

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียง

TRANSCEIVER FOR AN IMAGE AND TWO-VOICE SIGNAL



โดย

นางสาวชญานุช วงษ์ษา

รพ.
83620
2550

เลขหุ้.....
เลขทะเบียน..... 83288
วัน,เดือน,ปี... 1.1. ส.ค. 2551

114 65828
b.....
i.....

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียง
TRANSCEIVER FOR AN IMAGE AND TWO-VOICE SIGNAL

โดย

นางสาวชญานุช วงษ์ษา 47012008

อาจารย์ที่ปรึกษา
ศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์
รศ.ดร. วิภา แสงพิพิธ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550


ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียง

TRANSCEIVER FOR AN IMAGE AND TWO-VOICE SIGNAL

ผู้จัดทำ นางสาวชญานุช วงษ์ษา 47012008


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. วิภา แสงพิลาธิ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับส่งสัญญาณภาพและเสียง

TRANSCIEVER FOR AN IMAGE AND TWO-VOICE SIGNAL

โดย นางสาวชญานุช วงษ์ษา 47012008

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์

รศ.ดร. วิภา แสงพิสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นโครงการสร้างเครื่องรับส่ง สัญญาณภาพ 1 สัญญาณและเสียง 2 สัญญาณ โดยสัญญาณเสียงจะนำไปมอดูเลตทางความถี่แล้วนำไปรวมกับสัญญาณภาพ โดยใช้หลักการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งช่วงความถี่ (Frequency Division Multiplex) จากนั้นนำส่วนสัญญาณที่มัลติเพล็กซ์แล้วไปส่งออกทางภาครับ ที่ภาครับจะมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน เพื่อกรองสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่มอดูเลตไว้ออกมา จากนั้นนำสัญญาณเสียงที่มอดูเลตได้ไปทำการดีมอดูเลตอีกครั้งเพื่อที่จะให้ ได้เสียงเดิมออกมา ใช้ประโยชน์พร้อมกับสัญญาณภาพต่อไป

Abstract

This project presents the transceiver which can simultaneously transmit a picture and two-voice signals with wireless. The voice signals will be modulated with high frequency carrier and then will be multiplexed (FDM) with the picture or image signal. After then, the signal is modulated and transmitted to the receiver. Next at the receiver, lowpass filter and bandpass filter are employed to filter the image and voice signals from each others for demultiplex to restored the original signals to be used later.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. วิวัฒน์ ภิรานนท์ และ รศ.ดร. วิภา แสงพิสิทธิ์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำชี้แนะและเป็นທີ່ปรึกษาให้กับโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ให้กำเนิด เลี้ยงดูจนเติบโต ให้คำชี้แนะและส่งเสริมให้ประสบความสำเร็จจนมีวันนี้ได้

ขอขอบคุณ นายทพระ ศรียรักษ์ ที่คอยช่วยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณ Mr. Chanthea Khun ที่คอยให้คำชี้แนะและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นายปัญญา จิรราชิพ ที่คอยให้คำชี้แนะและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นายราชันย์ อันตะขา ที่คอยให้คำชี้แนะและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	I
สารบัญ	II
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 โครงสร้างเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำ	2
2.1.1 การศึกษาโครงสร้างจากบล็อกไดอะแกรม	3
2.1.2 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆในเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำ	3
2.1.3 เสาอากาศโทรทัศน์ (Antenna)	3
2.1.4 ภาควิทยุ (Tuner)	4
2.1.5 ภาควิทยุสัญญาณความถี่ปานกลาง (Video Intermediate Frequency Amplifier : VIF amp)	5
2.1.6 ภาควิธีโอดีเทกเตอร์	6
2.1.7 ภาควิธีควบคุมเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ (Automatic Gain Control : AGC)	6
2.1.8 ภาควิธีขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier Section)	6
2.1.9 ภาควิธีเสียง (Sound Section)	7
2.1.10 ภาควิธีแยกสัญญาณซิงค์ (Synchronization Separator)	8
2.1.11 ภาควิธีเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Section)	8
2.1.12 ภาควิธีเบี่ยงเบนทางแนวนอน (Horizontal Section)	9
2.1.13 ภาควิธีไฟแรงสูง (High Voltage Rectifier)	9
2.1.14 ภาควิธีจ่ายไฟ (Power Supply Section)	10
2.1.15 หลอดภาพโทรทัศน์ (Picture tube)	10
2.1.16 การอ่านวงจรเครื่องรับโทรทัศน์ (Television Receiver Schematic Diagram)	10
2.2 การส่งสัญญาณโทรทัศน์	14
2.2.1 การส่งโทรทัศน์ด้วยคลื่นวิทยุ	14
2.2.2 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพ	15
2.2.3 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียง	17
2.2.4 แถบความถี่ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์	18
2.2.5 การผสมสัญญาณโทรทัศน์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3	หลักการสื่อสารเบื้องต้น	25
2.4	การมอดูเลตสัญญาณ	25
2.4.1	การมอดูเลตทางความถี่	26
2.4.2	คุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็ม	30
2.4.3	ดัชนีการมอดูเลต	33
2.4.4	เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต	33
2.4.5	ไซด์แบนด์ เอฟเอ็ม	34
2.4.6	แบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็ม	36
2.4.7	สัญญาณรบกวนและการคิเทคชันเอฟเอ็ม	36
2.4.8	การคิมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม	37
2.5	การสร้างสัญญาณเอฟเอ็ม	37
2.5.1	การสร้างโดยตรง	37
2.5.2	การสร้างโดยทางอ้อม	38
2.6	การคิเทคสัญญาณเอฟเอ็ม (FM detectors)	39
2.6.1	การคิเทคโดยการเปลี่ยนเป็นสัญญาณเอเอ็ม	39
2.6.2	Zero Crossing Detection	39
2.6.3	การคิเทคโคแอสเทิลลอป (PLL : Phase Lock Loop)	40
2.7	เฟสล็อกคูล (PLL : Phase Locked Loop)	40
2.7.1	บล็อกตามหน้าที่เฟสล็อกคูล (PLL Functional Block)	41
2.7.1.1	วงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector)	41
2.7.1.2	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)	41
2.7.1.3	วงจรขยายกระแสไฟตรง (dc Amplifier)	41
2.7.1.4	วงจรถ้าเน็คความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน (วงจรร VCO)	41
2.7.2	โหมดการทำงานของเฟสล็อกคูล	42
2.7.2.1	ย่านล็อกและย่านแคปเจอร์ (Lock Rang and Capture Rang)	42
2.7.3	การใช้งานเฟสล็อกคูล	43
2.7.3.1	การสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesis)	43
2.7.4	สรุปเฟสล็อกคูล	44
2.8	หลักการมัลติเพล็กซ์ซิง (Multiplexing)	44
2.8.1	การแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing - FDM)	46
2.8.1.1	อุปกรณ์ด้านส่ง	46
2.8.1.2	อุปกรณ์ด้านรับ	46
2.9	วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)	47

2.10	วงจรรขยายสัญญาณ (Amplifier)	49
2.10.1	วงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)	49
2.10.2	วงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non – Inverting Amplifier)	51
2.11	วงจรกรองความถี่ (Filter)	52
2.11.1	นิยามวงจรกรองความถี่ (Theory Filter)	52
2.11.2	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low – Pass Filter : LPF)	53
2.11.3	วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter : BPF)	53
2.11.4	ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)	54
2.11.5	ความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency : f_c)	54
2.11.6	ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor : Q)	56
2.11.7	เส้นโค้งตอบสนองความถี่นอร์มัลไลซ์ (Normalized Frequency Response Curve)	56
2.11.8	การตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรอง (Frequency Response)	57
2.12	วงจรกรองแอกทีฟ (Active Filter)	58
2.12.1	อันดับวงจรกรองความถี่ (order)	59
2.12.2	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งแบบแอกทีฟ (First - order Low – Pass Active filter circuit)	60
2.12.3	วงจรกรองความถี่อันดับสอง (Second – order filter circuit)	61
2.12.4	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง (A second – order low – pass filter)	62
2.12.5	วงจรกรองแถบความถี่ผ่านอันดับที่สอง (Second – order bandpass filter)	63
2.13	สายส่ง	64
2.13.1	สัญญาณพัลส์ในสายส่ง (A Pulse On A Transmission Line)	64
2.13.2	สัญญาณไซน์ในสายส่ง (A Sine Wave On A Transmission Lines)	64
2.13.3	อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย (Characteristic Impedance)	65
2.13.4	การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณและSWR (Reflected Waves And Stand – Wave Ratio (SWR))	66
2.13.5	อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing - Wave Ratio)	67
2.13.6	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (The Reflection Coefficient : K_r)	67
2.13.7	กำลังสะท้อนกลับ (Reflected Power)	67
2.13.8	Velocity Factor	68
2.13.9	Quarter – Wave Matching Transformers	68
2.13.10	Stub Matching	69
2.14	ความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (THD)	70

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	73
3.1 การส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง	73
3.1.1 ภาควีดีโอแอมป์	74
3.1.2 ภาคเอฟเอ็มมอดูเลต	75
3.1.3 ภาคมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่	75
3.2 การรับสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง	76
3.2.1 ภาครับขยายสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง	76
3.2.2 ภาคกรองความถี่	76
3.2.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	77
3.2.2.2 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน	77
3.2.3 ภาคขจรระดับสัญญาณ	78
3.2.4 ภาคเอฟเอ็มดีมอดูเลต	78
3.2.5 ภาคขยายกำลังเสียง	79
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	80
4.1 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่ง	80
4.2 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ตของวงจรรเอฟเอ็มมอดูเลต	83
4.3 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ตของวงจรรเอฟเอ็มมอดูเลต	84
4.4 การทดลองของวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่	86
4.5 การทดลองหาค่าของวงจรรขยายสัญญาณทางด้านรับ	88
4.6 การทดลองหาค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรรกรองความถี่ต่ำผ่าน	89
4.7 การทดลองหาค่าความถี่คัตออฟ 8 เมกกะเฮิร์ตของวงจรรกรองแถบความถี่ผ่าน	90
4.8 การทดลองหาค่าความถี่คัตออฟ 10.7 เมกกะเฮิร์ตของวงจรรกรองแถบความถี่ผ่าน	92
4.9 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านรับ	93
4.10 การทดลองหาค่าความถี่เสียง 3 กิโลเฮิร์ตของวงจรรเอฟเอ็มดีมอดูเลต	96
4.11 การทดลองหาค่าความถี่เสียง 500 เฮิร์ตของวงจรรเอฟเอ็มดีมอดูเลต	98
4.12 การทดลองหาค่าการขยายความถี่เสียงของวงจรรขยายสัญญาณเสียง	99
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	100
5.1 บทสรุป	100
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการต่อไป	102
ภาคผนวก ก : ค่าผลการทดลองวงจร	103
กิตติกรรมประกาศ	104
หนังสืออ้างอิง	105

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำ	3
รูปที่ 2.2 บล็อกโคอะแกรมเครื่องรับโทรทัศน์ขาว - ดำ	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรแสดงหมายเลขตัวเลขภาคเสียง	12
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรแสดงหมายเลขตัวเลขภาคสัญญาณทางแนวนอน	12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรแสดงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของภาคสัญญาณทางแนวดิ่ง	13
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างวงจรแสดงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของภาคจ่ายไฟ	14
รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณ โทรทัศน์ด้วยคลื่นวิทยุ	15
รูปที่ 2.8 แสดงการรวมสัญญาณคลื่นพาหะของภาพและเสียงที่ภาครวมสัญญาณ	17
รูปที่ 2.9 ผลรวมของแถบความถี่ภาพและเสียง	18
รูปที่ 2.10 ผลรวมของแถบความถี่เมื่อรวมกัน	18
รูปที่ 2.11 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในประเทศไทยตามมาตรฐาน CCIR system B	19
รูปที่ 2.12 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในประเทศไทยตามมาตรฐาน CCIR ระบบ I	20
รูปที่ 2.13 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในสหรัฐอเมริกา NTSC ระบบ M	20
รูปที่ 2.14 แถบความถี่ของสัญญาณสถานีโทรทัศน์ช่อง 3 และ ช่อง 4	21
รูปที่ 2.15 การส่งและการรับของระบบโทรทัศน์	22
รูปที่ 2.16 (ก) การมอดูเลตแบบบวก	23
รูปที่ 2.16 (ข) การมอดูเลตแบบลบ	23
รูปที่ 2.17 สัญญาณภาพรวม	24
รูปที่ 2.18 การผสมสัญญาณเสียงแบบเอฟเอ็ม	24
รูปที่ 2.19 สัญญาณและผลของการมอดูเลตสัญญาณ	26
รูปที่ 2.20 สัญญาณเอฟเอ็ม	27
รูปที่ 2.21 แสดงอัตราการใช้แบนด์วิดท์ของสัญญาณ	27
รูปที่ 2.22 เมื่อสัญญาณความถี่เสียง 10 กิโลเฮิร์ต มอดูเลตทางความถี่กับสัญญาณ 100 เมกะ เฮิร์ต	29
รูปที่ 2.23 ความถี่ของสัญญาณที่อยู่ในแถบด้านข้างที่มีค่ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์	29
รูปที่ 2.24 ช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม ชนิดแถบกว้าง	30
รูปที่ 2.25 ช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม ชนิดแถบแคบ	30
รูปที่ 2.26 กราฟแสดงแอมพลิจูดของพาหะและ ไซด์แบนด์ในระบบเอฟเอ็ม	34
รูปที่ 2.27 รูปคลื่นเอฟเอ็มในเชิงความถี่ ที่ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 0,0.5,1,1.5,2.0,3.0 ตามลำดับ	35
รูปที่ 2.28 การกำจัดคลื่นสัญญาณรบกวนของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม	36
รูปที่ 2.29 การคิมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม	37

รูปที่ 2.30	วงจรงสร้างความถี่พาหะ โดยใช้วาเรกเตอร์	37
รูปที่ 2.31	วงจรมอดูเลตที่ใช้วีซีไอ (ไอซี 566)	38
รูปที่ 2.32	Armstrong Modulator สำหรับความถี่ VHF	38
รูปที่ 2.33	Discriminator Action	39
รูปที่ 2.34	รูปคลื่นแสดงการเบริยบที่ขมเฟส ค่าเฉลี่ยของผลคูณสัญญาณจะแปรตามการเปลี่ยนแปลงเฟส	40
รูปที่ 2.35	วงจรเฟสล็อกคูล	40
รูปที่ 2.36	แผนภาพของวงจรเฟสล็อกคูล	40
รูปที่ 2.37	วงจรสังเคราะห์ความถี่	43
รูปที่ 2.38	หลักการมัลติเพล็กซ์	45
รูปที่ 2.39	การแบ่งรูปแบบสัญญาณที่จะนำมามัลติเพล็กซ์	45
รูปที่ 2.40	แสดงหลักการของระบบแบบแบ่งความถี่ทางด้านส่ง	46
รูปที่ 2.41	แสดงหลักการของระบบแบบแบ่งความถี่ทางด้านรับ	47
รูปที่ 2.42	วงจรขยายผลบวก	47
รูปที่ 2.43	แผนภาพจำลองของวงจรขยายผลบวก	48
รูปที่ 2.44	วงจรขยายผลบวกที่มีอินพุตจำนวน n ตัว	49
รูปที่ 2.45	รูปวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	50
รูปที่ 2.46	วงจรภายในของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	50
รูปที่ 2.47	วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	51
รูปที่ 2.48	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	53
รูปที่ 2.49	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่าน	53
รูปที่ 2.50	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านช่วงกว้าง	54
รูปที่ 2.51	การเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองความถี่ผ่านแบบตัวประกอบคุณภาพสูงและต่ำ	56
รูปที่ 2.52	การโวลต์ออฟของอันดับต่างๆ ในวงจรกรอง	56
รูปที่ 2.53	เส้นโค้งตอบสนองแอมพลิจูดแบบบัตเตอร์เวิร์ทกับอันดับต่างๆของวงจรกรอง	57
รูปที่ 2.54	เส้นโค้งตอบสนองแอมพลิจูดแบบเชิเบฟ	58
รูปที่ 2.55	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งแบบเอกทิฟ	59
รูปที่ 2.56	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบเอกทิฟ	59
รูปที่ 2.57	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง	60
รูปที่ 2.58	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง	62
รูปที่ 2.59	วงจรกรองแถบความถี่ผ่านอันดับที่สอง	63
รูปที่ 2.60	แสดงคลื่นพัลส์ในสายส่ง	64
รูปที่ 2.61	แสดงคลื่นไซน์ในสายส่ง	64
รูปที่ 2.62	โครงข่ายของตัวเก็บประจุและขดลวดเหนี่ยวนำ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.63	แสดงแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดของสายส่ง	66
รูปที่ 2.64	แสดงกระแสที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดของสายส่ง	66
รูปที่ 2.65	แสดงปลายสายที่มีความยาว $\lambda/4$ สามารถใช้เป็นตัวทำให้เกิดการสมพ้องกันระหว่างโหลดกับสายส่ง	68
รูปที่ 2.66	สาย stub	69
รูปที่ 2.67	การต่อในลักษณะข้อควงจรหรือเปิดควงจร	69
รูปที่ 2.68	แสดง Smith Chart	69
รูปที่ 3.1	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณภาพและเสียง	73
รูปที่ 3.2	แสดงบล็อกไดอะแกรมทางด้านส่ง	73
รูปที่ 3.3	แสดงบล็อกไดอะแกรมทางด้านรับ	74
รูปที่ 3.4	แสดงวงจรวีดีโอแอมป์	74
รูปที่ 3.5	แสดงวงจรถอเอฟเอ็มมอดูเลต	75
รูปที่ 3.6	แสดงวงจรรวมสัญญาณ	76
รูปที่ 3.7	แสดงวงจรถายสัญญาณทางด้านรับ	76
รูปที่ 3.8	แสดงวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน คัดออกที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต	77
รูปที่ 3.9	แสดงวงจรรองแถบความถี่ผ่าน คัดออกที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต	77
รูปที่ 3.10	แสดงวงจรรองแถบความถี่ผ่าน คัดออกที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต	77
รูปที่ 3.11	แสดงวงจรถอระดับสัญญาณ	78
รูปที่ 3.12	แสดงวงจรถอเอฟเอ็มคิมมอดูเลต	79
รูปที่ 3.13	แสดงวงจรถายกำลังเสียง	79
รูปที่ 4.1	แสดงวงจรวีดีโอแอมป์	80
รูปที่ 4.2	แสดงสัญญาณอินพุตที่เข้ากับสัญญาณเอาต์พุต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่ง	80
รูปที่ 4.3	แสดงสัญญาณอินพุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่ง	81
รูปที่ 4.4	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่ง	81
รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 20 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่ง	82
รูปที่ 4.6	แสดงกราฟการขยายโวลตัจจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่งเทียบกับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต	82
รูปที่ 4.7	แสดงวงจรถอเอฟเอ็มมอดูเลต	83
รูปที่ 4.8	แสดงลักษณะ Characteristic ของ VCO ที่ 8 เมกกะเฮิร์ต	83
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต	84
รูปที่ 4.10	แสดงลักษณะ Characteristic ของ VCO ที่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต	85
รูปที่ 4.11	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 500 เฮิร์ต	85
รูปที่ 4.12	แสดงวงจรรวมสัญญาณ	86
รูปที่ 4.13	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต เป็นสัญญาณภาพ	86
รูปที่ 4.14	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต	87
รูปที่ 4.15	แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 500 เฮิร์ต	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16	แสดงวงจรมหาขยสัญญาณทางค้ำรับ	88
รูปที่ 4.17	แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านภาคมหาขยสัญญาณ	88
รูปที่ 4.18	แสดงวงจรมหาขยความถี่ค้ำผ่าน คัดออฟที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต	89
รูปที่ 4.19	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 5 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยความถี่ค้ำผ่าน หน่วยโวลต์	89
รูปที่ 4.20	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 5 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยความถี่ค้ำผ่าน หน่วยdB	90
รูปที่ 4.21	แสดงวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน คัดออฟที่ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ต	90
รูปที่ 4.22	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 8 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน หน่วยโวลต์	91
รูปที่ 4.23	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 8 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน หน่วย dB	91
รูปที่ 4.24	แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรมหาขยฟิลเตอร์ 8 เมกะเฮิร์ต	92
รูปที่ 4.25	แสดงวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน คัดออฟที่ความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ต	92
รูปที่ 4.26	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน หน่วยโวลต์	93
รูปที่ 4.27	แสดงกราฟค่าความถี่คัดออฟ 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรมหาขยแถบความถี่ค้ำผ่าน หน่วย dB	93
รูปที่ 4.28	แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรมหาขยฟิลเตอร์ 10.7 เมกะเฮิร์ต	94
รูปที่ 4.29	แสดงการกรองสัญญาณภาพและเสียงจากวงจรมหาขยความถี่ฟิลต์โดยใช้ MATHLAB	94
รูปที่ 4.30	แสดงวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับ	95
รูปที่ 4.31	แสดงสัญญาณอินพุตที่เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับ	95
รูปที่ 4.32	แสดงสัญญาณอินพุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต ของวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับ	96
รูปที่ 4.33	แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต ของวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับ	96
รูปที่ 4.34	แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ต ของวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับ	97
รูปที่ 4.35	แสดงกราฟการขยายโวลต์ของวงจรมหาขยวีดีโอแอนะล็อกทางค้ำรับที่เทียบกับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต	97
รูปที่ 4.36	แสดงวงจรมหาขยเอเอ็มคิมอคูเลต	98
รูปที่ 4.37	แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่คิมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องแรก	98
รูปที่ 4.38	แสดงสเปกตรัมที่คิมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องแรก	99
รูปที่ 4.39	แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่คิมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องที่สอง	99
รูปที่ ก.1	แขนแนลที่ 1 คือ สัญญาณภาพจากสายเอวีซีเคื่องที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสเดชั่น	103
รูปที่ ก.2	แขนแนลที่ 1 คือ สัญญาณเสียงจากสายเอวีซีเคื่องที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสเดชั่น	103
รูปที่ ก.3	แขนแนลที่ 1 คือ สัญญาณเสียงจากสายเอวีซีเคื่องที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสเดชั่น	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดคลื่นพาห์และไซด์แบนด์ต่างๆ ณ ค่าดัชนีการมอดูเลตต่างๆกัน	32
ตารางที่ 2.2 แสดงการกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่างๆ	35
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ที่ใช้ทั่วไป	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

จุดประสงค์ของการสื่อสาร โดยทั่วไปคือการนำข่าวสารจากผู้ส่งหรืออุปกรณ์ส่ง ไปยังผู้รับหรืออุปกรณ์รับได้อย่างถูกต้องในระบบโทรคมนาคมส่วนใหญ่นั้นข้อมูลจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพราะสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณที่ง่ายต่อการเปลี่ยนเป็นสัญญาณในรูปอื่นได้ จากนั้นจะถูกส่งผ่านตัวกลาง หรือระบบส่งสัญญาณตามกระบวนการขึ้นอยู่กับความต้องการนั้นๆ

ความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจในปัจจุบันทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลอย่างรวดเร็วและจำนวนมาก เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการนี้ จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารรูปแบบใหม่ขึ้นมา เรียกว่า ระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของสายสัญญาณแต่เวลาในการตอบสนองช้ากว่าระบบสาย แม้ว่าข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในทุกวันนี้จะเป็นทั้งระบบดิจิทัลและอนาล็อก ซึ่งปัจจุบันถึงแม้ว่าจะนิยมใช้ระบบดิจิทัลกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ในการส่งสัญญาณภาพ ซึ่งมีย่านความถี่กว้างมากๆ หากจะส่งในระบบดิจิทัล ก็จะมีปัญหายากมากในการจัดการแปลงรหัสสัญญาณ และอุปกรณ์ที่ใช้ยังมีราคาแพงอยู่มาก ดังนั้นการส่งสัญญาณภาพในระบบอนาล็อกโดยระบบการสื่อสารไร้สาย ยังคงจำเป็นอยู่ในปัจจุบัน การติดต่อโดยใช้ระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบโทรทัศน์ ระบบอินเทอร์เน็ตไร้สาย ระบบไมโครเวฟและดาวเทียม

ปัญหาส่วนใหญ่ในระบบสื่อสาร คือ การตอบสนองความต้องการในการส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อกให้สามารถส่งสัญญาณเข้าไปในช่องสัญญาณเดียวได้หลายสัญญาณ เพื่อเป็นการประหยัดต่อระบบโดยรวม เรามี 2 วิธีใหญ่ ที่ใช้แก้ปัญหานี้ คือ ระบบมัลติเพล็กซ์ โดยการแบ่งความถี่ (FDM) หรือโดยการแบ่งช่วงเวลา (TDM)

ในโครงการชุดนี้จะประกอบด้วยภาคส่งสัญญาณภาพและเสียง และภาครับสัญญาณภาพและเสียง โดยจะใช้ระบบมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่แบบออฟเซ็มในการรวมสัญญาณทางภาคส่ง เนื่องจากระบบสื่อสารในปัจจุบันของประเทศโดยรวมแล้วก็ยังเป็นระบบอนาล็อกที่ต้องการข้อมูลที่อยู่ในรูปของความถี่ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ คือ การนำข้อมูล หรือข่าวสารมาทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะที่ทำการจัดเรียงความถี่ต่างๆ โดยมีแถบความถี่ที่เหมาะสม และเรียกแต่ละความถี่นั้นว่า ช่องสัญญาณ (Channel)

เมื่อทำการส่งสัญญาณภาพและเสียงออกทางอากาศแล้ว นำหลายสัญญาณที่ได้มาทำการรับและกรองความถี่แต่ละสัญญาณออกมาจากนั้นก็นำแต่ละสัญญาณมาคิมัลติเพล็กซ์ เพื่อให้ได้สัญญาณภาพและเสียงที่ถูกต้องตามเดิม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โครงสร้างเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ

การจะศึกษาเพื่อทราบถึงการทำงานในส่วนต่างๆของเครื่องรับโทรทัศน์ เราควรเริ่มทำการศึกษาโครงสร้างของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ (block diagram black and white television) ก่อน เพราะจะมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกันทุกประการระหว่างโทรทัศน์สีกับโทรทัศน์ขาว-ดำ ความแตกต่างระหว่างเครื่องรับโทรทัศน์สีกับเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ ก็คือ เครื่องรับโทรทัศน์สีเพิ่มภาคสี เปลี่ยนแปลงหลอดภาพใหม่ และใช้อุปกรณ์แตกต่างไปจากเครื่องโทรทัศน์ขาว-ดำเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาโครงสร้างของเครื่องรับโทรทัศน์ในเบื้องต้น จึงเป็นการศึกษาโครงสร้างของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำก่อน เมื่อเข้าใจการทำงานได้ดีแล้วก็สามารถจะศึกษาในเรื่องของโทรทัศน์สีได้ง่ายขึ้น

การศึกษาโครงสร้างของเครื่องรับโทรทัศน์ เราจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ด้าน แต่มีความสัมพันธ์กันโดยตรงคือ

1. การศึกษาโครงสร้างจากแผนผังการทำงาน หรือที่เรียกว่า บล็อกไดอะแกรม (block diagram) ซึ่งจะ เป็นแผนผังแสดงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์จากภาคหนึ่งไปยังอีกภาคหนึ่ง โดยบอกแต่เพียงชื่อของแต่ละภาคและเส้นทางสัญญาณ
2. การศึกษาโครงสร้างจากลายวงจรหรือที่เรียกว่าเซอร์กิตไดอะแกรม (circuit diagram หรือ schematic diagram) เป็นการแสดงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ในรูปของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แทนค่าอุปกรณ์เป็นสัญลักษณ์ เป็นการแสดงการทำงานจริงของอุปกรณ์โดยลากเส้นเชื่อมโยงระหว่างแต่ละภาค
3. การศึกษาโครงสร้างจากอุปกรณ์จริงและลายปริ้นต์ (printed circuit board) เป็นการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์จากอุปกรณ์จริงภายในตัวเครื่องรับโทรทัศน์ และการเชื่อมโยงแต่ละภาคโดยศึกษาจากแผ่นวงจรหรือแผ่นปริ้นต์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำงานจริงส่วนใหญ่จะถูกบัดกรีติดอยู่บนแผ่นปริ้นต์ หรือต่อโยงสายจากแผ่น ปริ้นต์ ไปหาอุปกรณ์เหล่านั้น การศึกษาในลักษณะนี้จะต้องมีพื้นฐานความเข้าใจจากแผนผังการทำงานและเข้าใจลายวงจรได้ดี รวมทั้งต้องมีพื้นฐานความเข้าใจเรื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างดี ก็จะสามารถเข้าใจโครงสร้างต่างๆของเครื่องรับโทรทัศน์ได้อย่างถ่องแท้ เมื่อมีความชำนาญมากก็ไม่จำเป็นต้องใช้ลายวงจรอีกต่อไป

2.1.1 การศึกษาโครงสร้างจากบล็อกโคอะแกรม

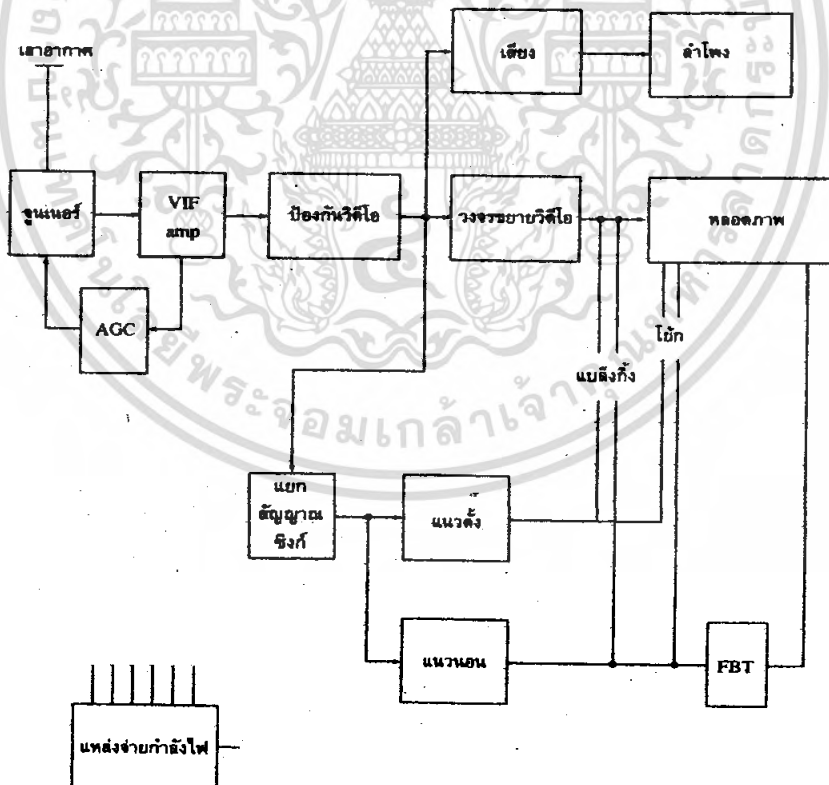
บล็อกโคอะแกรมเป็นแผนผังแสดงการเชื่อมโยงของโครงสร้างเครื่องรับโทรทัศน์ นับแต่จุดเริ่มต้นของสัญญาณเข้าจนถึงจุดสิ้นสุดของการทำงาน จากรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงโครงสร้างหลักของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ ซึ่งประกอบด้วยภาคต่างๆ ที่เครื่องรับโทรทัศน์ทุกยี่ห้อจะต้องมีส่วนโครงสร้างสมบูรณ์ของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ แสดงในรูปที่ 2.2

2.1.2 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆในเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ

การทำงานของภาคต่างๆในเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ จะเป็นการทำความเข้าใจและแสดงให้เห็นการเชื่อมโยงการทำงานของแต่ละภาคในเครื่องรับโทรทัศน์ โดยยึดโครงสร้างหลักของเครื่องรับโทรทัศน์ในรูปที่ 2.1 และแสดงรายละเอียดส่วนต่างๆในรูปที่ 2.2 เพื่อให้เห็นภาพรวมของโครงสร้างภายในเครื่องรับโทรทัศน์ก่อนจะอธิบายในแต่ละภาคต่อไป

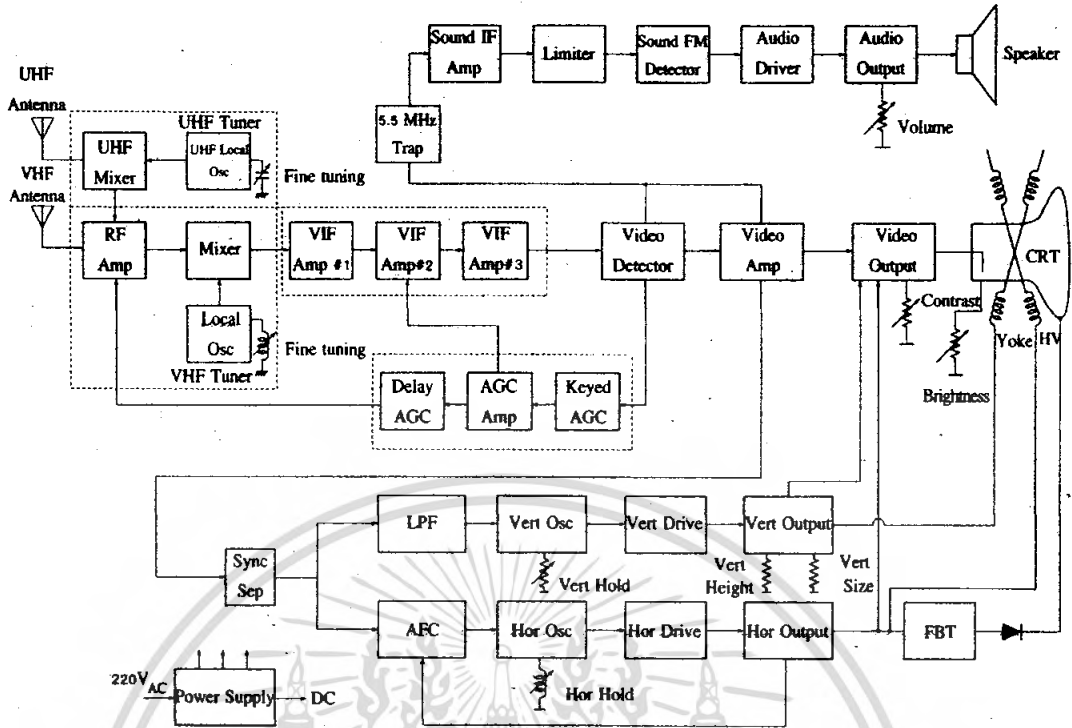
2.1.3 เสาอากาศโทรทัศน์ (Antenna)

เป็นส่วนประกอบที่อยู่ด้านนอกตัวเครื่องรับโทรทัศน์ ทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณที่แพร่กระจายในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีส่งโทรทัศน์ นำสัญญาณส่งไปตามสายนำสัญญาณ (cable) เพื่อเข้าสู่จูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 บล็อกโคเดแกรมเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ

2.1.4 ภาคจูนเนอร์ (Tuner)

ภาคจูนเนอร์หรือบางครั้งจะเรียกว่าภาคฟรอนต์เอนด์ (front end) เป็นภาคแรกของเครื่องรับโทรทัศน์ จะรับสัญญาณโทรทัศน์ที่เหนี่ยวนำมาจากเสาอากาศเข้าสู่เครื่องรับในรูปของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RF : radio frequency) จูนเนอร์ทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณช่องต่างๆ ตามการเลือกชมของผู้รับ ซึ่งสามารถเลือกชมรายการจากสถานีที่ส่งย่าน VHF หรือ UHF ก็ได้ จากจูนเนอร์ก็จะเปลี่ยนสัญญาณวิทยุของแต่ละสถานีที่มีความถี่สูงมากให้เป็นสัญญาณความถี่ปานกลาง (IF : intermediate frequency) ก่อนออกจากจูนเนอร์ ทุกสถานีจะมีความถี่ปานกลาง เมื่อออกจากจูนเนอร์เท่ากัน โครงสร้างภายในจูนเนอร์จะประกอบด้วยจูนเนอร์สองส่วนคือ UHF จูนเนอร์ และ VHF จูนเนอร์ การเลือกสถานีเพื่อชมโทรทัศน์เป็นการเลือกใช้งานจูนเนอร์และเลือกย่านความถี่โดยมีโครงสร้างดังนี้

1. UHF จูนเนอร์

การเลือกรับสถานีโทรทัศน์ย่าน UHF ซึ่งสัญญาณมีความถี่ 300 - 3,000 เมกกะเฮิร์ต ใช้งานกับโทรทัศน์และการบิน สัญญาณที่เข้าสู่จูนเนอร์จะถูกส่งเข้าที่ UHF มิกเซอร์ เพื่อทำการผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณจาก UHF ออสซิลเลเตอร์ สัญญาณที่ได้จากการผสมสัญญาณก็จะเป็นสัญญาณความถี่ปานกลางภาพ ส่งให้กับวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุใน VHF จูนเนอร์ (VHF : มีความถี่ 30-300 เมกกะเฮิร์ต ใช้งานกับ โทรทัศน์, วิทยุ, FM : Frequency Modulation หมายถึงการผสมสัญญาณทางด้านความถี่) เพื่อส่งต่อไปขยายในภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางภาพ (VIF amp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. VHF จูนเนอร์

การเลือกรับสัญญาณปกติของสถานีโทรทัศน์ แต่ละสถานีจะมีความถี่แตกต่างกัน เครื่องรับโทรทัศน์จะเลือกรับสัญญาณเพียงสถานีเดียว แม้ว่าความถี่ขาเข้าจูนเนอร์แต่ละสถานีจะไม่เท่ากันแต่ความถี่ที่ออกจากจูนเนอร์จะเท่ากันหมด โดยการทำงานของส่วนต่างๆ ได้แก่

- วงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ (radio frequency amplifier : RF amp)

ทำหน้าที่รับสัญญาณสถานีโทรทัศน์ที่เป็นสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่มีระดับสัญญาณอ่อนมาทำการขยายให้มีสัญญาณแรงขึ้น

- วงจรผสมสัญญาณ (mixer)

ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ผ่านการขยายจากวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุมาทำการผสมกับสัญญาณความถี่ที่เครื่องรับโทรทัศน์ที่สร้างขึ้นจากโลคัลออสซิลเลเตอร์ จะได้สัญญาณที่รวมกันเป็นสัญญาณผลบวกและสัญญาณที่หักล้างกันเป็นสัญญาณผลต่างๆ ในเครื่องรับโทรทัศน์จะเลือกเอาสัญญาณผลต่างออกจากจูนเนอร์ไปใช้งาน ซึ่งเรียกว่าสัญญาณความถี่ปานกลาง ได้แก่

สัญญาณความถี่ปานกลางภาพ (video IF) 38.9 เมกกะเฮิร์ต

สัญญาณความถี่ปานกลางเสียง (sound IF) 33.4 เมกกะเฮิร์ต

- Local Oscillator (local osc)

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่สูงที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นพาหะของสัญญาณภาพที่มาจากเครื่องส่ง เพื่อส่งเข้าไปทำการผสมกับสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งในมิกเซอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณความถี่ปานกลาง การเลือกสถานีจะเป็นการเลือกการสร้างความถี่ของ local osc ไปด้วยในตัว

- Fine Tuning Control

เป็นส่วนประกอบของจูนเนอร์ มีไว้เพื่อการปรับเปลี่ยนการสร้างความถี่ของ local osc ใน UHF จูนเนอร์จะใช้วารีเอเบิลคาปาซิเตอร์ในการปรับแต่ง แต่ VHF จูนเนอร์จะใช้วารีเอเบิลอินดักเตอร์ ในเครื่องรับที่มีระบบการปรับและมีไฟจูนนิ่งอัตโนมัติก็จะมีวงจรที่เรียกว่า วงจรค้นหาสัญญาณโดยอัตโนมัติ (automatic fine tuning)

2.1.5 ภาจขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง (Video Intermediate Frequency Amplifier : VIF amp)

สัญญาณความถี่ปานกลางภาพ (video IF) 38.9 เมกกะเฮิร์ต และสัญญาณความถี่ปานกลางเสียง (sound IF) 33.4 เมกกะเฮิร์ต จะออกจากจูนเนอร์เพื่อมาทำการขยายในภาจขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง ซึ่งประกอบด้วย

- ภาจขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง # 1

ทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณความถี่ปานกลางมาทำการขยายให้มีกำลังแรงขึ้น โดยไม่ยอมให้สัญญาณความถี่อื่นเข้ามาปะปน

- ภาจขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง # 2

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเป็นขั้นที่สอง พร้อมทั้งควบคุมระดับสัญญาณให้คงที่โดยอาศัยแรงดันควบคุมจาก AGC

- ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง # 3 – 4

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ปานกลางเป็นภาคสุดท้าย โดยจะขยายสัญญาณให้มีความแรง 1- 2 V p-p ก่อนส่งไปทำการแยกคลื่นพาหะในวีดีโอดีเทกเตอร์ (video detector)

2.1.6 ภาควีดีโอดีเทกเตอร์

สัญญาณความถี่ปานกลางภาพและสัญญาณความถี่ปานกลางเสียง จะถูกขยายร่วมกันจากภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง แล้วถูกส่งเข้าสู่ภาควีดีโอดีเทกเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณภาพและเสียงออกจากคลื่นพาหะกลายเป็นสัญญาณภาพรวม 0 ถึง 5 เมกกะเฮิร์ต ส่วนสัญญาณเสียงเมื่อผ่านการดีเทกต์จะยังเป็นสัญญาณความถี่ปานกลางเสียง 5.5 เมกกะเฮิร์ต ต้องไปทำการดีเทกต์เสียงอีกครั้งในภาคเสียง

2.1.7 ภาคควบคุมเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ (Automatic Gain Control : AGC)

สัญญาณโทรทัศน์เมื่อเข้าสู่จูนเนอร์จะถูกแปลงจากสัญญาณคลื่นวิทยุเป็นสัญญาณความถี่ปานกลางจากนั้นจะถูกขยายโดยภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางแล้วแยกคลื่นพาหะออกโดยวีดีโอดีเทกเตอร์ สัญญาณจะถูกกระทำหลายครั้งทำให้ระดับสัญญาณ ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาพที่ไปปรากฏที่หน้าจอโทรทัศน์จึงต้องมีการควบคุมเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนประกอบด้วย

- วงจรแยกสัญญาณเอจิจีออกจากสัญญาณภาพ (AGC Keyer หรือ Gate AGC)

บางครั้งก็จะถูกเรียกว่า AGC detect ทำหน้าที่รับสัญญาณภาพที่ผ่านการแยกคลื่นพาหะเพื่อเปลี่ยนเป็นแรงดัน นำไปควบคุมการขยายของภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางและวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุที่จูนเนอร์

- วงจรขยายสัญญาณเอจิจี (AGC amp : Automatic Gain Control Amplifier)

