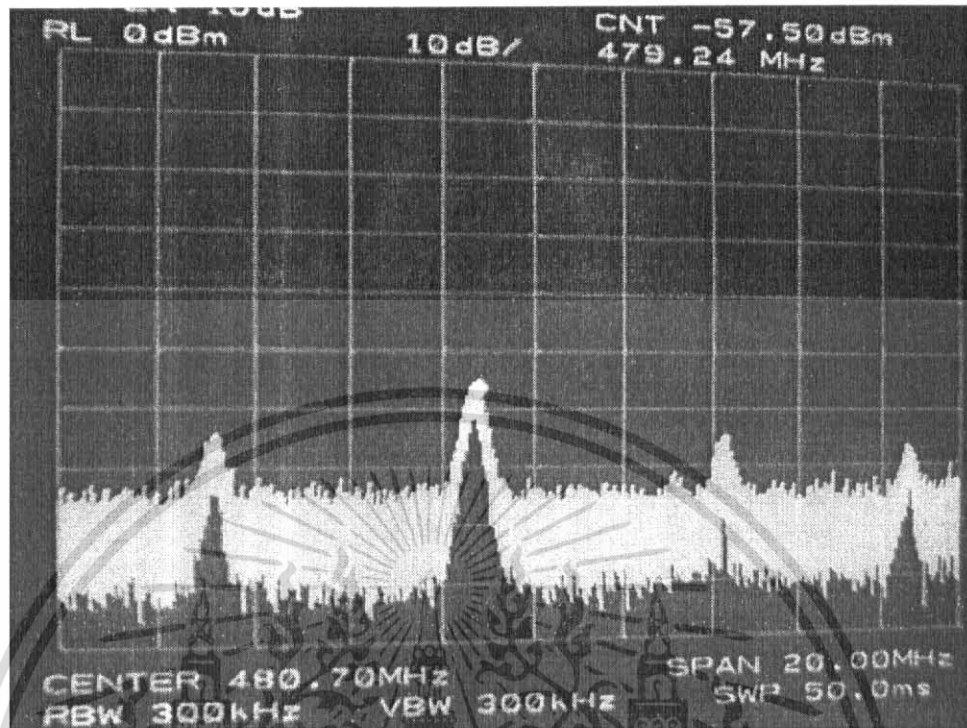
รูปที่ 6.5 วงจร RF Power Amplifier Stage 1 จะได้ RF Output 5 Watts

6.3.1 ภาค RF Power Amplifier Stage1 ได้กำลังขยายที่ Output 5 Watts

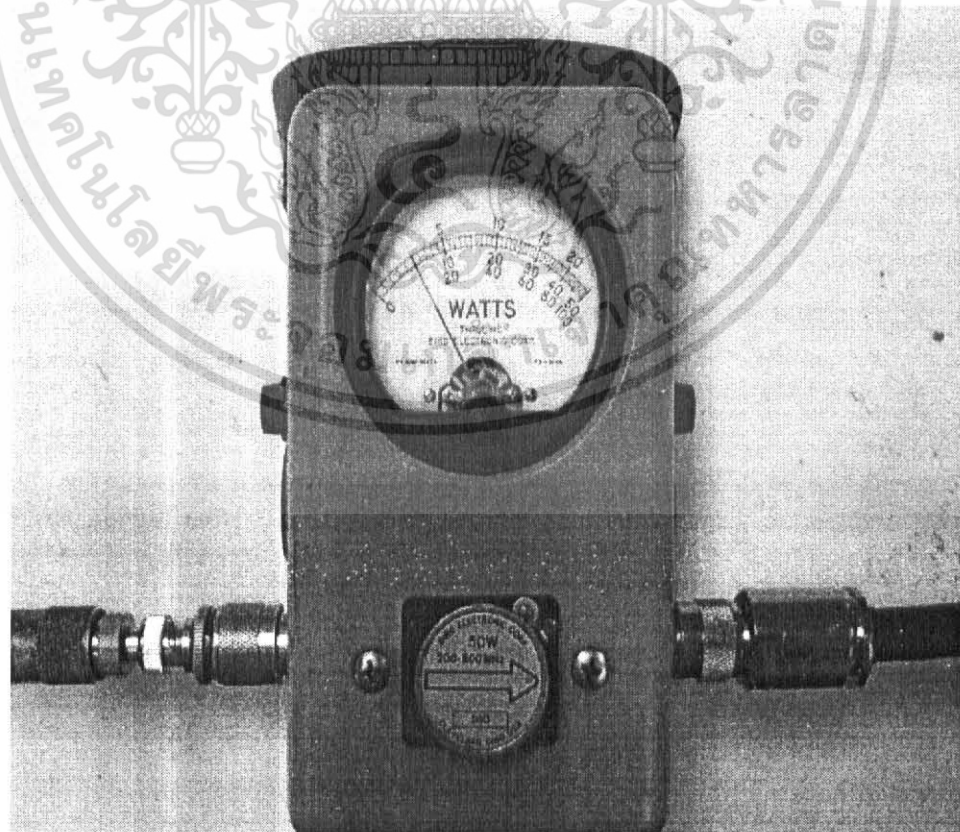


รูปที่ 6.6 ชุด RF Power Amplifier 5 Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

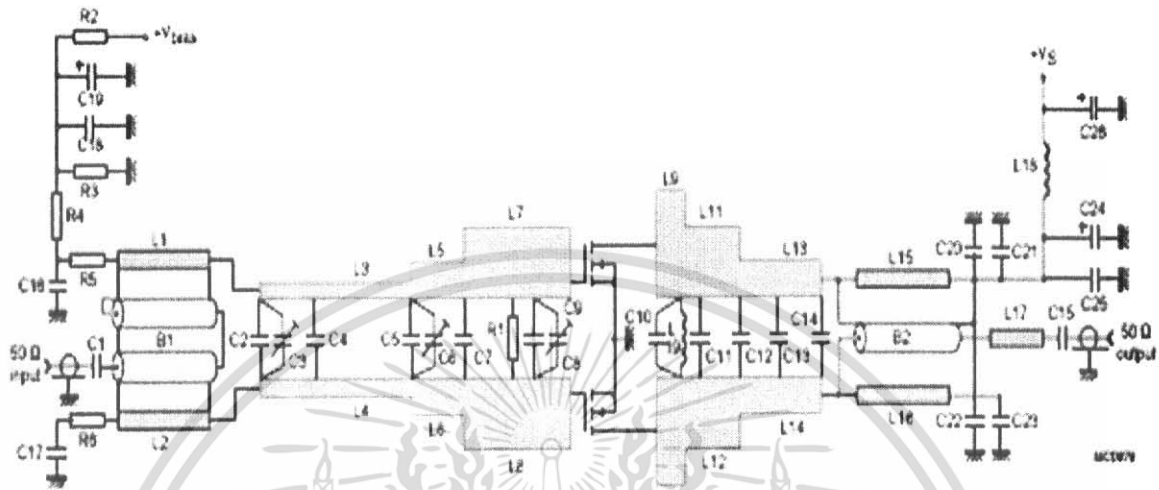


รูปที่ 6.7 การวัด Wave Form ของ ชุด RF Power Amplifier Stageแรก ได้ Gain การขยาย = -57.50 dBm

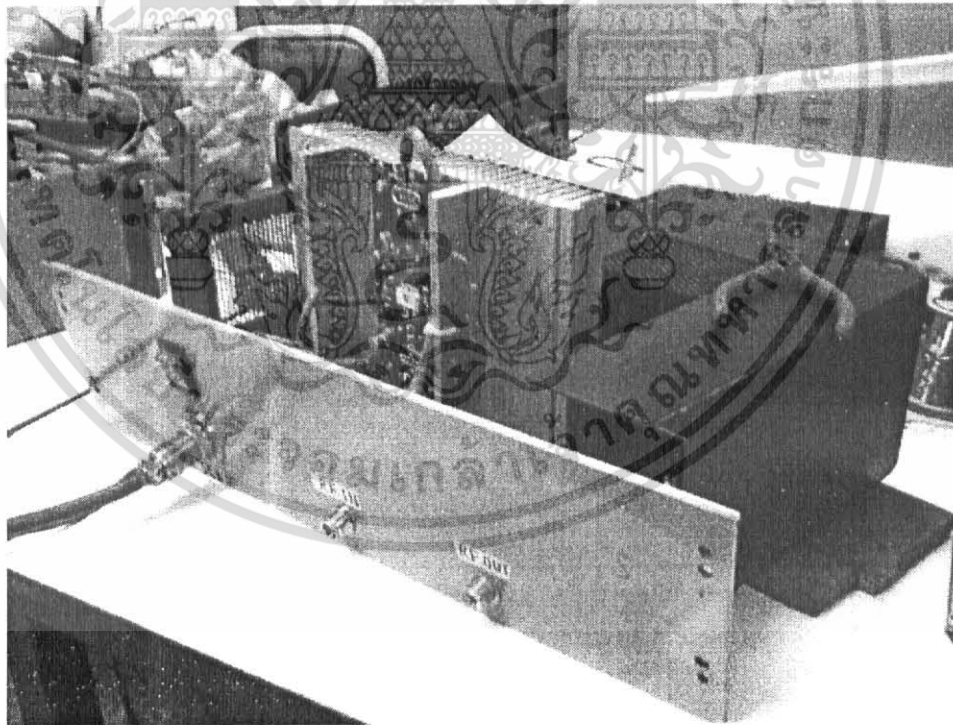


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 6.8 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stageแรก ได้กำลังส่ง 5Watts ค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ภาค RF Power Amplifier Stageสอง ได้กำลังขยายที่ Output 40 Watts