ทำหน้าที่ขยายแรงดันที่ได้จากคีย์การควบคุมระดับสัญญาณ โดยอัตโนมัติถ้าส่งไปควบคุมการขยายของภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางจะเรียกว่าแรงดันเอจิจี ควบคุมการขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง (IF AGC) แต่ถ้าส่งไปควบคุมการขยายของวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในจูนเนอร์จะเรียกว่า แรงดันเอจิจีควบคุมการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุ (RF AGC)

- วงจรหน่วงแรงดันเอจิจี (AGC Delay : Automatic Gain Control Delay)

ทำหน้าที่หน่วงแรงดันเอจิจี ที่จะส่งให้กับวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในจูนเนอร์ ในกรณีที่สัญญาณภาพปกติจะไม่มีแรงดันเอจิจี ไปควบคุมการขยายของจูนเนอร์ แต่ถ้าสัญญาณแรงก็จะมีความถี่เข้าไปลดการขยายในวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ

2.1.8 ภาคขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier Section)

สัญญาณภาพที่ผ่านการดีเทกเตอร์แล้วจะมีความถี่ระหว่าง 0 ถึง 5 เมกกะเฮิร์ต จะถูกส่งไปทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นเพื่อส่งสัญญาณภาพเข้าสู่หลอดภาพ โทรทัศน์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ภาคขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier)

เป็นการขยายสัญญาณที่ผ่านการแยกคลื่นพาหะออกโดยวิดิโอคิเทกเตอร์แล้ว ในส่วนนี้สัญญาณเสียงจะแยกไปยังภาคเสียง ส่วนสัญญาณภาพจะส่งไปขับให้มีสัญญาณแรงขึ้นก่อนส่งไปขยายในภาคสุดท้าย

- ภาคขับสัญญาณภาพ (Video Driver)

เป็นวงจรขับสัญญาณภาพโดยจะรับสัญญาณที่ผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณภาพขยายอีกชั้นหนึ่งเพื่อขับเป็นไบแอสให้กับภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้ายต่อไป สำหรับในเครื่องรับโทรทัศน์ปัจจุบันไม่นิยมใช้ภาคขับสัญญาณภาพ เพราะการขยายจากภาคขยายสัญญาณภาพ มีขนาดสัญญาณแรงเพียงพอในการขับให้กับภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้าย

- ภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้าย (Video Output)

เป็นวงจรขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้าย มีอัตราขยายแรงดันในระดับ 30 โวลต์ ถึง 150 โวลต์ ตามขนาดของจอภาพ เป็นวงจรขยายความถี่ย่านกว้าง สามารถขยายสัญญาณความถี่ต่ำตั้งแต่ 0 ถึงความถี่สูง 5 เมกกะเฮิร์ต สัญญาณที่ถูกขยายจะส่งเข้าสู่หลอดภาพ ในส่วนนี้จะมีปรับความเข้ม (contrast control) และปรับความสว่าง (brightness control)

2.1.9 ภาคเสียง (Sound Section)

สัญญาณเสียงจะแยกจากคลื่นพาหะเมื่อเข้าสู่วงจรวิดิโอคิเทกเตอร์ แต่สัญญาณเสียงยังเป็นสัญญาณความถี่ปานกลาง โครงสร้างของภาคเสียงประกอบด้วย

- ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางเสียง (Sound IF Amplifier)

เป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลางเสียงที่ผ่านการแยกมาจากวิดิโอคิเทกเตอร์ ความถี่ปานกลางเสียง 5.5 เมกกะเฮิร์ต ให้มีระดับสัญญาณที่แรงขึ้นก่อนไปทำการแยกคลื่นพาหะเสียงออก

- วงจรลิมิตเตอร์ (Limiter)

เป็นวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน (noise) โดยเป็นวงจรลิมิตเตอร์ผสมสัญญาณทางด้านความถี่ (FM limiter) กำจัดสัญญาณรบกวนที่ปะปนมากับสัญญาณเสียง

- การคิเทกต์สัญญาณเสียงเอฟเอ็ม (Sound FM Detector)

เป็นวงจรคิเทกเตอร์ของสัญญาณเสียง จะแยกสัญญาณเสียงออกจากคลื่นพาหะเสียงเอฟเอ็ม

- ภาคขับสัญญาณเสียง (Audio Driver)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ผ่านการคิเทกเตอร์ให้มีกำลังแรงขึ้นก่อนขับให้กับภาคขยายเสียงภาคสุดท้ายขยายออกลำโพง

- ภาคขยายสัญญาณภาคสุดท้าย (Audio Output)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงความถี่ 20 เฮิร์ต ถึง 20,000 เมกกะเฮิร์ต เป็นภาคสุดท้ายเพื่อขยายกำลังให้แรงขึ้นก่อนส่งไปสู่ลำโพง

- ลำโพง (loud speaker)

ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงที่ได้ยินกัน

2.1.10 ภาคขยายสัญญาณซิงค์ (Synchronization Separator)

สัญญาณซิงค์ที่มาจากเครื่องส่งจะปนมากับสัญญาณภาพรวม เมื่อผ่านวงจรเทกเคอร์ก็จะถูกแยกออกจากสัญญาณภาพ โดภาคแยกสัญญาณซิงค์ ซึ่งประกอบด้วย

- วงจรซิงค์ (sync sep)

ทำหน้าที่แยกสัญญาณซิงค์ออกจากสัญญาณภาพรวม เพื่อนำไปควบคุมการสร้างสัญญาณเบี่ยงเบนทางแนวตั้งและแนวนอน

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Integrator หรือ Low Pass Filter : LPF)

เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะยอมให้สัญญาณซิงค์ทางแนวตั้งผ่านและเปลี่ยนรูปสัญญาณเป็นรูปฟันเลื่อย พร้อมทั้งกันสัญญาณความถี่สูงสัญญาณซิงค์ทางแนวนอนไม่ให้ผ่าน

- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Differentiator หรือ High Pass Filter : HPF)

เป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน จะยอมให้สัญญาณซิงค์ทางแนวนอนผ่านและเปลี่ยนรูปของสัญญาณซิงค์

2.1.11 ภาคเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Section)

สัญญาณเบี่ยงเบนทางแนวตั้งจะถูกสร้างขึ้นภายในเครื่องรับโทรทัศน์ สัญญาณที่สร้างขึ้นจะนำไปสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในการสแกนที่หน้าจอตริทัศน์ โดยอาศัยสัญญาณซิงค์เป็นสัญญาณอ้างอิง ทำให้จังหวะการสแกนที่หน้าจอเครื่องรับโทรทัศน์ตรงจังหวะกับเครื่องส่ง โดยภาคเบี่ยงเบนทางแนวตั้งประกอบด้วย

- ภาคผลิตสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Oscillator : vert osc)

เป็นวงจรสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง 50 เฮิร์ต สัญญาณจะเป็นรูปฟันเลื่อย ในส่วนนี้จะประกอบด้วยปุ่มปรับความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง เรียกว่า ปุ่มปรับความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (vertical hold)

- ภาคขับสัญญาณเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Driver : vert drive)

เป็นวงจรขับสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้งที่มาจากวงจรสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้งเพื่อส่งให้วงจรขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้งภาคสุดท้าย

- ภาคขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Output : vert out)

เป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้งภาคสุดท้าย ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงเพียงพอที่จะขับให้กับขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนทางแนวตั้งที่คอหลอดภาพ ในส่วนนี้จะมีปุ่มปรับขนาดภาพเรียกว่า ปุ่มปรับขนาดของภาพทางแนวตั้ง (vertical height) หรือ ปุ่มปรับขนาดของสัญญาณภาพทางแนวตั้ง (vertical linear)

- สัญญาณลบเส้นสับกลับทางแนวตั้ง (Vertical Blanking : vert blank)

เป็นสัญญาณลบเส้นสับกลับทางแนวตั้ง เป็นสัญญาณที่ส่งไปให้ภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้าย คัดออกในจังหวะสับกลับทางแนวตั้ง เพื่อจะไม่มีสัญญาณปรากฏที่หน้าจอภาพในจังหวะสับกลับ

- ขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (Vertical Deflection Yoke : vert yoke)

เป็นขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง ที่พันอยู่ที่บริเวณคอหลอดภาพ จะรับสัญญาณฟันเลื่อย 50 เฮิร์ต จากภาคขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนทางแนวตั้ง

2.1.12 ภาคเบี่ยงเบนทางแนวนอน (Horizontal Section)

สัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนจะถูกสร้างขึ้นภายในเครื่องรับโทรทัศน์ เช่นเดียวกับสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง โดยอาศัยสัญญาณซิงก์ทางแนวนอน (Horizontal Sync) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสร้างพัลส์ทางแนวนอน (Horizontal Pulse) ที่สร้างขึ้นในภาคเบี่ยงเบนทางแนวนอน สัญญาณสร้างพัลส์ทางแนวนอนที่ได้จะถูกขยายให้แรงขึ้นแล้วส่งให้ขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวนอน (Horizontal Deflection Yoke : hor yoke) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนทางแนวนอนและส่งให้หม้อแปลงป้อนกลับหรือหม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูง (FBT : flyback transformer) สร้างไฟแรงสูงให้หลอดภาพ ภาคเบี่ยงเบนทางแนวนอนประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่

- วงจรควบคุมความถี่ทางแนวนอนอัตโนมัติ (Horizontal Automatic Frequency Control : hor AFC) เป็นการควบคุมความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนโดยอัตโนมัติ ทำหน้าที่เปรียบเทียบกับระหว่างสัญญาณซิงก์ทางแนวนอนกับสัญญาณสร้างพัลส์ทางแนวนอนเพื่อส่งให้กับภาคสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอน (Horizontal Oscillator : hor osc) ในการผลิตสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนอย่างถูกต้องตรงพร้อมกับเครื่องส่ง

- ภาคสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอน (Horizontal Oscillator : hor osc) เป็นวงจรผลิตสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนหรือสัญญาณสร้างพัลส์ทางแนวนอน 15,625 เฮิร์ตซ์ ในภาคนี้จะมีปุ่มปรับความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนที่เรียกว่า ปุ่มปรับความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอน (horizontal holding : hor hold)

- ภาคขับสัญญาณทางแนวนอน (Horizontal Driver : hor drive) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนที่สร้างขึ้นจากภาคสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอน ให้มีกำลังแรงขึ้นเพื่อขับให้กับภาคขยายสัญญาณทางแนวนอนภาคสุดท้าย (Horizontal Output : hor out) ในภาคนี้จะมีหม้อแปลงขับสัญญาณทางแนวนอน (Horizontal Driver Transformer) เพื่อขับสัญญาณให้กับ ภาคขยายสัญญาณทางแนวนอนภาคสุดท้าย

- ภาคขยายสัญญาณทางแนวนอนภาคสุดท้าย (Horizontal Output : hor out) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนภาคสุดท้าย โดยขับให้มีความถี่แรงขึ้นเพื่อส่งให้กับขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวนอนในการสร้างสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนทางแนวนอน ส่วนหนึ่งจะส่งให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูง เพื่อสร้างไฟแรงสูงให้หลอดภาพ

- สัญญาณลบเส้นสลับกลับทางแนวนอน (Horizontal Blanking : hor blank) เป็นสัญญาณทางแนวนอน ส่วนหนึ่งที่มาจากภาคขยายสัญญาณทางแนวนอนภาคสุดท้าย เพื่อส่งไปเป็นไบแอสให้กับภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้าย เพื่อให้คัตออฟในจังหวะสลับกลับของการสแกนทางแนวนอนที่หน้าจอภาพ

2.1.13 ภาคไฟแรงสูง (High Voltage Rectifier)

การสร้างความสว่างภายในหลอดภาพโทรทัศน์ให้เกิดเป็นแสงขึ้น จะต้องใช้ไฟกระแสตรงแรงดันสูง ส่งเข้าไปในหลอดภาพโทรทัศน์เพื่อให้มีพลังงานพอที่จะวิ่งเข้าไปในหลอดภาพที่เป็นสุญญากาศได้ แรงดันดังกล่าวถูกสร้างขึ้นโดยภาคสร้างไฟแรงสูง ประกอบด้วย

- หม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูง (Flyback Transformer : FBT)

เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณสร้างพัลส์ทางแวนอน เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงก่อนที่จะนำไปแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป

- วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแรงดันสูง (High Voltage Rectifier :HV)

เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟสูง ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงที่ผ่านการเหนี่ยวนำจากหม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เช่น โดยการใช้ไดโอดทอนแรงดันสูงเพียงตัวเดียว

- ไดโอดแคมเปอร์ (Damper)

เป็นไดโอดที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูงทางขดลวดด้านขาเข้า ทำหน้าที่ผ่านสัญญาณ ฮอริซอนตัลพัลส์ ซึ่กลับให้ลงกราวด์ ป้องกันการออสซิลเลตของสัญญาณ

2.1.14 ภาคจ่ายไฟ (Power Supply Section)

ภาคจ่ายไฟเลี้ยงภายในเครื่องรับโทรทัศน์จะเป็นบล็อกไดอะแกรมที่แยกไว้ต่างหาก โดยไม่ลากสายต่อไปยังภาคใดๆ เพราะแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายเลี้ยงทุกภาคในเครื่องรับโทรทัศน์ ดังนั้นถ้าลากเส้นต่อไปยังทุกภาคก็จะมีเส้นซับซ้อนเต็มไปหมด จึงไม่มีการลากเส้นจากภาคจ่ายไฟไปยังภาคต่างๆ แต่จะถือว่าทุกภาคได้รับไฟเลี้ยงจากภาคจ่ายไฟ

ภาคจ่ายไฟในเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำจะแตกต่างจากเครื่องรับโทรทัศน์สี โดยไม่ใช้แหล่งจ่ายไฟคนละแบบ ในเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำจะใช้วงจรควบคุมแรงดันคงที่ (voltage regulator) ในขณะที่เครื่องรับโทรทัศน์สีจะใช้วงจรสวิตชิ่งเรกูเลเตอร์ (switching regulator) โครงสร้างการทำงานและลักษณะวงจรทั้งสองแบบแตกต่างกันมาก ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะภาคจ่ายไฟสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ขาว – ดำเท่านั้น

2.1.15 หลอดภาพโทรทัศน์ (Picture tube)

หลอดภาพโทรทัศน์ถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของเครื่องรับโทรทัศน์ เป็นหลอดสุญญากาศจะรับสัญญาณภาพที่ถูกขยายจากภาคขยายสัญญาณภาพภาคสุดท้ายเข้าที่แคโทด จากนั้นปืนอิเล็กตรอนภายในหลอดภาพจะยิงลำอิเล็กตรอนไปยังกึ่งกลางจอภาพ ลำแสงที่ยิงไปจะกระทบสารฟอสเฟอร์ที่ฉาบเอาไว้ภายในหลอดภาพโทรทัศน์ทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น ขดลวดเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนที่พันอยู่บริเวณคอหลอดภาพก็จะสร้างสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนให้กราดไปจนเต็มหน้าจอทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นที่หน้าจอภาพ การเกิดลำแสงในหลอดภาพต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงต่อเข้าที่บริเวณแอโนดของหลอดภาพ

2.1.16 การอ่านวงจรเครื่องรับโทรทัศน์ (Television Receiver Schematic Diagram)

เรื่องสำคัญสำหรับผู้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ก็คือการอ่านลายวงจร (schematic diagram) ซึ่งเป็นการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ที่เขียนแทนในรูปของสัญลักษณ์เนื่องจากวงจรเต็มไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก มีการลากเส้นเชื่อมโยงถึงกันระหว่างภาคหนึ่งไป

อีกภาคหนึ่ง ดังนั้นเมื่อเข้าใจถึงโครงสร้างการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ก็ควรจะแยกได้ว่าส่วนใดในลายวงจรเป็นภาคใด อุปกรณ์ตัวใดเป็นภาคอะไร และแต่ละภาคเริ่มต้นที่จุดใด

ต่อไปจะเป็นการอธิบายโครงสร้างและการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์แต่ละภาคในรูปของบล็อกโคจรและกรมประกอบกับวงจรในทุกภาค วิธีการอ่านลายวงจรของเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การแยกภาคในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์

เมื่อทำการอ่านวงจรโทรทัศน์ ผู้ศึกษาการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์จะต้องแยกได้ในทันทีว่าส่วนใดในวงจรเป็นภาคอะไร โดยโครงสร้างหลักของเครื่องรับโทรทัศน์จะจัดได้ไม่เกิน 9 กลุ่ม คือ

1. จุรับสัญญาณเข้า ได้แก่ จูนเนอร์
2. ส่วนที่เป็นภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง , ภาคควบคุมเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ และภาควีดีโอคิเทกเคอร์ เป็นส่วนที่ต่อมาจากจูนเนอร์มักจะรวมอยู่ในไอซีตัวเดียวกัน
3. ส่วนของสัญญาณเสียง สังเกตได้จากจะต้องต่อกับลำโพง
4. ส่วนขยายสัญญาณภาพก่อนเข้าหลอดภาพ สังเกตได้ว่าจะมีทรานซิสเตอร์หนึ่งตัวก่อนนำสัญญาณเข้าหลอดภาพ
5. ส่วนแยกสัญญาณซิงค์ สัญญาณขาเข้ามาจากวีดีโอคิเทกเคอร์ และสัญญาณออกจะแยกได้เป็นสองทางไปยังภาคสัญญาณทางแนวตั้งและภาคสัญญาณทางแนวนอน
6. ส่วนของภาคสัญญาณทางแนวตั้งจะมีสัญญาณไปที่ขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง
7. ส่วนของภาคสัญญาณทางแนวนอนจะมีทรานซิสเตอร์หนึ่งตัวก่อนนำสัญญาณไปเข้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูง
8. ส่วนที่เป็นไฟแรงสูงบริเวณหม้อแปลงไฟฟ้าสร้างไฟแรงสูง
9. ส่วนที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ จะสังเกตได้ว่ามีไฟ 220 โวลต์กระแสสลับ ต่ออยู่และมีหม้อแปลงกับไดโอดบริดจ์อยู่ด้วย

2. การกำหนดหมายเลขแทนอุปกรณ์

เมื่อแยกแต่ละภาคได้แล้วว่าส่วนใดเป็นภาคอะไร ก็ต้องมาแยกต่อไปอีกว่าอุปกรณ์ตัวใดอยู่ภาคใด จะสังเกตได้จากกลุ่มของตัวเลขที่กำหนดเป็นหมายเลขกำกับอุปกรณ์ในแต่ละภาคซึ่งจะเป็นตัวแยกว่าอุปกรณ์ตัวนั้นอยู่ในภาคใด เช่น

ภาคเสียง ถ้าพบว่า IC601 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงก่อนออกลำโพงย่อมแสดงว่า R605 ,C601,Q602 หรืออุปกรณ์ใดที่ขึ้นต้นหมายเลขด้วยเลข 6 จะเป็นอุปกรณ์ในภาคเสียงทั้งหมด ดังรูปที่ 2.3 อุปกรณ์ใดนำหน้าด้วยเลขอื่นแม้อยู่ในบริเวณเดียวกันก็ถือว่าไม่ใช่ภาคเสียง โดยให้ความหมายของอุปกรณ์ที่ใช้ ดังเช่น

R 605 – R หมายถึง ตัวต้านทาน

6 หมายถึง เป็นอุปกรณ์ในภาคเสียง

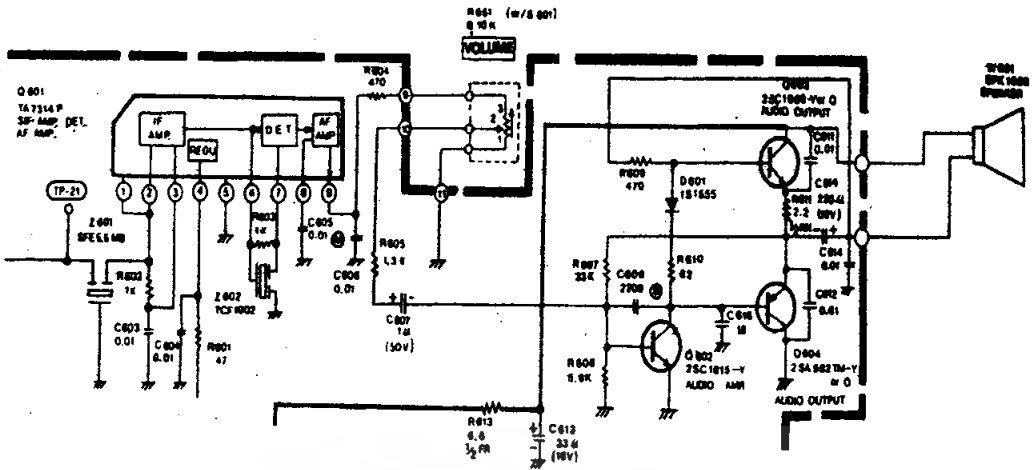
05 หมายถึง เป็นตัวต้านทานตัวที่ 5 ของภาคเสียง

R 602 - Q หมายถึง ทรานซิสเตอร์

6 หมายถึง เป็นอุปกรณ์ในภาคเสียง

02 หมายถึง เป็นตัวทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 ของภาคเสียง

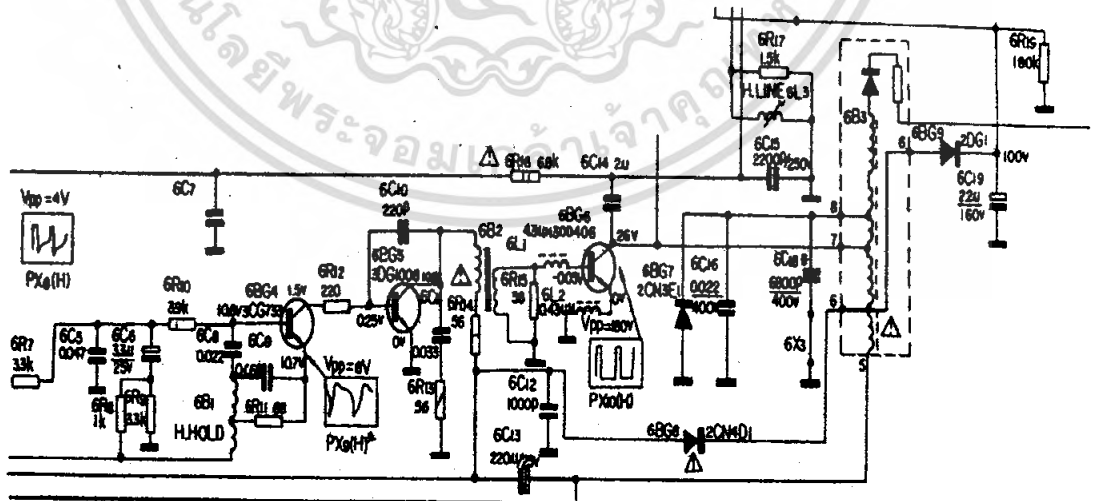
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรแสดงหมายเลขตัวเลขภาคเสียง

ภาคสัญญาณทางเนวอน ถ้าพบว่าทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งต่อสัญญาณออกไปเข้าที่ขาของหม้อแปลงไฟที่สร้างไฟแรงสูงมีหมายเลขตัวเลข 6 B3 ซึ่งถ้าอุปกรณ์ตัวใดที่มีหมายเลขตัวเลขหน้าด้วย 6 แสดงว่าอยู่ในภาคสัญญาณทางเนวอน ดังรูปที่ 2.4 ดังเช่น 6L2,6C14 ให้ความหมายว่า 6 หมายถึง เป็นอุปกรณ์สัญญาณทางเนวอน

- L หมายถึง เป็นขดลวด
- 2 หมายถึง เป็นขดลวดตัวที่ 2 ของภาคสัญญาณทางเนวอน
- C หมายถึง เป็นตัวเก็บประจุ
- 14 หมายถึง เป็นตัวเก็บประจุตัวที่ 14 ของภาคสัญญาณทางเนวอน



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรแสดงหมายเลขตัวเลขภาคสัญญาณทางเนวอน

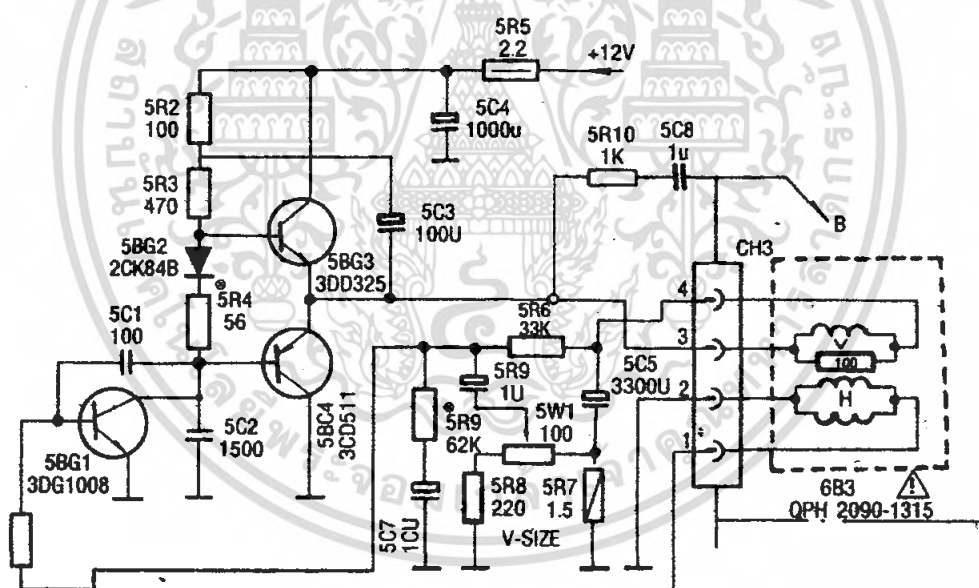
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดตัวเลขเป็นการแสดงกลุ่มของอุปกรณ์ว่าอยู่ในภาคใด แต่ไม่แยกละเอียดลงไปอีกว่าเป็นส่วนใดในภาคดังกล่าว ก็เพราะในบางกลุ่มตัวเลขเดียวกันอาจจะรวมหลายภาคเอาไว้ด้วยกัน เนื่องจากเห็นว่าเป็นการทำงานที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน เช่น กลุ่มตัวเลขขึ้นต้นด้วย 1 อย่างเช่น R112,C108,C124 ฯลฯ อาจจะอยู่ประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง, การควบคุมเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ, วิดีโอดีเทกเตอร์หรือภาคขยายสัญญาณภาพ ในกลุ่มเดียวกันก็ได้

3. การกำหนดจุดตั้งต้นและสิ้นสุดของแต่ละภาค

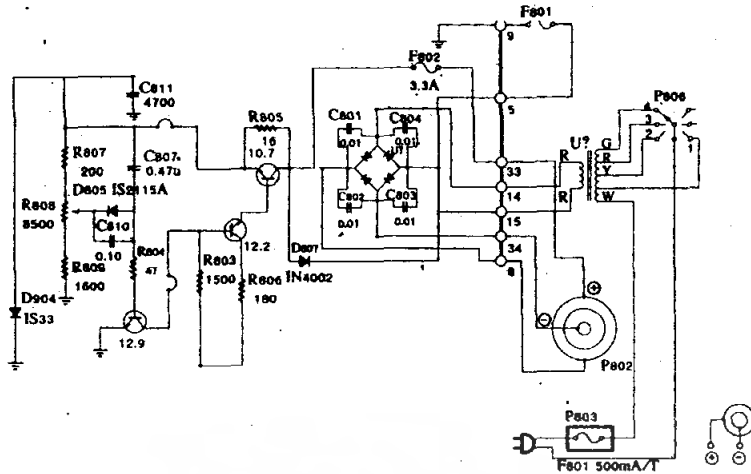
เมื่อเราสามารถจำแนกได้ว่าส่วนใดเป็นภาคอะไร และทราบว่าอุปกรณ์ที่มีโค้ดตัวเลขนำหน้าอยู่ในกลุ่มของภาคใด เราก็สามารถกำหนดจุดตั้งต้นและสิ้นสุดของแต่ละภาคได้ เช่น

ภาคสัญญาณทางแนวตั้ง ถ้าพบว่าหมายเลขอุปกรณ์ในภาคนี้ขึ้นต้นด้วยเลข 5 ก็ให้หาอุปกรณ์ที่มีโค้ดตัวเลขเป็น R501,C501 หรือ 5R1,5C1 ที่ต่อกับอุปกรณ์วงจรถ่ายแยกซิงค์ (Synchronization Separator : syac sep) หรือภาคสัญญาณทางแนวนอน โค้ดตัวเลขของอุปกรณ์ที่เป็น R501,5R1,C501,5C1 ก็จะเป็นอุปกรณ์ตัวแรกในภาคสัญญาณทางแนวตั้ง ส่วนจุดสิ้นสุดของภาคสัญญาณทางแนวตั้งก็จะเป็นขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง ขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวตั้งที่มีสัญลักษณ์เป็นขดลวดหันอยู่กับคอหลอดนั่นเอง รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างวงจรแสดงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของภาคสัญญาณทางแนวตั้ง



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรแสดงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของภาคสัญญาณทางแนวตั้ง

ภาคจ่ายไฟ (power supply) จุดเริ่มต้นก็จะเริ่มจากปลั๊กไฟเข้า 220 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงโคโอดบริดจ์ ตัวเก็บประจุ วงจรกรองความถี่ และวงจรควบคุมแรงดัน อุปกรณ์ทุกตัวจะต้องมีโค้ดตัวเลขนำหน้าตัวเดียวกัน ตัวสุดท้ายของภาคจ่ายไฟก็จะเป็นโค้ดตัวเลขกลุ่มนั้นซึ่งก็จะเปลี่ยนตัวนำหน้าเป็นโค้ดตัวเลขอื่น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างวงจรแสดงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของภาคจ่ายไฟ

2.2 การส่งสัญญาณโทรทัศน

การส่งสัญญาณโทรทัศนมีวิธีการต่างๆ หลายวิธีตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณความถี่แบบเดิม ส่งตามสายเคเบิล แล้วพัฒนาเป็นการส่งด้วยเส้นใยแสง (fiber optics) หรือส่งด้วยสัญญาณควมเทียมก็ตาม ถือว่าวิธีการส่งสัญญาณโทรทัศนยังมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีหลักๆ คือ

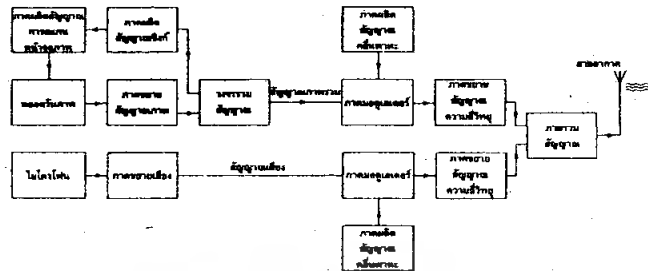
1. การส่งสัญญาณโทรทัศนด้วยความถี่คลื่นวิทยุ (radio frequency) เป็นการส่งสัญญาณโทรทัศนแบบวงจรเปิด (open circuit) เป็นการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศนไปในอากาศโดยคลื่นวิทยุ ผู้รับเมื่อติดตั้งเสาอากาศแล้วต่อสายสัญญาณเข้าเครื่องรับโทรทัศนก็สามารถรับสัญญาณโทรทัศนจากสถานีส่งได้ การส่งสัญญาณโทรทัศนแบบนี้เป็นระบบที่ออกอากาศสถานีโทรทัศนทั่วไป

2. การส่งสัญญาณโทรทัศนด้วยสายนำสัญญาณ (cable TV) เป็นการส่งสัญญาณโทรทัศนในแบบวงจรปิด (close circuit) โดยการส่งสัญญาณโทรทัศนไปตามสายนำสัญญาณหรือสายเคเบิลไปยังเครื่องรับโทรทัศน โดยระบบนี้เป็นการติดต่อโดยตรงระหว่างสถานีส่งสัญญาณกับผู้รับสัญญาณ เช่น การส่งสัญญาณของบริษัทเคเบิลทีวีไปยังบ้านผู้รับที่บอกรับเป็นสมาชิกหรือเป็นการส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับโดยตรงโดยไม่เผยแพร่สัญญาณออกอากาศ เช่น ระบบโทรทัศนวงจรปิดในห้องบรรยายของมหาวิทยาลัยรามคำแหง หรือระบบโทรทัศนวงจรปิดเพื่อการรักษาความปลอดภัยในธนาคาร ฯลฯ ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะการส่งสัญญาณ โทรทัศนด้วยความถี่คลื่นวิทยุเท่านั้น

2.2.1 การส่งโทรทัศนด้วยคลื่นวิทยุ

การส่งสัญญาณ โทรทัศนไปยังเครื่องรับโทรทัศนตามบ้านเรือนที่เราดูกันอยู่ทุกวันนี้ เป็นการส่งโดยแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปในอากาศในสภาพของสนามไฟฟ้า การจะรับสัญญาณ โทรทัศนได้ก็ต้องติดตั้งเสาอากาศเพื่อรับสัญญาณที่ส่งไปจากเครื่องส่ง (transmitter) แล้วเหนี่ยวนำเป็นสัญญาณให้

เครื่องรับโทรทัศน์ทำการเปลี่ยนคลื่นวิทยุให้กลับเป็นสัญญาณภาพอีกครั้ง การส่งสัญญาณในลักษณะนี้ จึงเป็นการส่งในลักษณะเปิด นั่นคือผู้รับสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้โดยไม่เสียค่าธรรมเนียมใดๆ ในรูปที่ 2.7 เป็นแผนภูมิแสดงการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ



รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยคลื่นวิทยุ

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยคลื่นวิทยุจะส่งภาพและเสียงไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ ภายในเครื่องส่งโทรทัศน์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพ
2. ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียง

ในที่นี้เป็นคำอธิบายถึง โครงสร้างของการส่งสัญญาณโทรทัศน์เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจสัญญาณที่เครื่องรับโทรทัศน์จะได้รับจากสถานีส่ง โครงสร้างของการส่งสัญญาณโทรทัศน์มีดังต่อไปนี้

2.2.2 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพ

ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพจะเปลี่ยนสัญญาณภาพในรูปของแสง ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วนำไปผสมกับคลื่นวิทยุเพื่อให้เป็นคลื่นพาหะ จากนั้นทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นเพื่อนำไปผสมกับสัญญาณเสียงส่งให้เสาอากาศแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเครื่องรับต่อไป ในส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพจะประกอบไปด้วย

1. หลอดรับภาพ (camera tube)

คามร่าทิว์บ์หรือหลอดรับภาพ ทำหน้าที่ในการรับภาพที่อยู่ในรูปของแสง โดยภายในหลอดรับภาพจะมีแผ่นรับภาพ เมื่อแสงตกกระทบความต้านทานของสารไวแสงที่ฉาบอยู่ก็จะเปลี่ยนแปลงไป ความปริมาณของแสง ป็นอิเล็กตรอนภายในหลอดรับภาพจะยิงลำอิเล็กตรอนกราดไปทั่วแผ่นรับภาพ เพื่อนำปริมาณกระแสที่ผ่านแผ่นรับภาพไปเป็นสัญญาณภาพ

2. ภาคผลิตสัญญาณการสแกนที่จอภาพ (camera scan generator)

ภาคผลิตสัญญาณการสแกนทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณความถี่เชิงเบนลำอิเล็กตรอนของปืนอิเล็กตรอนทางแนวนอนและแนวตั้ง ส่งให้กับขดลวดเชิงเบนทางแนวนอนและแนวตั้งที่พันอยู่รอบคอหลอดรับภาพ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเชิงเบนลำอิเล็กตรอนให้ลำอิเล็กตรอนสแกนได้เต็มหน้าจอ

3. ภาคผลิตสัญญาณซิงค์ (sync pulse generator)

ภาคผลิตสัญญาณซิงค์ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณซิงค์เพื่อควบคุมการสร้างภาพดีเบียงเบนทางแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อให้การสแกนของลำอิเล็กตรอนสอดคล้องสัมพันธ์กัน ลำอิเล็กตรอนเรียงรายจากด้านบนลงสู่ด้านล่างอย่างเป็นระเบียบ สัญญาณซิงค์ก็จะส่งไปพร้อมกับสัญญาณภาพที่วางจรรวมสัญญาณ (combining circuit) รวมกับสัญญาณภาพกลายเป็นสัญญาณภาพรวม (composite video signal) โดยสัญญาณซิงค์จะถูกส่งไปยังเครื่องรับด้วยเพื่อควบคุมการสร้างภาพดีเบียงเบนทางแนวนอนและแนวตั้งที่เครื่องรับโทรทัศน์

4. ภาคขยายสัญญาณภาพ (video amplifier)

ภาคขยายสัญญาณภาพทำหน้าที่รับสัญญาณภาพ จากหลอดรับภาพมาทำการขยายให้มีกำลังแรงขึ้น เพื่อส่งไปผสมกับสัญญาณซิงค์ ก่อนไปทำการผสมกับคลื่นพาหะภาพเพื่อส่งแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กต่อไป

5. วงจรรวมสัญญาณ (combining circuit)

วงจรรวมสัญญาณทำหน้าที่รวมสัญญาณภาพที่ผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงค์ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมการสร้างภาพดีเบียงเบนเข้าด้วยกันก่อนส่งไปผสมกับคลื่นพาหะ

6. ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ (สัญญาณภาพ) (radio frequency oscillator : RF osc) (video carrier)

ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ (สัญญาณภาพ) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเพื่อนำไปเป็นคลื่นพาหะของสัญญาณภาพ โดยคลื่นวิทยุที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปผสมกับสัญญาณภาพ ที่ภาคมอดูเลเตอร์ก่อนส่งไปขยายแล้วแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็ก

7. ภาคมอดูเลเตอร์ (สัญญาณภาพ) (modulator)

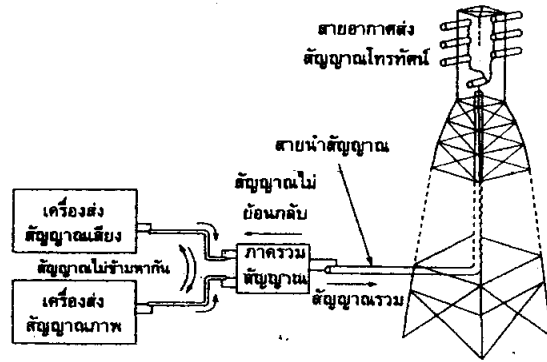
ภาคผสมสัญญาณทำหน้าที่ผสมสัญญาณคลื่นพาหะกับสัญญาณภาพรวมก่อนส่งไปทำการขยาย โดยการผสมสัญญาณในการส่งสัญญาณภาพของเครื่องส่งจะเป็นการผสมในแบบ Amplitude Modulation : AM

8. ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณภาพ) (RF amplifier)

ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุทำหน้าที่ขยายความถี่คลื่นวิทยุในส่วนของสัญญาณภาพที่ทำการมอดูเลตในแบบเอเอ็ม ให้มีกำลังแรงขึ้นตามกำลังส่งของสถานีโทรทัศน์ ซึ่งคิดเป็นกิโลวัตต์ เช่น 10 กิโลวัตต์ หรือ 50 กิโลวัตต์ ก่อนที่จะนำไปรวมกับความถี่คลื่นวิทยุของสัญญาณเสียงส่งแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็ก

9. ภาครวมสัญญาณ (combining unit)

ภาครวมสัญญาณทำหน้าที่รวมสัญญาณคลื่นพาหะของภาพและเสียงที่ผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ เพื่อรวมเข้าด้วยกันโดยที่ความถี่คลื่นพาหะของภาพจะผสมมาในแบบภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ในขณะที่คลื่นพาหะของเสียงจะผสมกันแบบเอเอ็ม หลังจากนั้นก็จะส่งสัญญาณที่ผสมแล้วไปยังเสาอากาศโทรทัศน์เพื่อเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กแพร่กระจายออกอากาศต่อไป ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการรวมสัญญาณคลื่นพาหะของภาพและเสียงที่ภาครวมสัญญาณ

2.2.3 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียง

ในการส่งสัญญาณ โทรทัศน์สัญญาณภาพและเสียงจะแยกกันคนละส่วน ในส่วนของสัญญาณเสียงจะเป็นการเปลี่ยนเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยไมโครโฟน จากนั้นก็ไปทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น เพื่อนำไปผสมกับคลื่นพาหะทำการขยายแล้วนำไปรวมกับคลื่นพาหะของสัญญาณภาพ จากนั้นส่งเข้าสู่เสาอากาศเพื่อส่งไปยังเครื่องรับ ในส่วนนี้ประกอบด้วยภาคต่างๆ ได้แก่

1. ไมโครโฟน (microphone)

ไมโครโฟนทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยนำพลังงานเสียงที่กระทบแผ่นไดอะแฟรมไปเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนนำไปผสมกับคลื่นพาหะส่งออกอากาศ เมื่อไปถึงเครื่องรับก็จะเปลี่ยนเป็นเสียงอีกครั้งโดยลำโพง

2. ภาคขยายสัญญาณเสียง (audio amplifier)

ภาคขยายสัญญาณเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่มาจากไมโครโฟนให้มีกำลังแรงขึ้น ก่อนนำไปผสมกับคลื่นพาหะเพื่อเป็นคลื่นพาหะ

3. ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ (เสียง) (radio frequency oscillator : RF osc) (sound carrier)

ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ (เสียง) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่วิทยุเพื่อนำไปเป็นคลื่นพาหะของสัญญาณเสียง โดยนำไปทำการผสมสัญญาณเสียงที่ภาคมอดูเลเตอร์ก่อนทำการขยายส่งออกอากาศ

4. ภาคมอดูเลเตอร์ (สัญญาณเสียง) (modulator)

มอดูเลเตอร์ทำหน้าที่เป็นภาคผสมสัญญาณเสียงที่ผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณเสียง กับคลื่นพาหะที่สร้างขึ้นจากภาคผลิตคลื่นพาหะเสียง การผสมสัญญาณเสียงของภาคมอดูเลเตอร์เป็นการผสมในแบบเอฟเอ็ม เมื่อผสมกันแล้วก็ส่งไปทำการขยายที่ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

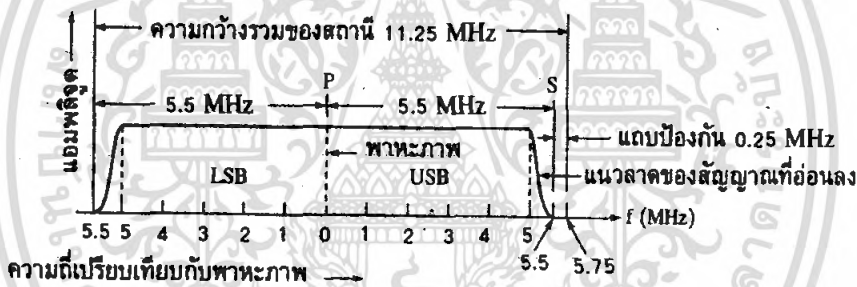
5. ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณเสียง) (RF amplifier)

ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ทำการผสมคลื่นพาหะของสัญญาณเสียงจากภาคมอดูเลเตอร์มาทำการขยายให้มีสัญญาณแรงขึ้น ก่อนนำไปทำการผสมกับคลื่นพาหะของสัญญาณภาพที่ภาครวมสัญญาณ ซึ่งจะรวมคลื่นพาหะของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะส่งไปให้กับเสาอากาศเพื่อทำการแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่กระจายสัญญาณออกอากาศไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ตามบ้านต่อไป