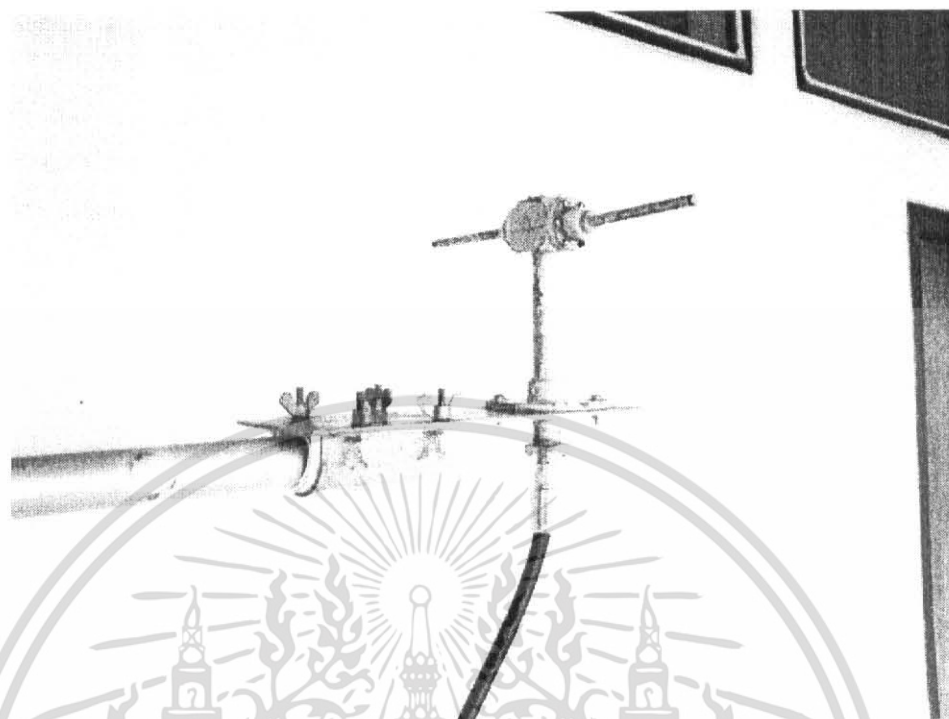


รูปที่ 6.9 วงจร RF Power Amplifier Stageสอง ได้ RF Output 40 Watts

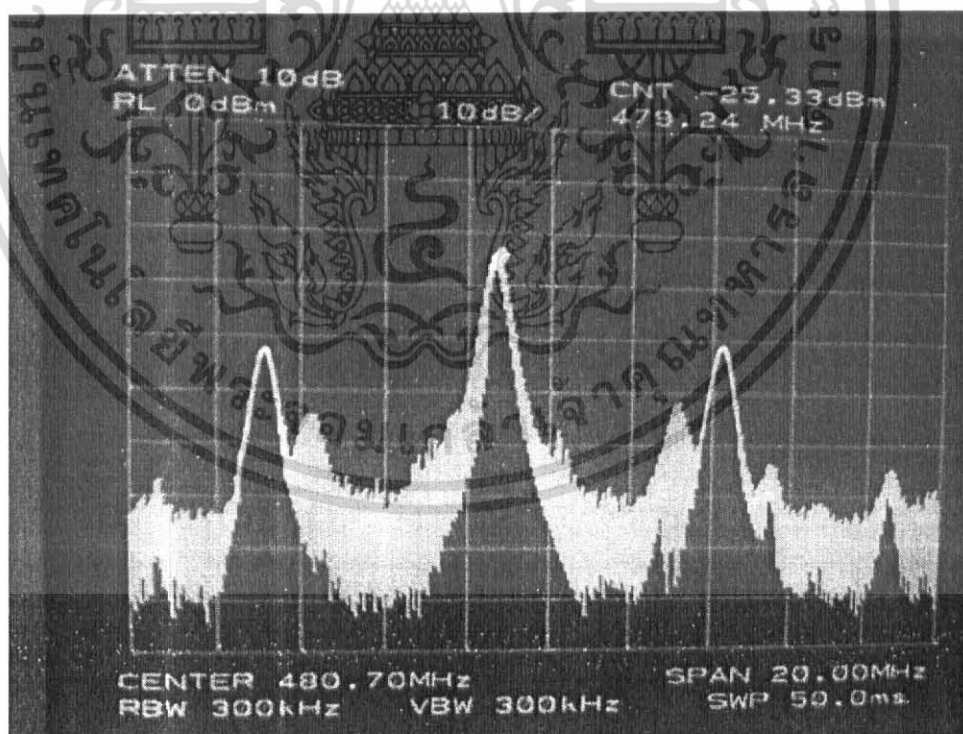


รูปที่ 6.10 ชุด RF Power Amplifier 40 Watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

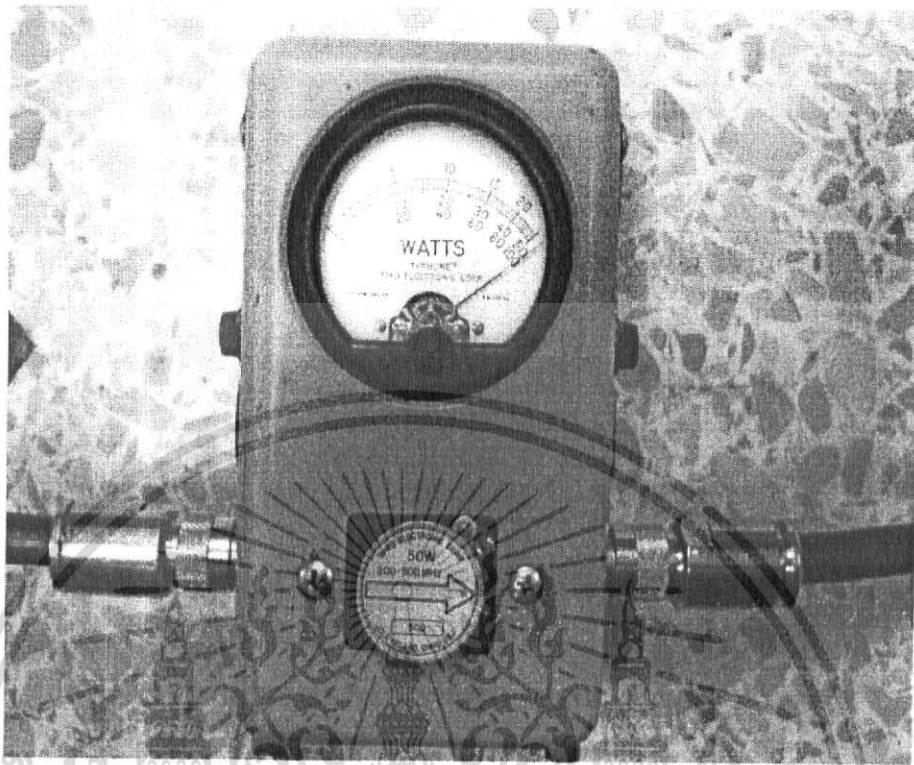


รูปที่ 6.11 ANTENNA แบบที่ 1



รูปที่ 6.12 การวัด Wave Form ของชุด RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 1 ได้ Gain การขยาย = -25.33 dBm

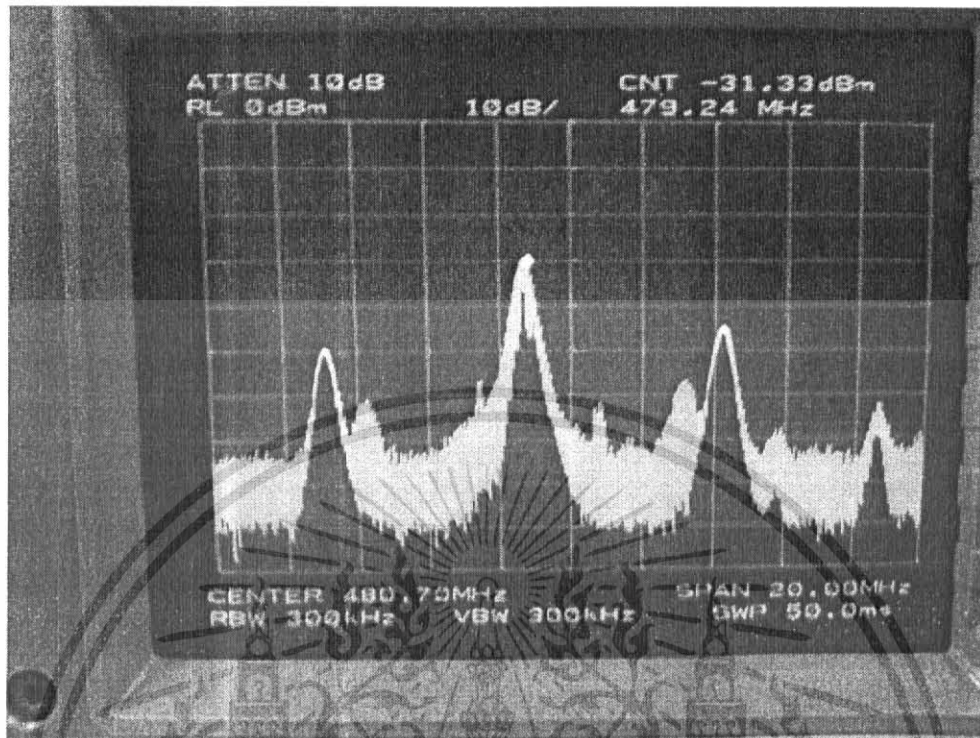
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



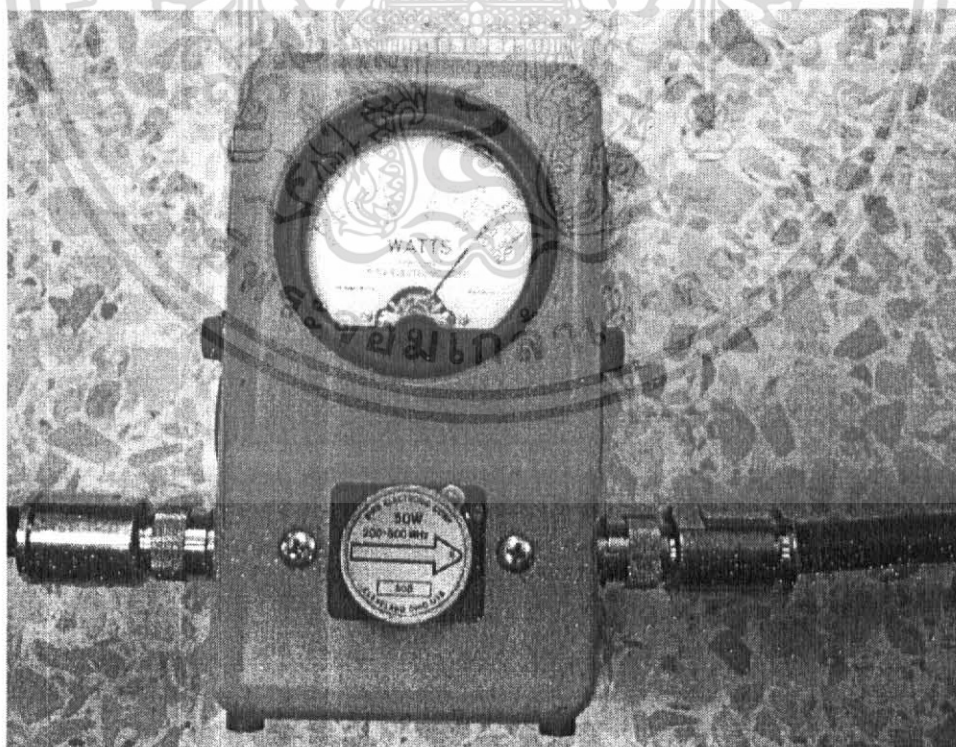
รูปที่ 6.13 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna ตัวที่ 1 ได้กำลังส่ง 50 Watts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 6.14 ANTENNA แบบที่ 2 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 การวัด Wave Form ของชุด RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 2 ได้ Gain การขยาย = -31.33 dBm



รูปที่ 6.16 การวัดสัญญาณ Output ของ RF Power Amplifier Stage 2 ของ Antenna แบบที่ 2 ได้

กำลังส่ง 40 Watts

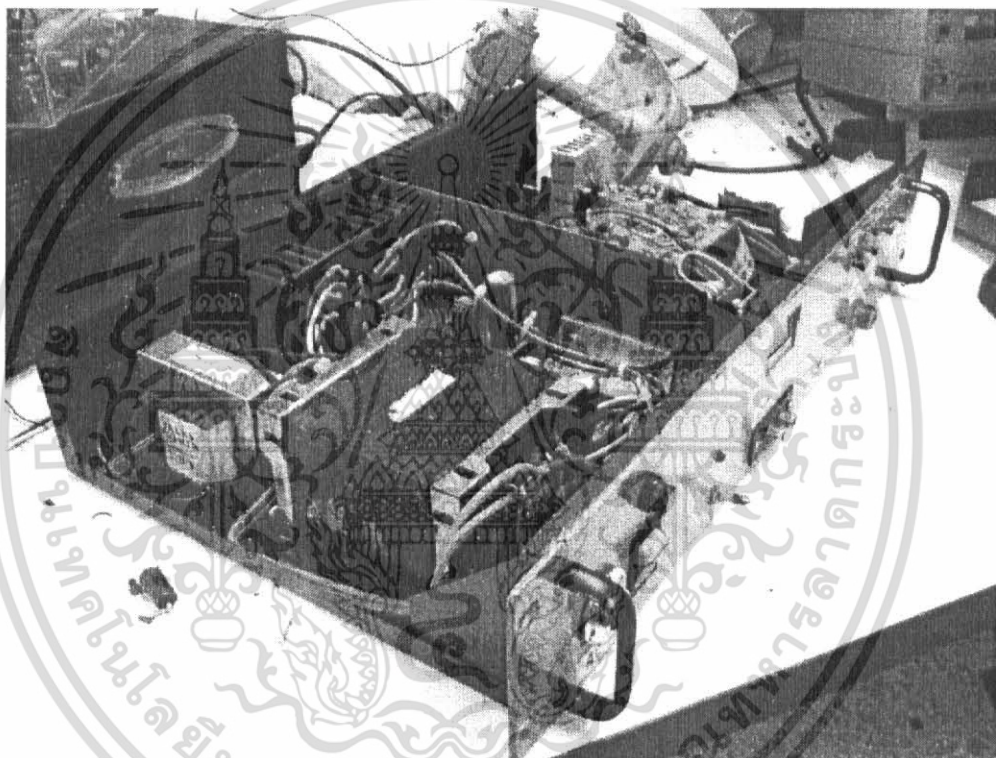
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การวัดค่าสัญญาณย้อนกลับ

- 6.5.1 ต่อเครื่องวัดวัตต์มิเตอร์ ระหว่าง Transmission กับ Antenna ได้สัญญาณย้อนกลับ
5 W

6.6 ชุด Power Supply

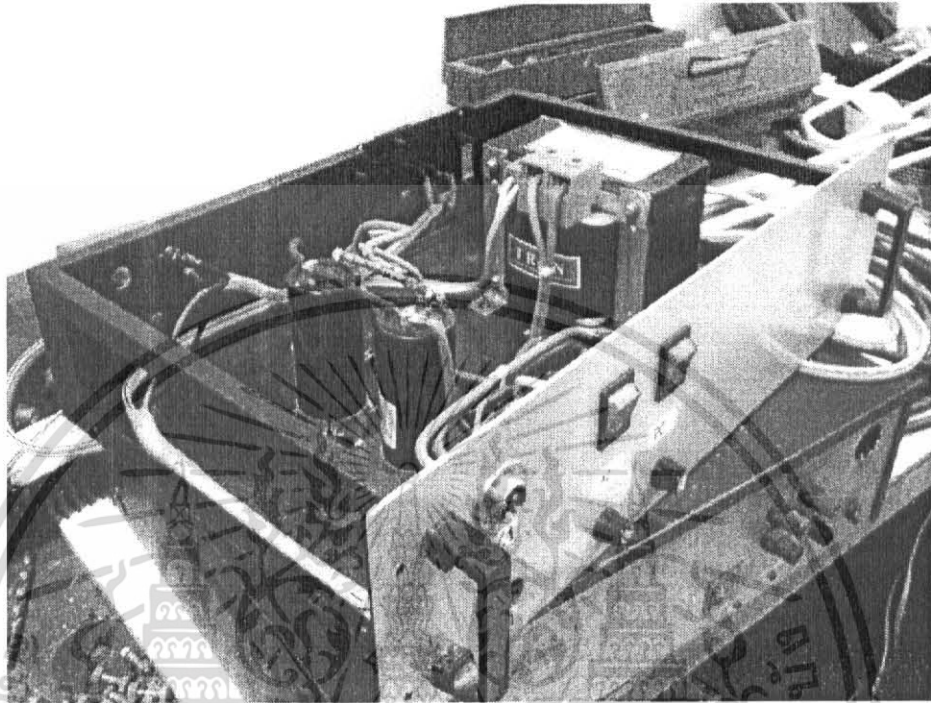
- 6.6.1 Power Supply ชุด Modulation และ Pre-Amplifier



รูปที่ 6.17 ชุด Power Supply ของ Modulation และ Pre-Amplifier

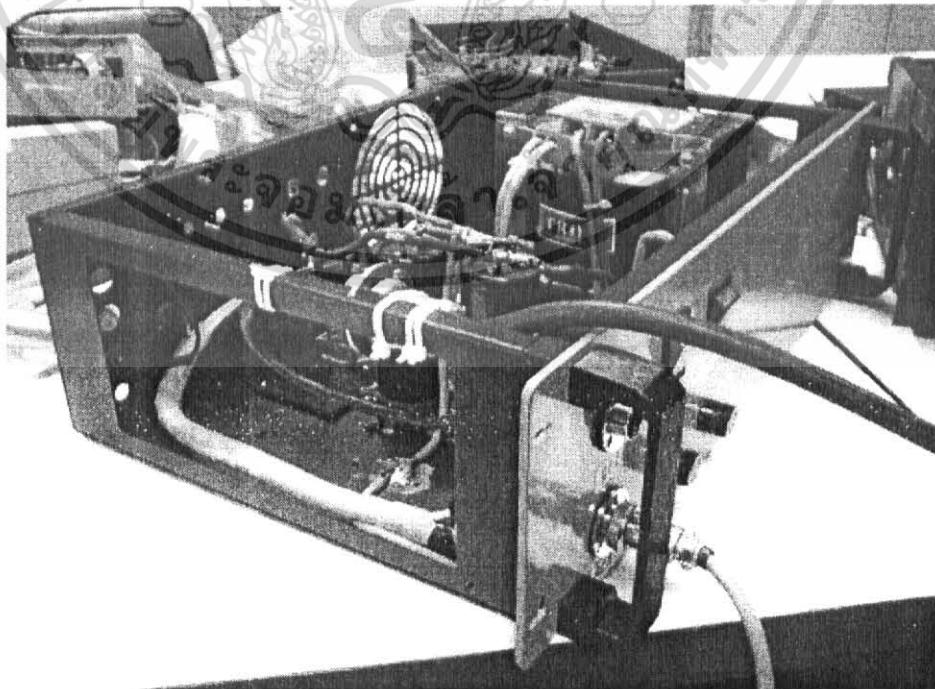
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.2 Power Supply ชุด RF Power Amplifier 5 Watts

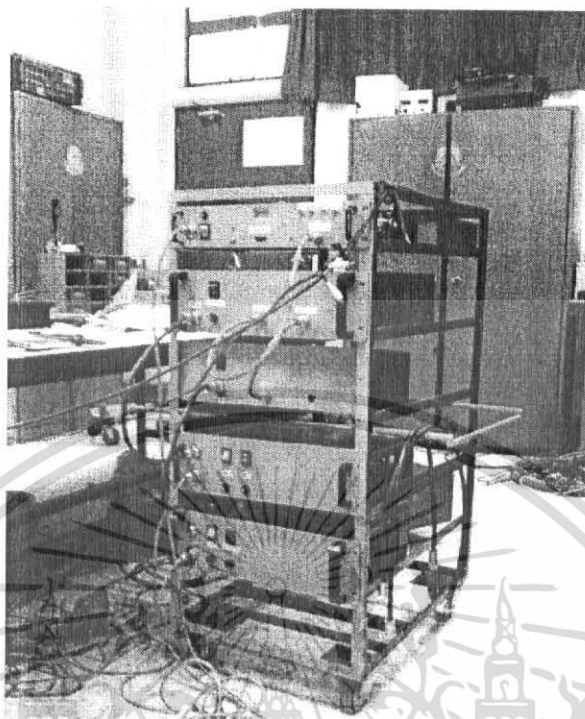


รูปที่ 6.18 ชุด Power Supply ของ RF Power Amplifier 5 Watts

6.6.3 Power Supply ชุด RF Power Amplifier 40 Watts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 6.19 ชุด Power Supply ของ RF Power Amplifier 40 Watts ษณด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 เครื่องส่ง โทรทัศน์ ระบบซูเปอร์เฮตซ์ ช่อง 22 กำลังส่ง 10 วัตต์

สรุป

1. จุดประสงค์ของปฏิญาณนิพนธ์นี้เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องส่งโทรทัศน์ให้มีกำลังส่ง 10 Watts แต่เมื่อได้ต่อชุด RF Power Amplifier Stage แรก ขยายกำลัง Output ได้ 5 Watts ซึ่งไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ได้อย่างน้อย 10 Watts คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้เพิ่ม RF Power Amplifier Stage 2 เพื่อให้มีกำลังส่งที่สูงขึ้น
2. เมื่อต่อ RF Power Amplifier Stage 2 ได้กำลังขยายที่ Output 40 Watts
3. ปัญหาสัญญาณรบกวน ต้องทำการชิลด์ (Shield) แต่ละ Stage โดยนำทองแดงทำเป็นบล็อก (Block) หุ้มอย่างมิดชิด เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวน
4. ความร้อนต้องแก้โดยการเพิ่มฮีตซิงค์ (Heat sink) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
5. การไม่ Match ของสายอากาศ (Antenna) และ สายนำสัญญาณ (Transmission line) ต้องสร้างสายอากาศให้ตรงกับความถี่ Channel 22
6. จะต้องมี filter เพื่อ filter เอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการและไม่ให้เกิดฮาร์โมนิกส์ไปรบกวนความถี่ช่องข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

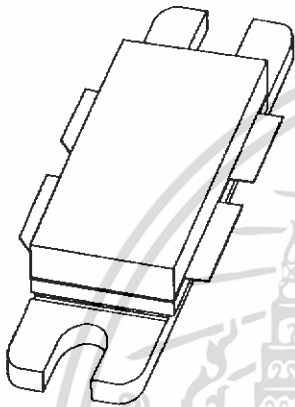
บรรณานุกรม

1. Dennis Roddy. and John Coolen. **Electronic Communications**. Third Edition. Ontario: Prentice – Hall International
2. ธวัช เมฆสวรรค์ และโยชิกะซึ ซาวามูระ. 2528. **Textbook Of Color Television Engineering**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ดวงกมล
3. วิโรจน์ แก้วจันทร์. 2548. **ทฤษฎีเครื่องส่งวิทยุและสายอากาศ**. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์
4. วสันต์ อาชาเดโชพล และแอดวานซ์เอ็นจิเนียริงกรุ๊ป. **สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง**. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
5. ถวิล พึ่งมา. 2530. **การออกแบบวงจรทางโทรคมนาคม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. ประกิจ ตั้งติสานนท์. 2527. **วิศวกรรมการสื่อสารไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



BLF861A UHF power LDMOS transistor

Product specification
Supersedes data of 2000 Aug 04

2001 Feb 09



UHF power LDMOS transistor

BLF861A

FEATURES

- High power gain
- Easy power control
- Excellent ruggedness
- Designed to withstand abrupt load mismatch errors
- Source on underside eliminates DC isolators; reducing common mode inductance
- Designed for broadband operation (UHF band)
- Internal input and output matching for high gain and optimum broadband operation.