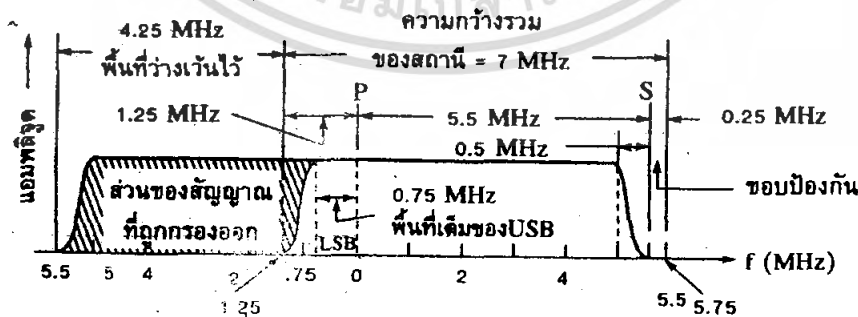
2.2.4 แถบความถี่ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์

ระบบโทรทัศน์ในประเทศไทยจะส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยระบบ 625 เส้น/ภาพ และ 25 ภาพ/วินาที ตามมาตรฐาน CCIR โดยช่องสถานีโทรทัศน์แต่ละช่องจะมีความกว้างของแถบความถี่ 7 เมกกะเฮิร์ต แถบความถี่แต่ละสถานีจะติดกัน การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในประเทศไทยก็จะส่งสัญญาณทางช่อง 3, 5, 7, 9 และ 11 ซึ่งเป็นสถานีช่องเลขคี่ทั้งหมด โดยเว้นสถานีที่เป็นช่องเลขคู่ให้เป็นสถานีในส่วนภูมิภาคเพื่อไม่ให้สัญญาณเกิดการรบกวนกันระหว่างช่องที่ใกล้เคียงกัน

ถ้าพิจารณาจากแถบความถี่ในการส่งสัญญาณภาพและเสียงก็จะพบว่า สัญญาณภาพที่ส่งไปมีแถบความถี่กว้างประมาณ 0 ถึง 5 เมกกะเฮิร์ต เป็นการมอดูเลตในแบบเอเอ็ม ซึ่งเป็นแถบความถี่ด้านต่ำ (Lower Side Band : LSB) ส่วนสัญญาณเสียงจะมีแถบความถี่ของคลื่นพาหะ 5.5 เมกกะเฮิร์ต เป็นการมอดูเลตในแบบเอฟเอ็ม ซึ่งเป็นแถบความถี่ด้านสูง (Upper Side Band : USB) ถ้านำสัญญาณทั้งสองมาต่อกัน โดยรวมช่วงขึ้นและช่วงลงของสัญญาณแล้วรวมทั้งช่องว่างระหว่างช่องเข้าด้วยกันก็จะมีแถบความถี่ถึง 11.25 เมกกะเฮิร์ต ดังรูปที่ 2.9 ก็จะมี ความกว้างมากเกินไป ดังนั้นในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ก็จะเป็นการรวมสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยมีคลื่นพาหะเดียวกันซึ่งสัญญาณทั้งสองต่างอยู่กันคนละขั้วไม่รบกวนกัน



รูปที่ 2.9 ผลรวมของแถบความถี่ภาพและเสียง



รูปที่ 2.10 ผลรวมของแถบความถี่เมื่อรวมกัน

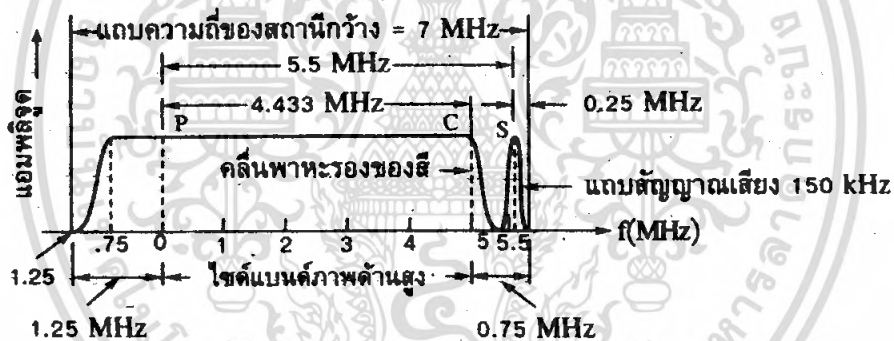
การรวมสัญญาณภาพและเสียงในแถบความถี่เดียวกัน ก็จะได้สัญญาณที่มีแถบความถี่ในย่าน 7 เมกกะเฮิร์ต โดยแถบความถี่ว่าง 1.25 เมกกะเฮิร์ต คลื่นพาหะภาพ 0 ถึง 5 เมกกะเฮิร์ต และคลื่นพาหะเสียงมีความถี่รวมกันอยู่ 5.5 เมกกะเฮิร์ต และช่องว่างระหว่างช่องอีก 0.25 เมกกะเฮิร์ต หรือ

$$1.25 \text{ เมกกะเฮิร์ต} + 5.5 \text{ เมกกะเฮิร์ต} + 0.25 \text{ เมกกะเฮิร์ต} = 7 \text{ เมกกะเฮิร์ต}$$

ทำให้ลดการใช้พื้นที่ลงไปได้มากที่สุด ดังรูปที่ 2.11 เมื่อแถบความถี่ของช่องสถานีโทรทัศน์แต่ละช่องได้ถูกกำหนดมาตรฐานเอาไว้แตกต่างกัน การกำหนดความถี่ที่ใช้งานในแต่ละระบบของการส่งสัญญาณโทรทัศน์ก็จะแตกต่างกัน อาทิเช่น

สถานีโทรทัศน์ในประเทศไทยใช้มาตรฐาน CCIR ระบบ PAL B 625 เส้น/ภาพ 25 ภาพ/วินาที ลักษณะของแถบความถี่จะแสดงในรูปที่ 2.11

- แถบความถี่ของแต่ละสถานีกว้าง 7 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณเสียง 5.5 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณภาพ 0 ถึง 5 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะรองของสี 4.43 เมกกะเฮิร์ต
- แถบความถี่สัญญาณภาพค้ำต่ำ 1.25 เมกกะเฮิร์ต
- ระยะห่างของสัญญาณเสียงจากขอบ 0.25 เมกกะเฮิร์ต

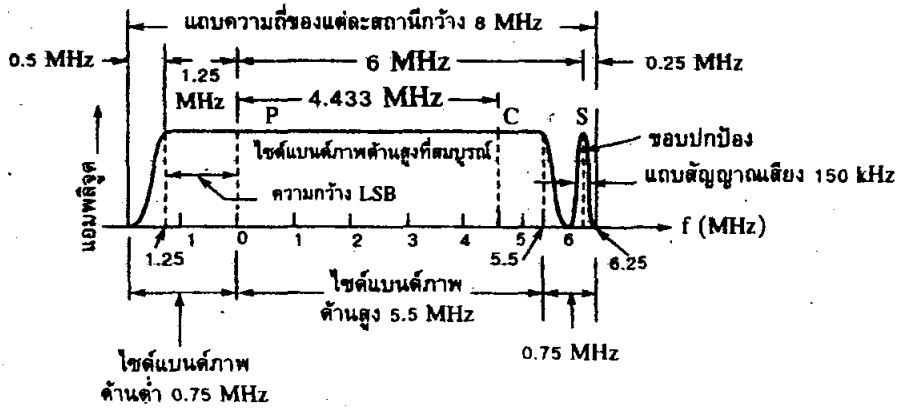


รูปที่ 2.11 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในประเทศไทยตามมาตรฐาน CCIR system B

สถานีโทรทัศน์ประเทศอังกฤษใช้มาตรฐานของ CCIR เช่นกันแต่เป็นระบบ PAL I 625 เส้น/ภาพ 25 ภาพ/วินาที แม้จะใช้มาตรฐานการส่งโทรทัศน์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะของแถบความถี่จะแตกต่างกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

- แถบความถี่ของแต่ละสถานีกว้าง 8 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณเสียง 6 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณภาพ 0 ถึง 5.5 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะรองของสี 4.43 เมกกะเฮิร์ต
- แถบความถี่สัญญาณภาพค้ำต่ำ 1.75 เมกกะเฮิร์ต
- ระยะห่างของสัญญาณเสียงจากขอบ 0.25 เมกกะเฮิร์ต

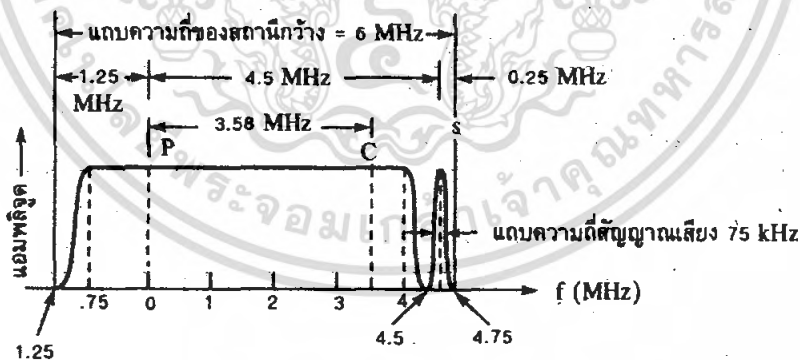
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในประเทศอังกฤษตามมาตรฐาน CCIR ระบบ I

สถานีโทรทัศน์สหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐานของ FCC ระบบ NTSC M 525 เส้น/ภาพ 30 ภาพ/วินาที ลักษณะของแถบความถี่จะแสดงในรูปที่ 2.13

- แถบความถี่ของแต่ละสถานีกว้าง 6 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณเสียง 4.5 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะของสัญญาณภาพ 0 ถึง 4 เมกกะเฮิร์ต
- คลื่นพาหะรองของสี 3.58 เมกกะเฮิร์ต
- แถบความถี่สัญญาณค้ำต่ำ 1.25 เมกกะเฮิร์ต
- ระยะห่างของสัญญาณเสียงจากขอบ 0.25 เมกกะเฮิร์ต



รูปที่ 2.13 แถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ในสหรัฐอเมริกา NTSC ระบบ M

นอกจากนี้ก็ยังมึระบบ SECAM ของประเทศฝรั่งเศสที่ส่งในแบบ 819 เส้น/ภาพ 25 ภาพ/วินาที และมีความกว้างของแถบความถี่แต่ละสถานี 14 เมกกะเฮิร์ต ต่อมาได้พัฒนามาใช้ระบบ SECAM ซึ่งส่งในแบบ 625 เส้น/ภาพ 25 ภาพ/วินาที ส่วนประเทศต่างๆก็จะมีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ตามการกำหนดของ ITU อาทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CCIR ระบบ B เป็นระบบที่ใช้กันโดยทั่วไปในยุโรปตะวันตก เอเชียใต้ เอเชียตะวันออก เอเชียใต้ รวมทั้งออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และประเทศไทย ฯลฯ

NTSC ระบบ M เป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในสหรัฐอเมริกา แคนาดา เม็กซิโก ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ และประเทศไทย ฯลฯ

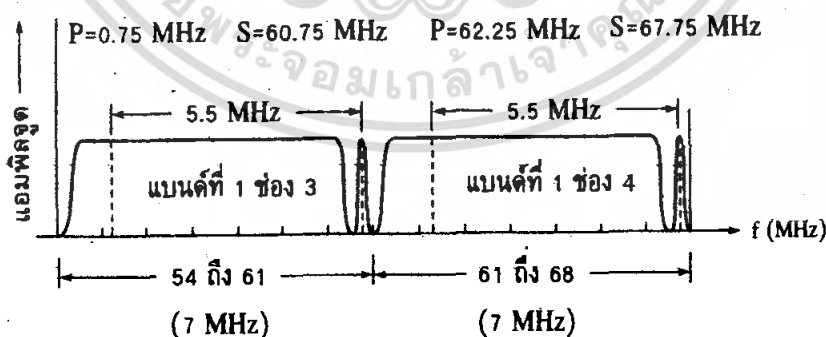
SECAM เป็นระบบที่ใช้ในประเทศฝรั่งเศส ประเทศกลุ่มยุโรปตะวันออก ประเทศแถบตะวันออกกลางบางประเทศ ฯลฯ

ปัจจัยในการเลือกใช้ระบบโทรทัศน์ของแต่ละประเทศก็จะมีสาเหตุมาจาก

1. ระบบไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศ ถ้าในประเทศใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเป็นไฟฟ้าแบบ 110 โวลต์กระแสสลับ 60 เฮิร์ต ก็มักจะใช้ระบบโทรทัศน์แบบ NTSC 525 เส้น/ภาพ 30 ภาพ/วินาที เพราะไม่เกิดความยุ่งยากในการผลิตความถี่เบี่ยงเบนทางแนวตั้ง 60 เฮิร์ต ถ้าเป็นประเทศที่ใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 220 โวลต์กระแสสลับ 50 เฮิร์ต ก็มักจะใช้ระบบ CCIR 625 เส้น/ภาพ 25 ภาพ/วินาที

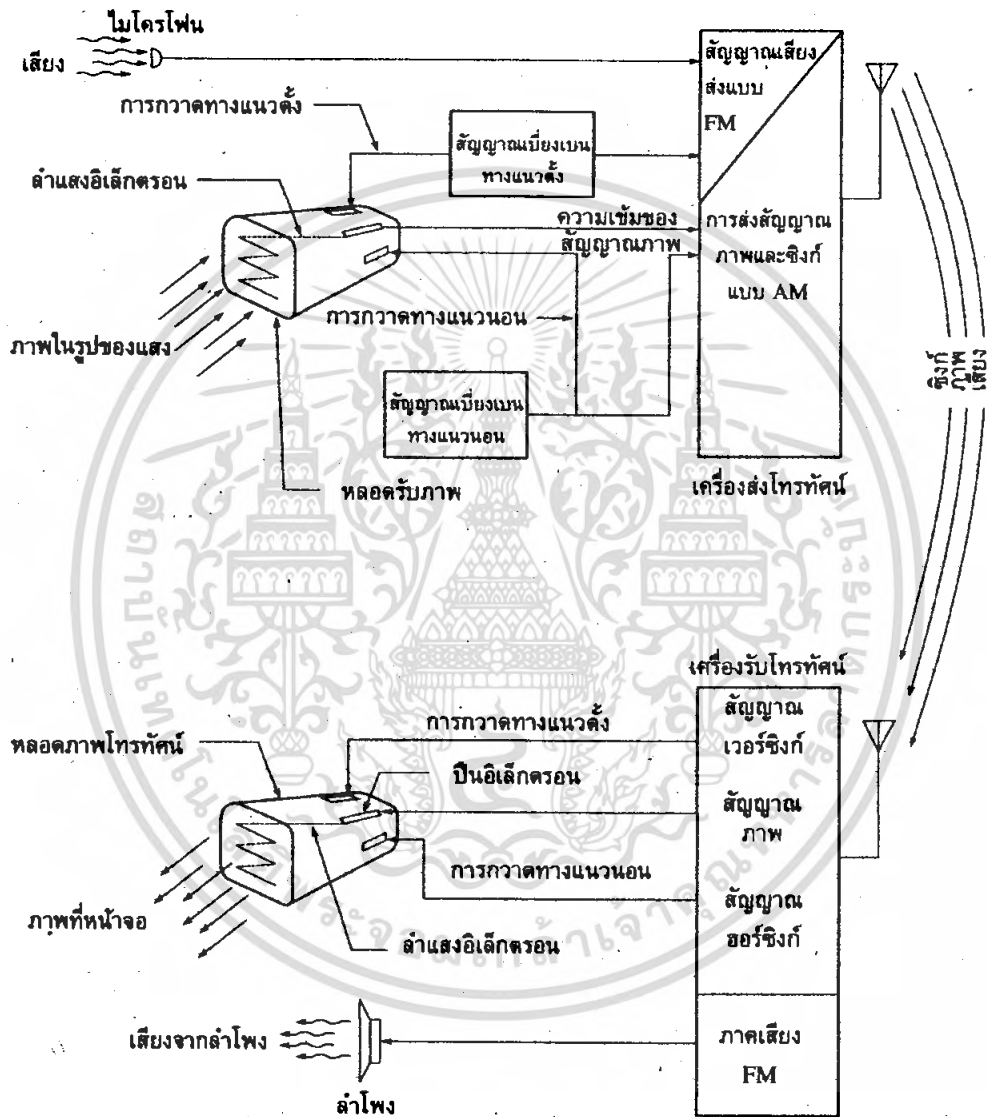
2. ปัจจัยทางด้านการเมือง เช่น ถ้าประเทศใดเคยเป็นอาณานิคมของมหาอำนาจชาติใดก็จะใช้ระบบโทรทัศน์ของประเทศมหาอำนาจนั้น อย่างประเทศที่เคยเป็นอดีตอาณานิคมของประเทศฝรั่งเศสก็จะใช้ระบบ SECAM ประเทศอาณานิคมอังกฤษก็จะใช้ระบบ CCIR หรือประเทศฟิลิปปินส์ก็จะใช้ระบบ NTSC ตามแบบของสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในประเทศไทยในยุคเริ่มต้นก็ส่งด้วยระบบ NTSC 525 เส้น แต่ที่ต้องเปลี่ยนมาใช้ระบบ 625 เส้นด้วยสาเหตุทางด้านเทคนิคคือ ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นระบบ 220 โวลต์กระแสสลับ 50 เฮิร์ต เราจึงใช้ระบบ CCIR ระบบ B ที่มีแถบความถี่แต่ละสถานี 7 เมกกะเฮิร์ต จากรูปที่ 2.14 เป็นแถบความถี่ของสถานีโทรทัศน์ช่อง 3 ซึ่งอยู่ในย่าน 54 ถึง 61 เมกกะเฮิร์ต โดยแถบความถี่ของภาพด้านต่ำจะอยู่ที่ 55.25 เมกกะเฮิร์ต ส่วนแถบความถี่ของเสียงด้านสูงอยู่ที่ 60.75 เมกกะเฮิร์ต โดยสัญญาณจะติดกับช่อง 4 ย่านความถี่ 61 ถึง 68 เมกกะเฮิร์ต สัญญาณจะไม่รบกวนกัน



รูปที่ 2.14 แถบความถี่ของสัญญาณสถานีโทรทัศน์ช่อง 3 และ ช่อง 4

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบเปิดจึงเป็นการส่งด้วยคลื่นวิทยุ โดยภาพในรูปแบบแสงถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งไปผสมคลื่นพาหะในแบบเอเอ็ม โดยมีสัญญาณซิงค์เป็นสัญญาณควบคุมการสร้างความถี่เบี่ยงเบน และสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนก็ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าผสมคลื่นพาหะในแบบเอฟเอ็ม ส่งรวมไปกับสัญญาณภาพ สัญญาณซิงค์ สัญญาณแบล็กกิ้ง และสัญญาณอีควอไลซิ่งในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเครื่องรับโทรทัศน์จะทำหน้าที่แปลงกลับมามีคังเดิม รูปที่ 2.15 แสดงการส่งและการรับของระบบโทรทัศน์



รูปที่ 2.15 การส่งและการรับของระบบโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การผสมสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์จากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ จะถูกผสมสัญญาณคลื่นพาหะ (carrier wave) ก่อนจะส่งแพร่กระจายออกอากาศ การส่งสัญญาณภาพและเสียงจะมีการผสมสัญญาณคลื่นพาหะ ในลักษณะที่แตกต่างกันหรือที่เรียกว่าการมอดูเลต

การผสมสัญญาณภาพ

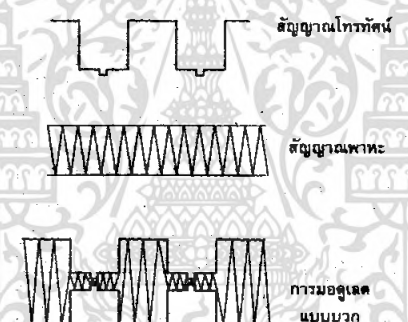
สัญญาณภาพโทรทัศน์จะมอดูเลตกับคลื่นพาหะในแบบเอเอ็ม สัญญาณภาพมีรูปร่างสัญญาณซิงก์แตกต่างกันที่ระดับความสว่างและความมืดของภาพ แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

การมอดูเลตแบบบวก (positive modulation)

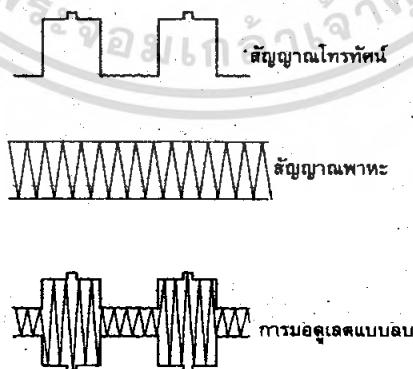
ถ้าระดับความสว่างของภาพมากก็จะทำให้คลื่นพาหะเพิ่มขึ้น ขนาดของสัญญาณซิงก์จะต่ำ ดังรูปที่ 2.16(ก)

การมอดูเลตแบบลบ (negative modulation)

การผสมสัญญาณภาพแบบนี้จะมียอดของสัญญาณเป็นสัญญาณซิงก์ที่ตำแหน่ง 100 เฟอร์เซ็นต์ มีสัญญาณแบตถึงถึงที่ระดับ 75 เฟอร์เซ็นต์ คลื่นพาหะจะไม่ต่ำกว่า 10 เฟอร์เซ็นต์ การผสมสัญญาณภาพในการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบลบเป็นวิธีการที่ใช้ในการส่งของระบบ PAL แบบที่ใช้อยู่ในประเทศไทย ดังรูปที่ 2.16(ข)



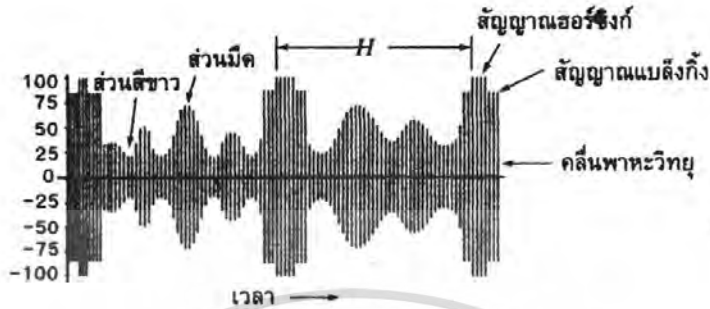
รูปที่ 2.16(ก) การมอดูเลตแบบบวก



รูปที่ 2.16(ข) การมอดูเลตแบบลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

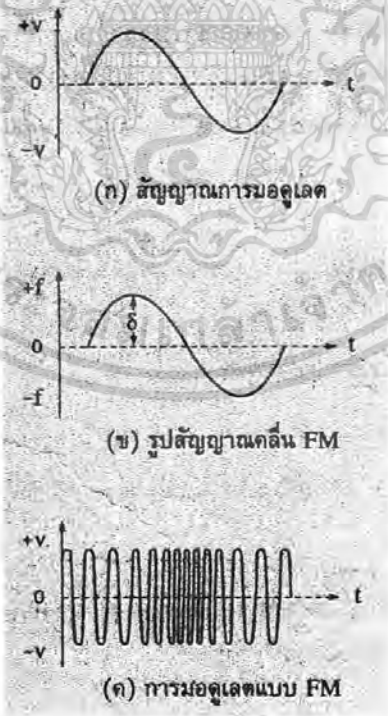
สัญญาณภาพที่มีการผสมคลื่นพาหะในแบบเอเอ็ม และมีสัญญาณควบคุมตำแหน่งภาพกับสัญญาณแบดลิงกิ้งส่งไปด้วยก็จะเรียกว่าสัญญาณภาพรวม (composite video signal) ถ้าให้สัญญาณมีระดับ 100 เเปอร์เซ็นต์ ก็จะมีสัดส่วนดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สัญญาณภาพรวม

การผสมสัญญาณเสียง

ในเครื่องรับโทรทัศน์จะทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงแบบเอฟเอ็ม ซึ่งทำให้การรับสัญญาณเสียงมีการรบกวนน้อยและมีเสียงที่ชัดเจน การส่งสัญญาณเสียงจะยกระดับสัญญาณความถี่สูงให้มีกำลังมากขึ้น ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การผสมสัญญาณเสียงแบบเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการสื่อสารเบื้องต้น

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้นเป็นการสื่อความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสารโดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสาร โดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แต่ก็เป็นระบบไปรษณีย์ เป็นการส่งโทรเลข จนถึงปัจจุบันเป็นการส่งข่าวสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารโดยการพูดพัฒนามาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดาไปเป็นโทรศัพท์และวิทยุ วิทยุคมนาคมต่าง ๆ มักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารกันได้ไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น

ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุช่วยให้เราติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าขยายให้เป็นคลื่นเสียง (หรือออกไอ) แล้วทำการเกาะผสมกับคลื่นพาหะ (คลื่นวิทยุ) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามถ้าหากเราส่งเสียงพูดไปในรูปของคลื่นเสียง (ซึ่งความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 20 เฮิร์ต - 20 กิโลเฮิร์ต) ปัญหาจะเกิดขึ้นตามมาหลายประการดังนี้

1. การที่จะทำให้การส่งมีประสิทธิภาพเราจะต้องใช้สายอากาศที่มีขนาดความยาวเท่ากับหนึ่งในสี่ หรือ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ดังนั้นการส่งคลื่น 300 เฮิร์ตจะต้องใช้สายอากาศอย่างน้อย 25 กิโลเมตร

2. แม้ว่าจะแก้ปัญหาสายอากาศได้แต่ก็จะเกิดปัญหา คือส่งได้เพียงทีละสถานี เพราะทุกสถานีใช้ความถี่เสียงซ้ำกัน

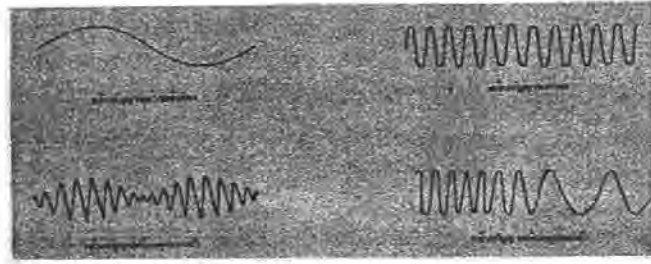
3. การส่งโดยใช้ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่เสียงนั้นจะไม่มีประสิทธิภาพเพราะไปไม่ได้ไม่ไกล

ปัญหาเหล่านี้เราสามารถแก้ไขได้โดย การใช้สัญญาณความถี่สูงเป็นพาหะเพื่อให้สัญญาณเสียงพูดเกาะไปเมื่อส่งไปถึงเครื่องรับ พาหะที่มีสัญญาณเสียงพูดเกาะมาด้วยก็จะถูกแยกออกไปและกลับคืนตัวเป็นเสียงพูดตามเดิม วิธีการแรก เรียกว่า การมอดูเลต (Modulation) หมายถึง สัญญาณเสียงเข้าไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะ วิธีการหลัง เรียกว่าการดีมอดูเลต (Demodulation) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าดีมอด หรือดีเทก (Detect) หมายถึง แยกสัญญาณเสียงที่มอดูเลตบนคลื่นพาหะกลับคืนมา

2.4 การมอดูเลตสัญญาณ

ปัจจุบันเราคงจะได้ยินได้ฟังเสียงจากวิทยุ โทรทัศน์ ซึ่งเห็นได้ว่าการส่งข่าวสารข้อมูลด้วยผลลัพธ์ให้เป็นเสียงนั้น วิธีการที่จะทำการส่งสัญญาณเสียงหรือดนตรีออกไปให้ได้ไกลๆก็ต้องอาศัยสัญญาณหรือคลื่นไฟฟ้าเป็นตัวพาหะนำสัญญาณเสียงนั้น วิธีการที่ใช้อาศัยหลักการผสมคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่สูงกับคลื่นไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณเสียงแล้วส่งสัญญาณออกไปดังที่เราเรียกว่า การมอดูเลต (Modulation)

จากรูปที่ 2.19 จะให้เห็นการมอดูเลต 2 แบบ เมื่อมีคลื่นสัญญาณความถี่เสียงกับคลื่นสัญญาณพาหะ เมื่อนำคลื่นสัญญาณทั้งสองมอดูเลตกันแล้ว ถ้านำมอดูเลตแบบเอเอ็มจะได้ดังรูปซ้ายล่าง ถ้านำมอดูเลตแบบเอฟเอ็มจะได้ดังรูปขวาล่าง



รูปที่ 2.19 สัญญาณและผลของการมอดูเลตสัญญาณ

โดยปกติคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ ดังนั้นการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรงย่อมไม่ได้ผล ทั้งนี้เพราะคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำไม่สามารถเดินทางไกลๆได้ การมอดูเลตจึงมีความจำเป็นโดยการนำคลื่นสัญญาณความถี่สูง หรือที่เรียกว่าคลื่นพาหะเป็นตัวนำสัญญาณคลื่นความถี่เสียง เพื่อที่จะได้สามารถส่งคลื่นสัญญาณออกไปได้ในระยะทางไกลๆ คลื่นสัญญาณพาหะที่ใช้จึงเรียกว่า คลื่นสัญญาณความถี่วิทยุ

วิธีการมอดูเลตที่พบบ่อยและนิยมใช้กันมากมีสองแบบคือ แบบแรกเป็นการรวมคลื่นสัญญาณความถี่เสียงกับสัญญาณพาหะแล้วเป็นผลทำให้เกิดสัญญาณใหม่ที่มีความถี่เท่าความถี่พาหะ แต่แอมพลิจูดของสัญญาณใหม่นี้จะเปลี่ยนแปลงไปกับแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่เสียง การมอดูเลตแบบนี้เรียกว่า การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (AM : Amplitude Modulation) อีกแบบหนึ่งเป็นการมอดูเลตโดยการรวมสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกัน เกิดสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปกับค่า แอมพลิจูดของสัญญาณความถี่เสียง การมอดูเลตแบบนี้เรียกว่า การมอดูเลตทางความถี่ (FM : Frequency Modulation)

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนและเสียงเป็นสื่อทำความเข้าใจทางภาษาคงนั้นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในการสื่อสาร เราอาจสงสัยว่าการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นเสียงนั้นทำได้อย่างไร โมโครโฟนเป็นสิ่งที่ได้พบเห็นและรู้จักและจากหลักการง่ายๆเราคงพอจะทราบแล้วว่า เสียงทำให้แผ่นไดอะแฟรมสั่นสะเทือนมีผลต่อการเปลี่ยนค่าทางไฟฟ้าออกมาและในทำนองเดียวกันลำโพงก็เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียง

2.4.1 การมอดูเลตทางความถี่

ในการมอดูเลตทางความถี่ แอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะไม่มีผลหรือไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความถี่จะเกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่ที่เอามาผสมความถี่ของคลื่นพาหะขณะที่ยังไม่มีการผสม เรียกว่า ความถี่กึ่งกลาง (center frequency)

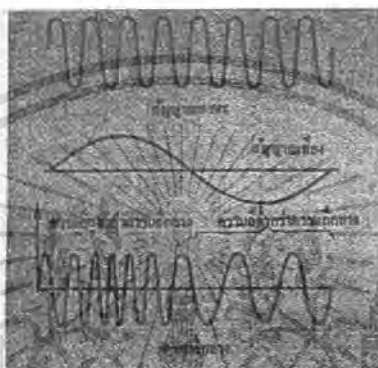
จากรูปที่ 2.20 เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่เสียงมีขนาดเพิ่มขึ้นทางบวกจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเพิ่มขึ้นและถ้าสัญญาณความถี่เสียงลดลง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลงจนกระทั่งสัญญาณความถี่เสียงลดลงถึงศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะเป็นความถี่กึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณที่ต้องการผสมเป็นลบ ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาหะก็จะลดลง และความถี่ของคลื่นพาหะจะมีค่าต่ำสุดเมื่อคลื่นความถี่เสียงมีค่าขนาดลดลงถึงจุดต่ำสุด ความถี่คลื่นพาหะจะเป็นความถี่กึ่งกลางอีกครั้งก็คือเมื่อสัญญาณความถี่เสียงผ่านครึ่งไซเคิลกลับไปถึงศูนย์

คงเห็นแล้วว่าความถี่ของคลื่นเอฟเอ็มจะเปลี่ยนแปลงไปโดยจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่กึ่งกลางขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่เสียง

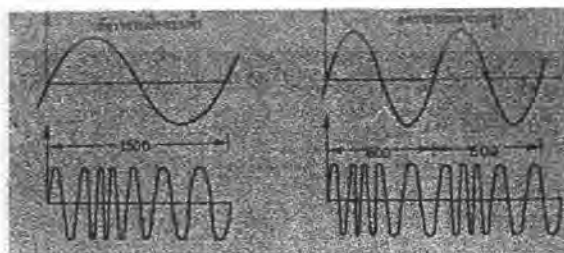
ความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มที่แตกต่างจากความถี่กึ่งกลางมากที่สุดเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของคลื่นพาหะ (maximum frequency deviation of carrier) โดยจะประกอบด้วยความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากความถี่กึ่งกลางลงไปทางน้อยกว่า หรือไปในทางเบี่ยงเบนจากความถี่กึ่งกลางในทางมากกว่า



รูปที่ 2.20 สัญญาณเอฟเอ็ม

ตัวอย่างเช่นคลื่นสัญญาณเสียงที่ต้องการจะมอดูเลตกับคลื่นพาหะที่มีความถี่ 100 เมกกะเฮิร์ต เมื่อมอดูเลตแล้วจะทำให้เกิดคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มมีความถี่ทางต่ำสุดเท่ากับ 99.99 เมกกะเฮิร์ต และมีความถี่ทางสูงสุดเท่ากับ 100.01 เมกกะเฮิร์ต ดังนั้นความเบี่ยงเบนสูงสุดในกรณีนี้จะเท่ากับ 100.01 เมกกะเฮิร์ต มีค่าเท่ากับ ± 10 กิโลเฮิร์ต

ในทางตรงกันข้ามคลื่นสัญญาณแรงๆ ที่เราต้องการนำมามอดูเลตกับคลื่นพาหะที่มีความถี่ 100 เมกกะเฮิร์ต เท่าเดิม และเป็นผลทำให้คลื่นความถี่เอฟเอ็ม ที่เกิดขึ้นมีความถี่เบี่ยงเบนจาก 99.95 เมกกะเฮิร์ต ถึง 100.05 เมกกะเฮิร์ต ดังนั้นค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดมีค่าเท่ากับ ± 50 กิโลเฮิร์ต



รูปที่ 2.21 แสดงอัตราการเบี่ยงเบนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าความถี่เบี่ยงเบนจะเป็นตัวบอกแอมพลิจูดของสัญญาณที่เรานำมาออกดูเสด คือ ถ้ามีแอมพลิจูดมากจะทำให้ค่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากด้วย

นอกจากนี้สิ่งที่ควรทำความเข้าใจอีกประการหนึ่งคือ ค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ (rate of frequency deviation) ค่าอัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่เป็นตัวบอกให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของความถี่รอบหนึ่งรอบรวดเร็วเพียงใด ทั้งนี้เพราะเมื่อสัญญาณความถี่เสียงเปลี่ยนแอมพลิจูดไปครบ 1 รอบ สัญญาณเอฟเอ็มก็จะเปลี่ยนตามไปครบ 1 รอบด้วย ถ้าค่าอัตราการเบี่ยงเบนสูงก็แสดงว่าความถี่ของสัญญาณสูง ดังนั้นค่าอัตราการเบี่ยงเบนจึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณความถี่เสียง

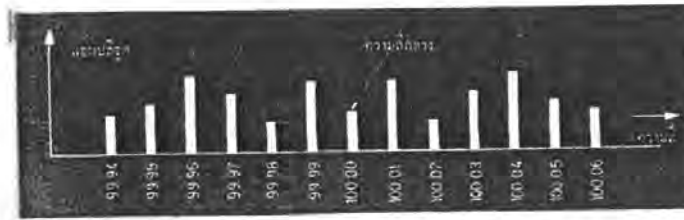
เสียงที่เกิดจากคลื่นเอฟเอ็มนั้น จะมีความดังหรือค่อยแปรผันตามค่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ส่วนระดับเสียงสูงค่านั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราของการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งอัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่ของคลื่นเอฟเอ็มจะแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของสัญญาณความถี่เสียงนั่นเอง

ในการสร้างคลื่นเอฟเอ็มนั้นผลจะทำให้เกิดความถี่หลายๆความถี่เช่นเดียวกับเรื่องของสัญญาณเอเอ็มแต่ความแตกต่างระหว่างความถี่แถบข้างของระบบเอเอ็มและเอฟเอ็ม คือในระบบเอเอ็ม จะมีความถี่แถบข้างเกิดขึ้นเพียงสองความถี่เท่านั้น ความถี่หนึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณเสียง และอีกความถี่หนึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่ทั้งสอง ส่วนในระบบเอฟเอ็ม ความถี่แถบข้างจะเกิดขึ้นมากมายนอกเหนือไปจากที่มีในระบบเอเอ็ม

เช่นตัวอย่าง ถ้านำเอาสัญญาณพาหะมีความถี่ 1 เมกกะเฮิร์ต ไปมอดูเลตกับสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 10 กิโลเฮิร์ต จะได้ความถี่แถบข้างมีค่าเท่ากับ 1010 กิโลเฮิร์ต และ 990 กิโลเฮิร์ต นอกจากนี้ยังมีความถี่ 1020 กิโลเฮิร์ต และ 980 กิโลเฮิร์ต และ 1040 กิโลเฮิร์ต และ 960 กิโลเฮิร์ต และความถี่อื่นๆอีกมากที่ถูกสร้างขึ้นมา

จำนวนความถี่ที่อยู่ในแถบข้างบนนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณความถี่เสียง ถ้าค่าแอมพลิจูดใหญ่มาก จำนวนของความถี่ในแถบข้างก็จะปรากฏมีมากด้วย

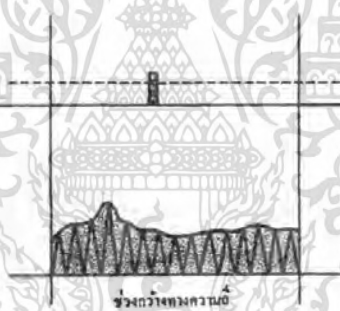
ในเอฟเอ็มมีส่วนที่แตกต่างจากของเอเอ็ม คือ แถบความถี่ด้านข้างของเอเอ็ม ค่าแอมพลิจูดของความถี่เหล่านี้ของผู้ส่งงานจะถูกบรรจุอยู่ในนั้นและจะเป็นอิสระต่อสัญญาณพาหะ ส่วนในเอฟเอ็มแถบความถี่ข้างทำให้เกิดกำลังงานจากพาหะ ซึ่งหมายความว่า ส่วนของคลื่นพาหะมีกำลังงานน้อยกว่า หรือแอมพลิจูดเล็กกว่าเมื่อก่อนจะมอดูเลต จำนวนของกำลังงานที่เอาไปจากพาหะไปไว้ในแถบความถี่ข้างนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่เสียงและการเบี่ยงเบนทางความถี่ ดังนั้นถ้าพาหะมีกำลังงานเท่ากับศูนย์ แถบความถี่ก็จะมีกำลังงานเท่ากับศูนย์ด้วยเช่นกันหรือสรุปได้ว่ากำลังงานที่อยู่ในบริเวณแถบข้างนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของกำลังงานที่ความถี่คลื่นพาหะ



รูปที่ 2.22 เมื่อสัญญาณความถี่เสียง 10 กิโลเฮิร์ต มอดูเลตทางความถี่กับสัญญาณ 100 เมกะเฮิร์ต

จากรูปที่ 2.22 ข้างบนเราคงพอเห็นแล้วว่า แถบความถี่แถบข้างของคลื่นเอฟเอ็มแตกต่างจากเอเอ็ม และแอมพลิจูดของความถี่เหล่านี้จะไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่องด้วย

แต่อย่างไรก็ดีเพื่อหาช่วงกว้างของแถบความถี่จำเป็นจะต้องกำหนดว่า จุดความถี่ใดจึงจะเป็นจุดที่ยังบอกเขตของความถี่เอฟเอ็ม ทั้งนี้เพราะความถี่ที่เกิดขึ้นที่แถบด้านข้างจะมีจำนวนมากมายจนไม่สามารถกล่าวถึงได้หมด แต่ตามมาตรฐานสากลจะสนใจความถี่ของสัญญาณที่อยู่ในแถบด้านข้างที่มีค่ามากกว่า 1 เฮอร์เซ็นต์ ของสัญญาณความถี่เสียงความถี่ที่เราให้ความสนใจในแถบความถี่ตัวสุดท้ายนี้ เรียกว่า ความถี่แถบข้างปลายบนและความถี่แถบข้างปลายล่าง (extreme lower sideband frequency)
 ดังรูปที่ 2.23

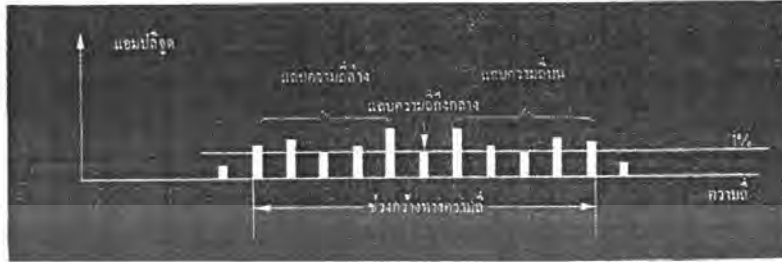


รูปที่ 2.23 ความถี่ของสัญญาณที่อยู่ในแถบด้านข้างที่มีค่ามากกว่า 1 เฮอร์เซ็นต์

ดังนั้นค่าช่วงกว้างของคลื่นเอฟเอ็ม ก็คือ ช่วงของความถี่ระหว่างความถี่แถบข้างปลายบนและความถี่แถบข้างปลายล่าง ช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มจึงมีค่ามากกว่าคลื่นสัญญาณเอเอ็ม

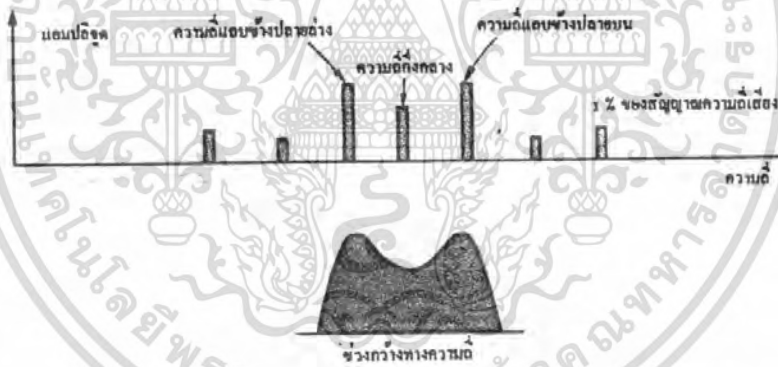
ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียง 1 กิโลเฮิร์ต เมื่อมอดูเลตทางแอมพลิจูดกับคลื่นพาหะที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ต จะให้ความถี่แถบข้างเป็น 99 กิโลเฮิร์ต และ 101 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นช่วงกว้างของความถี่ (Band width) จะเท่ากับ 2 กิโลเฮิร์ต แต่ถ้าคลื่น 1 กิโลเฮิร์ต นี้ไปมอดูเลตทางความถี่กับคลื่นสัญญาณพาหะ 100 กิโลเฮิร์ต จะปรากฏความถี่แถบข้างจำนวนหลายความถี่ เช่น 99 กิโลเฮิร์ต และ 101 กิโลเฮิร์ต, 98 กิโลเฮิร์ต และ 120 กิโลเฮิร์ต ฯลฯ จะเห็นว่าช่วงกว้างของความถี่ของคลื่นเอฟเอ็ม จะมีค่ามากกว่าช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นเอเอ็ม

จากรูปที่ 2.24 เมื่อคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มมีช่วงความถี่มากๆ เราเรียกคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มนั้นว่าเป็นชนิดแถบกว้าง (wide band) และเอฟเอ็มชนิดนี้ต้องการคลื่นพาหะที่มีความถี่สูงมากๆ มิฉะนั้นจะเกิดการสอดแทรกกับสถานีใกล้เคียงได้



รูปที่ 2.24 ช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม ชนิดแถบกว้าง

จากรูปที่ 2.25 โดยปกติเราสามารถทำให้คลื่นสัญญาณเอฟเอ็มมีช่วงกว้างทางความถี่เหมือนเอเอ็มได้โดยการจำกัดค่าการเบี่ยงเบนสูงสุดของเอฟเอ็มลง เราเรียกสัญญาณเอฟเอ็มชนิดนี้ว่าสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบ (narrow band FM) แต่วิธีนี้จะทำให้เกิดการเพี้ยนได้มาก



รูปที่ 2.25 ช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม ชนิดแถบแคบ

ช่วงกว้างทางความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม สามารถนำไปคิดแปลงใช้ประโยชน์ได้คือ

1. เพื่อใช้หาความยาวของเสาอากาศ หรือ ขนาดของห้อง หรือ ความยาวของการสะท้อนของคลื่น
2. เพื่อใช้หาความกว้างของช่วงคลื่น เพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องรับทำงานได้ตลอดช่วงความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม

2.4.2 คุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็ม

ในการมอดูเลตทางขนาด เราทราบแล้วว่านอกจากความถี่คลื่นพาหะแล้วยังมีความถี่ไซด์แบนด์เกิดขึ้นมาอีกหนึ่งคู่เสมอ ทั้งนี้โดยการศึกษาคุณสมบัติของคลื่นที่เกิดจากการมอดูเลตทางความถี่ข้างและแสดงถึงคุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็มให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองพิจารณาสมการของคลื่น

$$e = E \sin(\omega t + \theta) \tag{2.1}$$

เมื่อ E เป็นขนาดโวลเตจของสัญญาณไฟฟ้า

ωt เป็นค่ามุมชั่วขณะ

θ เป็นเฟส

ซึ่งถ้าจะกล่าวถึงคลื่นพหุก็สามารถเขียนเป็นสมการของคลื่นพหุได้ว่า

$$e_c = E_c \sin \phi(t) \tag{2.2}$$

โดยที่ ϕ เป็นมุมทางไฟฟ้าของคลื่น ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (t) และจะสัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และความถี่ของคลื่นดังนี้

$$\omega = 2\pi f = \frac{d\phi(t)}{dt} \tag{2.3}$$

สมมุติว่า สัญญาณที่จะเข้าไปฝากหรือผสมกับคลื่นพหุแบบเอฟเอ็มนี้มีสมการเป็น

$$em = E_m \cos \omega_m t \tag{2.4}$$

หรือ

$$em = E_m \cos 2\pi f_m t \tag{2.4}$$

ค่าชั่วขณะของสัญญาณนี้ไปทำให้ความถี่ของคลื่นพหุเปลี่ยนแปลงไปมา

$$f = f_c + f_m \cos 2\pi f_m t \tag{2.5}$$

โดย f_c = ความถี่ของคลื่นพหุขณะยังไม่มีสัญญาณเข้ามา

f_m = ความถี่เบี่ยงเบนซึ่งจะมากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ

f_c = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

จากสมการ (2.3) และ (2.5) จะได้ว่า

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = 2\pi(f_c + f_m \cos 2\pi f_m t) \tag{2.6}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \int 2\pi(f_c + f_m \cos 2\pi f_m t) dt \\ &= 2\pi f_c t + \left(\frac{f_m}{f_c}\right) \sin 2\pi f_m t + \phi_0 \\ &= \omega_c t + m_f \sin \omega_m t + \phi_0 \end{aligned} \tag{2.7}$$

เมื่อ $m_f = \frac{f_m}{f_c}$ ซึ่งเรียกว่า Modulation Index หรือ ดัชนีการมอดูเลชันเป็นค่าที่ได้จากการ Integrete

ซึ่งเป็น Phase Angle เริ่มต้นเมื่อ T=0 ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาว่า $\phi_0 = 0$ ได้โดยไม่มีผลต่างของการมอดูเลชันทางความถี่เลย

เมื่อแทนค่า $\phi(t)$ จากสมการ (2.7) ลงในสมการ (2.2) จะได้

$$\begin{aligned} e_c &= E_c \times \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) \\ &= e \text{ (เมื่อเป็นสมการซึ่งถูกมอดูเลตแล้ว)} \end{aligned} \tag{2.8}$$

ในคลื่นเอฟเอ็มสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่เดียวจะทำให้เกิดไซด์แบนด์ขึ้นมาหนึ่งคู่เสมอ ส่วนในรูปคลื่นเอฟเอ็มจำนวนของไซด์แบนด์จะเป็นอย่างไรนั้น ให้กระจายสมการที่ (2.8) ดู นั่นคือ

$$e = E_s [\sin \omega_c t \times \sin (mf \sin \omega_c t)] \tag{2.9}$$

และโดยอาศัย Bessel function สมการ (2.9) ในแต่ละส่วนกระจายออกเป็น

$$\cos(mf \sin \omega_c t) = J_0(mf) + \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(mf) \sin(2n+1)\omega_c t \tag{2.10}$$

และ
$$\sin(mf \sin \omega_c t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(mf) \sin(2n+1)\omega_c t \tag{2.11}$$

แทนค่าสมการ (2.10) และ (2.11) ลงในสมการที่ (2.9) พร้อมทั้งจัดรูปให้ดูง่ายจะได้ว่า

$$e = E_s \sin \omega_c [J_0(mf) + 2J_2(mf) \cos 2\omega_c t + 2J_4(mf) \cos 4\omega_c t + \dots] + E_s \cos \omega_c [2J_1(mf) \sin \omega_c t + 2J_3(mf) \sin 3\omega_c t + 2J_5(mf) \sin 5\omega_c t + \dots] \tag{2.12}$$

แทนค่าลงในสมการ (2.12) จะได้เป็น

$$e = J_0(mf) E_s \sin \omega_c t + J_1(mf) E_s [\sin(\omega_c + \omega_m)t - \sin(\omega_c - \omega_m)t] + J_2(mf) E_s [\sin(\omega_c + 2\omega_m)t - \sin(\omega_c - 2\omega_m)t] + J_3(mf) E_s [\sin(\omega_c + 3\omega_m)t - \sin(\omega_c - 3\omega_m)t] + \dots \tag{2.13}$$

โดยที่ $J_n(mf)$ เป็น Bessel function (ของ mf) แบบแรกที่ลำดับ n และมีค่าที่หาได้จากสมการต่อเนื่องดังนี้

$$J_n(mf) = \frac{m^n f^n}{2^n n!} \left[1 - \frac{m^2 f^2}{2(2n+2)} + \frac{m^4 f^4}{2^2 (4)(2n+2)(2n+4)} - \frac{m^6 f^6}{2^3 (4)(6)(2n+2)(2n+6)} + \dots \right] \tag{2.14}$$

การหาค่า $J_n(mf)$ คือกำหนดค่าดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index : mf) เสียก่อน เนื่องจาก mf นี้สัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณกับความถี่ของคลื่นพาห้จึงมีค่าต่างๆมากมาย ถ้ากำหนดลงไปทีละค่าก็จะได้ค่าของ $J_n(n=0,1,2,\dots)$ ออกมาตามขนาดของดัชนีการมอดูเลต ตารางที่ 2.1 ได้จากสมการที่ 2.14 อันแสดงให้เห็นถึงขนาดคลื่นพาห้และไซด์แบนด์ต่างๆ ณ ค่าดัชนีการมอดูเลต ต่างๆกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดคลื่นพาห้และไซด์แบนด์ต่างๆ ณ ค่าดัชนีการมอดูเลต ต่างๆกัน

ดัชนีการมอดูเลต (mf)	ขนาดของคลื่นพาห้ J ₀ (x)	ขนาดสัมพัทธ์ของไซด์แบนด์								
		J ₁ (x)	J ₂ (x)	J ₃ (x)	J ₄ (x)	J ₅ (x)	J ₆ (x)	J ₇ (x)	J ₈ (x)	J ₉ (x)
0	1.000									
0.01	0.999	0.005								
0.02	0.999	0.010								
0.05	0.999	0.025								
0.1	0.998	0.050								
0.2	0.990	0.100								
0.5	0.934	0.242	0.110							
1.0	0.765	0.440	0.115	0.003						
2.0	0.224	0.377	0.353	0.120	0.034					
3.0	-0.260	0.339	0.486	0.300	0.152	0.045	0.012			
4.0	-0.397	-0.086	0.364	0.430	0.281	0.172	0.099	0.015		
5.0	-0.175	-0.223	0.047	0.365	0.391	0.261	0.131	0.053	0.018	
6.0	-0.151	-0.277	-0.243	0.115	0.330	0.342	0.346	0.130	0.057	0.021

จากค่าตามตารางจะเห็นว่า เมื่อค่าของดัชนีการมอดูเลตเปลี่ยนไปขนาดของคลื่นพาห้ และของไซด์แบนด์จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อนำไปพิจารณาพร้อมกับสมการของคลื่นแอมป์ลิทูด สมการที่ 2.13 จะเห็นว่าไซด์แบนด์เกิดขึ้นมากมายจนถึงอนันต์ เมื่อเทียบกับคลื่นเอเอ็มซึ่งมีไซด์แบนด์เพียงคู่เดียวและในขณะที่ขนาดของคลื่นพาห้ในการมอดูเลตชั้นทางขนาดมีค่าคงที่ตลอดเวลา แต่ในการมอดูเลตชั้นทางความถี่ขนาดจะเปลี่ยนแปลงไปมา และในบางครั้งมีโอกาสลดลงเป็นศูนย์

2.4.3 คำนีการมอดูเลต

ในระบบเอเอ็ม ปริมาณการมอดูเลต เรานิยามวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งได้จากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่นเอเอ็ม ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบเอฟเอ็ม เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งเรานิยามเรียกชื่อเสียใหม่ว่า คำนีการมอดูเลต ลองพิจารณาความหมายของคำนีการมอดูเลตต่อไปนี้

$$m = \frac{f_s}{f_c} \quad (\text{ของระบบ เอฟเอ็ม}) \quad (2.15)$$

ในที่นี้ f_s คือ ช่วงความถี่เบี่ยงเบน

f_c คือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

ค่าตัวเลขของคำนีการมอดูเลตจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 75 กิโลเฮิร์ต ส่วนในระบบเสียงของโทรทัศน์ เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 25 กิโลเฮิร์ต สมมุติว่าเราใช้สัญญาณเสียง 1 กิโลเฮิร์ต มอดูเลตให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าคำนีการมอดูเลตจะเป็น

$$m = \frac{75 \text{ kHz}}{1 \text{ kHz}} = 75$$

สังเกตว่า ค่าคำนีการมอดูเลตในระบบเอฟเอ็ม ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตในทางปฏิบัตินิยามวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยงเบน (ของระบบ) สูงสุด (f_{smax}) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต (f_{cmax}) ในระบบกระจายเสียงเอฟเอ็ม ค่าอัตราการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

$$\Delta = \frac{f_{smax}}{f_{cmax}} = \frac{75 \text{ kHz}}{15 \text{ kHz}} = 5 \quad (2.16)$$

ในระบบเอเอ็ม เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพื่อให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ในระบบเอฟเอ็ม เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้น ในระบบกระจายเสียงวิทยุเอฟเอ็ม กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 กิโลเฮิร์ต ถ้าเรามอดูเลตทำให้ความถี่ของพาหะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ 75 กิโลเฮิร์ต แสดงว่าเรามอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{f_s}{f_c} \times 100 \quad (2.17)$$

ในที่นี้ f_s คือ ความถี่เบี่ยงเบน เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

f_c คือ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

2.4.4 เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

ในการส่งเอเอ็ม เราได้ทราบถึงการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลต โดยการคิดหาอัตราส่วนของแอมพลิจูดสัญญาณความถี่เสียงกับสัญญาณความถี่พาหะ

สำหรับเอฟเอ็ม เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตก็มีความหมายในทำนองเดียวกัน แต่ให้ความสนใจทางด้านความถี่โดยการตั้งมาตรฐานว่า ถ้าความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่าสูงสุดของการเบี่ยงเบนก็เรียกว่าครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมมติว่าเรามีค่าการเบี่ยงเบนทางความถี่สูงสุดเป็น 75 กิโลเฮิร์ต และเมื่อป้อนสัญญาณความถี่เสียงมามอดูเลตแล้วให้การเบี่ยงเบนทางความถี่เพียง 37.5 กิโลเฮิร์ต เราก็หาค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตได้ $= \frac{37.5}{75.0} \times 100 = 50\%$

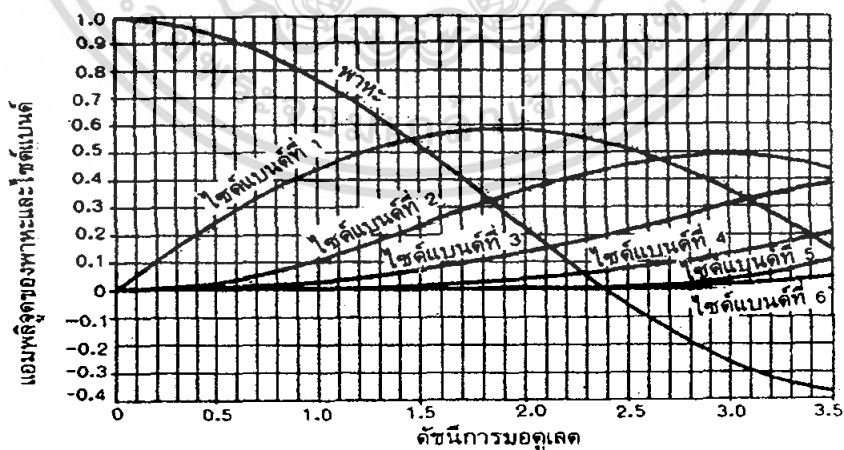
ตามมาตรฐานสากลทั่วไปกำหนดให้การเบี่ยงเบนทางความถี่สูงสุดได้เป็น 75 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นสถานีวิทยุเอฟเอ็ม หนึ่งสถานีจะได้ช่วงกว้างของความถี่เท่ากับ $2 \times 75 \times 150$ กิโลเฮิร์ต หรือ ประมาณ 0.15 เมกะเฮิร์ต

2.4.5 ไซด์แบนด์ เอฟเอ็ม

ความแตกต่างของระบบเอเอ็ม กับเอฟเอ็ม ที่เห็นได้ชัดก็คือ ไซด์แบนด์ ในระบบเอเอ็ม ถ้าเรามอดูเลตด้วย สัญญาณรูปซายน์จะเกิดไซด์แบนด์จำนวน 2 ตัว คือ USB กับ LSB แต่ในระบบเอฟเอ็ม ถ้าเรามอดูเลตด้วยสัญญาณรูปซายน์จะเกิดไซด์แบนด์จำนวนนับอนันต์ เนื่องจากการเบี่ยงเบนของความถี่พาหะทำให้เกิดความถี่เพิ่มขึ้นอีกมากมาย ความจริงแล้วไซด์แบนด์ที่อยู่ห่างจากความถี่กลางมาก ๆ มักมีแอมพลิจูดเล็กน้อย จนไม่ต้องคำนึงถึง

ในระบบเอเอ็ม ไซด์แบนด์อาจเสริมหรือหักล้างจากพาหะที่มีแอมพลิจูดคงที่ ซึ่งมีผลให้รอบคลื่นของพาหะเปลี่ยนแปลง แต่ในระบบเอฟเอ็ม สัญญาณเอฟเอ็มจะรักษาแอมพลิจูดไว้คงที่เสมอ ซึ่งหมายความว่ากำลังของคลื่นพาหะจะกระจายไปอยู่ในไซด์แบนด์ ความสัมพันธ์ของพาหะกับไซด์แบนด์ในระบบเอฟเอ็ม ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลต เนื่องจากดัชนีการมอดูเลตเป็นตัวกำหนดของไซด์แบนด์ที่สำคัญและแอมพลิจูดของพาหะกับไซด์แบนด์ต่างๆ

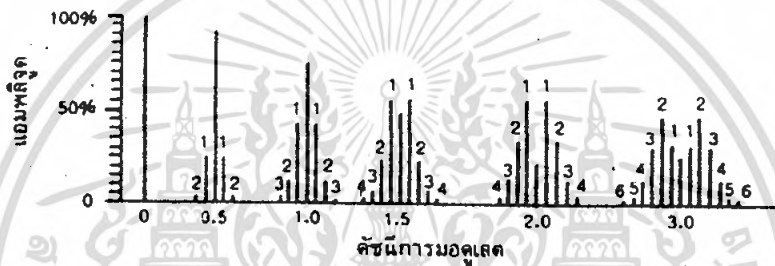
ในรูปที่ 2.26 แสดงกราฟแอมพลิจูดของคลื่นพาหะกับไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่างๆจะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็นศูนย์จะมีแค่คลื่นพาหะอย่างเดียว (เท่ากับ 1 หน่วย) คลื่นไซด์แบนด์เป็นศูนย์



รูปที่ 2.26 กราฟแสดงแอมพลิจูดของพาหะและไซด์แบนด์ในระบบเอฟเอ็ม

เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้น จำนวนไซด์แบนด์จะเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของไซด์แบนด์ก็จะใหญ่ขึ้น แต่แอมพลิจูดของพาหะกลับเล็กลงจนกระทั่งดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ตอนนี้นำถึงของคลื่นเอฟเอ็ม จะไปอยู่ในไซด์แบนด์ทั้งสิ้น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นอีก คลื่นพาหะก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (เป็นค่าลบแสดงว่าเฟสตรงกันข้ามกับคอนแรก เช่น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็น 3.1 แอมพลิจูดของพาหะจะเท่ากับ -0.3 หน่วย) สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์นั้นมีอยู่หลายจุด

กราฟในรูปที่ 2.26 เขียนได้เป็นตารางดังแสดงในตารางที่ 2.1 เพื่อให้ดูง่ายขึ้น ในที่นี้เราตัดไซด์แบนด์ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของพาหะเดิม (ก่อนมอดูเลต) ออกไปโดยไม่คำนึงถึง เช่น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 0.5 แอมพลิจูดของพาหะจะเท่ากับ 0.94 หน่วย ไซด์แบนด์คู่แรกมี แอมพลิจูดเท่ากับ 0.24 หน่วย ไซด์แบนด์คู่ที่สองถัดไปมีแอมพลิจูดเท่ากับ 0.03 หน่วย ไซด์แบนด์อื่นนอกจากนี้มีแอมพลิจูดน้อยจนสามารถตัดทิ้งไปได้ เมื่อดัชนีการมอดูเลตสูงขึ้น การกระจายคลื่นไซด์แบนด์จะเป็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 รูปคลื่นเอฟเอ็มในเชิงความถี่ ที่ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 0,0.5,1,1.5,2.0,3.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 แสดงการกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่างๆ

ดัชนีการมอดูเลต	พาหะ	ไซด์แบนด์คู่ที่															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	1.00																
0.25	0.98	0.12															
0.5	0.94	0.24	0.03														
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02													
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01												
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03												
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02											
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01										
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02									
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02								
6.0	0.15	0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02							
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02						
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03					
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01			
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01		
12.0	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 แบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็ม

ในระบบเอฟเอ็ม จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดูเลต โดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต กล่าวคือ ไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f_c \pm f_m$ ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ $f_c \pm 2f_m$, ฯลฯ ฉะนั้นแบนด์วิดท์ของคลื่นเอฟเอ็ม ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัว นั่นคือ แบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลตและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตแต่ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ f_d/f_m ดังนั้นถ้าเราทราบความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดูเลตเราก็สามารถคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตเท่ากับ 3 กิโลเฮิรต์ ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18 กิโลเฮิรต์ เราคำนวณค่าดัชนีการมอดูเลตได้ดังนี้

$$m = \frac{f_d}{f_m} = \frac{18 \text{ kHz}}{3 \text{ kHz}} = 6 \quad (2.18)$$

นำค่า $m = 6$ ไปหาไซด์แบนด์สำคัญที่พิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 6 จำนวนไซด์แบนด์จะมีอยู่ 9 คู่ เราจึงคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} BW &= f_m \times \text{จำนวนไซด์แบนด์} \times 2 \\ &= 3 \text{ kHz} \times 9 \times 2 \\ &= 54 \text{ kHz} \end{aligned} \quad (2.19)$$

ความจริงแล้วในทางปฏิบัตินิยมใช้สูตรคำนวณแบนด์วิดท์แบบประมาณ โดยไม่ต้องเสียเวลานับจำนวนไซด์แบนด์ ดังนี้

$$\begin{aligned} BW &= 2(m+1)f_{m \max} \\ &= 2 \times (6+1) \times 3 \\ &= 42 \text{ kHz} \end{aligned} \quad (2.20)$$

เสมือนกับว่าเราพิจารณาใช้จำนวนไซด์แบนด์เพียง 7 คู่ เมื่อเทียบกับการคำนวณในตอนต้น

2.4.7 สัญญาณรบกวนและการตีเทคชันเอฟเอ็ม

ข้อเสียส่วนใหญ่ของสัญญาณเอเอ็ม คือ การที่มีสัญญาณจากภายนอกเข้ามารบกวนได้ง่าย และสัญญาณรบกวนนี้ก็สามารถเข้ามาปะปนในสัญญาณเอฟเอ็มได้เช่นกัน แต่สำหรับสัญญาณเอฟเอ็ม คลื่นสัญญาณจะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของทางความถี่ ดังนั้นคลื่นสัญญาณรบกวนจึงไม่สามารถสอดแทรกทางด้านความถี่ได้แต่จะสอดแทรกทางด้านแอมพลิจูดซึ่งสามารถสร้างวงจรไฟฟ้าเป็นตัวกำจัดแอมพลิจูดของสัญญาณ จะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนถูกขจัดออกไป



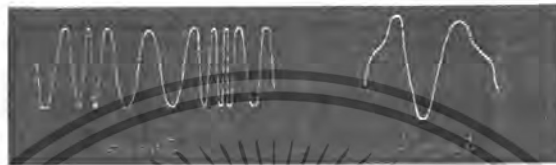
รูปที่ 2.28 การกำจัดคลื่นสัญญาณรบกวนของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.28 เมื่อคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มมีสัญญาณรบกวนก็สามารถสร้างวงจรไฟฟ้าเป็นตัวกำจัดแอมพลิจูดของสัญญาณ จะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนถูกขจัดออกไป

2.4.8 การคิมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม

ตามที่ได้กล่าวถึงความหมายของการคิมอดูเลตของสัญญาณแล้ว ซึ่งมีความหมายถึงวิธีการแยกคลื่นของข่าวสารหรือข้อมูลที่ส่งออกมาจากคลื่นสัญญาณพาหะการคิมอดูเลตหรือการคิเทคสัญญาณเอฟเอ็ม นี้แตกต่างจากของเอเอ็ม ทั้งนี้เพราะการคิเทคสัญญาณเอฟเอ็ม จะต้องหาวงจรถ้าทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความถี่ให้เป็นแรงดันที่เกิดขึ้นต้องสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงหรือการเบี่ยงเบนทางความถี่



รูปที่ 2.29 การคิมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม

จากรูปที่ 2.29 สัญญาณเอฟเอ็ม เมื่อถูกคิมอดูเลตแล้ว ก็จะได้เป็นสัญญาณข่าวสารเดิม

2.5 การสร้างสัญญาณเอฟเอ็ม

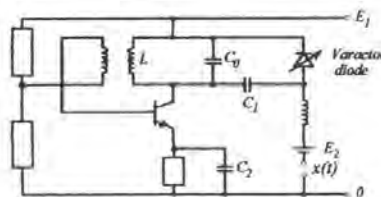
2.5.1 การสร้างโดยตรง

เนื่องจากการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม คือ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของพาหะตามสัญญาณที่ต้องการมอดูเลต วงจรมอดูเลตก็จะต้องมีคุณสมบัติ คือ กำเนียดความถี่ที่สามารถเปลี่ยนแปลง ได้ซึ่งจะทำได้หลายวิธี

1. วงจรจูนเนอร์วาระกเตอร์ (Varactor Tunner Circuit) จากวงจรนี้จะได้ความถี่ขาออกของวงจรเป็น

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.21)$$

ถ้าขดลวดเหนี่ยวนำ (L) หรือ ตัวเก็บประจุ (C) มีค่าเปลี่ยนไป ความถี่คัตออฟ (f_c) จะมีค่าเปลี่ยนตามเป็นสัดส่วนกัน โดยที่การเปลี่ยนแปลงมีค่าไม่มาก เมื่อเทียบกับค่าขดลวดเหนี่ยวนำ หรือ ตัวเก็บประจุ เดิม การที่จะเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามสัญญาณที่ต้องการมอดูเลตนั้นมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่เรียกว่า ไดโอดวาระกเตอร์ (varactor diode = variable reactor) มีค่าตัวเก็บประจุที่รอยต่อ (junction capacitance) แปรตามแรงดันไบอัสกลับ (reverse bias) ดังนั้นเมื่อใช้วาระกเตอร์นี้ในวงจรจูนเนอร์แล้วป้อนสัญญาณเป็นแรงดันที่วาระกเตอร์นี้ ความถี่ขาออกก็จะเปลี่ยนตามสัญญาณที่ป้อนเข้าไปได้ วงจรตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.30

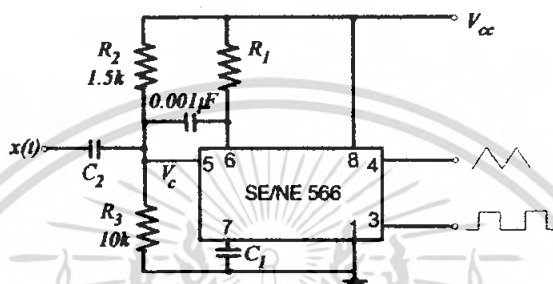


รูปที่ 2.30 วงจรสร้างความถี่พาหะโดยใช้วาระกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรวีซีโอ (VCO : Voltage Control Oscillator)

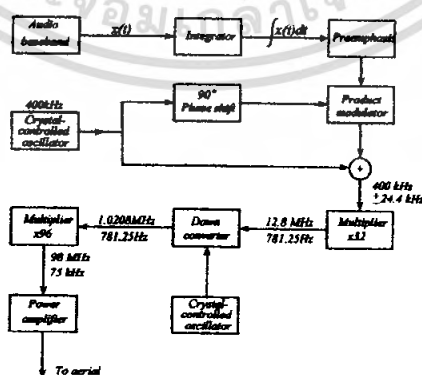
เป็นวงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน โดยใช้หลักการของการชาร์จ (charge) และ คิซชาร์จ (discharge) ของตัวเก็บประจุ เช่นเดียวกับวงจรมัลติไวเบรเตอร์ (multivibrator) อัตรการชาร์จและคิซชาร์จ จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน,ค่าตัวเก็บประจุ และแรงดันอ้างอิง เมื่อเลือกค่าความต้านทาน,ค่าตัวเก็บประจุ คงที่ค่าหนึ่งจะให้ความถี่คิซคอปค่าหนึ่ง เมื่อเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงไปความถี่ขาออกที่เป็นความถี่คิซคอปจะเปลี่ยนตามเป็นสัดส่วนกัน สัญญาณเอฟเอ็มจะได้โดยตรงจากการควบคุมแรงดันของวีซีโอด้วยสัญญาณที่ต้องการมอดูเลต ตัวอย่าง ไอซีและวงจรแสดงในรูป 2.31



รูปที่ 2.31 วงจรมอดูเลตที่ใช้วีซีโอ (ไอซี 566)

2.5.2 การสร้างโดยทางอ้อม

จากสัญญาณช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอฟเอ็มชนิดแถบแคบที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณเอเอ็ม นั้นสามารถ ใช้การมอดูเลตแบบเอเอ็ม จะได้สัญญาณช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอเอ็มชนิดแถบแคบมีค่าเบี่ยงเบนต่ำก่อนแล้วจึงคูณสัญญาณให้มีค่าเบี่ยงเบนสูงขึ้น ซึ่งทำให้ความถี่สูงขึ้นตามไปด้วยจากนั้นจึงเลื่อนความถี่ลงโดยวิธีการที่เรียกว่า down conversion การทำงานในลักษณะนี้เราเรียกว่า the Armstrong method ด้วยวิธีการนี้จะได้สัญญาณช่วงกว้างทางความถี่ของคลื่นสัญญาณเอเอ็มชนิดแถบกว้างที่มีเสถียรภาพดีกว่า บล็อกไดอะแกรม ของวงจรแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 Armstrong Modulator สำหรับความถี่ VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

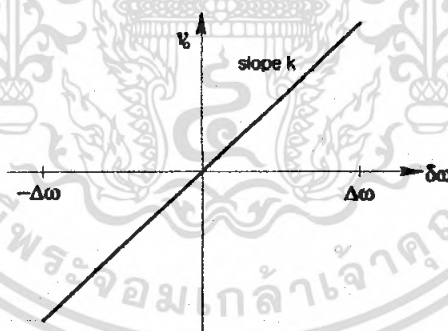
2.6 การคิเทคสัญญาณเอฟเอ็ม (FM detectors)

เนื่องจากสัญญาณเอฟเอ็มได้จากการเปลี่ยนความถี่ตามขนาดสัญญาณที่นำมามอดูเลต เมื่อต้องการคิโมดูลหรือคิเทคสัญญาณกลับคืนมาก็อาจใช้วิธีการกลับกัน คือ ใช้วงจรที่เปลี่ยนขนาดสัญญาณขาออกตามความถี่ของสัญญาณขาเข้า ก็จะได้สัญญาณที่มีขนาดเปลี่ยนไป คือ สัญญาณเอเอ็มนั่นเอง จากนั้นจึงใช้เอนเวลโลปคิเทคเคอร์นำสัญญาณเคิมออกมาได้ นั่นก็คือ การคิเทคโดยการเปลี่ยนสัญญาณเอฟเอ็ม เป็นสัญญาณเอเอ็มก่อน ส่วนอีกลักษณะ คือ การได้สัญญาณเคิมกลับออกมาโดยตรง อาจใช้ zero crossing detector หรือการคิเทคโดยใช้เฟสล็อคคูล

2.6.1 การคิเทคโดยการเปลี่ยนเป็นสัญญาณเอเอ็ม

คิวิที่จะเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ไปเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดนั้น จะต้องใช้การคอบสนองแต่ละความถี่ที่ไม่เท่ากันแต่เป็นเชิงเส้นคังแสดงในรูปที่ 2.33 ซึ่งเราเรียกวิธีการเช่นนี้ว่า discriminator action จะเห็นว่าที่ความถี่ ω_c มีการคอบสนองเท่ากับศูนย์ ที่ความถี่สูงชันการคอบสนองจะเพิ่มขึ้น นั่นคือ สัญญาณขาออกจะมีขนาดสูงชัน ในขณะที่ความถี่ต่ำลงการคอบสนองน้อยลงขนาดของสัญญาณขาออกจะต่ำลง ผลที่ได้คือ สัญญาณเอเอ็ม เมื่อผ่านเอนเวลโลปคิเทคเคอร์ก็จะได้สัญญาณเคิมกลับคืนมา วงจรที่ใช้หลักการ discriminator นั้นสร้างได้หลายแบบ คือ

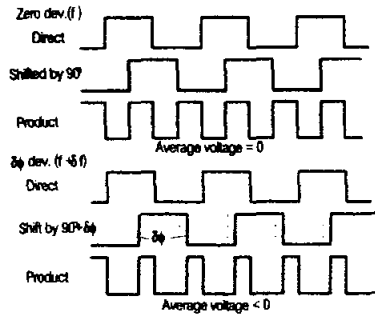
1. Differentiating circuit
2. Tune circuit
3. Raito detector
4. Quadrature detector



รูปที่ 2.33 Discriminator Action

2.6.2 Zero Crossing Detection

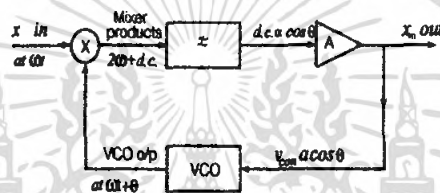
ใช้หลักการที่สัญญาณต้องมีการคัดผ่านจุดศูนย์ทุกรอบของสัญญาณ อัตราการผ่านจุดศูนย์ก็คือความถี่ของสัญญาณนั่นเอง ถ้าความถี่สูงชันการคัดผ่านจุดศูนย์จะมากขึ้นในเวลาหนึ่ง เพื่อความเข้าใจพิจารณารูปที่ 2.34 สัญญาณที่ได้จะมีคาบเท่ากันแต่ความกว้างของพัลส์จะเปลี่ยนไปตามความถี่และเมื่อเฉลี่ยแล้ว จะได้เป็นระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนตามความถี่



รูปที่ 2.34 รูปคลื่นแสดงการเปรียบเทียบเฟส ค่าเฉลี่ยของผลคูณสัญญาณจะแปรตามการเปลี่ยนแปลงเฟส

2.6.3 การคิเทคโดยเฟสล็อกคูล (PLL : Phase Lock Loop)

เป็นวงจรที่ลือควิชีโอ โดยการป้อนกลับด้วยผลต่างเฟสของสัญญาณที่เข้ามา การเปลี่ยนแปลงของเฟสนี้ ทำให้ได้สัญญาณขาออกที่มีการเปลี่ยนแปลง ขนาดตามความถี่ลือคโคอะแกรมแสดงในรูปที่ 2.35

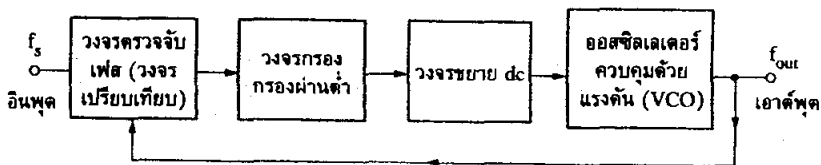


รูปที่ 2.35 วงจรเฟสล็อกคูล

2.7 เฟสล็อกคูล (PLL : Phase Locked Loop)

เฟสล็อกคูลโดยพื้นฐาน คือ ลูปป้อนกลับทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยวงจรตรวจจับเฟส (หรือวงจรเปรียบเทียบ) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรขยายกระแสไฟตรง และวงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน แผนภาพบล็อกพื้นฐานของเฟสล็อกคูล แสดงในรูปที่ 2.36 ส่วนประกอบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตจัดเป็นเส้นทางไปหน้าของลูปและการต่อเค็ยระหว่าง วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน กับวงจรตรวจจับเฟสจัดเป็นเส้นทางป้อนกลับ

จุดประสงค์ของวงจรเฟสล็อกคูล คือ การทำให้วงจรกำเนิดความถี่แปรความถี่ (variable frequency oscillator หรือ VFO) ลือคที่ความถี่และมุมเฟสของความถี่มาตรฐาน (f_s) ที่ใช้อ้างอิง วงจรกำเนิดความถี่จึงมีค่าความถี่ถูกต้องเหมือนกับความถี่มาตรฐานที่อ้างอิง



รูปที่ 2.36 แผนภาพของวงจรเฟสล็อกคูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 บล็อกคานาหน้าที่เฟสล็อกคูป (PLL Functional Block)

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจรเฟสล็อกคูปดีขึ้น เราจะต้องศึกษารายละเอียดแต่ละบล็อกหน้าที่ทั้งสี่บล็อกของเฟสล็อกคูป คือ วงจรตรวจจับเฟส วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรขยายกระแสไฟตรง และ วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

2.7.1.1 วงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector)

ระบบเฟสล็อกคูปทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นแบบแอนะล็อกหรือดิจิทัลก็ตาม จะใช้วงจรตรวจจับเฟสหรือวงจรเปรียบเทียบเป็นวงจรสร้างแรงดันควบคุมกระแสไฟตรง ความแตกต่างพื้นฐานระหว่างเฟสล็อกคูป แอนะล็อกกับดิจิทัล คือ ประเภทของวงจรตรวจจับเฟสที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วระบบดิจิทัลอาจใช้เกต exclusive – OR หรือวงจรตรวจจับเฟสแบบขอบจุกขนวนก็ได้ ส่วนระบบแอนะล็อกใช้วงจรผสมสัญญาณแบบสมมูลสองเท่า ตามปกติ วงจรตรวจจับเฟสแบบแอนะล็อกใช้ไดโอดสองตัวในวงจรเรียงกระแสแบบสมมูล แรงดันเอาต์พุต (V_{out}) ของวงจรตรวจจับเฟสเป็นสัดส่วนกับความต่างเฟสระหว่างอินพุตสองตัวและคำนวณค่าได้ดังนี้

$$V_{out} = K_c \Delta\Phi \quad (2.22)$$

เมื่อ K_c = อัตราขยายการแปลงค่านวงจรถวจับเฟส ค่าเป็น โวลต์/เรเดียน (V/rad)

$\Delta\Phi$ = ความแตกต่างเฟสอินพุต ค่าเป็น เรเดียน (rad)

1 rad = 57.3°

2.7.1.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรรายของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อาจเป็นแอคทีฟหรือพาสซีฟก็ได้ วงจรนี้ทำหน้าที่สำคัญสองประการ ประการแรก คือ กำจัดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟสลับของวงจรถวจับเฟสสองตัว หรือ กำจัดร่องรอยสัญญาณเสียงความถี่สูงขึ้นออกจากแรงดันเอาต์พุตกระแสไฟตรงที่ถูกจัดเรียงของวงจรถวจับเฟส ประการที่สอง คือ ทำหน้าที่ควบคุมการลื่น การแคปเจอร์ย่านความถี่ และการตอบสนองต่อภาวะชั่วคราวของลูป ซึ่งหมายความว่า วงจรกรองเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการทำงานแบบไดนามิกของลูป

2.7.1.3 วงจรขยายกระแสไฟตรง (dc Amplifier)

วงจรรายกระแสไฟตรง ขยายแรงดันควบคุมกระแสไฟตรง ที่กรองแล้วให้อยู่ในระดับที่ต้องการเพื่อให้ควบคุมได้ดีขึ้น และมีสภาพชั่วคราวที่ต้องการสำหรับวแรกเตอร์ในวงจรถวจับความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

2.7.1.4 วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน (วงจรถวจับ VCO)

วงจรถวจับความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน ใช้วแรกเตอร์ในการตั้งค่าความถี่ของวงจรถวจับความถี่ ความถี่เอาต์พุตของวงจรถวจับความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

เป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับแรงดันควบคุมอินพุตของวงจรถ้าควบคุมให้ วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน สื่อคืออยู่ที่ความถี่และเฟสของวงจรถ้ากำเนิดความถี่มาตรฐานสำหรับอ้างอิง วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน มีอีกชื่อว่า วงจรแปลงผันแรงดันเป็นความถี่ (voltage - to - frequency converter)

วงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน ใช้สำหรับจูนความถี่ของวงจรถ้ากำเนิดสัญญาณเชิงอิเล็กทรอนิกส์ วาเรกเตอร์ (varactor) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วาเรกแคป (varicap) เป็นไดโอดความจุแบบเซมิคอนดักเตอร์ที่ทำงานด้วย หลักการความจุแปรที่เป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณแรงดันย้อนกลับกระแสไฟตรงที่นำมาใช้ แรงดันย้อนกลับอาจเป็นลบที่แอ โนคหรือเป็นบวกที่แค โทคของไดโอดก็ได้ ยิ่งใช้แรงดันย้อนกลับมากขึ้นเท่าใดพื้นที่ปอดพาหะของรอยต่อ P-N ก็ยิ่งกว้างมากขึ้นเท่านั้น ผลจากพื้นที่ปอดพาหะกว้างขึ้นจะสมมูลกับระยะห่างที่เพิ่มขึ้นระหว่างเพลตของตัวเก็บประจุซึ่งส่งผลให้ความจุลดลง

2.7.2 โหมดการทำงานของเฟสล็อกคัล

เฟสล็อกคัลมีโหมดการทำงาน 3 แบบ คือ แบบทำงานเสรี (free - running) แบบแคปเจอร์ (capture) และ แบบล็อกเฟส (phase - lock) (บางครั้งเรียกว่าแบบล็อกอินหรือแบบตามรอยสัญญาณ (tracking)) ถ้าความถี่เอาต์พุตของวงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน (f_{out}) ห่างจากค่าความถี่มาตรฐาน (f_s) มากเกินไป เฟสล็อกคัลจะไม่สามารถล็อกอินวงจรถ้ากำเนิดสัญญาณได้ เมื่อไม่สามารถล็อกอินได้ วงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดันจะเป็นโหมดทำงานเสรีหรือฟรีรันนิ่ง เมื่อแรงดันควบคุมจากวงจรขยายกระแสไฟตรง เริ่มเปลี่ยนความถี่ของวงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน วงจรถ้ากำเนิดความถี่จะเป็นโหมดแคปเจอร์ เมื่อความถี่เอาต์พุตของวงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้ โดยแรงดันเท่ากับค่าความถี่มาตรฐานพอดี วงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดันจะล็อกอินและเฟสล็อกคัลจะเป็นโหมดล็อกเฟส เฟสล็อกคัลจะทำงานในโหมดล็อกเฟส ไปจนกว่าจะใช้แรงดันควบคุมกระแสไฟตรง

2.7.2.1 ย่านล็อกและย่านแคปเจอร์ (Lock Rang and Capture Rang)

ย่านความถี่ที่เฟสล็อกคัล ตามรอยสัญญาณเข้ามานั้นเรียกว่า ย่านล็อก (lock rang) ย่านความถี่ที่ทำให้เกิดการล็อกหรือการแคปเจอร์เรียกว่า ย่านแคปเจอร์ (capture range) ย่านแคปเจอร์ต้องไม่กว้างไปกว่าย่านล็อก ในการคุมค่าย่านแคปเจอร์ให้แคบกว่าย่านล็อก จะใช้วงจรตรวจจับเฟสในการเปรียบเทียบความถี่สองความถี่ ความต่างเฟสทำให้เกิดสัญญาณผิดพลาดที่เอาต์พุตของวงจรตรวจจับเฟส สัญญาณผิดพลาดนี้เป็นแรงดันกระแสไฟฟ้า ที่เป็นสัดส่วนกับผลต่างความถี่กับเฟสของวงจรถ้ากำเนิดสัญญาณมาตรฐานและวงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