APPLICATIONS

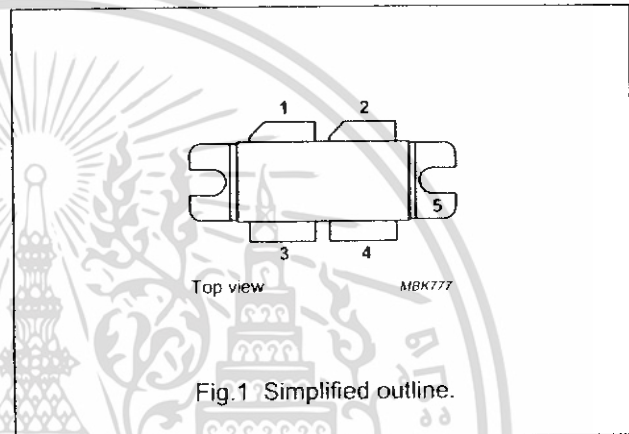
- Communication transmitter applications in the UHF frequency range.

DESCRIPTION

Silicon N-channel enhancement mode lateral D-MOS push-pull transistor in a SOT540A package with ceramic cap. The common source is connected to the mounting flange.

PINNING - SOT540A

PIN	DESCRIPTION
1	drain 1
2	drain 2
3	gate 1
4	gate 2
5	source connected to flange



QUICK REFERENCE DATA

RF performance at $T_h = 25\text{ }^\circ\text{C}$ in a common source 860 MHz test circuit.

MODE OF OPERATION	f (MHz)	V_{DS} (V)	P_L (W)	G_p (dB)	η_D (%)	ΔG_p (dB)
CW, class-AB	860	32	150	>13.5 typ. 14.5	>50	≤ 1
PAL BG (TV); class-AB	860 (ch 69)	32	>150 typ. 170 (peak sync)	>14	>40	note 1

Note

1. Sync compression: input sync $\geq 33\%$; output sync 27%.

LIMITING VALUES

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	drain-source voltage		-	65	V
V_{GS}	gate-source voltage		-	± 15	V
I_D	drain current (DC)		-	18	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	318	W
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		-	200	$^\circ\text{C}$

UHF power LDMOS transistor

BLF861A

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-mb)}$	thermal resistance from junction to mounting base	$T_{mb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}; P_{tot} = 318\text{ W}$	0.55	K/W
$R_{th(mb-h)}$	thermal resistance from mounting base to heatsink		0.2	K/W

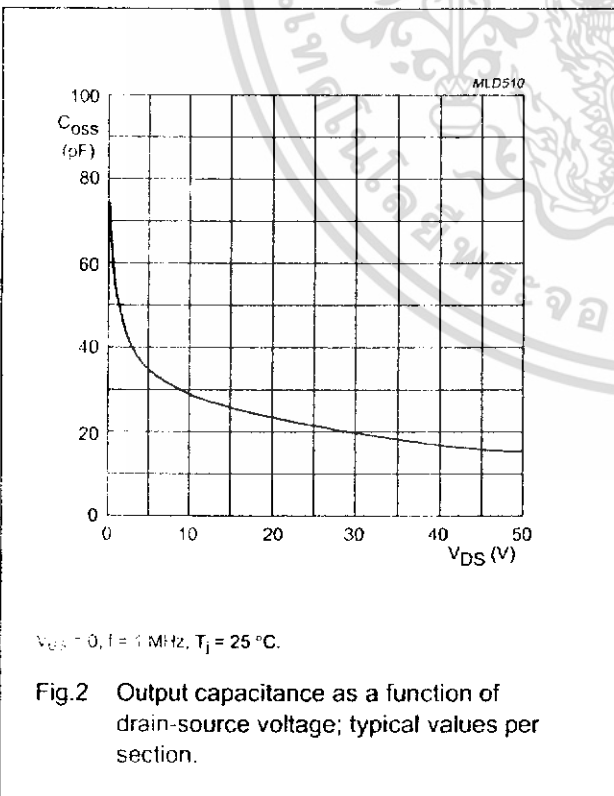
CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; per section; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0; I_D = 1.5\text{ mA}$	65	–	–	V
V_{GSth}	gate-source threshold voltage	$V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 150\text{ mA}$	4	–	5.5	V
I_{DSS}	drain-source leakage current	$V_{GS} = 0; V_{DS} = 32\text{ V}$	–	–	2.2	μA
I_{DSC}	drain cut-off current	$V_{GS} = V_{GSth} + 9\text{ V}; V_{DS} = 10\text{ V}$	18	–	–	A
I_{GSS}	gate leakage current	$V_{GS} = \pm 15\text{ V}; V_{DS} = 0$	–	–	25	nA
g_{fs}	forward transconductance	$V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 4\text{ A}$	–	4	–	S
$R_{DS(on)}$	drain-source on-state resistance	$V_{GS} = V_{GSth} + 9\text{ V}; I_D = 4\text{ A}$	–	160	–	m Ω
C_{iss}	input capacitance	$V_{GS} = 0; V_{DS} = 32\text{ V}; f = 1\text{ MHz}^{(1)}$	–	82	–	pF
C_{oss}	output capacitance	$V_{GS} = 0; V_{DS} = 32\text{ V}; f = 1\text{ MHz}^{(1)}$	–	40	–	pF
C_{rss}	feedback capacitance	$V_{GS} = 0; V_{DS} = 32\text{ V}; f = 1\text{ MHz}^{(1)}$	–	6	–	pF

Note

1. Capacitance values without internal matching.



UHF power LDMOS transistor

BLF861A

APPLICATION INFORMATION

RF performance in a common source 860 MHz test circuit. $T_h = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $R_{th\text{mb-h}} = 0.15\text{ K/W}$; unless otherwise specified.

MODE OF OPERATION	f (MHz)	V _{DS} (V)	I _{DQ} (A)	P _L (W)	G _p (dB)	η_D (%)	d _{lm} (dBc)	ΔG_p (dB)
CW, class-AB	860	32	1	150	>13.5 typ. 14.5	>50	–	≤1
2-tone, class-AB	f ₁ = 860 f ₂ = 860.1	32	1	150 (PEP)	>14	>40	≤-25	–
PAL BG (TV); class-AB	860 (ch 69)	32	1	> 150 typ. 170 (peak sync)	>14	>40	–	note 1

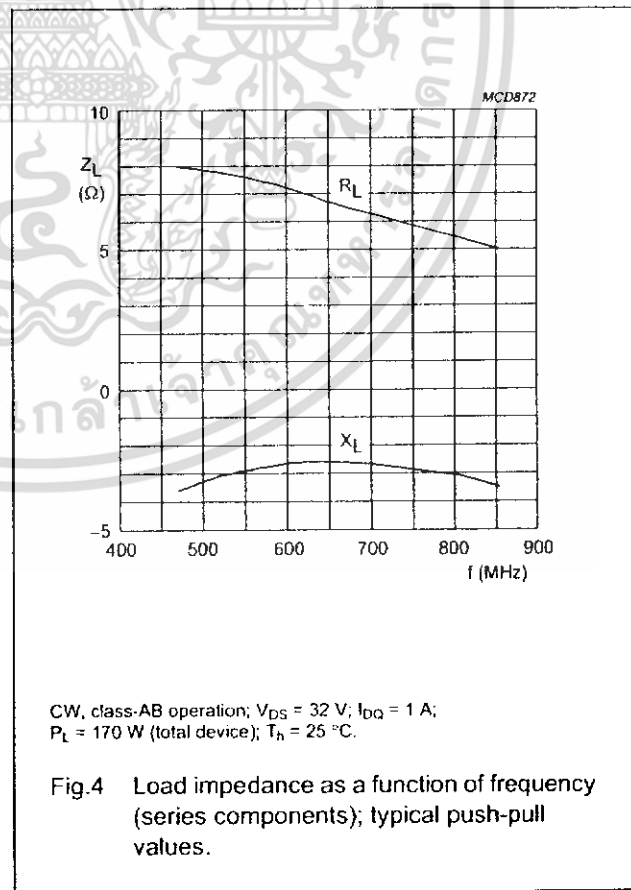
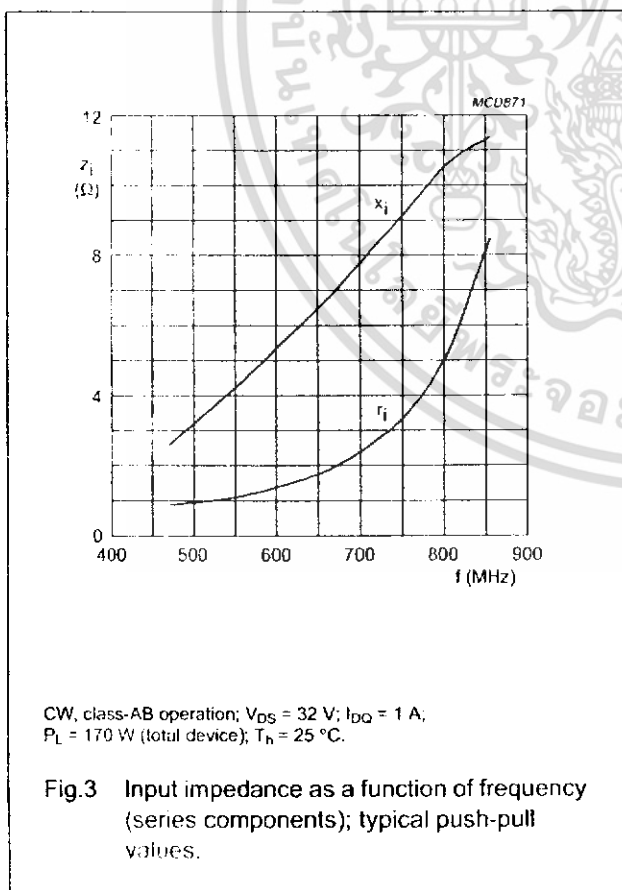
Note