แรงดันผิดพลาด กระแสไฟตรง ใช้สำหรับแก้ค่าความถี่ของวงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดันด้วยการบีบความถี่ให้เปลี่ยนทิศทางซึ่งจะลดผลต่างความถี่ระหว่างวงจรถ้ากำเนิดสัญญาณอินพุตกับ วงจรถ้ากำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกำจัดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟสลับของวงจรกำเนิดสัญญาณสองตัวหรือกำจัดร่องรอยสัญญาณเสียงความถี่ที่สูงขึ้นออกจากเอาต์พุตกระแสไฟตรง ที่ถูกจัดเรียงของวงจรตรวจจับเฟส เอาต์พุตของวงจรกรองเป็นแรงดันควบคุมกระแสไฟตรง ที่กรองแล้วซึ่งถูกป้อนไปยังวงจรขยายกระแสไฟตรงที่จะขยายสัญญาณให้เพิ่มขึ้นเพื่อทำให้การควบคุมดีขึ้น เอาต์พุตวงจรขยายทำให้ได้ระดับกระแสไฟตรงและสภาพขั้วที่ต้องการ สำหรับแรงดันควบคุมที่ใช้กับวาร์คาแคเตอร์ในวงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน

วงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดันใช้วาร์คาแคเตอร์ในการตั้งค่าความถี่ วงจรกำเนิดสัญญาณ อินพุตจากวงจรขยายกระแสไฟตรง คุมค่าวงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดันให้ลึกลับที่ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณอ้างอิง ถึงแม้จะลึกลับอินแล้วก็ตาม แต่มักจะมีความต่างเฟสจำนวนหนึ่งระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตเสมอ

2.7.3 การใช้งานเฟสล็อกคูล

วงจรเฟสล็อกคูล มีการนำไปใช้หลายอย่างและเหมาะสมมากสำหรับติดตั้งในการใช้งานประจำ เช่น วงจรตรวจจับเอเอ็มและเอฟเอ็ม วงจรถอดรหัส FSK วงจรปรับสภาพสัญญาณ การตั้งสเกลในเครื่องนับความถี่ วงจรตรวจจับเสียงสัญญาณ และวงจรตรวจจับเสียงสัญญาณแตะ (touchtone) ตามปกติแล้ว เมื่อใช้เฟสล็อกคูลควบคุมความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณอย่างเช่น ในระบบเสียงของเครื่องรับวิทยุหรือโทรทัศน์ จะเรียกเฟสล็อกคูล เป็นการควบคุมความถี่แบบอัตโนมัติ (automatic frequency control หรือ AFC) ในกลุ่มวงจรจูนเนอร์ค่าคลื่นความถี่วิทยุของเครื่องรับโทรทัศน์ จะเรียกเฟสล็อกคูล เป็นการจูนความละเอียดแบบอัตโนมัติ (automatic fine tuning หรือ AFT) และในวงจรจิงโครนิสแนวนอน จะเรียกว่า เป็นการควบคุมความถี่แบบอัตโนมัติแนวนอน

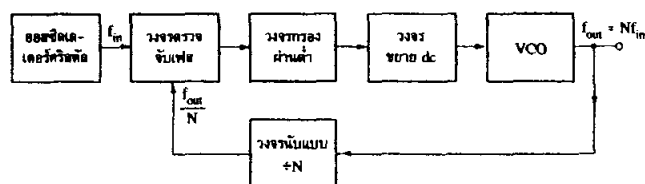
2.7.3.1 การสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesis)

การใช้งานเฟสล็อกคูลที่สำคัญ คือ การนำไปใช้ในระบบสื่อสาร วงจรเฟสล็อกคูลจึงทำให้เกิดวงจรกำเนิดสัญญาณที่ไม่มีคริสตัลแต่มีเสถียรภาพความถี่เหมือนกับวงจรกำเนิดสัญญาณอ้างอิงแบบคริสตัล ขั้นตอนนี้เรียกว่า การสังเคราะห์ความถี่ ที่หมายถึงการรวมหรือการผสมความถี่ 2 ความถี่เข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดเอาต์พุตที่ต้องการ รูปที่ 2.37 เป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่แบบพื้นฐานที่ใส่วงจรนับแบบหารด้วย N ($\div N$) ลงในเส้นทางป้อนกลับของเฟสล็อกคูล ความถี่เอาต์พุตของวงจรสังเคราะห์จึงเป็นดังนี้

$$f_{out} = Nf_{in} \quad (2.23)$$

เมื่อ N = ค่าตัวหารของวงจรรับแบบ ($\div N$)

f_{in} = ความถี่อินพุต



รูปที่ 2.37 วงจรสังเคราะห์ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตรวจจับเฟสของวงจรสังเคราะห์จะสร้างแรงดันควบคุมกระแสไฟตรงที่เป็นสัดส่วนกับความต่างเฟสระหว่างความถี่อินพุตและเอาต์พุตวงจรนับแบบ $\pm N$ นั่นคือ f_{out}/N วงจรนับสร้างพัลส์เอาต์พุตเดียวสำหรับพัลส์อินพุต N แต่ละตัว หลังจากการกรองและการขยายแล้ว แรงดันควบคุมกระแสไฟตรง จากวงจรตรวจจับเฟสจะควบคุมความถี่เอาต์พุตของวงจรถ้าเนคความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรนับแบบ $\pm N$ จะสมมูลกับความถี่อินพุตอ้างอิง ยกเว้นแต่จะมีความต่างเฟสเล็กน้อยดังนี้

$$f_n = \frac{f_{out}}{N} \quad (2.24)$$

2.7.4 ทรูปเฟสล็อกคูล

เฟสล็อกคูลโดยพื้นฐาน คือ ุปปิดที่ทำให้เกิดการป้อนกลับเชิงอิเล็กทรอนิกส์เพื่อล็อกอินพุตความถี่ที่ต้องการเฟสล็อกคูล ประกอบด้วยวงจรตรวจจับเฟส วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรขยายกระแสไฟตรง และวงจรถ้าเนคความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน วงจรตรวจจับเฟสในเฟสล็อกคูลเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงอินพุตกับความถี่เอาต์พุตของวงจรถ้าเนคความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน และสร้างแรงดันควบคุมกระแสไฟตรง เป็นสัดส่วนกับความต่างเฟสของสัญญาณอินพุตสองสัญญาณ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในเฟสล็อกคูลอาจเป็นแอกทีฟหรือพาสซีฟก็ได้ ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณเสียงจากสัญญาณวงจรถ้าเนคสัญญาณสองตัว และควบคุมลอค แคปเจอร์ย่านความถี่และการตอบสนองต่อภาวะชั่วคราวของลูป วงจรขยายกระแสไฟตรงในเฟสล็อกคูล ทำให้ได้ระดับแรงดันควบคุมที่ต้องการ ในสภาพชั่วที่ต้อใช้ในวงจรถ้าเนคความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน วงจรถ้าเนคความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ได้โดยแรงดัน ในเฟสล็อกคูลใช้วแรกเตอร์ในการตั้งค่าความถี่ของวงจรถ้าเนคความถี่ วแรกเตอร์เป็น ไดโอดเชิงความจุขมิคอนดักเตอร์ที่ทำงานด้วยหลักการความจุเปลี่ยนแปลงที่เป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณแรงดันย้อนกลับกระแสไฟตรงที่นำมาใช้ มีวงจร ไอซีเฟสล็อกคูลแบบ โมโนลิทิกวางจำหน่ายมาก และเป็นวงจรที่ต้องใช้อุปกรณ์ต่อจากภายนอกบางอย่างเพื่อเพิ่มหน้าที่การใช้งาน

เฟสล็อกคูลมีโหมดการทำงานสามแบบคือแบบทำงานเสรีหรือฟรีรันนิง แบบแคปเจอร์ และแบบล็อกเฟส (บางครั้งเรียกว่าแบบล็อกอินหรือแบบตามรอยสัญญาณ) ย่านลอคเป็นย่านความถี่ที่เฟสล็อกคูลสามารถตามรอยสัญญาณที่เข้ามาได้ ย่านแคปเจอร์คือย่านความถี่ที่สามารถแคปเจอร์ได้ ย่านแคปเจอร์ จะต้องไม่กว้างไปกว่าย่านลอค

การเปลี่ยนแปลงการนับแบบ $\pm N$ ในวงจรสังเคราะห์ความถี่จะทำให้ได้ความถี่แตกต่างกันหลายความถี่

2.8 หลักการมัลติเพล็กซ์จิง (Multiplexing)

ในระบบการสื่อสารนั้นทรัพยากรต่างๆ (เช่นความถี่ในการใช้งาน, ปริมาณคู่สาย ฯลฯ) ที่ถูกนำมาใช้งานนั้นล้วนมีอยู่อย่างจำกัด เราจึงต้องใช้ทรัพยากรต่างๆที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด การมัลติเพล็กซ์ ก็เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ความหมายของมัลติเพล็กซ์ ก็คือ การรวม (combination) ให้ช่องสัญญาณที่มีขนาดความจุของข่าวสารต่ำ สามารถใช้งานผ่านสื่อสัญญาณ (transmission Media) ที่มีขนาดความจุสูงชุดเดียวกันได้ ทำให้ความจุของระบบสื่อสัญญาณนั้นถูกใช้งานอย่างคุ้มค่า (utilization) ที่สุด หลักการมัลติเพล็กซ์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.38



Many-to-1

1-to-Many

รูปที่ 2.38 หลักการมัลติเพล็กซ์

จากรูปที่ 2.38 เราให้ข้อมูลจำนวน 4 ช่อง ถูกส่งเข้าไปยัง MUX ซึ่งมันจะทำหน้าที่ในการรวมช่องสัญญาณทั้งหมดแล้วส่งผ่านไปในคอมมูนิเคชันลิงค์ (communication link) ที่มีขนาดความจุขนาดข้อมูลจำนวน 4 ช่อง ชุดหนึ่ง เมื่อถึงปลายทางแล้ว ช่องสัญญาณที่ถูกรวมไปในคอมมูนิเคชันลิงค์นั้น ก็จะถูกแยก (DEMUX) ออกมาเป็นข้อมูลจำนวน 4 ช่อง ตามเดิม เป็นเทคนิค ที่ใช้สำหรับบริหารจัดการตัวกลาง 1 เส้นทาง เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณหลายสัญญาณพร้อมๆกันได้

การที่หลักการมัลติเพล็กซ์ได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวางก็เนื่องจาก

- การที่สามารถทำให้ คอมมูนิเคชันลิงค์ มีความจุสูงมากขึ้นเท่าใด ก็จะเป็นการทำให้ต้นทุนของการใช้งานการส่งผ่านต่ำลงเท่านั้น (More cost-effective) หมายถึงว่า เมื่อมีการใช้งานเกี่ยวข้อง อย่างหนึ่งในระยะทางช่วงหนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารคือ kbps จะลดลงเมื่ออัตราข้อมูลของการส่งผ่านมีความสะดวกขึ้น เพิ่มสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันก็คือ ราคาของการส่งผ่านและอุปกรณ์การรับคือ kbps จะถูกลงเมื่ออัตราข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น

- ในการส่งข้อมูลทั่วไปนั้น อุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้งานเช่น อุปกรณ์กำหนดข้อมูลปลายทาง (data terminal equipment) มักมีความเร็วไม่สูงนัก เช่นในการส่งข้อมูลที่มีขนาดข้อมูลไม่ใหญ่จนเกินไปนักอัตราข้อมูลระหว่าง 9,600 bps ถึง 64 kbps ก็มักเพียงพอแล้ว

- ความมีอยู่อย่างจำกัดของสื่อการส่งผ่าน (transmission media) ดังได้กล่าวแล้ว ทำให้ความต้องการส่งสัญญาณต่างๆ ไปในสื่อการส่งผ่านชุดเดียวกันมีความจำเป็นมากขึ้น

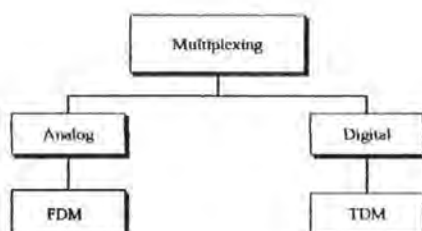
วิธีที่นิยมใช้มี 4 วิธี คือ

2.8.1 การแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing - FDM) ใช้สำหรับสัญญาณอนาล็อก

2.8.2 การแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing - TDM) ใช้สำหรับสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 2.39

2.8.3 การแบ่งเวลาแบบสถิติ (Statistical Time Division Multiplexing - STDM)

2.8.4 การแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access - CDMA)



รูปที่ 2.39 การแบ่งรูปแบบสัญญาณที่จะนำมามัลติเพล็กซ์

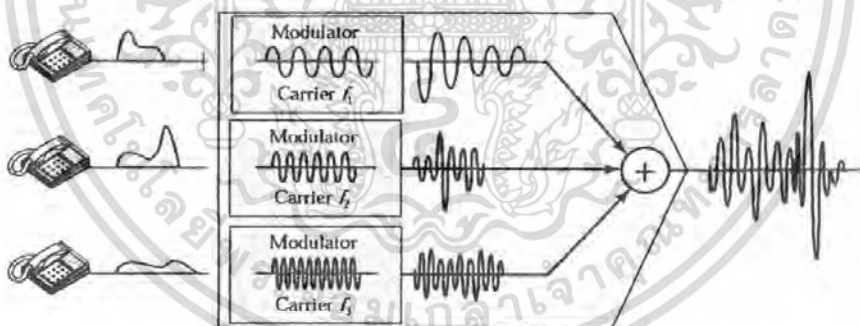
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 การแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing - FDM)

เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้งานกับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกโดยที่ในชั้นต้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้สามารถใช้โทรศัพท์ได้มากกว่า 1 การเรียก (call) บนระบบสื่อสารสัญญาณ (transmission) ชุดเดียวกัน หลักการทำงานของระบบแบบแบ่งความถี่ ก็คือสัญญาณโทรศัพท์แต่ละการเรียกที่ต้องการส่งไปยังปลายทางจะถูกนำมาผสมกับสัญญาณพาหะต่างๆ โดยที่เราจะต้องแน่ใจว่าเมื่อนำมาผสมแล้วกับคลื่นพาหะเหล่านี้แล้ว จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนหรือซ้อนทับกันระหว่างช่องสัญญาณ ในแต่ละชุดที่กล่าวมาแล้วนั้น ปกติแล้วเสียง หรือสัญญาณโทรศัพท์นั้นจะมี ย่านความถี่ 3100 เฮิรต (ความถี่อยู่ในช่วง 300 - 3400 เฮิรต) ดังนั้นในทางปฏิบัติ การมัลติเพล็กซ์ ชั้นต้นสัญญาณพาหะต่างๆ แต่ละตัวจะมีช่วงห่าง 4000 เฮิรต หรือ 4 กิโลเฮิรต ซึ่งเพียงพอแล้วที่จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนหรือซ้อนทับกันระหว่างช่องสัญญาณ ขึ้นกับสัญญาณโทรศัพท์แต่ละชุด ระบบแบบแบ่งความถี่นี้ได้ถูกนำมาใช้งานครั้งแรกในทศวรรษ 1930s โดยที่สามารถใช้งานโทรศัพท์ได้พร้อมกัน 12 การเรียก บนระบบสื่อสารสัญญาณ ชุดเดียวกัน และในปี 1939 ได้เริ่มมีการนำระบบแบบแบ่งความถี่ ที่มีความสูงถึง 600 วง โทรศัพท์มาใช้งาน โดยเป็นการใช้งานผ่านสายโคแอกเซียล

2.8.1.1 อุปกรณ์ด้านส่ง

ให้กำเนิดข่าวสารในรูปสัญญาณอนาล็อกที่มีสเปกตรัมใกล้เคียงกัน (อยู่ในย่านเดียวกัน) สัญญาณข่าวสารจะถูกผสมกับสัญญาณพาหะที่มีความถี่ต่างกัน สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาบวกกันเป็นการผสมสัญญาณส่งไปในตัวกลาง เราสามารถแสดงหลักการของระบบแบบแบ่งความถี่ ได้ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงหลักการของระบบแบบแบ่งความถี่ทางด้านส่ง

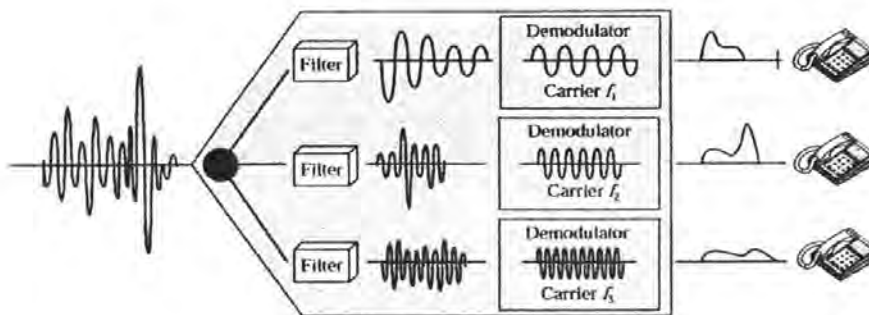
2.8.1.2 อุปกรณ์ด้านรับ

มีอุปกรณ์ดีมัลติเพล็กซ์ จะใช้วงจรกรองความถี่ที่ความถี่ต่างๆ เพื่อแยกการรวมสัญญาณออกเป็นชุดของสัญญาณที่มอดูเลตก่อนทำการดีมัลติเพล็กซ์

อุปกรณ์ดีมอดูเลต ทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาหะออกจากสัญญาณข่าวสารในสัญญาณที่มอดูเลตแต่ละชุด

อุปกรณ์ด้านรับ รับสัญญาณข่าวสารที่เข้ามาได้ เป็นการสื่อสารที่ครบวงจร แสดงดังรูปที่ 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 แสดงหลักการของระบบแบบแบ่งความถี่ทางด้านรับ

2.9 วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรรวมสัญญาณหรือตัวบวกแรงดัน ดังรูปที่ 2.42 โดยมีอินพุต 2 อินพุตต่อเข้าที่โนด a หรืออินพุตแบบผกผันของออปแอมป์ ซึ่งโนด a เรียกว่า "จุดผลบวก" (summing point) และอินพุตแบบไม่ผกผันต่อลงกราวด์ จะทำให้ $V_p = 0$ ซึ่งวงจรรขยายผลบวกจะมีโครงสร้างเดียวกับวงจรรขยายแรงดันแบบผกผัน การวิเคราะห์ห้วงจรจะใช้ KCL เขียนสมการที่โนด a

$$i_1 + i_2 - i_N + i_F = 0 \tag{2.25}$$



รูปที่ 2.42 วงจรรขยายผลบวก

จากวงจรรูปที่ 2.42

$$i_1 = \frac{V_1 - V_N}{R_1} \tag{2.26}$$

$$i_2 = \frac{V_2 - V_N}{R_2}$$

$$i_f = \frac{V_N - V_o}{R_f}$$

$$i_N = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \frac{v_1 - v_N}{R_1} + \frac{v_2 - v_N}{R_2} + \frac{v_o - v_N}{R_f} = 0$$

ซึ่ง $v_N = 0 \quad \therefore \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_o}{R_f} = 0$

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = -\frac{v_o}{R_f}$$

$$\therefore v_o = \left(-\frac{R_f}{R_1}\right)v_1 + \left(-\frac{R_f}{R_2}\right)v_2 \quad (2.27)$$

หรือ $v_o = K_1 v_1 + K_2 v_2 \quad (2.28)$

โดย

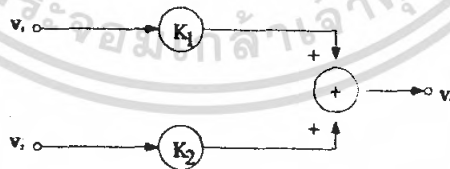
$$K_1 = -\frac{R_f}{R_1}$$

$$K_2 = -\frac{R_f}{R_2}$$

จากสมการ (2.27) ถ้าเลือกให้ $R_1 = R_2 = R$ จะได้สมการ (2.29)

$$v_o = -\frac{R_f}{R}(v_1 + v_2) \quad (2.29)$$

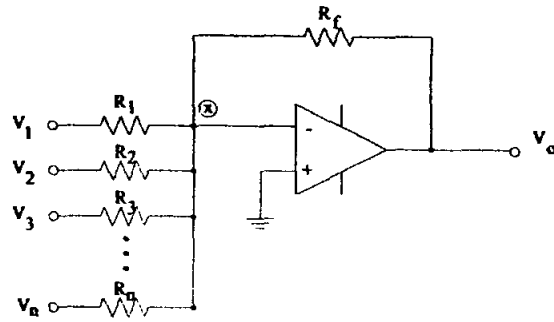
ซึ่งกรณีแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับผลบวกของแรงดันอินพุต v_1 กับ v_2 ซึ่งเป็นที่มาของชื่อวงจร คือ “วงจรรวมสัญญาณ” (summing amplifier) เขียนแทนด้วยภาพจำลองดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 แผนภาพจำลองของวงจรขยายผลบวก

จากรูปที่ 2.43 เป็นวงจรที่ประกอบด้วยอินพุต 2 อินพุต ซึ่งถ้าในกรณีที่ $R_1 \neq R_2$ แรงดันเอาต์พุตแสดงดังสมการ (2.27) ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะเกิดจากแรงดันอินพุตแต่ละอินพุตคูณกับอัตราขยายแรงดันของแต่ละอินพุต ดังนั้นถ้าที่โหนด a มีอินพุตจำนวน n ตัวแสดงดังรูปที่ 2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.44 วงจรขยายผลบวกที่มีอินพุตจำนวน n ตัว

แรงดัน v_o คือ
$$v_o = \left(\frac{-R_f}{R_1} v_1 \right) + \left(\frac{-R_f}{R_2} v_2 \right) + \dots + \left(\frac{-R_f}{R_n} v_n \right) \quad (2.30)$$

หรือ
$$v_o = K_1 v_1 + K_2 v_2 + \dots + K_n v_n \quad (2.31)$$

เมื่อ R_f คือ ตัวต้านทานป้อนกลับ

R_1, R_2, R_n คือ ตัวต้านทานอินพุต

v_1, v_2, v_n คือ แรงดันอินพุต

2.10 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณ หมายถึง วงจรที่เปลี่ยนสัญญาณที่มีอินพุตน้อยๆ มาเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีขนาดสูงชันกว่าเดิม ซึ่งสัญญาณที่ว่าอาจเป็นได้ทั้งแรงดันหรือกระแสในลักษณะเดียวกัน วงจรขยายของออปแอมป์ก็คือ วงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ (ในอุดมคติ) และนอกจากนี้เรายังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัว

ซึ่งวงจรขยายสัญญาณนั้นมีอยู่ 2 ชนิดคือ ขยายสัญญาณแบบกลับเฟสและ ไม่กลับเฟส

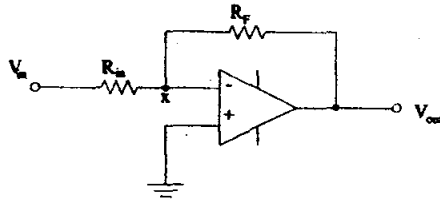
2.10.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วิธีที่ใช้เป็นแบบลูปิด เรียกว่า “การป้อนกลับแบบลบ” โดยนำเอาต์พุตซึ่งกลับเฟสกับอินพุตมาป้อนที่จุดอินพุตอีกที ผลก็คือ วงจรภายในออปแอมป์จะพยายามปรับเอาต์พุตจนกระทั่ง ความต่างศักย์ระหว่างอินพุตมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (แต่ต้องเข้าใจว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุตจะต้องไม่เท่ากับศูนย์พอดี มิฉะนั้น เอาต์พุตก็จะเท่ากับศูนย์โวลต์ด้วย กล่าวคือ ผลต่างระหว่าง V_{in} และบางส่วนของ V_{out} ที่ขั้วอินพุตลบเพียงมีค่าต่ำพอที่จะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตได้พอดีเท่านั้น)

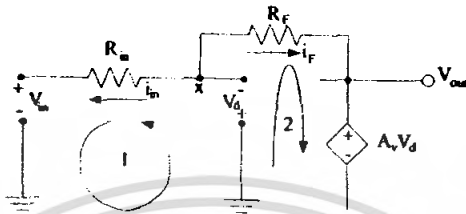
จากสมการของอัตราขยายแรงดัน A_v :
$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

เราจะพิสูจน์ให้เห็นว่า ค่าขยายแรงดัน A_v ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของลูปิด จะสามารถหาได้

ด้วยสมการ
$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$
 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.45 รูปวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส



รูปที่ 2.46 วงจรภายในของวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

KVL Loop 1 ; $i_{in}R_{in} + V_{in} + V_d = 0$ (2.32)

KVL Loop 2 ; $V_d + i_f R_f + A_v V_d = 0$ (2.33)

KVL Loop 3 ; $i_{in} + i_f = 0$ (2.34)

นอกจากนี้ $V_{out} = A_v V_d$ (2.35)

$$V_d = \frac{V_{out}}{A_v}$$

จากสมการที่ (2.33) จะได้ว่า $i_f R_f = V_d(1 + A_v)$ (2.36)

$$i_f = -\frac{V_d}{R_f}(1 + A_v)$$

$\therefore i_{in} = -i_f = \frac{V_d}{R_f}(1 + A_v)$

แทนสมการ (2.36) ลงในสมการ (2.32)

$$\frac{R_{in}}{R_f}(1 + A_v)V_d + V_{in} + V_d = 0$$

$$\frac{R_{in}(1 + A_v)}{R_f}V_{out} + V_{in} + \frac{V_{out}}{A_v} = 0$$

$$V_{out} \left(\frac{R_{in}}{R_f} \left(\frac{1 + A_v}{A_v} \right) + \frac{1}{A_v} \right) = -V_{in}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \frac{V_-}{V_+} = \frac{1}{\frac{R_s \left(\frac{1+A_v}{A_v} \right) + 1}{R_f}}$$

เมื่อกำหนดให้ $\frac{1+A_v}{A_v} \approx 1$ และ $\frac{1}{A_v} = 0$

$$\therefore \frac{V_-}{V_+} = -\frac{R_f}{R_s}$$

หรือ $A_v = -\frac{R_f}{R_s}$

และจะได้ $V_- = -\frac{R_f}{R_s} V_+$

2.10.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ นอนอินเวอร์ตติ้งแอมป์จะแตกต่างกับอินเวอร์ตติ้งแอมป์ในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาต์พุต แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรมอนอินเวอร์ตติ้งก็ยังคงควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยเราจะวิเคราะห์ห้วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรมอนอินเวอร์ตติ้ง

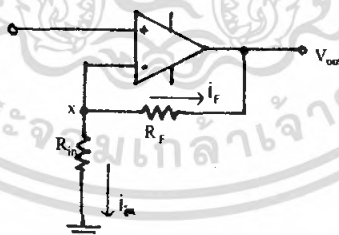
แรงดันอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวก (ในขณะที่สัญญาณอินพุตในวงจรมอนอินเวอร์ตติ้งจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน V_+ ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุตต่อคร่อมตัวต้านทาน R_s จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า ศักคาที่ขั้วอินพุตลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้ศักคาที่ขั้วอินพุตบวก

เสมอ จะได้ว่า $V_+ = V_-$ ดังนั้นเราสามารถเขียนค่าแรงดัน A_v ได้เท่ากับ $A_v = \frac{V_-}{V_+}$

และเนื่องจาก V_+ เกิดจากการแบ่งแรงดันของ V_- จะได้

$$V_+ = \frac{R_s}{R_f + R_s} V_-$$

ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ วิเคราะห์โดยใช้หลักการ Virtual Voltage $V_+ = V_-$



รูปที่ 2.47 วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

KCL Node x ; $i_s + i_f = 0$
 $\frac{V_x - 0}{R_s} + \frac{V_x - V_{out}}{R_f} = 0$

จากวงจร $V_+ = V_-$

$\therefore V_- = V_+ = V_+$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_{in}}{R_s} + \frac{V_{in} - V_{out}}{R_f} = 0$$

$$V_{in} \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_f} \right) = \frac{V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out} = R_f \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_f} \right) V_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_f}{R_s} + 1$$

หรือ

$$A_v = \frac{R_f}{R_s} + 1$$

2.11 วงจรกรองความถี่ (Filter)

ในการเลือกระบบความถี่ (frequency selective system) ไม่ว่าจะเป็นส่วนป้อนกลับ (feedback path) ของระบบควบคุมในส่วนของวงจรปรับแต่งสภาพสัญญาณ (signal conditioner circuit) ภาครับสัญญาณอินพุตของเครื่องมือวัด หรือแม้กระทั่งใน วงจรมอดูเลเตอร์ (modulator) และ วงจรดีมอดูเลเตอร์ (demodulator) องค์ประกอบสำคัญส่วนหนึ่งที่จะขาดเสียมิได้เลยในระบบเหล่านี้ คือ วงจรกรองความถี่ (filter)

2.11.1 นิยามวงจรกรองความถี่ (Theory Filter)

วงจรกรอง (filter) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกผ่านสัญญาณ โดยวงจรกรองจะยอมให้สัญญาณเฉพาะบางย่านความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น เราจะเรียกย่านความถี่ที่วงจรกรองยอมให้ผ่านว่า ย่านความถี่ผ่าน (passband) และย่านความถี่ที่วงจรกรองจะกั้นไว้ไม่ให้ผ่าน เรียกว่าย่านความถี่หยุด (stopband) เราสามารถแบ่งวงจรกรองได้ตามลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรได้ออกเป็น สองประเภท คือ วงจรกรองพาสซีฟ (passive filter)

เป็นวงจรกรองสัญญาณที่ประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และขดลวดเหนี่ยวนำ เท่านั้น ไม่มี อุปกรณ์แอคทีฟจำพวก ทรานซิสเตอร์ ไดโอด หลอดสุญญากาศ หรือ ออปแอมป์ เลย

วงจรกรองแอคทีฟ (active filter)

สร้างจากตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุล้อมอุปกรณ์แอคทีฟซึ่งมักเป็นออปแอมป์

นอกจากนั้นเรายังสามารถแยกประเภทของวงจรได้ตามลักษณะของผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

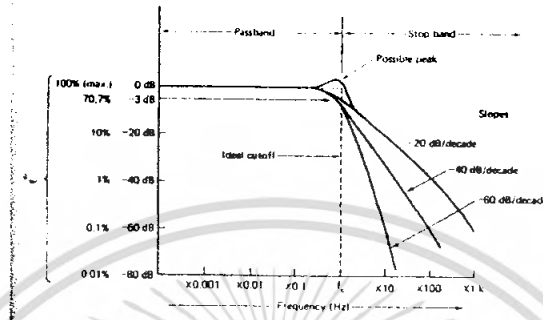
1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low - Pass Filter : LPF)
2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High - Pass Filter : HPF)
3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter : BPF)
4. วงจรกรองแบบช่องบาก (Band - Reject Filter : BRF หรือ Band - stop Filter

หรือ Band - elimination Filter หรือ วงจรนอตช์ฟิลเตอร์ (Notch Filter))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter : LPF)

ในทางอุดมคติ หมายถึง จะให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้และจะกีดความถี่สูงไว้ ถ้าความถี่ที่เข้ามามีมากกว่าความถี่ตัดที่ต้องการแล้ว วงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้นไม่ให้ออกไปที่เอาต์พุตเลย แต่ในทางปฏิบัติของวงจรไม่สามารถตอบสนองความถี่เช่นนี้ได้ ความถี่ที่วงจรไม่ต้องการ ไม่ได้ถูกตัดทิ้งทั้งหมดแต่จะโรลloff (rolloff หรือ การลดลงอย่างราบรื่น) เป็นเส้นโค้งลาดชัน กำหนดให้ f_c เป็น ความถี่คัตออฟและเป็นความถี่จำกัของวงจรกรอง



รูปที่ 2.48 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

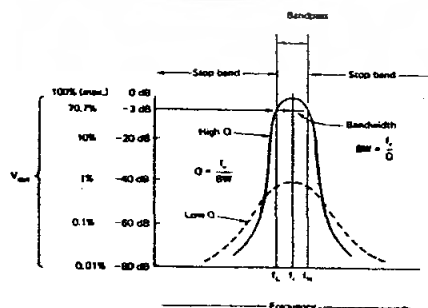
จากรูปที่ 2.48 กราฟเส้นประแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในทางอุดมคติ

กราฟเส้นทึบแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในทางปฏิบัติ

จากรูปวงจรมีจะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัตออฟและ เรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟว่า ย่านความถี่ผ่าน และช่วงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัตออฟว่า ย่านความถี่หยุด จากกราฟในรูปที่ 2.48 จะพบว่า เมื่อสัญญาณมีความถี่สูงกว่าความถี่คัตออฟแล้วสัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน -20 dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า -60 dB/decade คุณสมบัตินี้เกิดขึ้นจากการออกแบบวงจรกรองความถี่และยิ่งค่าความชันมีขนาดลบมากเท่าใด วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรในอุดมคติมากยิ่งขึ้น

2.11.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter : BPF)

หมายถึง วงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น



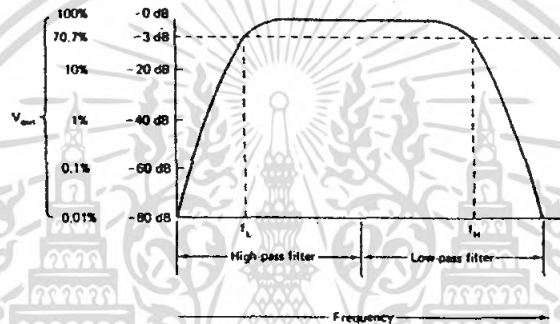
รูปที่ 2.49 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.49 เส้นประ แสดงวงจรกรองความถี่ผ่านที่มีค่าตัวประกอบคุณภาพค่อนข้างต่ำ

เส้นทึบแสดงวงจรกรองความถี่ผ่านที่มีค่าตัวประกอบคุณภาพค่อนข้างสูง

จากรูป จะพบว่า ณ ความถี่ที่เอาต์พุตมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่าความถี่รีโซแนนท์และที่ความถี่ซึ่งแรงดันเอาต์พุตลดลงเหลือ 70.7 % ทั้งด้านที่ความถี่สูงขึ้นและด้านที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่สูง (f_H) และ ความถี่ต่ำ (f_L) ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ ($f_H - f_L$) จะแสดงแบนด์วิดท์ (BW) ของวงจร ถ้าแบนด์วิดท์มีขนาดต่ำกว่า 10 % ของความถี่รีโซแนนท์ (f_r) จะเรียกวงจรนี้ว่าวงจรกรองความถี่ผ่านช่วงแคบ แต่จะเรียกว่าเป็นวงจรกรองความถี่ผ่านช่วงกว้าง หากแบนด์วิดท์มีค่าสูงกว่า 10 % ของความถี่รีโซแนนท์ นอกจากนี้ยังให้นิยามสำหรับค่าตัวประกอบคุณภาพหรือ Q - factor (Quality Factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่รีโซแนนท์และแบนด์วิดท์ ดังสมการ $Q = f_r/BW$ วงจรที่มีค่าตัวประกอบคุณภาพสูงมากเท่าใดแบนด์วิดท์ก็จะยิ่งแคบมากเท่านั้น (เข้าใกล้วงจรในอุดมคติซึ่งต้องการเลือกความถี่ที่ผ่านวงจรกรองได้เพียงค่าเดียว) และเอาต์พุตก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.50 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านช่วงกว้าง

ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วงที่กว้างมากๆเราสามารถนำวงจรความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองความถี่สูงผ่านมาต่อรวมกันได้เลย โดยใช้ความถี่คัตออฟสำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นความถี่สูง และใช้ความถี่คัตออฟของวงจรกรองความถี่สูงผ่านเป็นความถี่ต่ำซึ่งจะได้กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ดังรูปที่ 2.50

2.11.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองจัดเป็นอัตราขยายหรือการตอบสนองแอมพลิจูด ฟังก์ชันถ่ายโอนแสดงค่าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตของวงจรกรองที่ความถี่ต่างๆ โดยแสดงค่าเป็น แรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นฟังก์ชันความถี่ นิยมใช้เป็นค่าเชิงเบลกับอัตราส่วนนี้

2.11.5 ความถี่คัตออฟ (Cutoff Frequency : f_c)

เป็นการตกลงไว้ว่าถ้าค่ากำลังเอาต์พุตลดลงมาเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังอินพุตแล้วถ้าสัญญาณลดลงต่ำกว่านี้ เราจะไม่คิด ถ้าเป็นค่าแรงดันหรือกระแสก็จะลดลงมาเป็น 0.707 ของกำลังอินพุตแล้ว ถ้าสัญญาณลดลงต่ำกว่านี้เราจะไม่คิด จุดความถี่คัตออฟเรียกต่างๆกันดังนี้ จุด 0.707 , จุด -3 dB , จุดหักมุม (break point) และจุดครึ่งกำลัง (half - power point)

วิธีการคิดจุดความถี่ตัดออฟ

$$\text{จุดความถี่ตัดออฟ} = \text{อัตราขยายสูงสุด dB} - 3 \text{ dB} \quad (2.37)$$

$$= 0.707 \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} = A_{v(max)} \quad (2.38)$$

ที่มาของ -3 dB คือ

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (2.39)$$

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = 0.5 \quad \text{คิดเป็น dB} \quad (2.40)$$

เป็น deci (10^{-1}) เพื่อให้หน่วยเล็กลง

$$B = \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.41)$$

$$dB = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.42)$$

$$P = 10 \log 0.5 \quad (2.43)$$

$$= -3 \text{ dB} \quad (2.44)$$

แต่ถ้าเป็น V หรือ I

$$V = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.45)$$

$$= 10 \log \frac{I_{out}^2 R}{I_{in}^2 R} \quad (2.46)$$

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = 0.5 = \left(\frac{I_{out}}{I_{in}} \right)^2 \quad (2.48)$$

$$= 10 \log \left(\frac{I_{out}}{I_{in}} \right)^2 \quad (2.47)$$

$$\sqrt{0.5} = \sqrt{\left(\frac{I_{out}}{I_{in}} \right)^2} \quad (2.49)$$

$$= 20 \log \frac{I_{out}}{I_{in}} \quad (2.51) \quad \text{เนื่องจาก}$$

$$0.707 = \frac{I_{out}}{I_{in}} \quad (2.50)$$

$$= -3 \text{ dB} \quad (2.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.6 ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor : Q)

ตัวประกอบคุณภาพบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์กับความถี่ศูนย์กลาง แสดงเป็นค่าสมการดังนี้

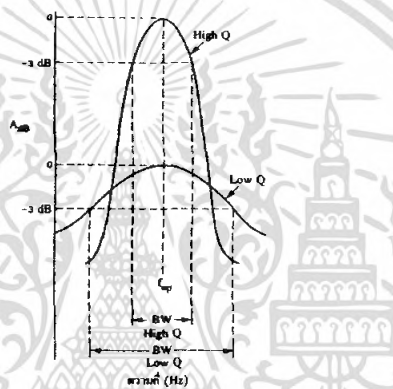
$$Q = \frac{f_c}{BW} \quad (2.54)$$

$$BW = \frac{f_c}{Q} \quad (2.55)$$

$$BW = f_{high} - f_{low} \quad (2.56)$$

$$f_c = Q(BW) \quad (2.57)$$

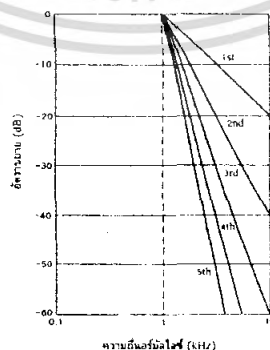
ตามปกติ ยิ่งตัวประกอบคุณภาพ ในวงจรสูงมากเท่าใด แรงดันเอาต์พุตยิ่งมากขึ้นเท่านั้น รูปที่ 2.51 เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่าง เส้นโค้งการตอบสนองต่อความถี่วงจรกรองความถี่ผ่าน แบบตัวประกอบคุณภาพสูงกับแบบตัวประกอบคุณภาพต่ำ



รูปที่ 2.51 การเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองความถี่ผ่านแบบตัวประกอบคุณภาพสูงและต่ำ

2.11.7 เส้นโค้งตอบสนองความถี่นอร์มัลไลซ์ (Normalized Frequency Response Curve)

เส้นโค้งตอบสนองความถี่นอร์มัลไลซ์ คือ เส้นโค้งปกติที่การตอบสนองแอมพลิจูดสูงสุดถูกตั้งค่าไว้ที่หนึ่ง หรือ 0 dB การใช้กราฟความถี่นอร์มัลไลซ์จะทำให้เปรียบเทียบการเลือกอันดับต่างๆ ที่สัมพันธ์กัน ในวงจรกรองได้



รูปที่ 2.52 การโรลloff ของอันดับต่างๆ ในวงจรกรอง

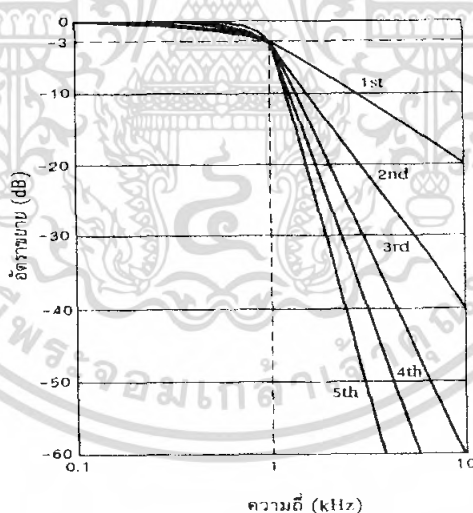
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟในรูปที่ 2.52 แสดงการโรลloff ของอันดับต่างๆ ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่มีอัตราขยายเป็น dB ในลักษณะเป็นฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงความถี่แบบลอการิทึม สังเกตว่าการตอบสนองแอมพลิจูดในแถบหยุด (สูงกว่า 1 kHz) ลดลงเชิงเส้น ในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นเชิงลอการิทึม อันดับ (order) ของวงจรกรองบอกถึงอัตราของการลดลงนี้ซึ่งเรียกว่า การโรลloff (rolloff) หรือการฟอลloff (falloff) สังเกตด้วยการโรลloff ของวงจรกรองอันดับหนึ่ง (first-order filter) เท่ากับ -20 dB ระหว่างค่าอัตราขยายสูงสุด dB กับ 10 kHz ทั้งนี้จากกล่าวได้ว่าการโรลloff -20 dB ต่อหนึ่งดีเคด (decade) หรือ -6 dB ต่อหนึ่งออกเตฟ (octave) จากในรูป สังเกตว่าการเพิ่มอันดับของวงจรกรองทำให้เพิ่มการโรลloff ด้วย และจะเห็นว่าชื่ออันดับของวงจรกรองระบุถึงจำนวนเท่าของค่าโรลloff อันดับหนึ่ง อย่างเช่น วงจรกรองอันดับสอง (second-order filter) มีค่า -40 dB ต่อหนึ่งดีเคด (หรือ -12 dB ต่อหนึ่งออกเตฟ) และวงจรกรองอันดับสาม (third-order filter) มีค่า -60 dB ต่อหนึ่งดีเคด (หรือ -18 dB ต่อหนึ่งออกเตฟ) เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ยิ่งการโรลloff ลาดชันมากเท่าใด วงจรกรองยังมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น

ดีเคดและออกเตฟ (Decade and Octave)
ดีเคด (decade) หมายถึง การเพิ่มหรือลดความถี่สิบเท่า ออกเตฟ (octave) หมายถึง ความถี่สองเท่าหรือครึ่งหนึ่ง

2.11.8 การตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรอง (Frequency Response)

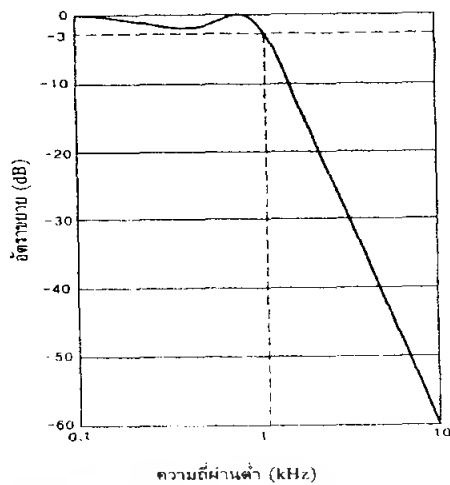
ผลตอบสนองทางความถี่มีด้วยกันหลายแบบ เช่น บัตเตอร์เวิร์ท, เชบีเชฟ, เอลลิปติก, ทอมสัน เป็นต้น แต่ที่เป็นที่นิยมกันมาก คือ แบบบัตเตอร์เวิร์ทกับเชบีเชฟ เพราะให้ผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุด



รูปที่ 2.53 เส้นโค้งตอบสนองแอมพลิจูดแบบบัตเตอร์เวิร์ทกับอันดับต่างๆของวงจรกรอง

จากรูปที่ 2.53 สังเกตว่าการตอบสนองแอมพลิจูดแถบผ่าน (กับวงจรกรองทุกอันดับ) มีความคงที่มาก หรือแบนราบโดยไม่มีการออสซิลเลต การตอบสนองแถบผ่านเช่นนี้ เรียกว่า การตอบสนองบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.54 เส้นโค้งตอบสนองแอมพลิจูดแบบเชบิเชฟ

จากรูปที่ 2.54 เป็นการตอบสนองแบบเชบิเชฟ (Chebyshev response) จะเห็นว่ามีการอสจิลเลตหรือความพลัวในแถบผ่านด้วย

2.12 วงจรกรองแอกทีฟ (Active Filter)

เป็นวงจรกรองความถี่ที่สร้างจากตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุลอมอุปกรณ์แอกทีฟซึ่งมักเป็นออปแอมป์ ใช้ขยายความถี่ที่ต้องการได้

วงจรกรองแอกทีฟมีข้อดีกว่าวงจรกรองพาสซีฟดังนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ต่อวงจร

ถ้าเป็นแบบพาสซีฟต้องใช้ขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งมีขนาดใหญ่และยุ่งยากในการทำเพราะต้องมาพันขดลวด

2. จำนวน

ออปแอมป์ตัวเดียวแทนขดลวดเหนี่ยวนำได้สองถึงสามตัว

3. ไม่มีการสูญเสียของสัญญาณ

เนื่องจากออปแอมป์สามารถทำการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการลดทอนของสัญญาณได้

4. ราคาถูก

โดยเฉลี่ยแล้ววงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟจะมีราคาถูกกว่าแบบพาสซีฟ เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้ในแบบพาสซีฟมีราคาแพงและสร้างได้ยากกว่า

5. การปรับค่า

วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟสามารถปรับค่าความถี่ที่ต้องการได้ง่ายกว่าปรับในแบบพาสซีฟ

6. การแยกส่วน

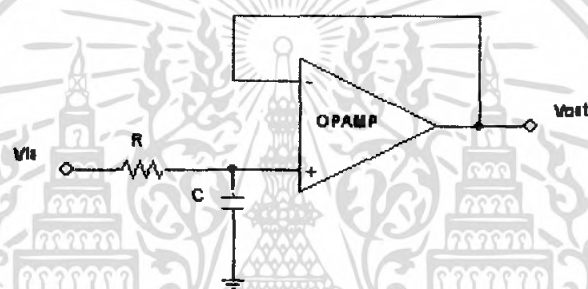
การแยกระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์เนื่องจากวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟมีการใช้ออปแอมป์ประกอบในวงจรจึงทำให้วงจรกรองความถี่แบบนี้มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ ทำให้ไม่มีผลการรบกวนกันระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตและ โหลด

นอกจากนี้เรายังสามารถแยกประเภทของวงจรได้ตามลักษณะของผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

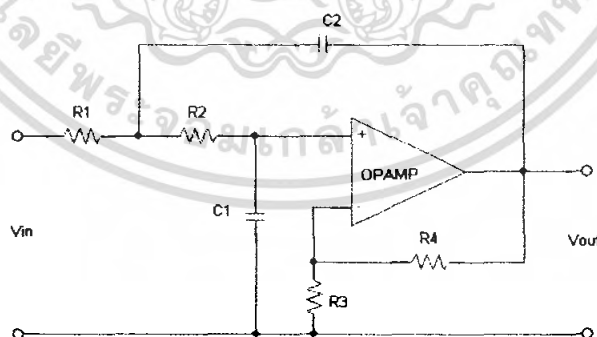
1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low – Pass Filter : LPF)
2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High – Pass Filter : HPF)
3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass Filter : BPF)
4. วงจรกรองตัดแถบความถี่ (Band – Reject Filter : BRF หรือ Band – stop Filter หรือ Band – elimination Filter หรือ วงจรนอตช์ฟิลเตอร์ (Notch Filter))

2.12.1 อันดับวงจรกรองความถี่ (order)

ถ้าในวงจรกรองแอกทีฟให้ดูจากตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.55 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งแบบแอกทีฟ
มี ตัวเก็บประจุ 1 ตัว เป็น 1 อันดับ

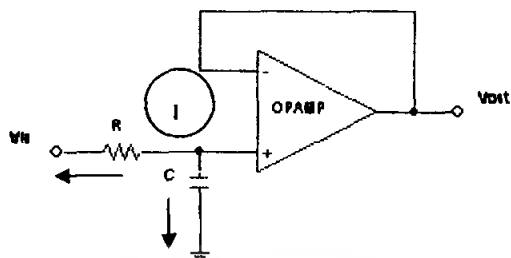


รูปที่ 2.56 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบแอกทีฟ
มี ตัวเก็บประจุ 2 ตัวเป็น 2 อันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งแบบแอคทีฟ

(First - order Low - Pass Active filter circuit)



รูปที่ 2.57 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง

หา V_o เทียบกับ V_i

node 1 $i_R + i_C = 0$

$$\left(\frac{V_o - V_i}{R}\right) + \left(\frac{V_o - 0}{Z_c}\right) = 0 \quad (2.58)$$

$$V_o \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_c}\right) = \frac{V_i}{R} \quad \text{แต่ } Z_c = \frac{1}{sC} \quad (2.59)$$

$$V_o \left(\frac{1}{R} + sC\right) = \frac{V_i}{R} \quad (2.60)$$

$$\frac{V_{o(s)}}{V_{i(s)}} = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{\frac{1}{R} + sC} \right) \quad (2.61)$$

$$T(s) = \left(\frac{V_{o(s)}}{V_{i(s)}}\right) = \frac{1}{1 + sCR} \quad \begin{array}{l} \text{เป็นอันดับหนึ่งเพราะอันดับของ } s \\ \text{เป็นอันดับหนึ่ง} \end{array} \quad (2.62)$$

$$s = j\omega \quad (2.63)$$

$$T(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega CR} \quad (2.64)$$

$$|T(j\omega)| = \left| \frac{1}{1 + j\omega CR} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (2.65)$$

$$\omega = 0 \Rightarrow |T(j0)| = 1 \quad (2.66)$$

$$\omega = \infty \Rightarrow |T(j\infty)| = 0 \quad (2.67)$$

$$\omega = \omega_c \Rightarrow |T(j\omega_c)| = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_c CR)^2}} \quad (2.68)$$

$$1 + \omega_c^2 (CR)^2 = 2 \quad (2.69)$$

$$\omega_c^2 = \frac{1}{(RC)^2} \quad (2.70)$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad (2.71)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad ; RC \text{ เป็นตัวกำหนดจุดความถี่คัตออฟ} \quad (2.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 วงจรกรองความถี่อันดับสอง (Second-order filter circuit)

สมการ transfer function ของวงจรกรองความถี่อันดับสองจะอยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า Biquadratic function

$$T_{LPF}(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (2.73)$$

$$T_{HPF}(s) = \frac{s^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (2.74)$$

$$T_{BPF}(s) = \frac{\left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (2.75)$$

$$T_{BRF}(s) = \frac{s^2 + \omega_o^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (2.76)$$

Q : ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor)

ตัวประกอบคุณภาพ คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับแบนด์วิดท์ของวงจร

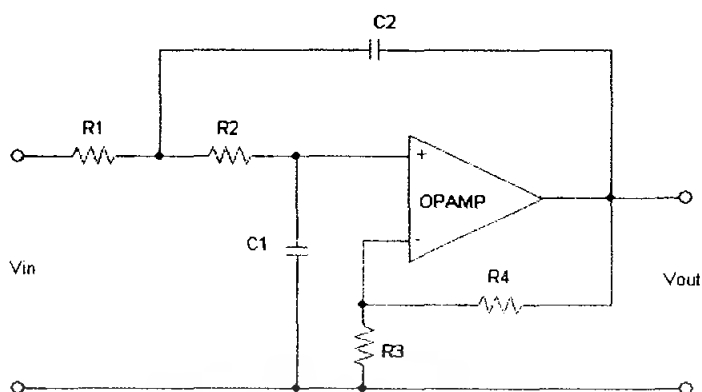
หรือสามารถเขียนได้เป็น $Q = \frac{f_o}{BW}$ (2.77) โดยที่ $BW = f_H - f_L$ (2.78)

f_H : ความถี่ตัดทางด้านสูง (High cut-off frequency)

f_L : ความถี่ตัดทางด้านต่ำ (Low cut-off frequency)

ตัวประกอบคุณภาพเป็นตัวบ่งชี้ถึงแถบความถี่ผ่านของวงจร กล่าวคือ หากตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูงจะเป็นการบ่งชี้ถึงแถบความถี่ผ่านที่มีแคบแคบ และในทางกลับกันแถบความถี่ผ่านจะมีแถบกว้างเมื่อตัวประกอบคุณภาพมีค่าต่ำ

2.12.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง (A second-order low-pass filter)



รูปที่ 2.58 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{G \omega_o^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)s + \omega_o^2} \quad (2.79)$$

$$= \frac{G b_o}{s^2 + b_1 s + b_o} \quad (2.80)$$

$$b_o = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (2.81)$$

$$\omega_o^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (2.82)$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.83)$$

$$\omega_o = 2\pi f_c \quad (2.84)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.85)$$

$$b_1 = \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \quad (2.86)$$

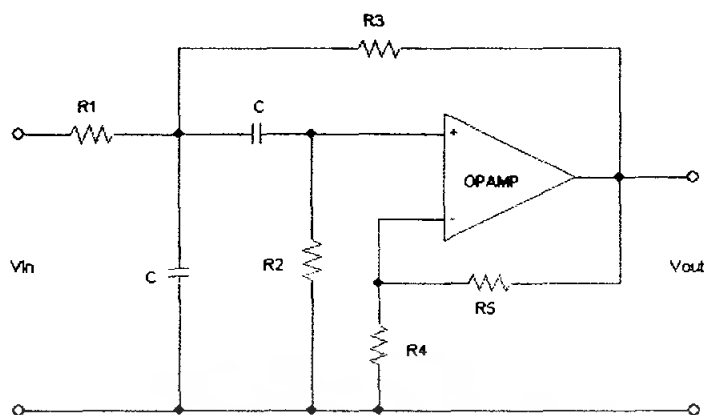
$$\frac{\omega_o}{Q} = b_1 \quad (2.87)$$

$$\frac{2\pi f_c}{Q} = b_1 \quad (2.88)$$

$$Q = \frac{2\pi f_c}{\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2}} \quad (2.89)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านอันดับที่สอง (Second – order bandpass filter)



รูปที่ 2.59 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านอันดับที่สอง

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{G \left(\frac{\omega_o}{Q} \right) s}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q} \right) s + \omega_o^2} \quad (2.90)$$

$$= \frac{GBs}{s^2 + Bs + \omega_o^2} \quad (2.91)$$

$$\omega_o^2 = \frac{1}{R_2 C^2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (2.92)$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_2} C} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} \right) \quad (2.93)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{R_2} C} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} \right) \right] \quad (2.94)$$

$$BW = f_2 - f_1 \quad (2.95)$$

$$B = \frac{2}{R_1 C} \quad (2.96)$$

$$\frac{\omega_o}{Q} = B \quad (2.97)$$

$$Q = \frac{2\pi f_c}{\frac{2}{R_1 C}} \quad (2.98)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สายส่ง

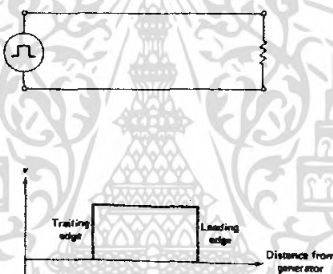
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางในอากาศได้ด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตร/วินาที หรือ 186,000 ไมล์/วินาที เราจะมีสมมติว่าความเร็วในอากาศของคลื่นเท่ากับความเร็วในสายส่ง ถ้าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงเร็วมากหรือสายมีความยาวมาก จนทำให้ก่อนที่สัญญาณเริ่มต้น (leading edge) จะวิ่งไปถึงปลายอีกด้านหนึ่งของสายมีสัญญาณถูกใหม่เข้ามาซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเกิดขึ้น ซึ่งเราจะพิจารณาว่าสายส่งมีผลต่อสัญญาณอย่างไร

2.13.1 สัญญาณพัลส์ในสายส่ง (A Pulse On A Transmission Line)

พิจารณาสัญญาณพัลส์ที่อยู่ในสายส่งยาว 100 เมตร สัญญาณพัลส์สั้นมากจะทำให้จุดเริ่มต้นพัลส์ไม่ไปถึงโหลดที่อยู่ปลายสายส่งเมื่อจุดสิ้นสุดพัลส์ (trailing edge) จะถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิด ค่าเวลาของการเดินทางผ่านสายส่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{100 \text{ meters}}{3 \times 10^8 \text{ meters/s}} = 33.3 \times 10^{-9} \text{ s} \text{ หรือ } 333 \text{ ns} \quad (2.99)$$

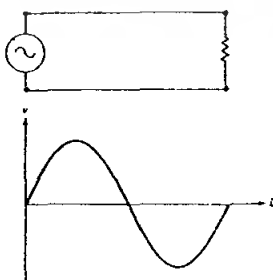
ถ้าความกว้างของพัลส์ต่ำกว่า 333 นาโนวินาที แรงแค้นที่แหล่งกำเนิดจะกลับเป็น 0 ก่อนที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณพัลส์จะไปถึงโหลด ซึ่งรูปที่ 2.60 จะแสดงสภาวะที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.60 แสดงคลื่นพัลส์ในสายส่ง

2.13.2 สัญญาณไซน์ในสายส่ง (A Sine Wave On A Transmission Lines)

ในส่วนนี้เป็นการพิจารณาคลื่นไซน์ที่เดินทางในสายส่งที่มีความยาวค่าหนึ่งเทียบกับความยาวคลื่น ไซน์ ความยาวของคลื่นไซน์ได้จากระยะทางการเดินทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 1 ไซเคิล รูป 2.61 แสดงคลื่นไซน์ในสายส่งซึ่งความยาวคลื่นไซน์ในรูปมีค่าเท่ากับ ความยาวของสายส่ง



รูปที่ 2.61 แสดงคลื่นไซน์ในสายส่ง

เนื่องจากค่าของคลื่นไซน์เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเราสามารถจินตนาการได้ถึงแรงดันที่จุดต่างๆ ในสายที่มีความยาวเท่ากับความยาวคลื่น ซึ่งจะพบว่าค่าแรงดันในจุดต่างๆ ของสายจะไม่เท่ากัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะไม่มีในกรณีที่สายส่งมีความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก แม้ค่าแรงดันในจุดต่างๆ ของสายจะแตกต่างกันแต่ความแตกต่างจะน้อยมากเนื่องจากความเร็วของการกระจายคลื่นมีค่ามากกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณมาก พิจารณาความยาวคลื่นของไซน์ 60 เฮิร์ต

$$f\lambda = 3 \times 10^8 \text{ meters / s} \quad (2.100)$$

$$60\lambda = 3 \times 10^8 \text{ meters / s}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{60} = 0.05 \times 10^8$$

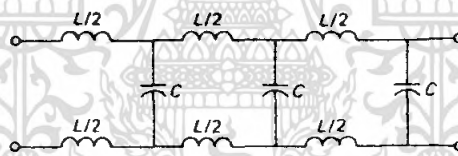
$$\lambda = 5 \times 10^6 \text{ meters}$$

เราจะพบว่าความยาวของคลื่นไซน์ 60 เฮิร์ต มีค่า 5 ล้านเมตร ถ้าไม่มีการใช้สายสำหรับสัญญาณ 60 เฮิร์ต ที่มีความยาวดังกล่าวก็ไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีของสายส่งมาพิจารณา

2.13.3 อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย (Characteristic Impedance)

สายส่งที่มีความยาวใดๆ หรือมีการส่งสัญญาณที่มีความยาวคลื่นหลายๆค่าลงในสายส่งเดียวกัน เราจะพิจารณา โดยใช้ทฤษฎีที่เรียกว่า อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย เป็นค่าทางทฤษฎีเมื่อสายมีความยาวอนันต์ (infinite) ทางด้านอินพุตจะมีค่าอิมพีแดนซ์นี้

เนื่องจากในทุกๆส่วนของสายจะมีความจุไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำ ซึ่งสายที่มีความยาวอนันต์สามารถพิจารณาเป็นโครงข่ายของความจุไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำ ได้ดังรูปที่ 2.62



รูปที่ 2.62 โครงข่ายของตัวเก็บประจุและขดลวดเหนี่ยวนำ

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำ ต่อความยาว 1 ยูนิท และ คืออิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย $Z_0 = \sqrt{L/C}$ (2.101)

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ที่ใช้ทั่วไป

Type #	Description	Characteristic Impedance (Ω)
RG 8/U	Coaxial cable	52
RG11 A/U	Coaxial cable	75
214-056	Twin lead (commonly used for TV lead-in)	300
	Air-insulated parallel conductors with ceramic spacers	200-600

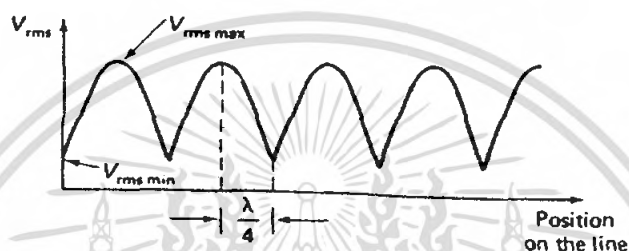
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.4 การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณและSWR (Reflected Waves And Standing Wave Ratio (SWR))

กำลังและพลังงานที่ปลายสายส่งที่มีโหลดต่ออยู่ไม่ว่าสายส่งจะชอร์ตหรือขาดก็ตามอาจจะมีการสะท้อนกลับของคลื่นจากโหลดได้

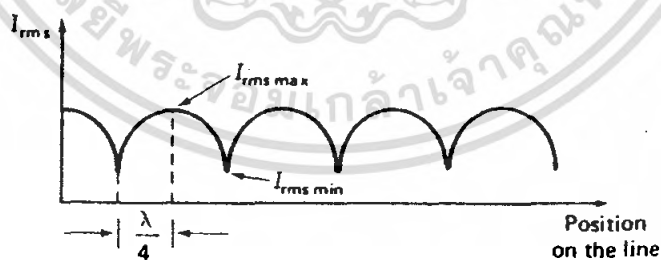
เมื่อสายส่งถูกต่อด้วยโหลดที่ไม่มีความต้านทานที่เท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ของสายส่ง จะทำให้มีคลื่นสะท้อนและคลื่นตกกระทบปรากฏขึ้นในสายส่ง ผลรวมของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนในแต่ละจุดบนสายส่งจะมีค่าของแรงดัน rms แตกต่างกันไป

หากใช้โวลต์มิเตอร์วัดในแต่ละจุดของสายส่ง จะได้แรงดันในแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 2.63



รูปที่ 2.63 แสดงแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดของสายส่ง

อัตราส่วนของค่า rms มากสุดกับต่ำสุดในสายส่ง เราเรียกว่า voltage standing wave ratio (VSWR) ค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดในสายส่งที่จุดต่างๆ จะอยู่ในระยะทางห่างกันเท่ากับ $1/4$ เท่าของความยาวคลื่น ในลักษณะเดียวกันการวัดกระแส rms ในแต่ละจุดของสายส่งจะให้ความแตกต่างกันของกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.64



รูปที่ 2.64 แสดงกระแสที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละจุดของสายส่ง

อัตราส่วนของกระแส rms ต่ำสุดกับมากที่สุด เราเรียกว่า current standing-wave ratio (ISWR) ค่า VSWR และ ISWR เท่ากัน และมีบ่อยครั้งที่ใช้ SWR แทน VSWR และ ISWR

2.13.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing - Wave Ratio)

เงื่อนไขที่ดีที่สุดของการส่งกำลังออกไปบนสายส่งไปยังโหลดคือค่า rms สูงสุดของแรงดันและกระแสเท่ากับค่า rms ต่ำสุดของแรงดันและกระแส

ค่า SWR จะใช้เป็นตัวแสดงว่าการส่งกำลังไปยังโหลดนั้นอยู่ในช่วงที่ดีที่สุดหรือยัง ซึ่งถ้าค่า SWR เป็น 1:1 จะหมายถึงการส่งกำลังได้ดีที่สุด การกำหนดค่า SWR จะได้จาก

$$SWR = V_{rms \max} : V_{rms \min} \quad (2.102)$$

$$= I_{rms \max} : I_{rms \min} \quad (2.103)$$

$$\text{และจากการหาความสัมพันธ์ต่อไปจะได้ } SWR = Z_L : Z_0 \quad (2.104)$$

ค่า SWR จะเป็นตัววัดความไม่สมพงษ์ (matching) กันระหว่างโหลดและสายส่ง ซึ่งค่าของ SWR หาได้จาก

$$\text{จาก } SWR = \frac{V_{rms \max}}{V_{rms \min}} = \frac{I_{rms \max}}{I_{rms \min}} = \frac{Z_L}{Z_0} \quad (2.105)$$

2.13.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (The Reflection Coefficient : K_r)

פקเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ต้องพิจารณาเมื่อโหลดกับสายส่งไม่ตรงกันคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ K_r ซึ่งกำหนดจากแรงดันสะท้อนกลับ K_r ซึ่งกำหนดจากแรงดันสะท้อนกลับหารด้วยแรงดันที่จ่ายออก หรือในทางกลับกันเราใช้กระแสสะท้อนกลับหารด้วยกระแสที่จ่ายออก

ในสภาวะที่ดีที่สุดการสะท้อนกลับต้องเป็น 0 ซึ่งได้ค่า K_r เป็น 0

$$K_r = \frac{V_{refl}}{V_{inc}}$$

$$K_r = \frac{I_{refl}}{I_{inc}}$$

(2.106)

เนื่องจาก SWR และ K_r เป็นตัวแสดงถึงการไม่สมพงษ์กันของโหลดและสายส่ง เราจึงหาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ค่าได้

$$SWR = \frac{K_r + 1}{1 - K_r}$$

(2.107)

เราสามารถกำหนดสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับได้ในเทอมของความต้านทานโหลดและอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ได้ซึ่งค่า K_r มีค่ามากกว่า 0 ดังนั้น

$$K_r = \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_0 + Z_L} \right|$$

(2.108)

2.13.7 กำลังสะท้อนกลับ (Reflected Power)

ในการส่งคลื่นไปในสายส่งเป็นการส่งกำลังจากแหล่งจ่ายไปยังโหลด ซึ่งจะต้องพิจารณาว่าโหลดได้รับพลังงานไปเท่าใด เนื่องจากกำลังงานเป็นอัตราของแรงดันยกกำลังสองหารด้วยความต้านทานโหลด ดังนั้นเราสามารถเขียนเป็น สมการได้ดังนี้

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.109)$$

$$P_{refl} = \frac{V_{refl}^2}{R_L} \quad (2.110)$$

$$P_{inc} = \frac{V_{inc}^2}{R_L} \quad (2.111)$$

$$\frac{P_{refl}}{P_{inc}} = \frac{V_{refl}^2/R_L}{V_{inc}^2/R_L} \quad (2.112)$$

$$= \frac{V_{refl}^2}{V_{inc}^2} \quad (2.113)$$

$$K_r = \frac{V_{refl}}{V_{inc}} \quad (2.114)$$

$$\frac{P_{refl}}{P_{inc}} = K_r^2 \quad (2.115)$$

2.13.8 Velocity Factor

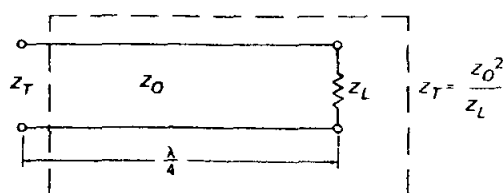
ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วิ่งในสายส่งมีความเร็วโดยประมาณเท่ากับความเร็วในอากาศ ซึ่งโดยที่จริงแล้วไม่ถูกต้องเสมอ อัตราส่วนของความเร็วในสายส่งต่อในอากาศเราเรียกว่า velocity factor k ซึ่งค่า k ของสายส่งทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.55 สำหรับสายคู่ตีเกลียวถึง 0.98 สำหรับสายโคแอกเชียล

2.13.9 Quarter – Wave Matching Transformers

ส่วนปลายสายที่มีความยาว $\lambda/4$ สามารถใช้เป็นตัวทำให้เกิดการสมพจน์กันระหว่างโหลดกับสายส่ง เมื่อความต้านทานของโหลดกับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ไม่เท่ากัน เนื่องจากส่วนของสายความยาว $\lambda/4$ จะทำหน้าที่คล้ายกับเมซซิ่งทรานส์ฟอร์มเมอร์ ซึ่งเรียกว่า quarter – wave matching transformer ถ้าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายส่งที่อยู่ในส่วน $\lambda/4$ จะได้จาก

$$Z_T = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad (2.116)$$

เมื่อ Z_T เป็นอิมพีแดนซ์ที่มองเข้าไปยังส่วนของสายที่มีการสมพจน์ใน $\lambda/4$ เมื่อต่อกับโหลด Z_L และ Z_0 เป็นอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ของส่วนที่ทำให้เกิดการสมพจน์ที่ $\lambda/4$ ดังรูปที่ 2.65

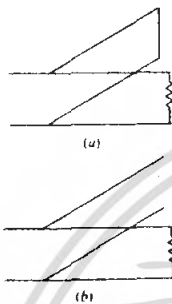


รูปที่ 2.65 แสดงปลายสายที่มีความยาว $\lambda/4$ สามารถใช้เป็นตัวทำให้เกิดการสมพจน์กันระหว่างโหลดกับสายส่ง

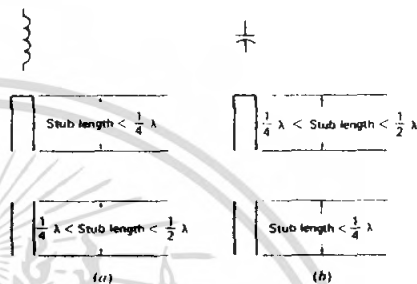
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.10 Stub Matching

เนื่องจากโหลดมี reactive component หรือค่าความต้านทานของโหลดไม่สมพียงกับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ดังนั้นเมื่อเรามองจากด้านอินพุทของสายส่งอาจทำให้เราพบว่ามี reactive component ประกอบอยู่ด้วย ในการตัดคลื่นนิ่งที่อยู่ในสายส่งออกจะต้องกำจัด reactive component ที่มองจากอินพุทออกไป ซึ่งวิธีการกระทำวิธีหนึ่งคือต่อสายสั้นๆเข้าที่ปลายสาย ในลักษณะของการเปิดวงจรหรือชอร์ตวงจร ในลักษณะ ที่ขนานกับสายส่งในตำแหน่งใกล้กับโหลด ซึ่งสายสั้นๆนี้เรียกว่า stub แสดงดังรูปที่ 2.66 สายที่นำมาต่อนี้จะกลายเป็นคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์หรืออินดักทีฟ รีแอกแตนซ์จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายและการต่อในลักษณะชอร์ตวงจรหรือเปิดวงจร ดังรูปที่ 2.67



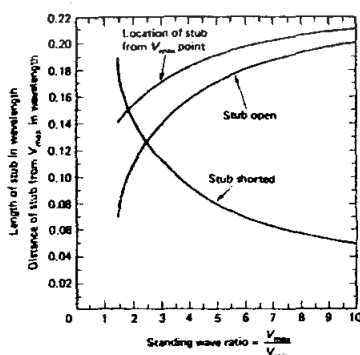
รูปที่ 2.66 สาย stub



รูปที่ 2.67 การต่อในลักษณะชอร์ตวงจรหรือเปิดวงจร

การเลือกความยาว stub และตำแหน่งการติดตั้ง stub ในสายส่ง จะทำให้ด้านอินพุทของสายส่งมองเห็นเป็นความต้านทาน และในกรณีที่ที่ออกแบบ (หรือฮามอนิกของความถี่) จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดขึ้นในช่วงปลายด้านอินพุทถึงตำแหน่งที่ติดตั้ง stub ถ้าความถี่ที่ส่งเปลี่ยนไปจากเดิมที่ออกแบบไว้จะเกิดการไม่สมพียงขึ้นอีก ซึ่งจะเกิดคลื่นนิ่งขึ้นอีกเช่นกัน

โดยทั่วไปความยาวของ stub จะสั้นกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น stub แบบชอร์ตวงจร ที่มีความยาวน้อยกว่า $1/4$ ของความยาวคลื่น จะมีคุณสมบัติเป็นความเหนี่ยวนำและจะมีคุณสมบัติเป็นความเหนี่ยวนำอีกเช่นกัน เมื่อเป็นเปิดวงจร ที่มีความยาวน้อยกว่า $1/4$ เท่าของความยาวคลื่น และแบบ ชอร์ตวงจร stub ที่มีความยาว $1/4$ ถึง $1/2$ เท่าของความยาวคลื่นจะมีคุณสมบัติเป็นความจุไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.68 การกำหนดความยาวและตำแหน่งติดตั้ง stub จะใช้ Smith Chart และ/หรือคณิตศาสตร์เข้าช่วย และเราสามารถใช้อกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.68 ในการแก้ปัญหาได้



รูปที่ 2.68 แสดง Smith Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ความเพี้ยนฮาร์มอนิกกรรม (THD)

ในการสื่อสารโดยทั่วไปนั้น มีจุดประสงค์ที่ต้องการให้สัญญาณสามารถไปถึงจุดหมายปลายทางได้โดยปราศจากการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ แต่ในทางปฏิบัติ สัญญาณนั้นมักจะมีผิดเพี้ยนเกิดขึ้นไม่มากก็น้อย วิธีการที่ใช้วัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากระบบต่างๆ ที่นิยมทำกันอยู่ ก็คือ การใช้สัญญาณที่มีลักษณะเป็นรูปไซน์สมบูรณ์ (pure sine) ป้อนเข้าระบบซึ่งต้องการทดสอบนั้น แล้วใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ว่าสัญญาณที่นำมาตรวจสอบนั้นมีฮาร์มอนิกต่างๆ ประกอบกันอยู่เช่นไร มาวัดวิเคราะห์สัญญาณเอาต์พุตของระบบว่ามีฮาร์มอนิกอื่น นอกจากคลื่นมูลฐานหรือไม่ ถ้ามีฮาร์มอนิกอื่นเกิดขึ้นในสัญญาณเอาต์พุตก็แสดงว่าระบบที่กำลังทดสอบนั้นเป็นระบบที่จะทำให้สัญญาณที่ผ่านตัวมันเกิดผิดเพี้ยนขึ้น ทั้งนี้เพราะเรารู้ว่าสัญญาณรูปไซน์สมบูรณ์นั้นมีความถี่เฉพาะความถี่เดียว การที่เอาต์พุตของระบบนั้นเกิดมีฮาร์มอนิกอื่นขึ้นมาอยู่ด้วยนั้น แสดงให้รู้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะต้องมีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณรูปไซน์สมบูรณ์นั่นเอง การที่สัญญาณจะมีความผิดเพี้ยนมากหรือน้อยเท่าไรนั้น ก็ขึ้นอยู่กับขนาดของฮาร์มอนิกต่างๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะบอกให้รู้ว่าสัญญาณเอาต์พุตนั้นเกิดความผิดเพี้ยนมากหรือน้อยก็คือ การใช้ผลรวมของค่ากำลังเฉลี่ยที่เกิดจากฮาร์มอนิกอื่นๆ นอกจากคลื่นมูลฐาน เปรียบเทียบกับค่ากำลังเฉลี่ยของคลื่นมูลฐาน ค่าที่ได้ออกมาจากการวัดตามวิธีการดังกล่าวนี้ มีชื่อว่า ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกกรรม (total harmonic distortion) ซึ่งนิยมเรียกย่อว่า ค่า ทีเอชดี (THD)

$$THD = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2}{C_1^2} \quad (2.117)$$

สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน ก็คือ ระบบมีคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นไม่สมบูรณ์หรือเป็นระบบไม่เชิงเส้น กล่าวคือ ความสัมพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต $e_o(t)$ และอินพุต $e_i(t)$ ของระบบจะมีลักษณะที่จัดได้เป็นตามสมการต่อไปนี้ คือ

$$e_o(t) = a_1 e_i(t) + a_2 e_i^2(t) + \dots + a_n e_i^n(t) \quad (2.118)$$

โดยในที่นี้ a_i ($i=1,2,\dots,n$) เป็นค่าคงที่ ซึ่งค่าบางตัวอาจจะเป็นศูนย์ได้ แต่ $a_1 \sim a_n$ จะต้องไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมดทุกตัว เพราะถ้าเป็นเช่นนั้นจะเหลือเพียง $e_o(t) = a_1 e_i(t)$ ซึ่งคือความสัมพันธ์ของระบบเชิงเส้น

เพราะเราไม่สามารถจะคาดการณ์ว่าสัญญาณรบกวนนั้น น่าจะมีค่าเฉลี่ยเป็นเท่าไร ดังนั้นเมื่อเราต้องการจะวิเคราะห์เกี่ยวกับสัญญาณรบกวน จึงสมควรที่จะพิจารณาใช้ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนเหล่านั้นมาเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ เรื่องสำคัญที่ควรพิจารณา เมื่อทำปฏิบัติการเกี่ยวกับสัญญาณที่มีความแรงในระดับต่ำ เราจะพบว่าสัญญาณรบกวนมักจะเข้ามามีอิทธิพลครอบงำสัญญาณนั้น ซึ่งตัวชี้วัดที่ใช้ช่วยบอกว่าสัญญาณนั้น ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนมากน้อยเท่าไคนั้นอย่างหนึ่งก็คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) ซึ่งนิยมเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\frac{S}{N}$ และนิยมเรียกย่อว่าค่า เอสเอ็นอาร์ (SNR)

ค่าเอสเอ็นอาร์ นั้นเป็นค่าอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ย ของสัญญาณ $\overline{s^2(t)}$ ต่อค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน $\overline{n^2(t)}$ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\frac{S}{N} = \frac{\overline{s^2(t)}}{\overline{n^2(t)}} \quad (2.119)$$

ค่าเอสเอ็นอาร์นี้ ปรกติมักนิยมแสดงค่าในหน่วย เดซิเบล (decibel) ซึ่งเขียนย่อว่า dB การแปลงค่าเอสเอ็นอาร์ ตามสมการข้างต้น ให้มีหน่วยเป็นเดซิเบลทำได้ดังนี้

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\overline{s^2(t)}}{\overline{n^2(t)}} \right) \quad (2.120)$$

ค่าเอสเอ็นอาร์นี้ เป็นค่าซึ่งแสดงถึงคุณภาพของสัญญาณที่กำลังพิจารณาว่า มีระดับกำลังสูงกว่าระดับกำลังของสัญญาณรบกวนที่ปนอยู่กับสัญญาณนั้นมากน้อยเท่าไรแต่อย่างไรก็ดี ค่าเอสเอ็นอาร์นี้ ไม่สามารถใช้แสดงให้รู้ถึงความถี่ของระบบ ในแง่ที่จะแสดงให้รู้วาระบบนั้นก่อกำเนิดสัญญาณรบกวนจากภายในตัวระบบ ออกมาปนกับสัญญาณที่ต้องการมากหรือน้อยอย่างไร เพื่อความสะดวกในการแสดงคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการนิยามใช้คำดัชนีตัวใหม่ที่สามารถจะบอกให้เราถึงความถี่ของระบบ ในที่ขณะดังกล่าวได้ คำที่นิยามขึ้นนี้มีชื่อว่า ค่าตัวเลขสัญญาณรบกวน (noise figure) ของระบบ ซึ่งเรียกย่อว่าค่า เอ็นเอฟ (NF) โดยมีคำนิยามดังนี้ คือค่า เอ็นเอฟ หมายถึงค่าอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยทั้งหมดของสัญญาณรบกวนที่ปรากฏที่เอาต์พุตของระบบ $\overline{n_o^2(t)}$ ต่อค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนในส่วนของเอาต์พุต อันเป็นผลจากปฏิบัติการของระบบ (เช่น การขยายสัญญาณ) ที่มีโดยตรงต่อสัญญาณรบกวนที่มีมาจากอินพุต $\overline{n_i^2(t)}$ โดยไม่คำนึงถึงส่วนที่เกิดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดภายในระบบเลย กล่าวคือ

$$NF = \frac{\overline{n_o^2(t)}}{\overline{n_i^2(t)}} \quad (2.121)$$

ถ้ากำหนดให้ $\overline{n_i^2(t)}$ คือ ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนในส่วนของเอาต์พุตของระบบ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมาในตัวระบบนั่นเอง แล้วจะพบความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$\overline{n_o^2(t)} = \overline{n_i^2(t)} + \overline{n_s^2(t)} \quad (2.122)$$

จาก (2.121) และ (2.122) จะได้

$$NF = \frac{\overline{n_i^2(t)} + \overline{n_s^2(t)}}{\overline{n_i^2(t)}} \quad (2.123)$$

หรือ

$$NF = 1 + \frac{\overline{n_s^2(t)}}{\overline{n_i^2(t)}} \quad (2.124)$$

สมการ (2.124) บอกให้เราเห็นว่า เมื่อระบบที่กำลังพิจารณานั้นเป็นระบบที่ไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในตัวเองคือ $\overline{n_s^2(t)} = 0$ จะได้ค่า $NF = 1$ แต่ถ้าวาระบบนั้นมีคุณภาพต่ำลง คือ $\overline{n_s^2(t)} \neq 0$ แล้วค่าเอ็นเอฟของระบบนั้นจะมีค่ามากกว่า 1

เมื่อพิจารณา (2.121) อีกครั้ง โดยพิจารณาว่า $\overline{n_i^2(t)}$ เกิดมาจาก การปฏิบัติการของระบบต่อสัญญาณรบกวนที่เข้ามาที่อินพุตเท่านั้น ดังนั้นถ้าให้ $\overline{n_i^2(t)}$ คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่อินพุตของระบบและให้การปฏิบัติการของระบบ คือ การขยายกำลังสัญญาณ k เท่า เราก็จัดรูป (2.121) ได้ใหม่ เป็น

$$NF = \frac{\overline{n_i^2(t)}}{kn_i^2(t)} \quad (2.125)$$

และโดยการตั้งชื่อสังเกตว่า ค่าอัตราขยายกำลังสัญญาณ k เท่านั้น ได้มาจากอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยสัญญาณ $\overline{s_o^2(t)}$ ที่เอาต์พุต ต่อกำลังเฉลี่ยสัญญาณ $\overline{s_i^2(t)}$ ที่อินพุต กล่าวคือ

$$k = \frac{\overline{s_o^2(t)}}{\overline{s_i^2(t)}} \quad (2.126)$$

เราจะเขียน (2.125) ใหม่ได้เป็น

$$NF = \frac{\frac{\overline{s_i^2(t)}}{\overline{s_o^2(t)}}}{\overline{n_i^2(t)}} \quad (2.127)$$

หรือ

$$NF = \frac{\left[\frac{S}{N} \right]_i}{\left[\frac{S}{N} \right]_o} \quad (2.128)$$

เมื่อ $\left[\frac{S}{N} \right]_i$ และ $\left[\frac{S}{N} \right]_o$ คือ ค่าเอสเอ็นอาร์ที่อินพุต และเอาต์พุต ของระบบตามลำดับ

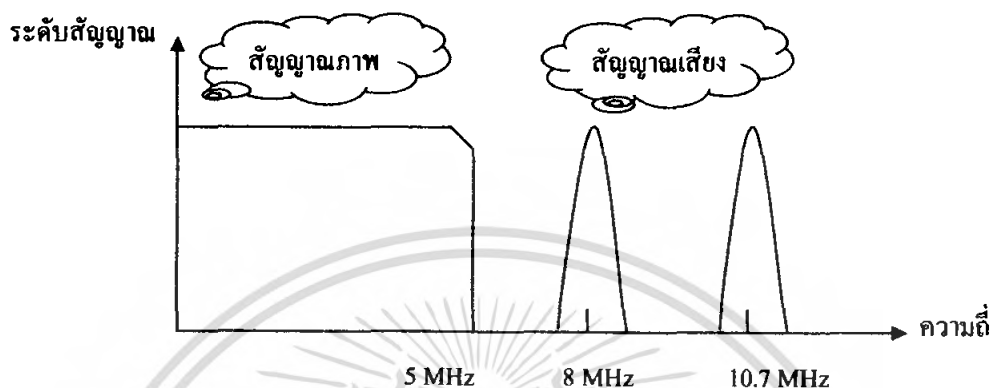
ดังนั้นจึงกล่าวนิยามค่าเอ็นเอฟในอีกนัยหนึ่งได้ว่า คือ อัตราส่วนของค่าเอสเอ็นอาร์ที่อินพุตต่อค่าเอสเอ็นอาร์ ที่เอาต์พุตของระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกำหนดนิยาม ค่าเอ็นเอฟตาม (2.121) หรือ (2.124) นั้นทำให้เห็นชัดถึงความหมายที่ซ่อนสื่อกอยู่ในตัวคำจำกัดความของเอ็นเอฟได้อย่างดี แต่ค่าเอ็นเอฟที่ถูกคิดแปลงให้อยู่ในรูป (2.128) นั้นทำให้เราถึงวิธีการที่จะวัดค่าเอ็นเอฟในทางปฏิบัติได้อย่างสะดวก