1. Sync compression: input sync ≥ 33%; output sync 27% measured in an 860 MHz test circuit.

Ruggedness in class-AB operation

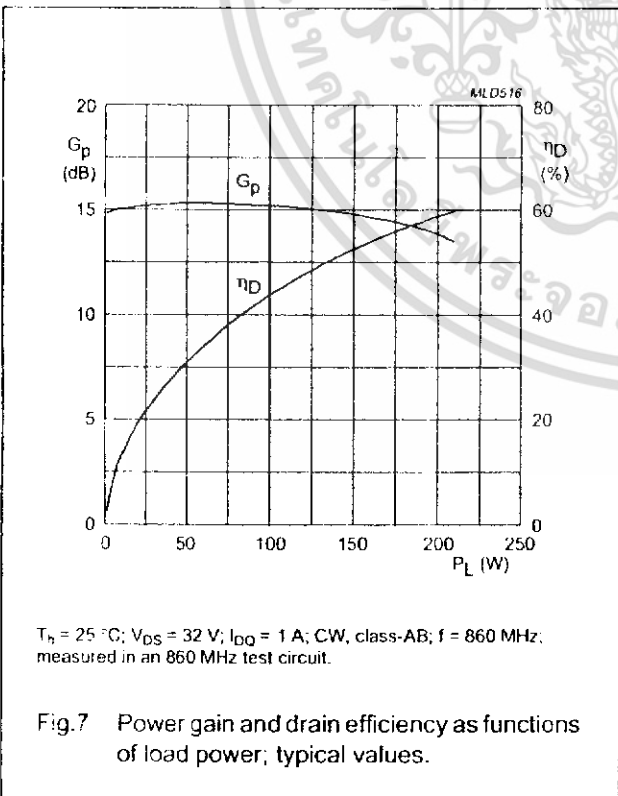
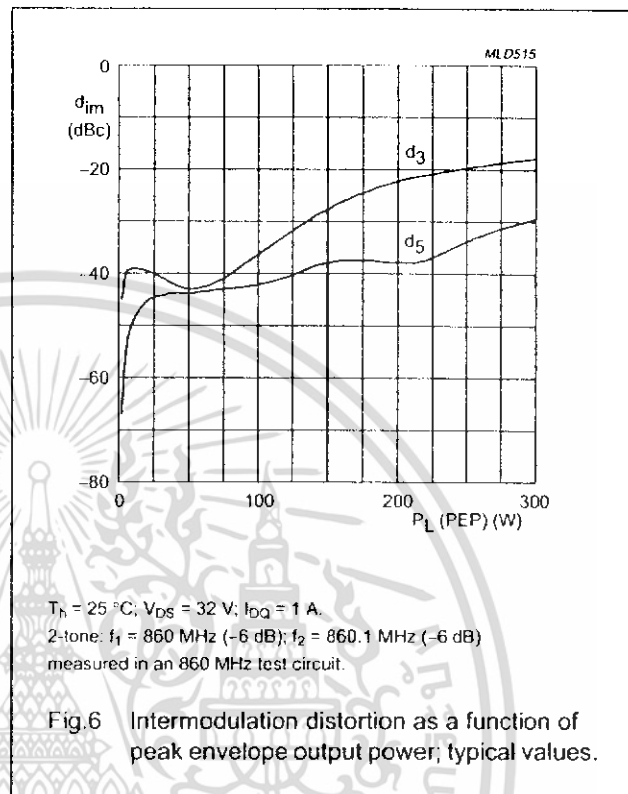
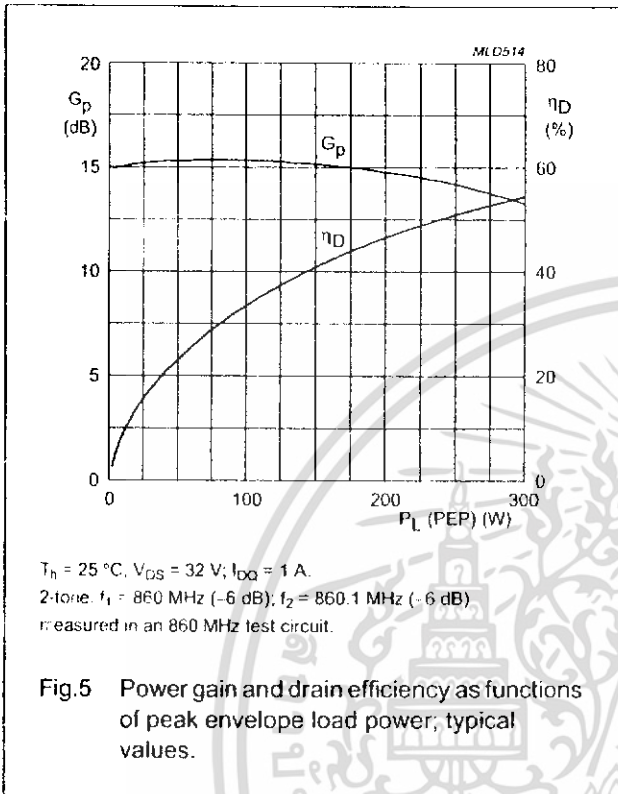
The BLF861A is capable of withstanding a load mismatch corresponding to VSWR = 10 : 1 through all phases under the following conditions: V_{DS} = 32 V; f = 860 MHz at rated load power.

The BLF861A is an improved version of the BLF861 on ruggedness and is capable to withstand abrupt source or load mismatch errors under the nominal power condition.



UHF power LDMOS transistor

BLF861A



UHF power LDMOS transistor

BLF861A

List of components class-AB broadband test circuit (see Figs 8 and 9)

COMPONENT	DESCRIPTION	VALUE	DIMENSIONS	CATALOGUE No.
C1	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	20 pF		
C2	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	4.3 pF		
C3, C6, C9	tekelec trimmer	0.6 to 4.5 pF		
C4	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	9.1 pF		
C5	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	10 pF		
C7	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	5.1 pF		
C8	multilayer ceramic chip capacitor; note 1	13 pF		
C10, C11	multilayer ceramic chip capacitor; note 2	8.2 pF		
C12, C13	multilayer ceramic chip capacitor; note 2	6.8 pF		
C14	multilayer ceramic chip capacitor; note 3	1 pF		
C15	multilayer ceramic chip capacitor; note 3	20 pF		
C16, C17	multilayer ceramic chip capacitor	1 nF		
C17	multilayer ceramic chip capacitor	100 nF		
C19, C26	multilayer ceramic chip capacitor	100 μ F		
C20, C21, C22, C23	multilayer ceramic chip capacitor; note 2	100 pF		
C24	electrolytic capacitor	1000 μ F		
C25	multilayer ceramic chip capacitor	1 μ F		2222 595 16754
L1, L2	stripline; note 4		30.6 \times 2.4 mm	
L3, L4	stripline; note 4		28 \times 2.4 mm	
L5, L6	stripline; note 4		10 \times 5 mm	
L7, L8	stripline; note 4		20 \times 10 mm	
L9, L10	stripline; note 4		5.5 \times 15 mm	
L11, L12	stripline; note 4		10 \times 10 mm	
L13, L14	stripline; note 4		15 \times 5 mm	
L15, L16	stripline; note 4		48.5 \times 2.4 mm	
L17	stripline; note 4		10 \times 2.4 mm	
L18	ferrite			
L19	wire inductor (hairpin)		length = 17 mm	
B1	semi rigid coax balun UT70-25	$Z = 25 \Omega \pm 1.5 \Omega$	70 mm	
B2	semi rigid coax balun UT70-25	$Z = 25 \Omega \pm 1.5 \Omega$	48.5 mm	

UHF power LDMOS transistor

BLF861A

COMPONENT	DESCRIPTION	VALUE	DIMENSIONS	CATALOGUE No.
R1	resistor	33 Ω		
R2	resistor	1 k Ω		
R3	resistor	100 k Ω		
R4	resistor	100 Ω		
R5, R6	SMD resistor	3.9 Ω		

Notes

1. American Technical Ceramics type 100A or capacitor of same quality.
2. American Technical Ceramics type 180R or capacitor of same quality.
3. American Technical Ceramics type 100B or capacitor of same quality.
4. The striplines are on a double copper-clad printed-circuit board: Rogers 5880 ($\epsilon_r = 2.2$); thickness 0.79 mm.



UHF power LDMOS transistor

BLF861A

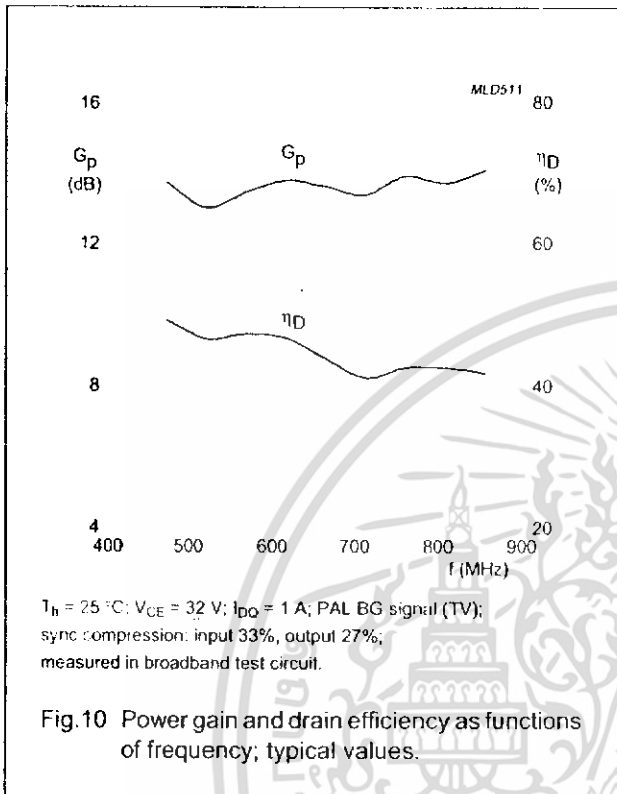


Fig. 10 Power gain and drain efficiency as functions of frequency; typical values.

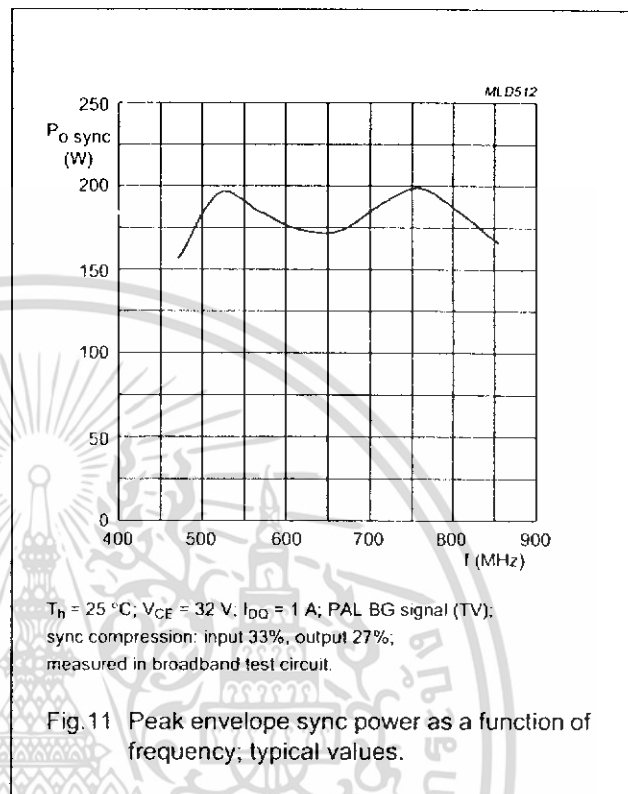


Fig. 11 Peak envelope sync power as a function of frequency; typical values.

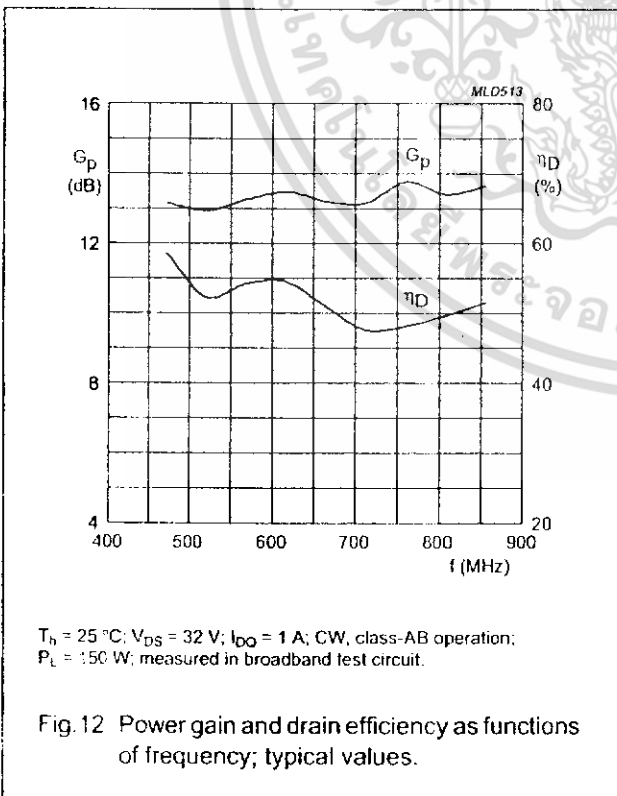


Fig. 12 Power gain and drain efficiency as functions of frequency; typical values.

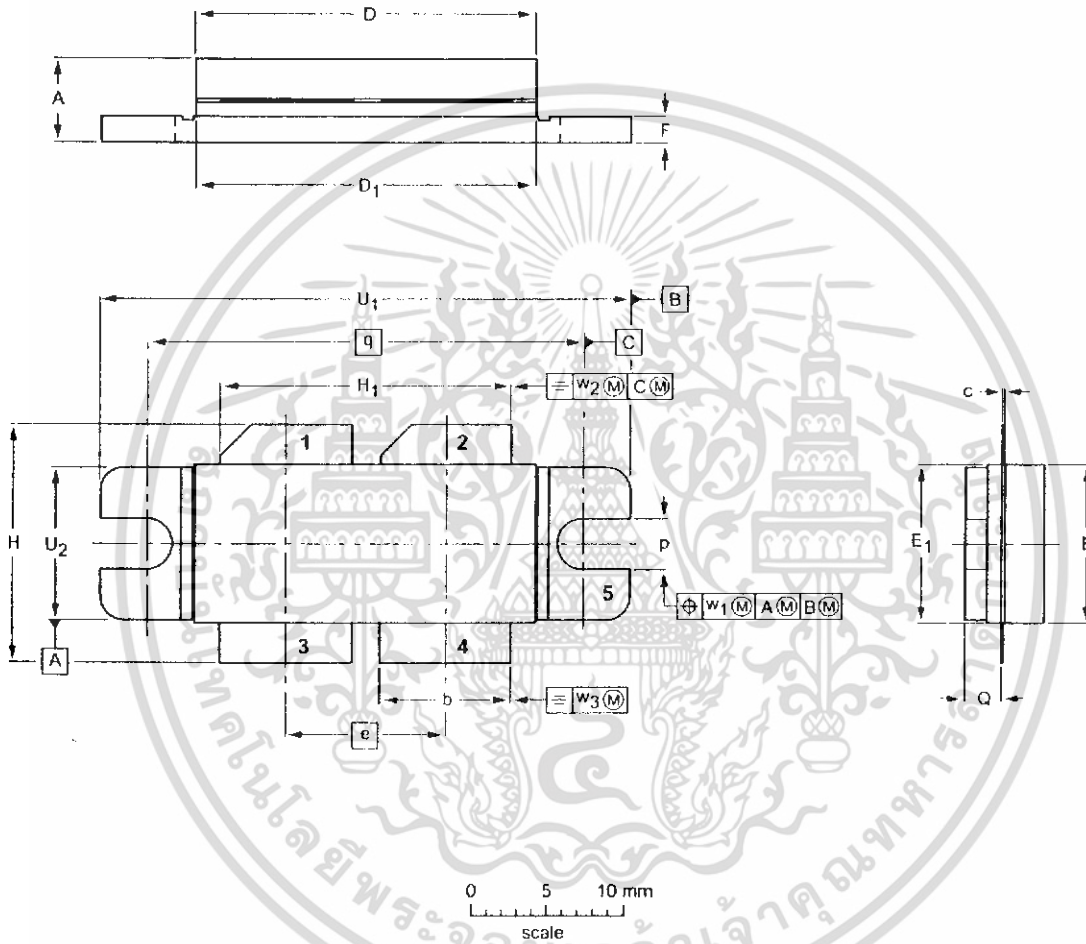
UHF power LDMOS transistor

BLF861A

PACKAGE OUTLINE

Flanged balanced LDMOST ceramic package; 2 mounting holes; 4 leads

SOT540A



DIMENSIONS (millimetre dimensions are derived from the original inch dimensions)

UNIT	A	b	c	D	D ₁	e	E	E ₁	F	H	H ₁	p	Q	q	U ₁	U ₂	w ₁	w ₂	w ₃
mm	5.77 5.00	8.51 8.26	0.15 0.10	22.05 21.64	22.05 21.64	10.21	10.26 10.06	10.31 10.01	1.78 1.52	15.75 14.73	18.72 18.47	3.38 3.12	2.72 2.46	27.94	34.16 33.91	9.91 9.65	0.25	0.51	0.25
inches	0.227 0.197	0.335 0.325	0.006 0.004	0.868 0.852	0.868 0.852	0.402	0.404 0.396	0.406 0.394	0.070 0.060	0.620 0.580	0.737 0.727	0.133 0.123	0.107 0.097	1.100	1.345 1.335	0.390 0.380	0.010	0.020	0.010

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT540A						99-08-27 99-12-28

UHF power LDMOS transistor

BLF861A

DATA SHEET STATUS

DATA SHEET STATUS	PRODUCT STATUS	DEFINITIONS ⁽¹⁾
Objective specification	Development	This data sheet contains the design target or goal specifications for product development. Specification may change in any manner without notice.
Preliminary specification	Qualification	This data sheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product.
Product specification	Production	This data sheet contains final specifications. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product.

Note

1. Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.

DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

DISCLAIMERS

Life support applications — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes, without notice, in the products, including circuits, standard cells, and/or software, described or contained herein in order to improve design and/or performance. Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

CAUTION

This product is supplied in anti-static packing to prevent damage caused by electrostatic discharge during transport and handling. For further information, refer to Philips specs.: SNW-EQ-608, SNW-FQ-302A and SNW-FQ-302B.

สำหรับเบอร์ต่าง ๆ ของสายโคแอกเชียล แสดงดังต่อไปนี้

เบอร์สาย	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	ค่าตัวคูณความเร็ว	ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	วัสดุใช้ทำ ไดอิเล็กตริก	แรงดันใช้งาน สูงสุด (V_{rms})
RG-6	75.0	75	18.6	0.266	Foam PE	400
RG-8x	52.0	75	26.0	0.242	Roam 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	20.6	0.405	PE	4000
RG-11 foam	75.0	80	18.9	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	17000
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-58 foam	53.5	79	28.5	0.195	Foam PE	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System Characteristics	M	B,C,H	I	D,K,K1	L	C	E,F	A	N
Number of line per picture (frame)	525	625	625	625	625	625	819	405	625
Field frequency หรือ Vertical Scanning Frequency (Hz)	60	50	50	50	50	50	50	50	50
Frame frequency (pictures /sec)	30	25	25	25	25	25			
Line frequency หรือ Horizontal scanning frequency (Hz)	15,750	15,625	15,625	15,625	15,625	15,625	20,474	10,125	15,625
Nominal video bandwidth (MHz)	4.2	5.0	5.5	6.0	6.0	5.0	10.0, 5.0	3.0	4.2
Channel bandwidth (MHz)	6.0	7.0,8.0, 8.0	8.0	8.0,8.5, 8.5	8.0	7.0	14.0, 7.0	5.0	6.0
Sound Carrier relative to vision carrier (MHz)	+4.5	+5.5	+6.0	+6.5	+6.5	+5.5	11.15+5.5	-3.5	+4.5
Vestigial sideband (MHz)	0.75	0.75,0.75, 1.25	1.25	0.75	1.25	0.75	2.0,0.75	0.75	0.75
Polarity of vision modulation	negative	negative	negative	negative	positive	positive	positive	positive	positive
Type of sound modulation	+ F ₃ 25 kHz(FM)	+ F ₃ 50 kHz(FM)	+ F ₃ 50 kHz(FM)	+ F ₃ 50 kHz(FM)	A ₃ (AM)	A ₃ (AM)	A ₃ (AM)	A ₃ (AM)	+ F ₃ 25 kHz(FM)
Classification	525 lines Eia standard (American standard)	CCIR standard (west European standard)	British standard	OIRT standard (East European standard)	French standard	Belgian standard	British standard	British standard	625 lines American standard
Area used	USA, JAPAN, FOMOSA, KOREA	THAILAND, CONTINENTAL EUROPE (EXCT. FRANCH, MONACO, OIRT- MEMBERS)	USSA and OIRT MEMBERS (EXCL. GERMAN, DEMOCRATIC REPUBLIC)	FRANCE (UHF)	BELGIAN (VHF)	FRANCE (VHF)	VHF,UK HONGKONG (CCTV)	JAMAICA ARGENTINA	