ในบางครั้ง ค่าเอ็นเอฟนั้น จะแสดงค่าในหน่วยเดซิเบลซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$NF|_{dB} = 10 \log(NF) \quad (2.129)$$

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

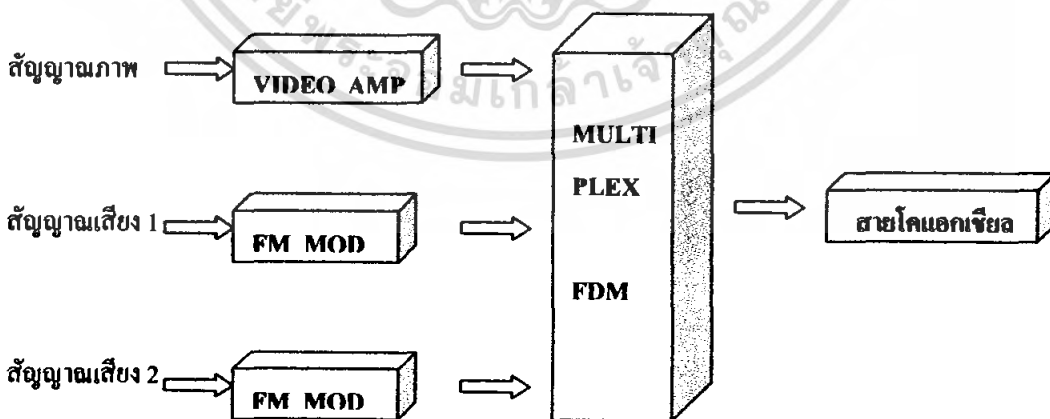
โครงการนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ภาคของการส่ง ส่งสัญญาณภาพและเสียง และส่วนภาคของการรับ รับสัญญาณภาพและเสียง



รูปที่ 3.1 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณภาพและเสียง

3.1 การส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

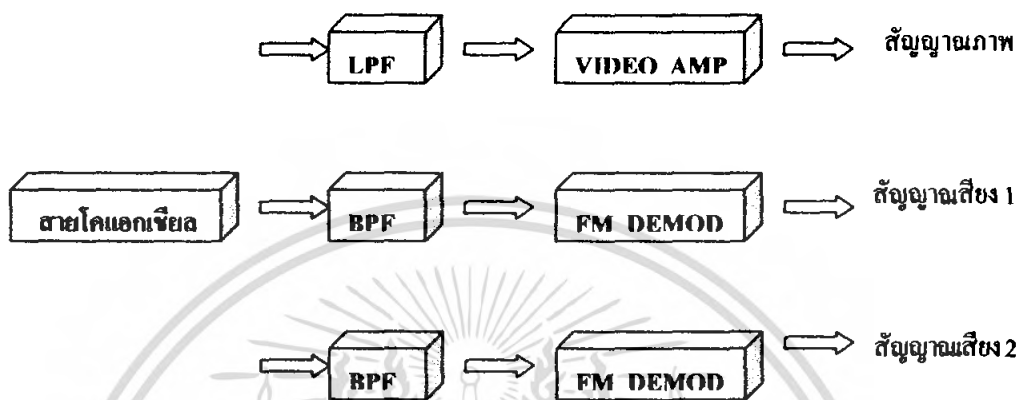
ในส่วนของโครงการนี้จะเป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณภาพและเสียงแบบแบ่งความถี่ โดยจะทำการส่งผ่านสายซึ่งสัญญาณภาพและเสียงนั้นจะส่งเป็นอนาล็อก โดยให้สเปกตรัมของภาพอยู่ที่ 5 เมกกะเฮิร์ต และทำการเลื่อนสเปกตรัมของเสียงขึ้นไปอยู่เหนือภาพที่ความถี่ 8 และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต เพื่อไม่ให้สัญญาณภาพและเสียงเกิดการรบกวนกันโดยใช้การมอดูเลตแบบเอฟเอ็มกับสัญญาณเสียง ส่วนสัญญาณภาพจะถูกส่งไปตรงๆ ซึ่งหลังจากรวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเข้าด้วยกันจะถูกส่งผ่านสายต่อไป



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณจากทางด้านส่งมาถึงทางรับ สัญญาณที่รวมกันมาจะนำไปแยกโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ซึ่งวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกรองเอาเฉพาะสัญญาณภาพออกมา ส่วนวงจรกรองแถบความถี่ผ่านนั้นจะกรองเอาเฉพาะสัญญาณเสียงออกมา สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่านแล้วจะถูกนำไปคิมอดูเลตเพื่อแยกเอาสัญญาณเสียงเดิมกลับคืนมาแล้วจะถูกนำไปขยายเพื่อส่งเข้าออดิโออินของเครื่องรับต่อไป ส่วนสัญญาณภาพหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วจะถูกนำไปขยายด้วยวีดีโอแอมพลิไฟเออร์ ป้อนเข้าสู่วีดีโออินต่อไป

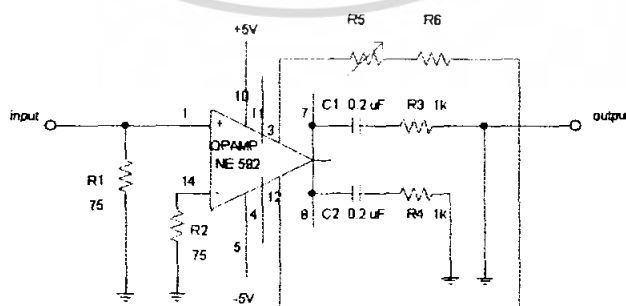


รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกโคอะแกรมทางด้านรับ

3.1.1 ภาควีดีโอแอมป์

ภาคนี้ใช้ไอซีเบอร์ NE 592 ซึ่งเป็นวีดีโอแอมป์ที่มีย่านความถี่กว้างถึง 120 เมกกะเฮิร์ต สามารถปรับเกณฑ์การขยายได้จากค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออยู่ระหว่างขา GAIN SELECT ซึ่งโครงงานนี้ต่ออยู่ระหว่างขา 3 และขา 12 ซึ่งทำให้วงจรมีย่านความถี่กว้าง 90 เมกกะเฮิร์ต และเกณฑ์การขยายสูงสุด 120 เท่า

สำหรับภาคส่งได้ออกแบบให้มีเกนประมาณ 1-5 เท่า เนื่องจากสัญญาณวีดีโอที่เข้ามามีความแรงอยู่แล้ว จากค่าดัชนีจะหาค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 3 และขา 12 ได้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโห์มต่ออนุกรมกับ ค่าความต้านทาน 5 กิโลโห์ม



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรวีดีโอแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้วนรับ จะเป็นวงจรขยายสัญญาณภาพให้แรงขึ้นเพื่อป้อนให้กับวีดีโออินของเครื่องรับซึ่งสามารถปรับได้ประมาณ 10 - 180 เท่าโดยค่าความต้านทานปรับค่าได้มีค่า 1 กิโลโห์มอนุกรมกับค่าความต้านทาน 47 โห์ม

3.1.2 ภาคเอฟเอ็มมอดูเลต

ภาคเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์ในค่านภาคส่งนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74HC4046 เป็นไอซีเฟสล็อกสำหรับการใช้งานของไอซีเบอร์นี้จะต้องทำการหาค่า R_1 , R_2 และ C_1 เพื่อกำหนดความถี่กลาง (f_0) ซึ่งมีการออกแบบ คณิต ในที่นี้สร้างวงจรเอฟเอ็มมอดูเลตที่ ความถี่กลาง 8 และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

- กำหนดค่าความถี่กลาง ในโครงงานนี้จะใช้ความถี่กลางของสัญญาณเสียงช่องแรกเท่ากับ 8 เมกกะเฮิร์ตและความถี่กลางของสัญญาณเสียงช่องที่สองเท่ากับ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

- ใช้กราฟจากคาต้าลิต 74HC4046 หาค่า R_1 , R_2 และ C_1 ซึ่งจะได้ค่า $C_1 = 40 \text{ pF}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

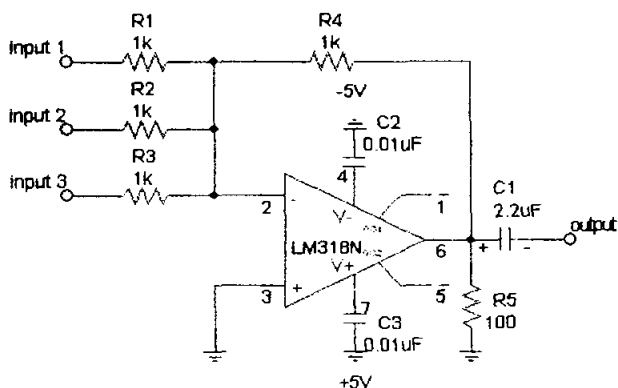
เราจะได้วงจรดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นวงจรเอฟเอ็มมอดูเลต



จากรูป R_1 , R_2 จะเป็นตัวปรับค่าความถี่คลื่นพาห์ให้มีค่า 8 เมกกะเฮิร์ต และ 10.7 เมกกะเฮิร์ตตามลำดับ ส่วน R_3 , R_4 จะทำหน้าที่ยกระดับแรงดันอินพุตที่เข้ามาให้อยู่ในค่านบวกเพียงอย่างเดียว

3.1.3 ภาคมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่

ภาคมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ในค่านภาคส่งนี้จะทำการรวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะส่งผ่านสายต่อไป ซึ่งได้ต่อเป็นวงจรรวมสัญญาณ โดยวงจรมนี้จะเลือกใช้ออปแอมป์ความถี่สูงเบอร์ LM 318 ซึ่งมีค่า Slew Rate = 50 V/us และ Bandwidth = 15 MHz เป็นไอซีที่ใช้กับสัญญาณที่มีความถี่สูงได้ คณิตนั้นจะได้วงจร

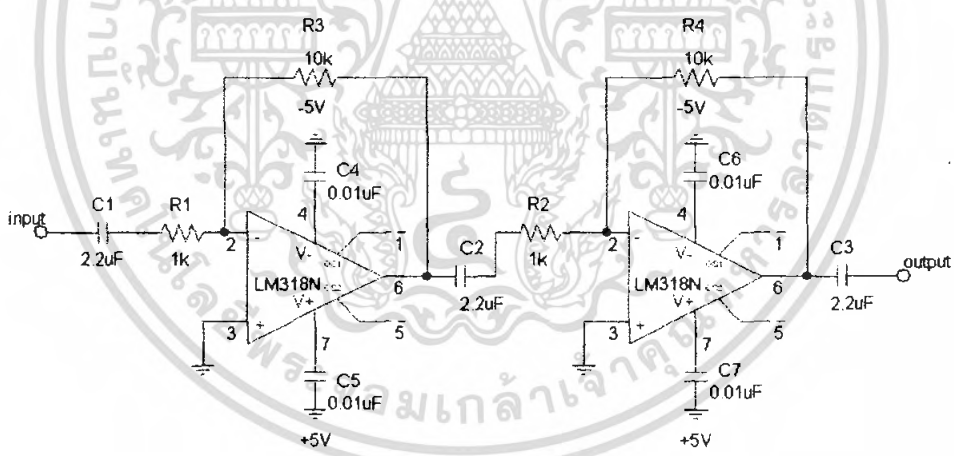


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

3.2 การรับสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

3.2.1 ภาครับขยายสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

สัญญาณมาจากสายถูกส่งผ่านไปยังวงจรขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติงแอมพลิฟายเออร์ (Inverting Amplifier) โดยวงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วยวงจรขยาย จำนวน 2 ชุด เพื่อให้ขนาดของสัญญาณมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเพียงพอต่อการนำสัญญาณไปใช้ในวงจรถัดไป ซึ่งวงจรนี้จะมีอัตราขยายแต่ละชุดเป็น 10 เท่า ดังนั้นอัตราขยายทั้งหมดจะมีค่า 100 เท่า ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรขยายสัญญาณทางค้ำรับ

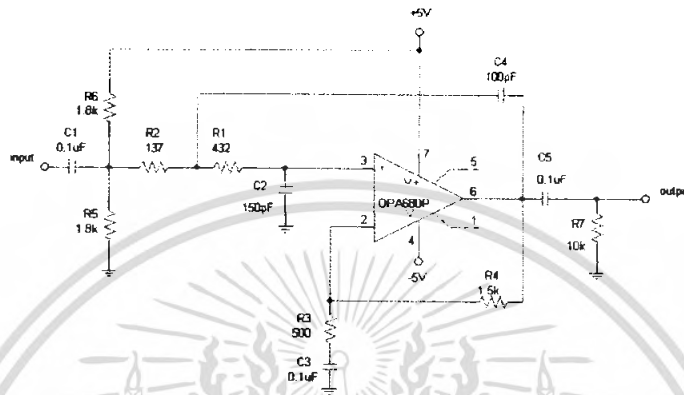
3.2.2 ภาคกรองความถี่

ในภาคนี้ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นตัวแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกจากกันซึ่งวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกรองเอาเฉพาะสัญญาณภาพออกมาโดยผ่านความถี่ตั้งแต่ 0 – 5 เมกกะเฮิร์ต ก่อนที่จะป้อนเข้าอินพุตของภาควีดีโอแอมป์ ใช้ไอซีเบอร์ OPA680P ส่วนวงจรกรองแถบความถี่ผ่านจะกรองเอาสัญญาณเสียงที่มอดูเลตมาที่ความถี่ 8 และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต แล้วป้อนสู่ภาคคิมอดูเลตต่อไปซึ่งวงจรกรองแถบความถี่ผ่านนี้จะใช้เซรามิกฟิลเตอร์ 8 และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต ตามลำดับ

3.2.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนี้ใช้ไอซีเบอร์ OPA680 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีย่านความถี่กว้างถึง 220 เมกะเฮิร์ต สามารถนำมาใช้เป็นแอกทิฟฟิลเตอร์ได้ ซึ่งจะนำมาใช้แยกสัญญาณภาพที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต เพื่อที่จะส่งต่อไปยังภาคอินพุตของวีดีโอแอมป์ต่อไป

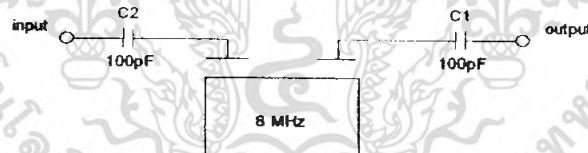
จากรูปแสดงการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบบัตเตอร์เวิร์ค คัตออฟที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน คัตออฟที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ต

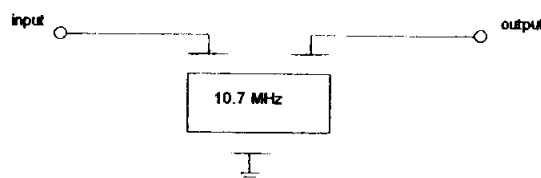
3.2.2.2 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

วงจรกรองแถบความถี่ผ่านนี้ใช้เซรามิกฟิลเตอร์ ค่าความถี่กลางที่ 8 เมกะเฮิร์ต ซึ่งจะนำมาใช้แยกสัญญาณเสียงของเรคคือที่ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ต เพื่อที่จะส่งต่อไปยังภาคอินพุตของวงจรมอดูเลเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ค่าความถี่กลางที่ 8 เมกะเฮิร์ต

วงจรกรองแถบความถี่ผ่านอีกอันใช้เซรามิกฟิลเตอร์ ค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ต ซึ่งจะนำมาใช้แยกสัญญาณเสียงของที่สองคือที่ความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ต เพื่อที่จะส่งต่อไปยังภาคอินพุตของวงจรมอดูเลเตอร์ต่อไป



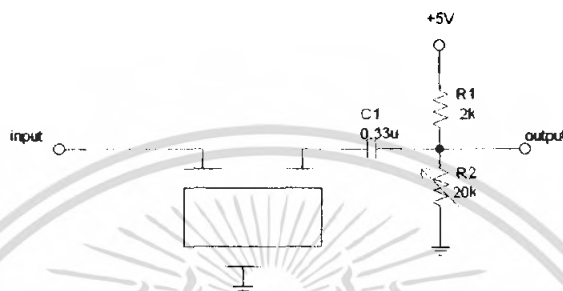
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ภาคยกระดับสัญญาณ

สัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่นั้นจะมีระดับสัญญาณที่ไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากผลของการกรองความถี่ที่แตกต่างกัน แต่ค่าความถี่ที่ได้นั้นจะมีค่าเท่ากับสัญญาณจากวงจรมอดูเลตทางภาคส่ง ดังนั้นก่อนที่จะนำสัญญาณ ไปตีมอดูเลตจึงต้องผ่านการยกระดับสัญญาณให้อยู่ที่ระดับกราวด์กับ+5 โวลต์ ก่อนเพื่อให้สัญญาณมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณที่ออกจากวงจรมอดูเลต

วงจรในรูปที่ 3.11 เป็นวงจรที่ใช้ยกระดับสัญญาณที่เข้ามากับระดับสัญญาณกราวด์ ทำให้สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรนี้สามารถตีมอดูเลตโดยวงจรในภาคต่อไปได้



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรยกระดับสัญญาณ

3.2.4 ภาคเอฟเอ็มตีมอดูเลต

ภาคเอฟเอ็มตีมอดูเลเตอร์ในค่านภาครับนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74HC4046 เป็นไอซีเฟสล็อก การใช้งานของไอซีเบอร์นี้จะต้องทำการหาค่า R_1 , R_2 และ C_1 เพื่อกำหนดความถี่กลาง (f_0) ซึ่งมีการออกแบบดังนี้ ในที่นี้สร้างวงจรเอฟเอ็มตีมอดูเลตที่ ความถี่กลาง 8 และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

- กำหนดค่าความถี่กลาง ในโครงการนี้จะใช้ความถี่กลางของสัญญาณเสียงช่องแรกเท่ากับ 8 เมกกะเฮิร์ตและความถี่กลางของสัญญาณเสียงช่องที่สองเท่ากับ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

- ใช้กราฟจากคาต้าลิก 74HC4046 หาค่า R_1 , R_2 และ C_1 ซึ่งจะได้ค่า $C_1 = 40 \text{ pF}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

- ที่ขา 9 ของไอซีเบอร์ 74HC4046 จะทำหน้าที่เป็นรูปฟิลเตอร์ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$f_c \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_c}{R.C_2}} \quad \text{วิธีการคำนวณ}$$

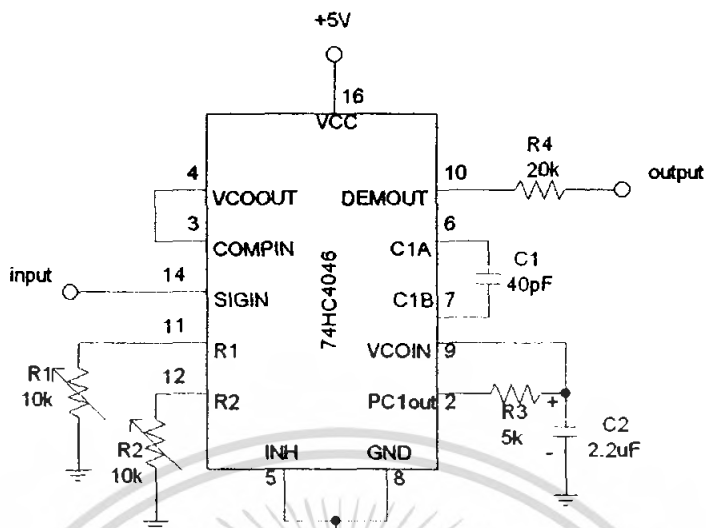
$$f_c \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_c}{R.C_2}}$$

$$f_c \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \times \pi \times 2 \times 10^6}{5 \times 10^3 \times 2.2 \times 10^{-6}}}$$

$$f_c \approx 5k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

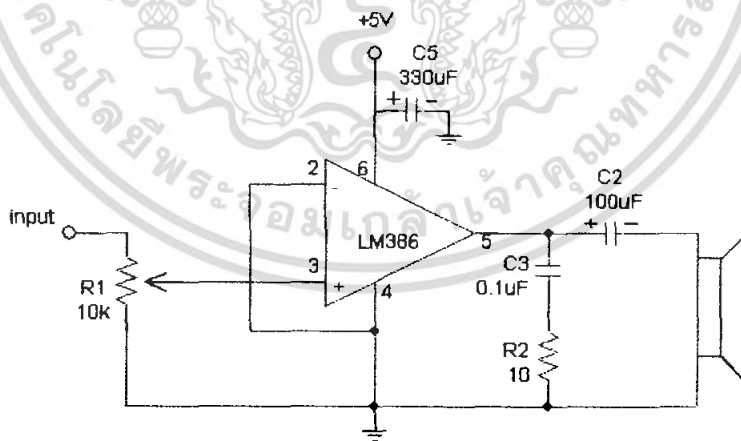
เราจะได้วงจรดังรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นวงจรเอฟเอ็มคิมมอดูเลต



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรเอฟเอ็มคิมมอดูเลต

3.2.5 ภาคขยายสัญญาณเสียง

วงจรขยายสัญญาณออกดีไอจะรับสัญญาณจากวงจรมอดูเลต แล้วนำสัญญาณไปขยายโดยใช้ ไอซี LM386 เป็นตัวขยายสัญญาณ ซึ่งมี R1 เป็นตัวควบคุมอัตราการขยาย ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้ถึง 20 เท่า หลังจากนั้นสัญญาณเสียงที่ถูกขยายกำลังแล้วผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิงออกไปยังลำโพง



รูปที่ 3.13 แสดงวงจขยายสัญญาณเสียง

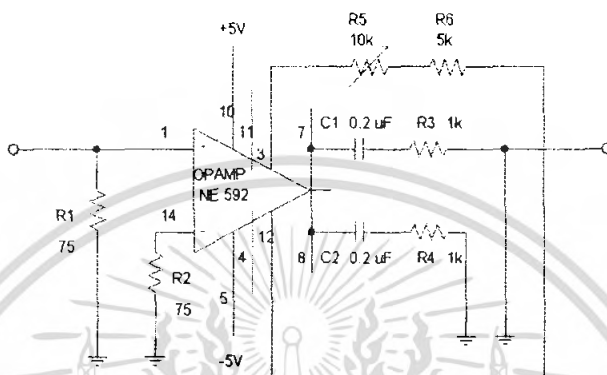
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

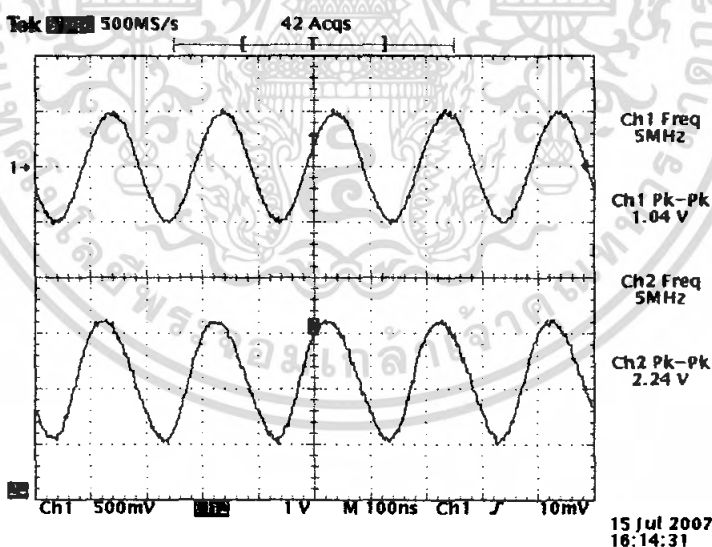
4.1 การทดลองหาค่าเปิดครัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวีซีโอเอเอ็มพีทางค้ำนส่ง

กำหนดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นซายน์ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต มีขนาด 800 Vp-p ไอซีที่ใช้ ค้ำความค้ำนทานและค้ำตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรวีซีโอเอเอ็มพี

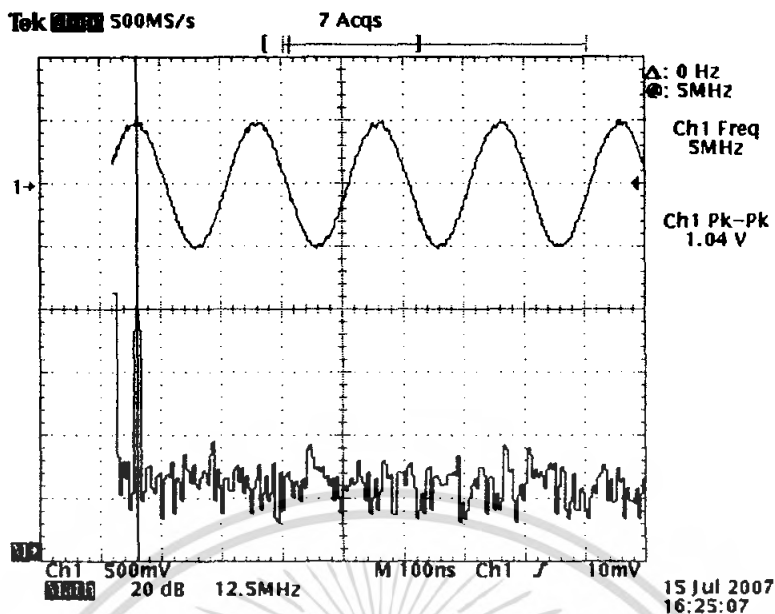
ผลการทดลองการหาค่าเปิดครัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวีซีโอเอเอ็มพีทางค้ำนส่ง



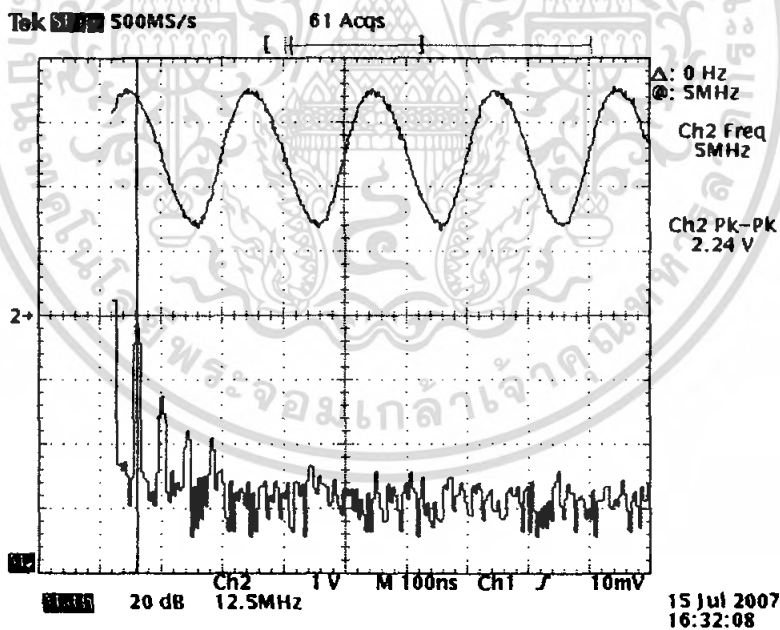
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต ของวงจรวีซีโอเอเอ็มพีทางค้ำนส่ง

ที่แชนเนล 1 ใส่เป็นสัญญาณอินพุตรูปคลื่นซายน์ใส่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แรงค้ำน 800 Vp-p ได้ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แรงค้ำน 1.04 Vp-p เทียบกับแชนเนล 2 ได้เป็นสัญญาณเอาต์พุตรูปคลื่นซายน์ได้ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตเท่าเดิม แต่แรงค้ำนขยาย เป็นประมาณ 2 เท่าของสัญญาณอินพุต ซึ่งตรงกับที่ออกแบบไว้ว่า จะให้วงจรถ้าการขยายแรงค้ำนได้ประมาณ 1 – 5 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

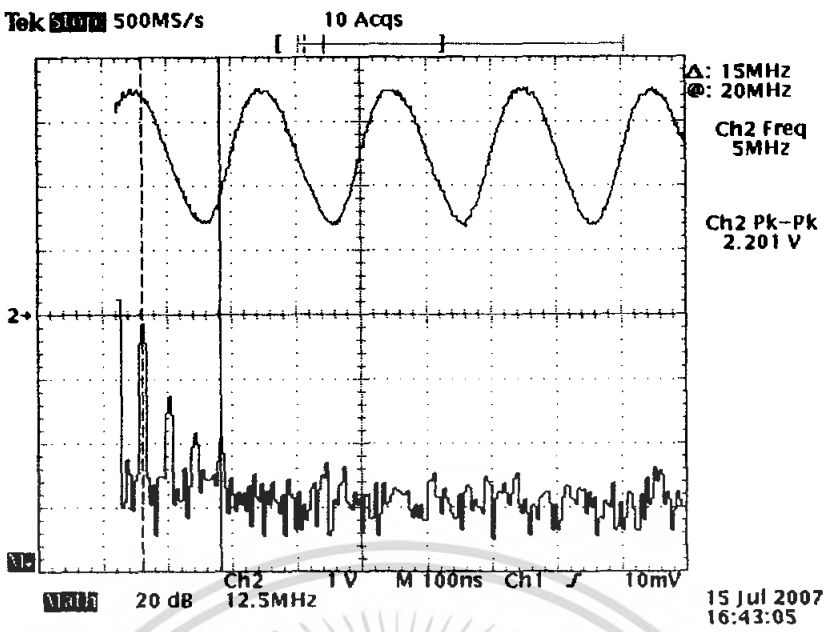


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณอินพุตมีสเป็คตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่งที่แชนเนล 1 เป็นสัญญาณอินพุตมีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเป็คตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต

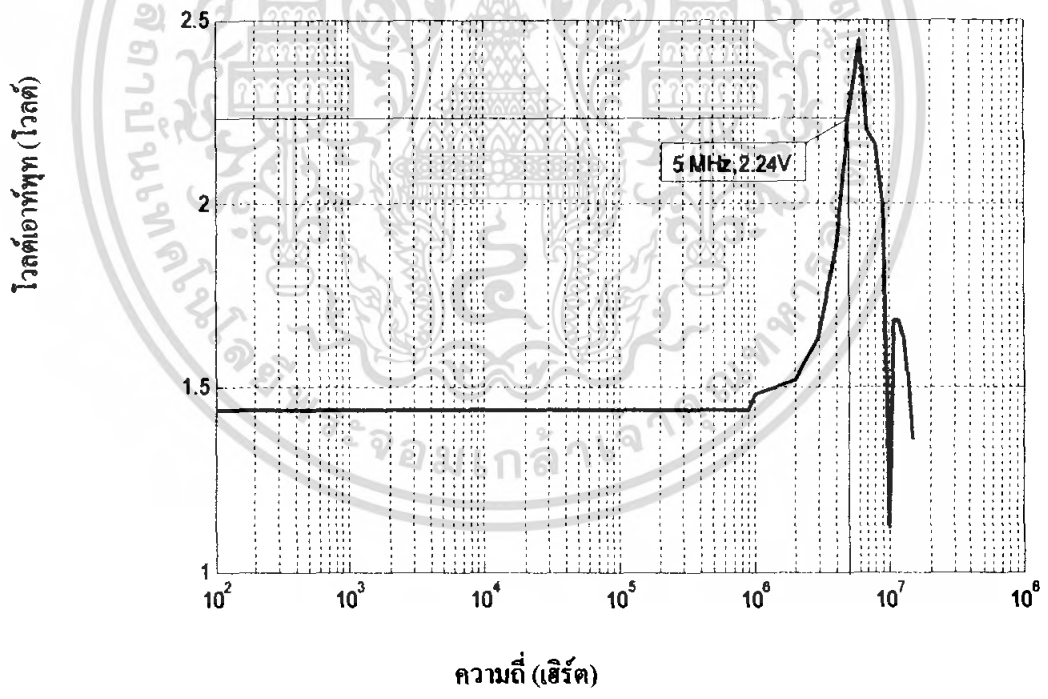


รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเป็คตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่งที่แชนเนล 2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตมีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเป็คตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



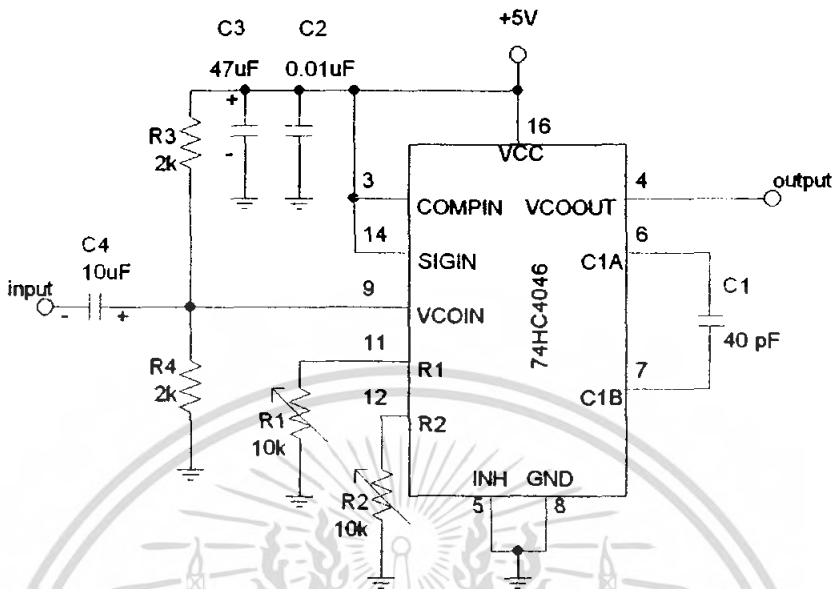
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 20 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่งที่แชนเนล 2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเปกตรัมที่เป็นฮาร์โมนิกที่ความถี่ 20 เมกกะเฮิร์ต



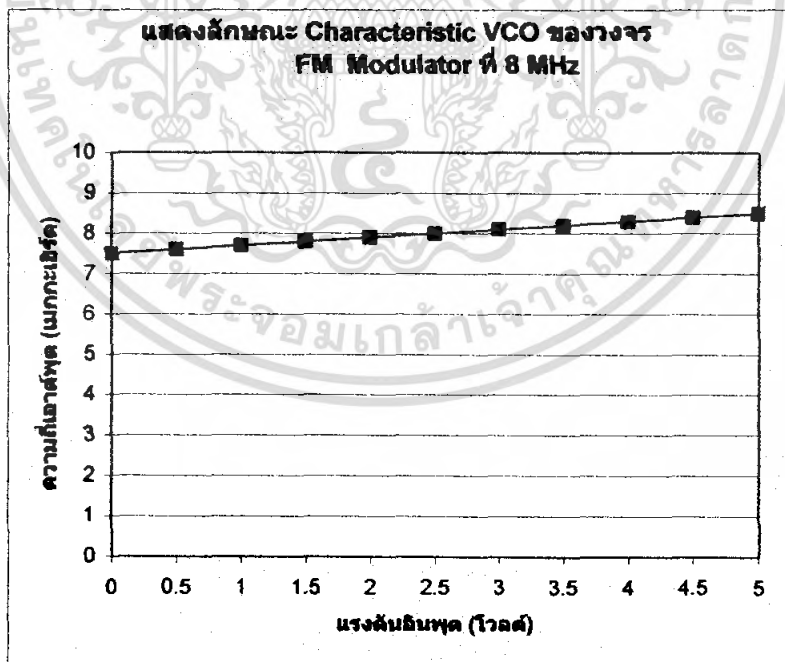
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่การขยายโวลต์จวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านส่งเทียบกับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต แสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่การขยายโวลต์โดยมีความถี่ตั้งแต่ 100 เฮิร์ตจนถึง 15 เมกกะเฮิร์ต จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตมีการขยายโวลต์เอาต์พุตได้ที่ 2.24 โวลต์ แล้วไอซีเบอร์ NE 592 ที่ออกแบบไว้ก็ขยายสูงสุดได้ที่ 6 เมกกะเฮิร์ตจากนั้นก็ลดลงมาเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตของวงจรเอฟเอ็มมอดูเลต
 ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.7



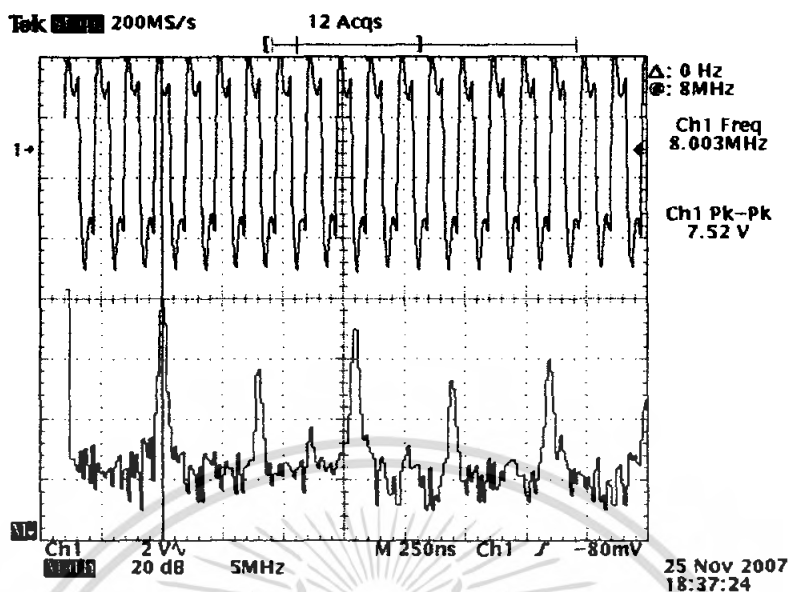
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรเอฟเอ็มมอดูเลต



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะ Characteristic ของ VCO ที่ 8 เมกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหาค่าสเปกตรัมความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตของวงจรรอเฟ้อเอ็มมอดูเลต

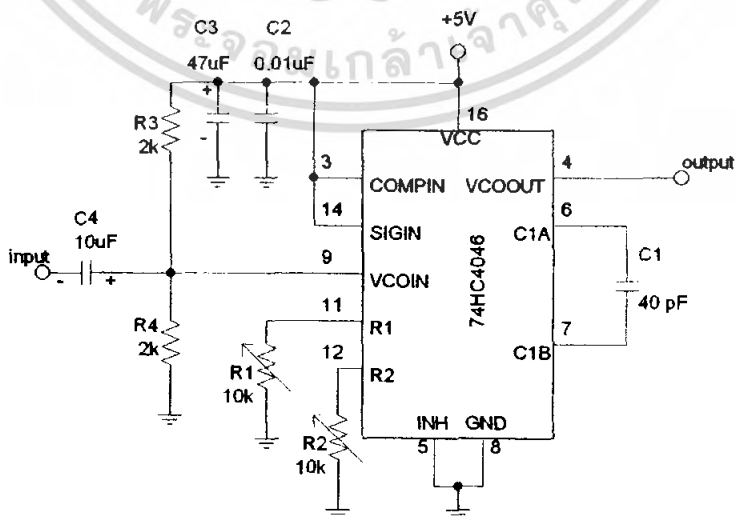


รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณแอมพลิจูดที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต

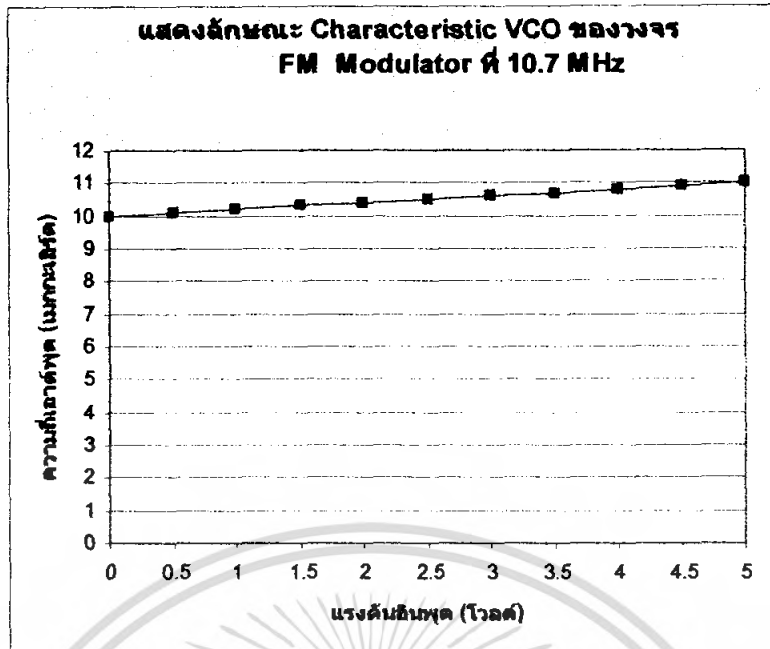
ใส่สัญญาณอินพุต สัญญาณรูปคลื่นซายน์ความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต ใส่แรงดัน 1 Vp-p เปรียบเป็นข้อมูลข่าวสารที่จะนำไปกับคลื่นพาห์ ที่แอมพล 1 วัตต์สัญญาณแอมพลิจูดที่ออกมาจากรอเฟ้อเอ็มมอดูเลตมีความถี่ 8 เมกะเฮิร์ต เปรียบเป็นคลื่นพาห์ที่จะนำข่าวสารไป และวัตต์สเปกตรัมของสัญญาณแอมพลิจูดออกมาได้ที่ความถี่กลาง 8 เมกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต

4.3 การทดลองการหาค่าสเปกตรัมความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรรอเฟ้อเอ็มมอดูเลต

ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.7

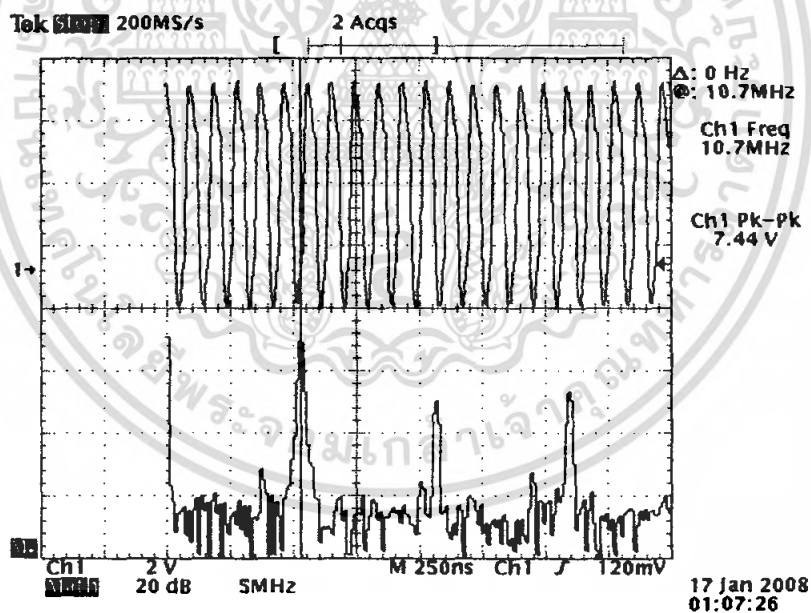


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะ Characteristic ของ VCO ที่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์

ผลการทดลองการหาค่าสเปกตรัมความถี่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ของวงจรเฟมออสซิลเลเตอร์