ความแตกต่างของระบบการรับ-ส่งโทรทัศน์ที่มีใช้ทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E EUROPEAN STANDARD (CCIR)	A AMERICAN STANDARD (FCC)
Band I VHF Channel E 2 47 MHz – 54 MHz Channel E 3 54 MHz – 61 MHz Channel E 4 61 MHz – 68 MHz	Channel A 2 54 MHz – 60 MHz Channel A 3 60 MHz – 66 MHz Channel A 3 60 MHz – 66 MHz Channel A 4 66 MHz – 72 MHz Channel A 5 76 MHz – 82 MHz
Band III VHF Channel E 5 174 MHz – 181 MHz Channel E 6 181 MHz – 188 MHz Channel E 7 188 MHz – 195 MHz Channel E 8 195 MHz – 202 MHz Channel E 9 202 MHz – 209 MHz Channel E 10 209 MHz – 216 MHz Channel E 11 216 MHz – 223 MHz Channel E 12 223 MHz – 230 MHz	Channel A 6 82 MHz – 88 MHz Channel A 7 174 MHz – 180 MHz Channel A 8 180 MHz – 186 MHz Channel A 9 186 MHz – 192 MHz Channel A 10 192 MHz – 197 MHz Channel A 11 198 MHz – 204 MHz Channel A 12 204 MHz – 210 MHz Channel A 13 210 MHz – 216 MHz Channel A 14 470 MHz – 476 MHz Channel A 15 476 MHz – 482 MHz
Band IV UHF Channel 21 470 MHz – 477 MHz Channel 22 478 MHz – 485 MHz Channel 23 486 MHz – 493 MHz Channel 24 494 MHz – 501 MHz Channel 25 502 MHz – 509 MHz Channel 26 510 MHz – 517 MHz Channel 27 518 MHz – 525 MHz Channel 28 526 MHz – 533 MHz Channel 29 534 MHz – 541 MHz Channel 30 542 MHz – 549 MHz Channel 31 550 MHz – 557 MHz Channel 32 558 MHz – 565 MHz Channel 33 566 MHz – 573 MHz Channel 34 574 MHz – 581 MHz	Channel A 16 482 MHz – 488 MHz Channel A 17 488 MHz – 494 MHz Channel A 18 494 MHz – 500 MHz Channel A 19 500 MHz – 506 MHz Channel A 20 506 MHz – 512 MHz Channel A 21 512 MHz – 518 MHz Channel A 22 518 MHz – 524 MHz Channel A 23 524 MHz – 530 MHz Channel A 24 530 MHz – 536 MHz Channel A 25 536 MHz – 542 MHz Channel A 26 542 MHz – 548 MHz Channel A 27 548 MHz – 554 MHz Channel A 28 554 MHz – 560 MHz Channel A 29 560 MHz – 566 MHz Channel A 30 566 MHz – 572 MHz Channel A 31 572 MHz – 578 MHz

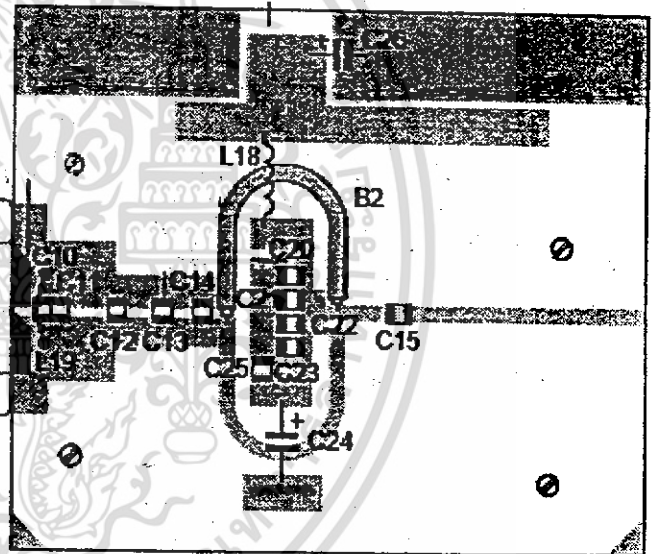
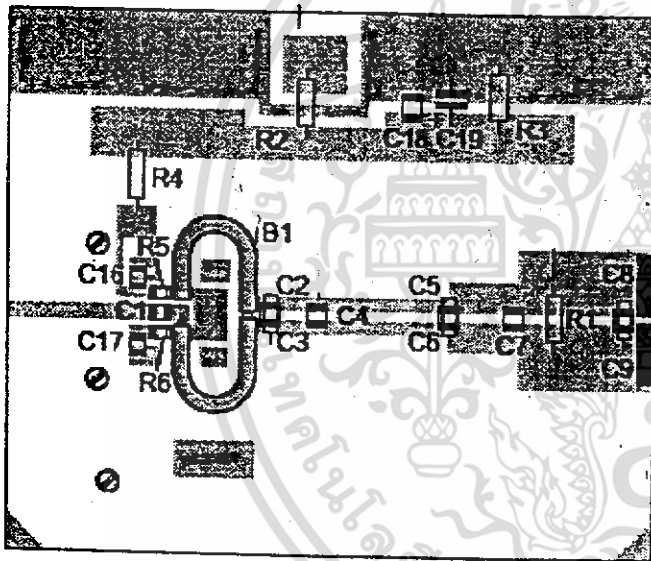
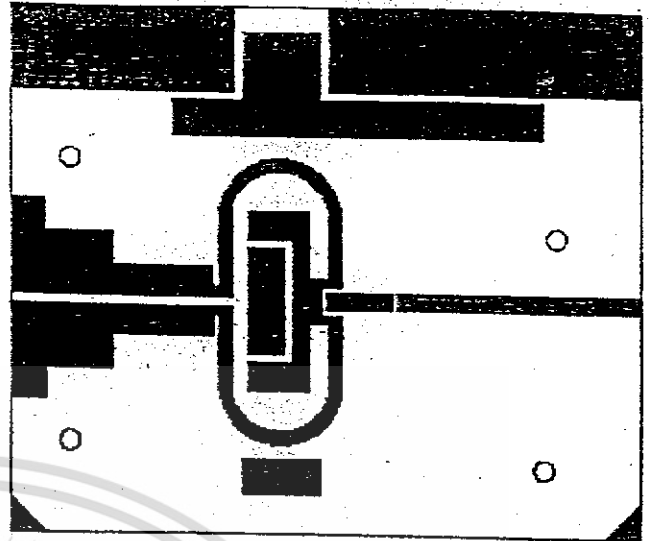
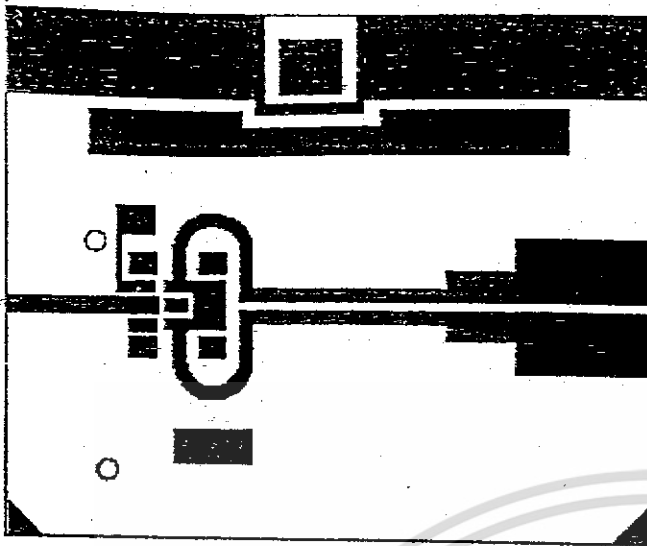
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel 35	582 MHz – 589 MHz	Channel A 32	578 MHz – 584 MHz
Channel 36	590 MHz – 597 MHz	Channel A 33	584 MHz – 590 MHz
Channel 37	598 MHz – 605 MHz	Channel A 34	590 MHz – 596 MHz
Band V UHF		Channel A 35	596 MHz – 602 MHz
Channel 38	606 MHz – 613 MHz	Channel A 36	602 MHz – 608 MHz
Channel 39	614 MHz – 621 MHz	Channel A 37	608 MHz – 614 MHz
Channel 40	622 MHz – 629 MHz	Channel A 38	614 MHz – 620 MHz
Channel 41	630 MHz – 637 MHz	Channel A 39	620 MHz – 626 MHz
Channel 42	638 MHz – 645 MHz	Channel A 40	626 MHz – 632 MHz
Channel 43	646 MHz – 654 MHz	Channel A 41	632 MHz – 638 MHz
Channel 44	654 MHz – 661 MHz	Channel A 42	638 MHz – 644 MHz
Channel 45	662 MHz – 669 MHz	Channel A 43	644 MHz – 649 MHz
Channel 46	670 MHz – 677 MHz	Channel A 44	650 MHz – 656 MHz
Channel 47	678 MHz – 685 MHz	Channel A 45	656 MHz – 662 MHz
Channel 48	686 MHz – 693 MHz	Channel A 46	662 MHz – 668 MHz
Channel 49	694 MHz – 701 MHz	Channel A 47	668 MHz – 674 MHz
Channel 50	702 MHz – 709 MHz	Channel A 48	674 MHz – 680 MHz
Channel 51	710 MHz – 717 MHz	Channel A 49	680 MHz – 686 MHz
Channel 52	718 MHz – 725 MHz	Channel A 50	687 MHz – 692 MHz
Channel 53	726 MHz – 733 MHz	Channel A 51	692 MHz – 698 MHz
Channel 54	734 MHz – 741 MHz	Channel A 52	698 MHz – 704 MHz
Channel 55	742 MHz – 749 MHz	Channel A 53	704 MHz – 710 MHz
Channel 56	750 MHz – 757 MHz	Channel A 54	710 MHz – 716 MHz
Channel 57	758 MHz – 765 MHz	Channel A 55	716 MHz – 722 MHz
Channel 58	766 MHz – 773 MHz	Channel A 56	722 MHz – 725 MHz
Channel 59	774 MHz – 781 MHz	Channel A 57	728 MHz – 734 MHz
Channel 60	782 MHz – 789 MHz	Channel A 58	734 MHz – 740 MHz
Channel 61	790 MHz – 797 MHz	Channel A 59	740 MHz – 746 MHz
Channel 62	798 MHz – 805 MHz	Channel A 60	746 MHz – 752 MHz
Channel 63	806 MHz – 813 MHz	Channel A 61	752 MHz – 758 MHz
Channel 64	814 MHz – 821 MHz	Channel A 62	758 MHz – 764 MHz
Channel 65	822 MHz – 929 MHz	Channel A 63	764 MHz – 770 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel A 64	770 MHz – 776 MHz
Channel A 65	776 MHz – 782 MHz
Channel A 66	782 MHz – 788 MHz
Channel A 67	788 MHz – 794 MHz
Channel A 68	794 MHz – 800 MHz
Channel A 69	800 MHz – 806 MHz
Channel A 70	806 MHz – 812 MHz
Channel A 71	812 MHz – 818 MHz
Channel A 72	818 MHz – 824 MHz
Channel A 73	824 MHz – 830 MHz
Channel A 74	830 MHz – 834 MHz
Channel A 75	836 MHz – 841 MHz
Channel A 76	842 MHz – 847 MHz
Channel A 77	848 MHz – 853 MHz
Channel A 78	854 MHz – 859 MHz
Channel A 79	860 MHz – 866 MHz
Channel A 80	866 MHz – 872 MHz
Channel A 81	872 MHz – 878 MHz
Channel A 82	878 MHz – 884 MHz
Channel A 83	884 MHz – 890 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่ง ชุด Modulation ให้ได้ Channel ที่ 22

CHANNEL SELECTION

ก่อนที่จะตัดสินใจว่าจะใช้ช่องอะไร ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ สำหรับการคัดเลือกช่องครั้งแรกในการเซ็ท ทวี นั้น เป็นไปไม่ได้ที่จะผ่านผู้จับจองทุกๆ สถานี และถ้าเป็นไปได้ควรจะตัดสัญญาณที่ไม่แรงออกไปก่อน การที่เราเลือกช่องที่ไม่มีสัญญาณรบกวนนั้น หรือช่องสัญญาณที่ดีนั้น จะทำให้เราได้ภาพที่ดีกว่าที่ระยะทางไกล และถ้าเป็นไปได้ควรเลี่ยงช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน เพราะจะทำให้มีการแทรกสัญญาณที่ไม่ต้องการ

OPERATION

TVPLL จะมีคุณสมบัติสำหรับจอ LCD คือ เก็บได้ 8 ตัวอักษร 2แถว และจะมี KEY BOARD ในการใช้กดอยู่ 4 ปุ่ม เมื่อไหร่ที่ POWER เปิดขึ้น LCD จะจัดวางข้อมูลแสดงที่ด้านหน้า เป็น CURRENT OUTPUT MODE และมีการเซ็ท CURRENT P/S RATIO

UP CYCLE ที่ผ่านตัวเลือกมีความเป็นไปได้ ที่จะไปข้างหน้าหรือมีทิศทางขึ้น เมนูจะมีเพียงสองตัวเลือกโดยใช้ ENTER KEY เพื่อจะเปลี่ยนระหว่างทั้งสอง

DOWN CYCLE ที่ผ่านตัวเลือก ที่เป็นไปได้ ในทางกลับกัน หรือมีทิศทางเคลื่อนที่ลง เมนูจะมีสองตัวเลือกโดยใช้ ENTER KEY เพื่อจะเปลี่ยนระหว่างทั้งสอง

MENU [SQUARE] CYCLE จอภาพเมนูจะเป็นไปตามลำดับที่ถูกแสดงข้างล่าง

ENTER [CIRCLE] การตั้งค่าในเมนูจำนวนหนึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน Note: ตัวเลือกตัวหนึ่งจะทำงานโดยทันทีทันใด เมื่อกดปุ่ม UP / DOWN ขณะที่ปุ่มอื่นๆ คือการถูกกระตุ้น โดยกดปุ่ม ENTER ในกรณีนี้ข้อมูลการยืนยัน จะถูกแสดงบน LCD อย่างรวดเร็ว

MENU SEQUENCE

INFO แต่ละเวลาที่เพิ่มขึ้นมา UNIT เป็น POWER ที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะไม่มีการเลือกที่เป็นไปได้นี้จะเป็นจอภาพ ที่ให้รายละเอียดเพียงของการเซท CURRENT ของ TVPLL โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการตั้งค่าใดๆ ปุ่มกด ENTER เข้าไปกับข่าวสารที่มีลิขสิทธิ์

CHANNEL การอนุญาตให้เลือกใช้ช่องสัญญาณจากรายการที่เริ่มจากช่องสัญญาณที่ทำงานในเวลานี้ ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกแสดงบนเส้น LCD ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ใช้ชื่อของมัน เส้น LCD ที่ต่ำกว่า จะแสดงความถี่ตามความเป็นจริงที่ตรงกัน ให้ใช้ช่องสัญญาณนั้น ช่องสัญญาณใหม่ที่ถูกเลือก คุณต้องกดเข้าไปที่ปุ่มที่จะรับการเลือกของคุณครั้งหนึ่ง ถ้าคุณตัดสินใจไม่ใช้การเปลี่ยนช่องสัญญาณ จะดำเนินการต่อไปง่ายๆ จะให้รายการเมนูอื่นๆ การเลือกช่องสัญญาณที่มี ให้ขึ้นอยู่กับบริเวณของคุณ

FREQUENCY การอนุญาตให้เลือกความถี่ที่มีประสิทธิภาพของสัญญาณ การใช้ความถี่ 250 KHz ตามรูปแบบขั้นตอน 45 MHz – 890 MHz ความถี่ใหม่ที่ถูกเลือก คุณต้องกดเข้าไปที่ปุ่มที่จะรับการเลือกของคุณครั้งหนึ่ง ถ้าคุณตัดสินใจไม่ใช้การเปลี่ยนช่องสัญญาณ จะดำเนินการต่อไปง่ายๆ ให้รายการเมนูอื่นๆ

SOUND การเลือกของระบบเสียง คุณสามารถเลือกได้จาก BG , DK , L , MN และ I

NOTE : L เป็น AM ในขณะที่อื่นๆ ทั้งหมดเป็น FM ใช้ UP/DOWN ในการเปลี่ยนช่องสัญญาณหรือเมนูที่ออกจากเมนูนี้ คุณไม่ต้องกดเข้าไป เพราะว่า การเลือกของคุณจะให้ผลแบบทันทีทันใด

P/S RATIO การเปลี่ยนระหว่างสองตัวเลือกที่เป็นไปได้ของ 12 dB และ 16 dB กดเข้าไปเพื่อเปลี่ยน หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้

NOSOUND การเปลี่ยนระหว่างมาตรฐานการเผยแพร่และต้องกดเข้าไปเพื่อเปลี่ยนรูปภาพ/ไม่มีเสียง หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้ ซึ่งจะเริ่มต้น V1.04

SAVE การอนุญาตให้ SAVE การเซท CURRENT ภายใน FLASH MEMORY เหล่านี้จะตั้งที่ใช้เมื่อ TVPLL เวลาถัดไปขับเคลื่อน การกดเข้าไปเพื่อบันทึกการตั้งค่า หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้

LOAD การยอมรับ โหลดที่มีการบันทึกตั้งค่าภายใน FLASH MEMORY มันคือพลัง CYCLE เดียวกันให้หน่วยของคุณที่จะโหลดการตั้งค่าการบันทึก กดเข้าไปเพื่อโหลดการตั้งค่า หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้

OEM การตั้งออฟชั่นทั้งหมดให้กับค่าพื้นฐาน และเลือกช่องสัญญาณพื้นฐาน กดเข้าไปเพื่อโหลดค่าพื้นฐาน OEM หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้ ประโยชน์ถ้าคุณไม่แน่ใจในสิ่งที่你做 และการทำให้การตั้งค่ายุ่งเหยิง

TEST การอนุญาตให้เปลี่ยนผลลัพธ์ระหว่าง INPUT VDO และภายในการทดสอบโหมด ส่งที่ INPUT VDO สำหรับกำลังส่งเรียงตามความเป็นจริง และที่ VDO คุณได้เชื่อมต่อ JACK RCA ทดสอบผลลัพธ์โหมดจอภาพสีดำ ด้วยสองแถบบาร์ขาวซึ่งตั้งเสียง 1 KHz โหมดนี้สามารถค้นหาที่ตั้งอันใดอันหนึ่ง ของการตั้งค่าช่องสัญญาณบน ทวี สิ่งซึ่งไม่มีทางเลือก

ช่องสัญญาณโดยตรงซึ่งไม่ใช่ความถี่ที่มี SWIPING หรือวิธีอื่นๆ หรือสำหรับทั่วไปการทดสอบจุดประสงค์ใช้ ENTER KEY ในการเปลี่ยนระหว่างสองทางเลือก หรือเมนูที่จะออกจากเมนูนี้ ปุ่มทั้งหมดจะวนซ้ำอัตโนมัติ ถ้ากดปุ่มไว้ สิ่งนี้คือประโยชน์อย่างมาก ส่วนใหญ่เพื่อสำหรับปุ่ม UP/DOWN คุณสามารถค้นหาที่ตั้งของช่องสัญญาณของการคำนวณอย่างรวดเร็ว ขณะที่เลือกจากรายการในเมนู ถ้าคุณกดปุ่มอย่างต่อเนื่อง ความเร็วจะเพิ่มจากมาตรฐานจนถึงเร็วกว่า สิ่งนี้เป็นประโยชน์เฉพาะในการเลือกช่องสัญญาณที่ซึ่งอาจจะมีช่องสัญญาณที่จะเลือกจากในความเร็วปกติ ถ้าขณะที่ค้นหาในความเร็วที่เร็วกว่าการเร่ง คุณสามารถใช้ทิศทางตรงกันข้าม (UP / DOWN) ปุ่มจากหนึ่งที่คุณกำลังใช้เพื่อถอยหลังอันใดอันหนึ่งหรือสิ่งหนึ่งอย่างต่อเนื่องบางครั้ง

AUDIO LEVEL ADJUST

ถึงแม้ว่าเราจะปรับแต่งเป็น UNIT เครื่องมือที่ใช้ตัดต่อมาเพื่อเสียง JACK RCA สามารถปรับระดับเสียง กำหนดค่าในการตั้งค่าคือสำหรับระดับเสียงของคุณจะเกี่ยวกับเป็นการทดสอบ 1 KHz ของระดับโหมด การหมุนทำให้ระดับเสียงเพิ่มขึ้น

MISCELLANEOUS NOTES

กล่องจะไม่ทำงานที่เวอร์ชัน ปุ่มกดบน PCB สามารถถูกเทียบเท่ากับภายนอก PUSH – BOTTON กับความพยายามน้อยที่สุด แต่ละ PUSH – BOTTON บน PCB จะมีหลุมเสริมว่างเปล่าในกึ่งกลางสิ่งนี้ คือสำหรับที่จะเพิ่มของภายนอกข้างเดียวกับ PCB ที่หลุมเสริมใกล้ชิดด้วยกันเหนือกว่า ปุ่ม UP และ DOWN คือสำหรับเชื่อมต่อค่าอื่นๆ ของแต่ละอันของสวิตช์ภายนอก