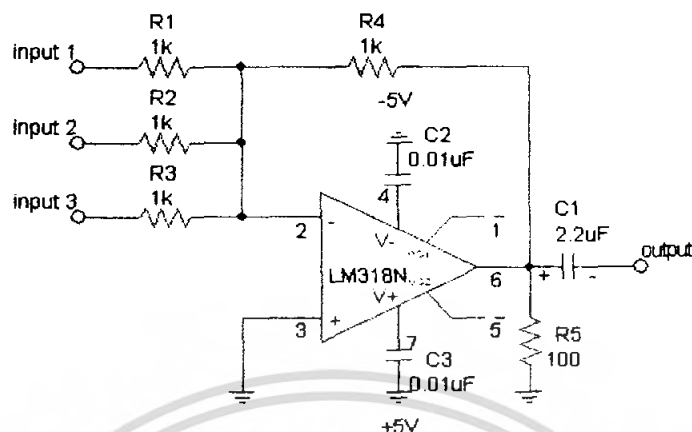
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ ผสมกับความถี่ 500 เฮิรตซ์

ใส่สัญญาณอินพุต สัญญาณรูปคลื่นซายน์ความถี่ 500 เฮิรตซ์ ใส่แรงดัน 1 V_{pp} เปรียบเป็นข้อมูลข่าวสารที่จะนำไปกับคลื่นพาห้ ที่แชนเนล 1 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรเฟมออสซิลเลเตอร์มีความถี่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ เปรียบเป็นคลื่นพาห้ที่จะนำข่าวสารไป และวัดสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตออกมา ได้ที่ความถี่กลาง 10.7 เมกะเฮิรตซ์ ผสมกับความถี่ 500 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

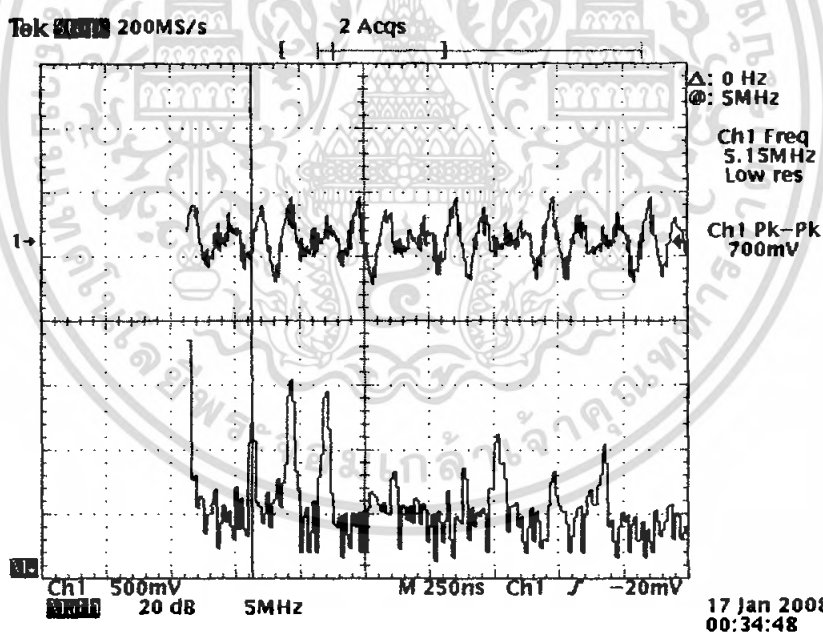
4.4 การทดลองของวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่

ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

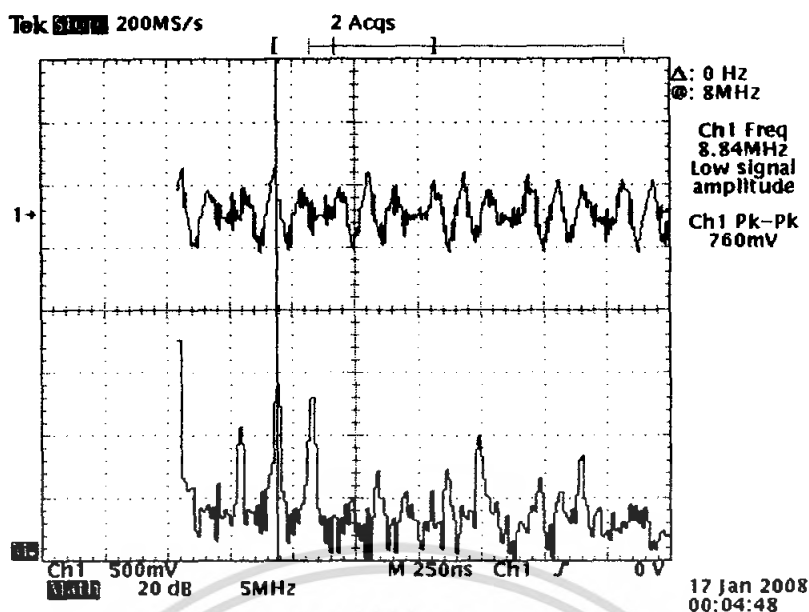
ผลการทดลองของวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต เป็นสัญญาณภาพ

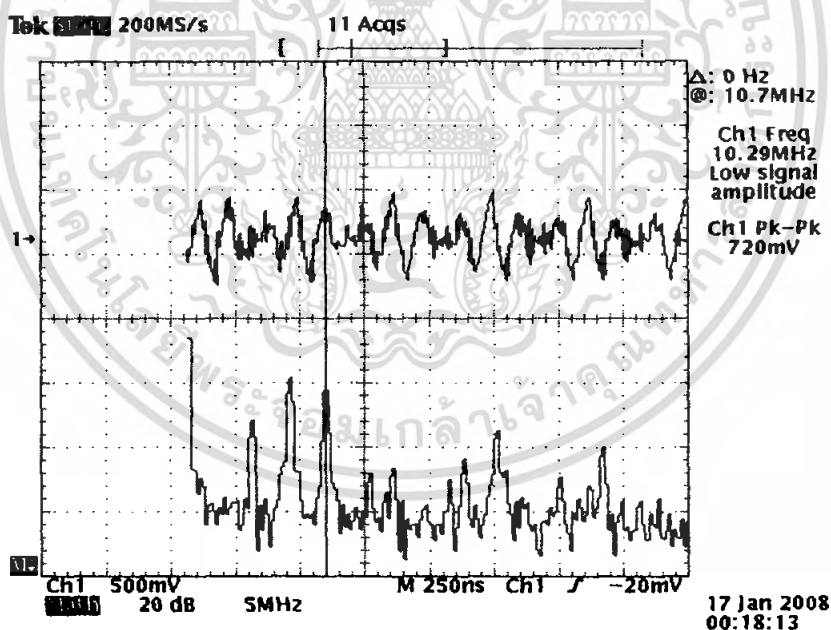
นำเอาต์พุตของวงจรวีซีเอ็มบีทางด้านส่งมาต่อเข้ากับอินพุตของวงจรรวมสัญญาณ ที่แชนเนล 1 วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ ได้สเปกตรัมออกมาเป็นความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แรงดันจาก 2.2 Vp-p ลดลงเหลือ 700 mVp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมอดูเลตที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต

นำเอาต์พุตของวงจรเอฟเอ็มมอดูเลต 8 เมกกะเฮิร์ตที่ผสมกับความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต ต่อเข้ากับอินพุตของวงจรรวมสัญญาณ ที่แชนเนล 1 วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ ได้สเปกตรัมออกมาเป็นความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต แรงดันจาก 7.52 Vp-p ลดลงเหลือ 760 mVp-p



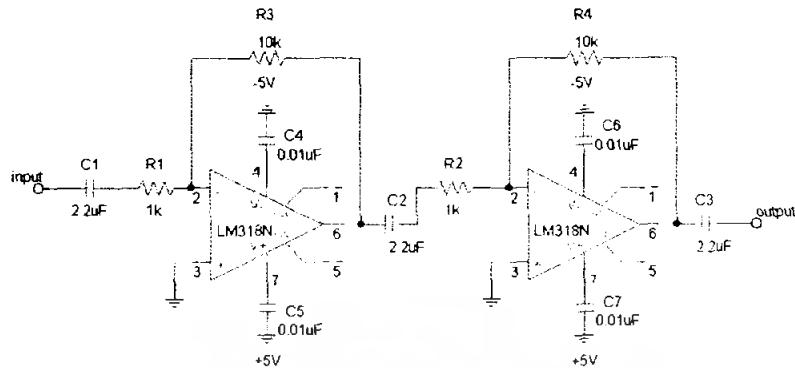
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมอดูเลตที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต ผสมกับความถี่ 500 เฮิร์ต

นำเอาต์พุตของวงจรเอฟเอ็มมอดูเลต 10.7 เมกกะเฮิร์ตที่ผสมกับความถี่ 500 เฮิร์ต มาต่อเข้ากับอินพุตของวงจรรวมสัญญาณ ที่แชนเนล 1 วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ ได้สเปกตรัมออกมาเป็นความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต แรงดันจาก 7.44 Vp-p ลดลงเหลือ 720 mVp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

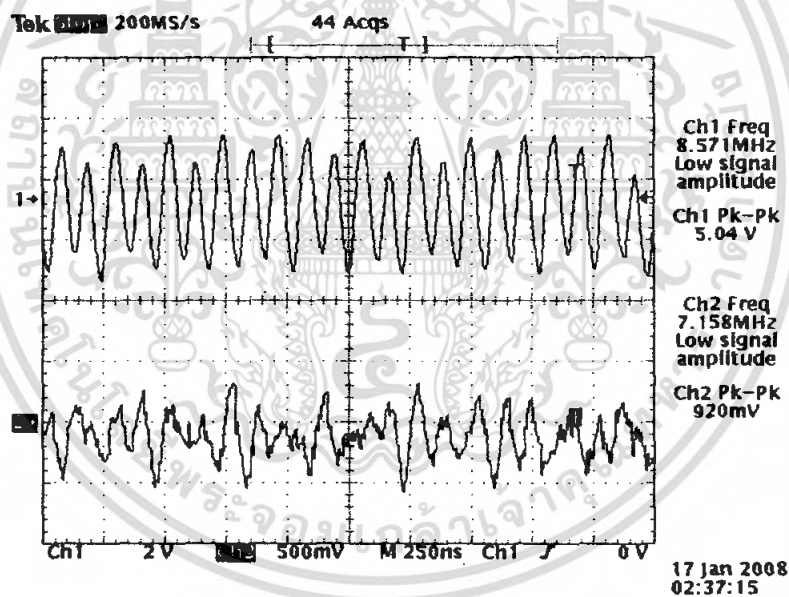
4.5 การทดลองหาค่าของวงจรมายสัญญาณทางค่านรับ

ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงวงจรมายสัญญาณทางค่านรับ

ผลการทดลองของวงจรมายสัญญาณทางค่านรับ



รูปที่ 4.17 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านภาคมายสัญญาณ

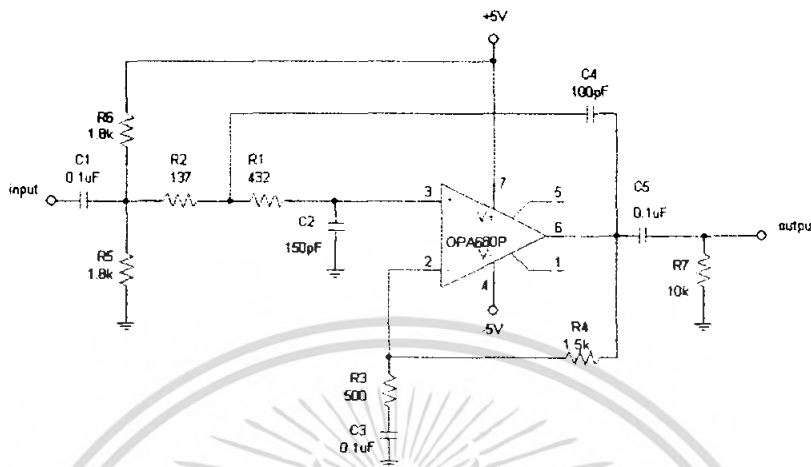
โดยที่ แชนเนล 1 คือ สัญญาณที่ผ่านวงจรมายสัญญาณแล้ว มีขนาด 5.04 V_{pp}

แชนเนลที่ 2 คือ สัญญาณที่ออกจากวงจรมายสัญญาณ มีขนาด 920 mV_{pp}

เนื่องจากสัญญาณที่ได้ส่วนมากจะมีขนาดเล็กเกินกว่าจะนำสัญญาณนั้นไปใช้งานได้โดยตรงจึงทำให้ต้องมีภาคมายสัญญาณก่อน โดยภาคมายสัญญาณนี้จะทำการขยายสัญญาณที่มาจากวงจรมายสัญญาณเพื่อให้มีขนาดที่มากพอต่อการนำสัญญาณนั้นไปใช้ในวงจรถัดไป

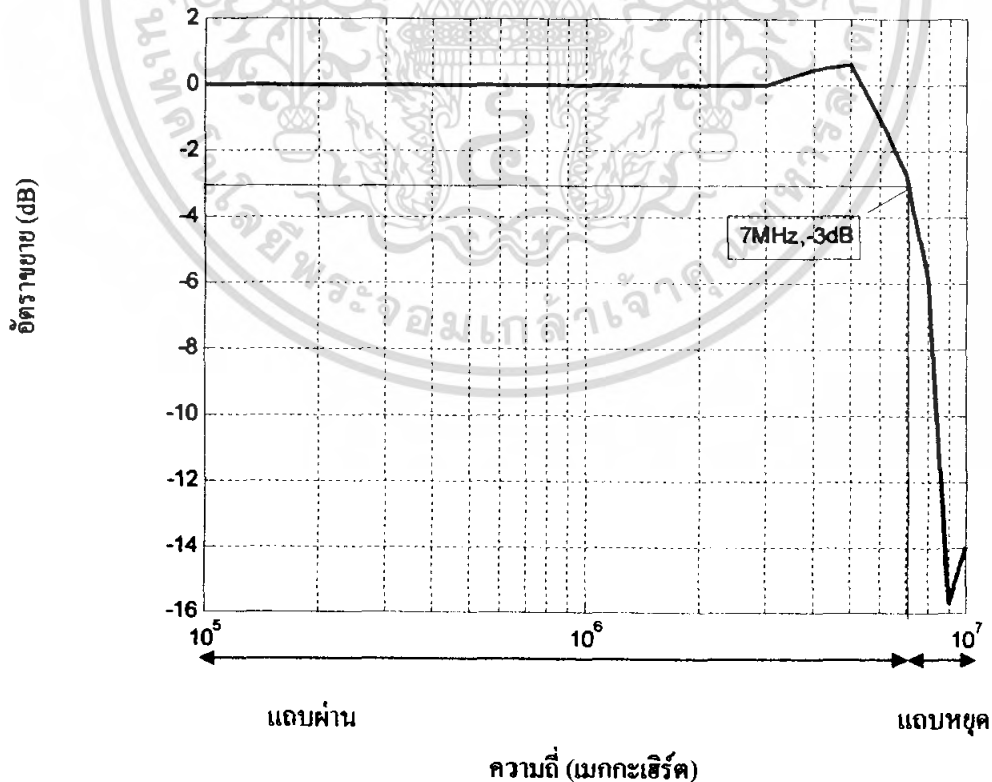
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองหาค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน กำหนดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตถึง 10 เมกกะเฮิร์ต มีขนาด 1 V_{p-p} โดยให้มีค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ต ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.18



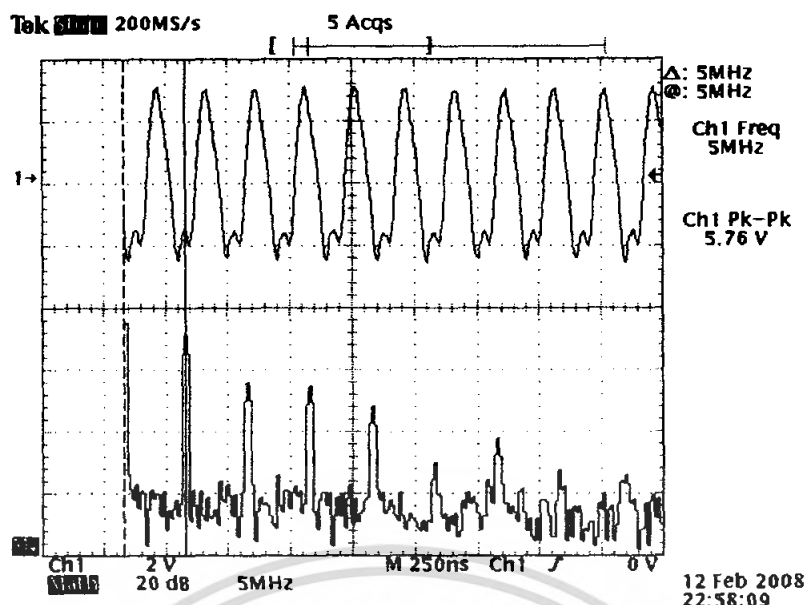
รูปที่ 4.18 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน คัตออฟที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต

ผลการทดลองหาค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบบัตเตอร์เวิร์ท



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟแสดงสถานะของทางความถี่คัตออฟ 7 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน หน่วย dB

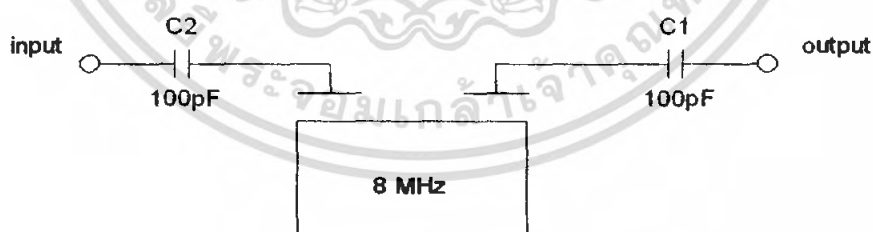
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ต

เอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณเมาน์เข้าที่อินพุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ต ที่แชนเนล 1 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านค่าความถี่คัตออฟ 5 เมกกะเฮิร์ต

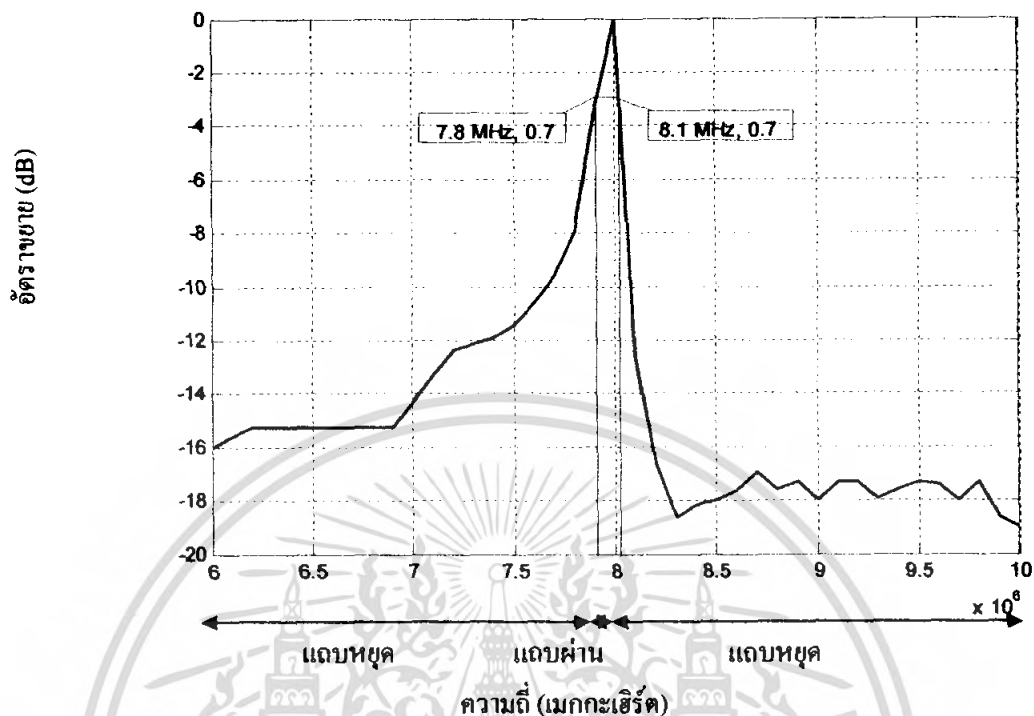
4.7 การทดลองหาค่าความถี่กลางที่ 8 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน กำหนดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ความถี่ 6 เมกกะเฮิร์ต ถึง 10 เมกกะเฮิร์ต มีขนาด 1 V_{p-p} โดยให้มีค่าความถี่กลางที่ 8 เมกกะเฮิร์ต ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.21



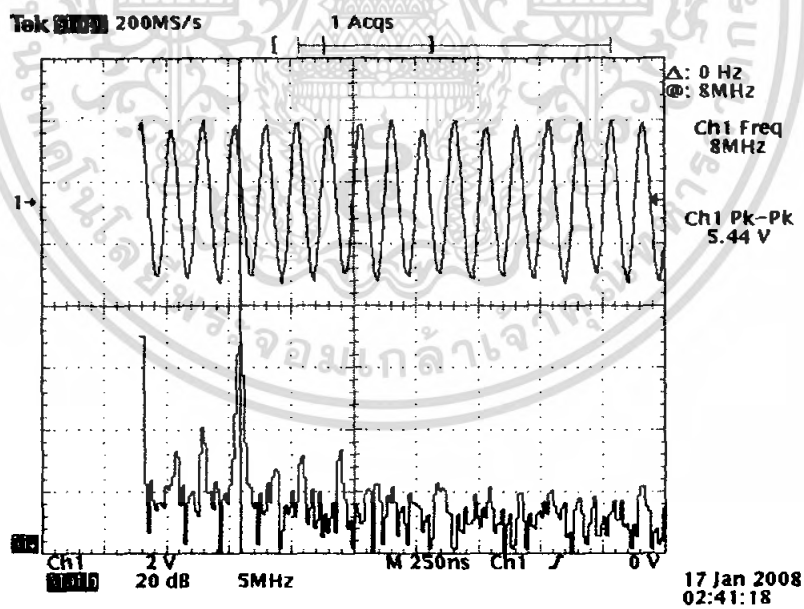
รูปที่ 4.21 แสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ค่าความถี่กลางที่ 8 เมกกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหาค่าความถี่กลางที่ 8 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟแสดงตอบสนองทางความถี่ค่าความถี่กลาง 8 เมกกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน หน่วย dB

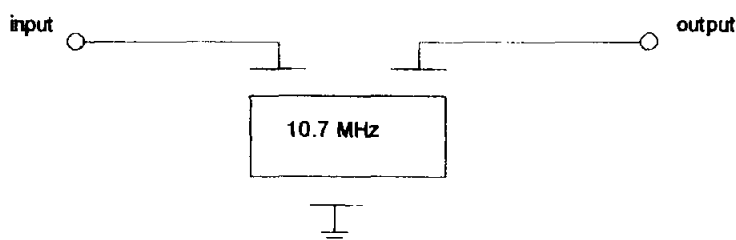


รูปที่ 4.23 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 8 เมกกะเฮิร์ต

เอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณมาเข้าที่อินพุตของวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 8 เมกกะเฮิร์ต ที่แชนเนล 1 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 8 เมกกะเฮิร์ต

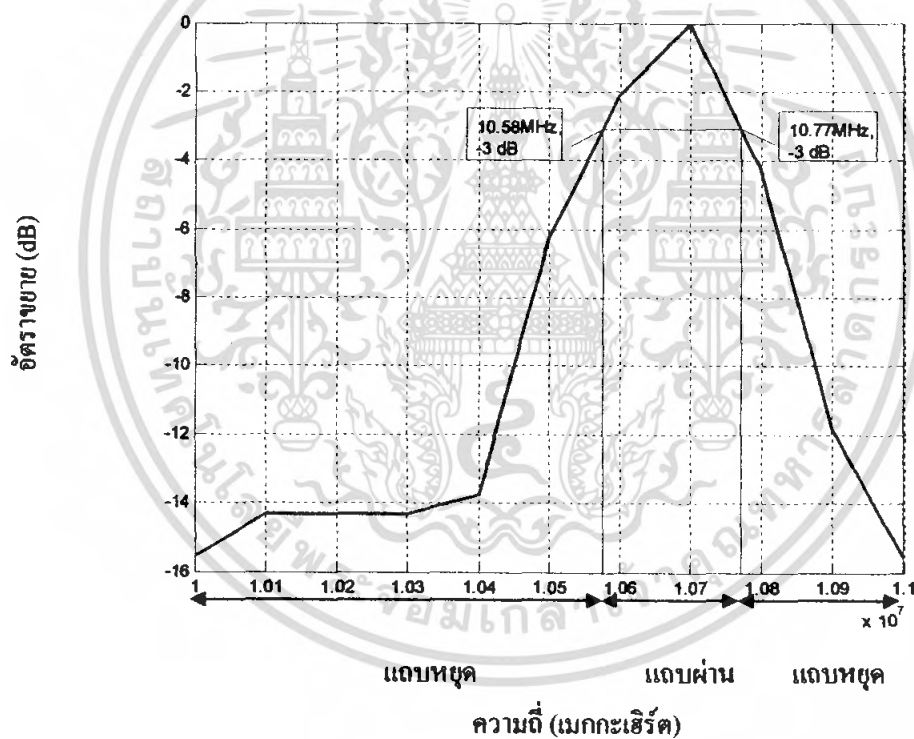
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การทดลองหาค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน กำหนดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ต ถึง 11 เมกะเฮิร์ต มีขนาด 1 Vp-p โดยให้มีค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ต ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.24



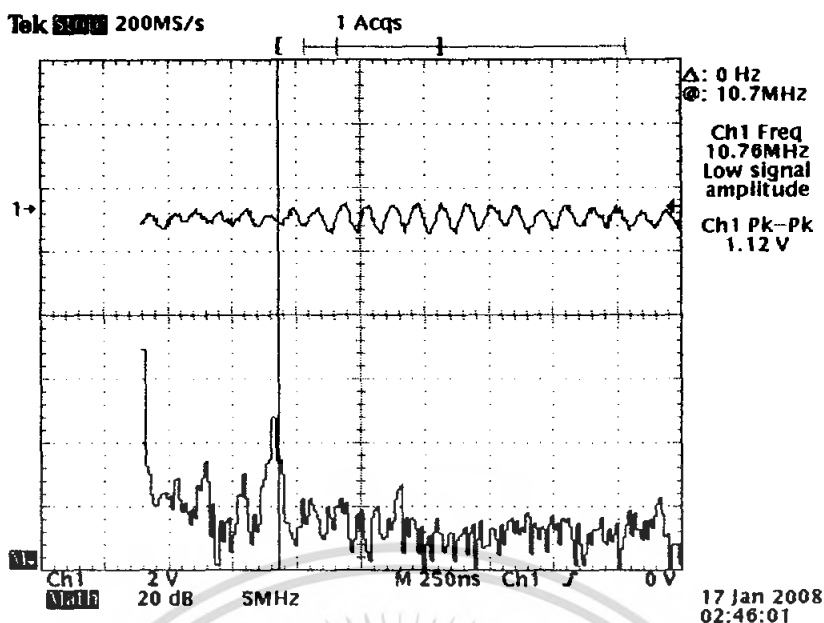
รูปที่ 4.24 แสดงวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ต

ผลการทดลองหาค่าความถี่กลางที่ 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟแสดงตอบสนองทางความถี่ค่าความถี่กลาง 10.7 เมกะเฮิร์ตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน หน่วย dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



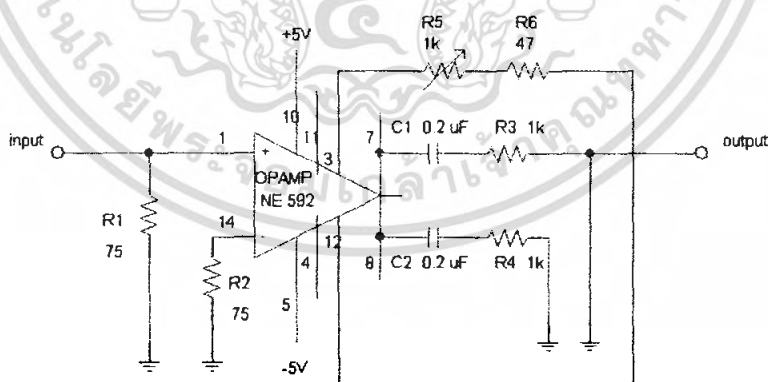
รูปที่ 4.26 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

เอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณมาเข้าที่อินพุตของวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 10.7 เมกกะเฮิร์ต ที่แชนเนล 1 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต เมื่อผ่านวงจรเซรามิกฟิลเตอร์ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

4.9 การทดลองหาค่าสเปกตรัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวิดีโอแอมป์ทางด้่านรับ

กำหนดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต มีขนาด 100 mVp-p

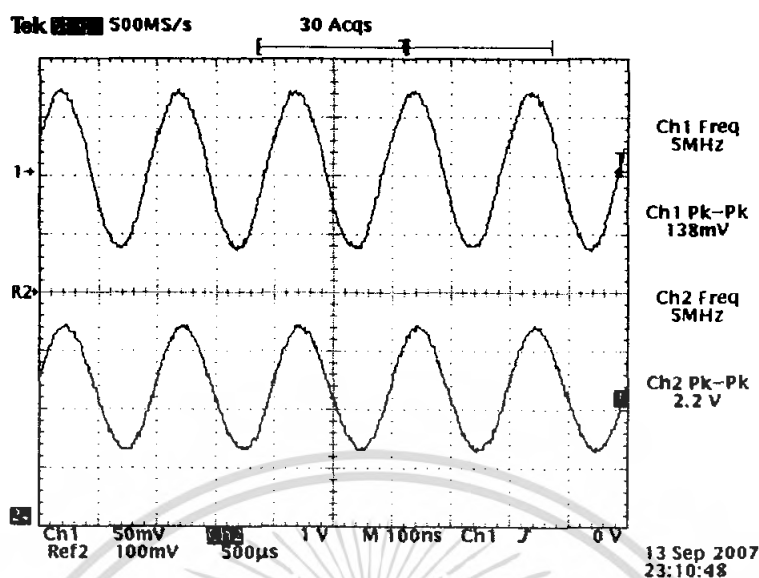
ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงวงจรวิดีโอแอมป์ทางด้่านรับ

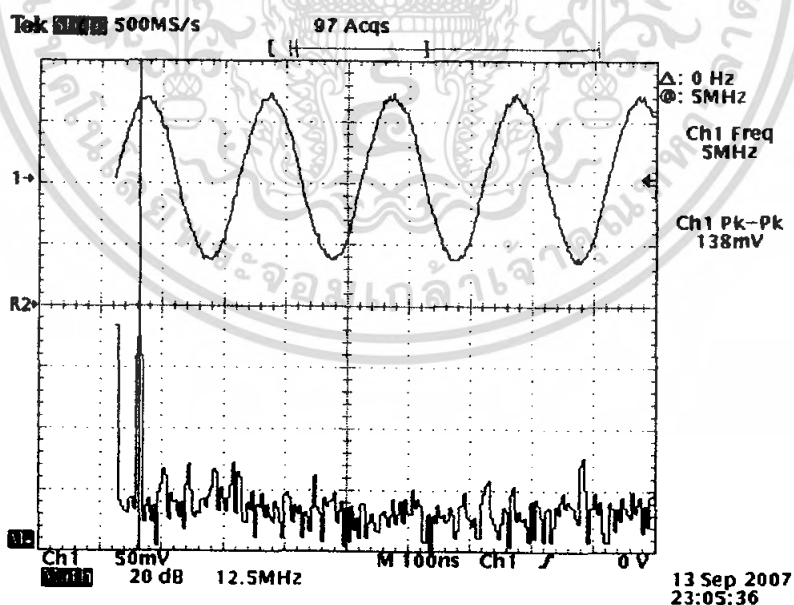
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหาค่าสเปกตรัมความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านรับ



รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านรับ

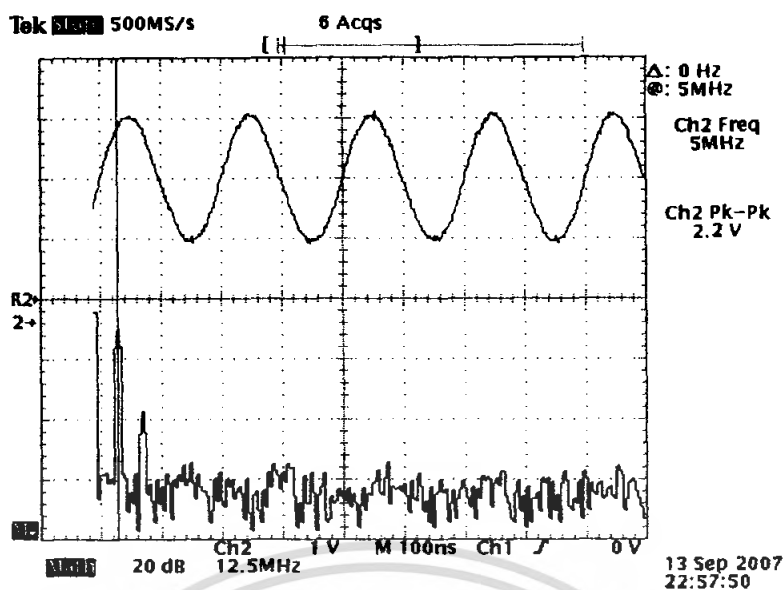
ที่แชนเนล 1 ให้เป็นสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ใส่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แรงดัน 100 mVp-p ได้ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แรงดัน 138 mVp-p เทียบกับแชนเนล 2 ได้เป็นสัญญาณเอาต์พุตรูปคลื่นไซน์ ได้ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตเท่าเดิม แรงดัน 2.2 Vp-p แรงดันขยายเป็นประมาณ 16 เท่าของสัญญาณอินพุต ซึ่งตรงกับที่ออกแบบไว้ว่าจะให้วงจรทำการขยายแรงดันได้ประมาณ 10 – 180 เท่า



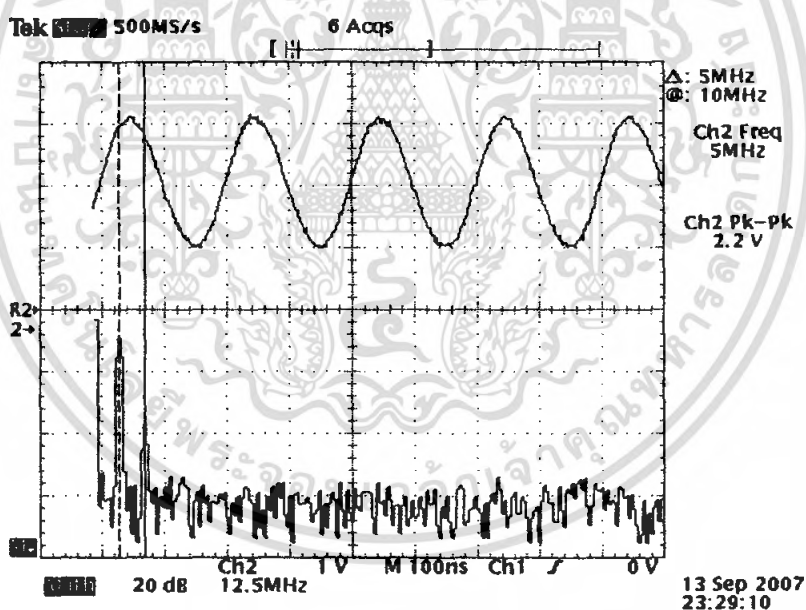
รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณอินพุตที่มีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านรับ

ที่แชนเนล 1 เป็นสัญญาณอินพุตมีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

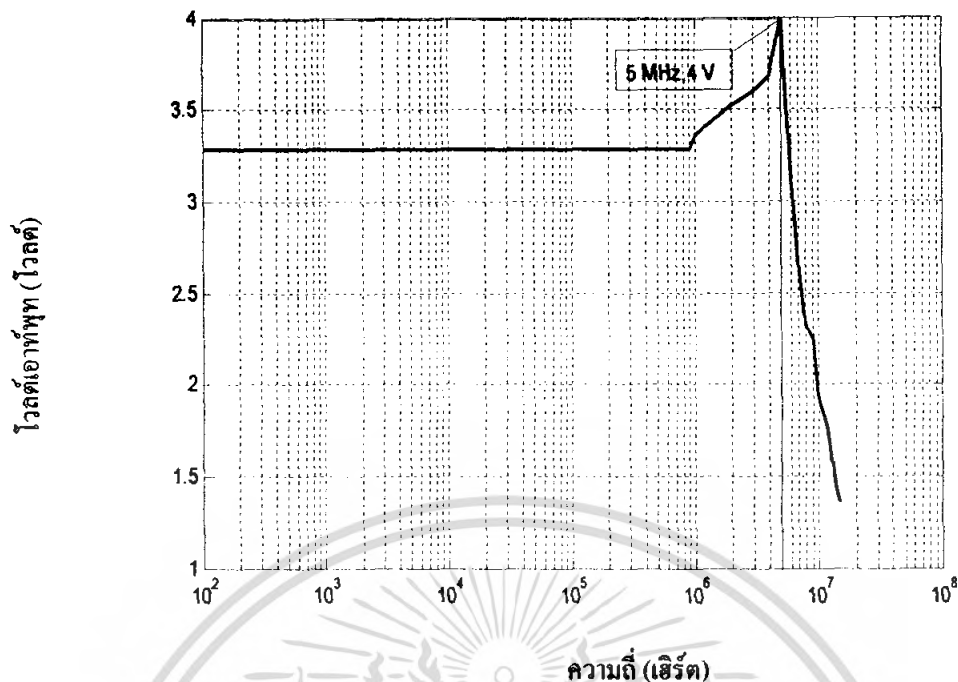


รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางค้ำรับที่แชนเนล 2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตมีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเปกตรัมที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต



รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณเอาต์พุตมีสเปกตรัมที่ความถี่ 10 เมกกะเฮิร์ต ของวงจรวีดีโอแอมป์ทางค้ำรับที่แชนเนล 2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตมีความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต แล้วทำการวัดสเปกตรัมที่เป็นฮาร์โมนิกที่ความถี่ 10 เมกกะเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

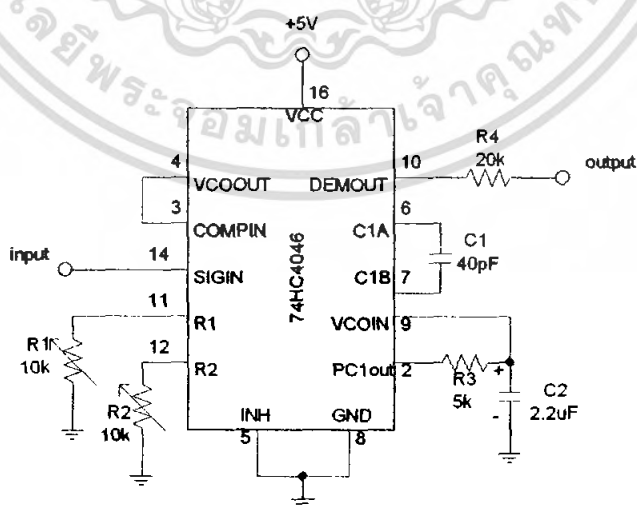


รูปที่ 4.32 แสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่การขยายโวลต์วงจรวีดีโอแอมป์ทางด้านรับเทียบกับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต

แสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่การขยายโวลต์โดยมีความถี่ตั้งแต่ 100 เฮิร์ตจนถึง 15 เมกกะเฮิร์ต จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตมีการขยายโวลต์เอาต์พุตได้ที่ 4 โวลต์ แล้ว ไอซีเบอร์ NE 592 ที่ ออกแบบไว้ก็ขยายสูงสุดได้ที่ 5 เมกกะเฮิร์ตจากนั้นก็ลดลงมาเรื่อยๆ

4.10 การทดลองหาค่าความถี่เสียง 3 กิโลเฮิร์ตของวงจรถ่ายเอเอ็มดีมอดูเลต

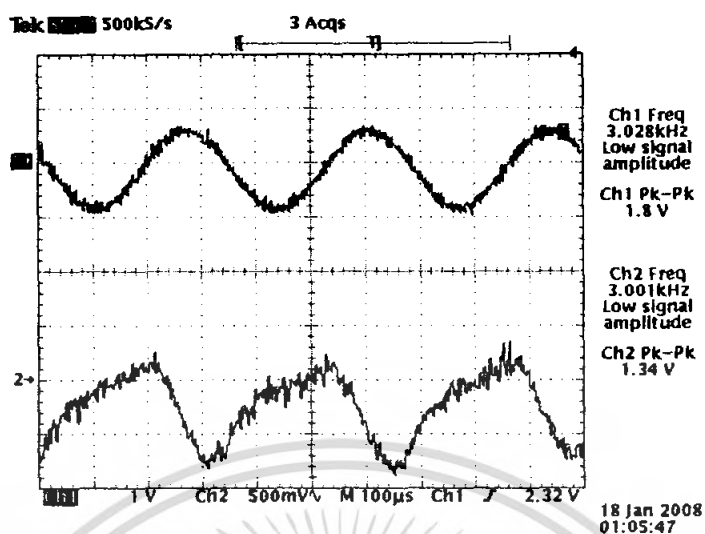
ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงวงจรถ่ายเอเอ็มดีมอดูเลต

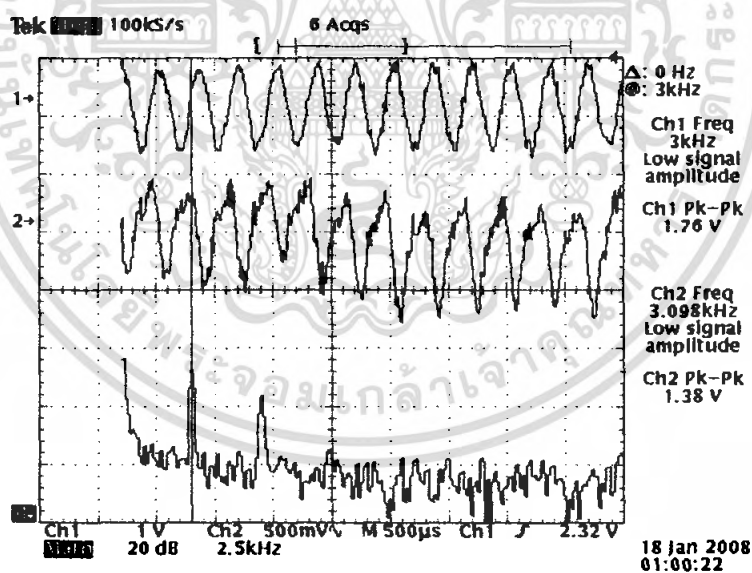
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหาค่าความถี่เสียง 3 กิโลเฮิร์ตของวงจรเอฟเอ็มคีมอคูเลต



รูปที่ 4.34 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่คีมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องแรก

โดยที่ แชนแนลที่ 1 คือสัญญาณอินพุต 3 กิโลเฮิร์ต 700 mVp-p จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ แชนแนลที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุต 3 กิโลเฮิร์ต ที่คีมอคูเลตได้ เมื่อผ่านวงจรยกระดับสัญญาณแล้ว

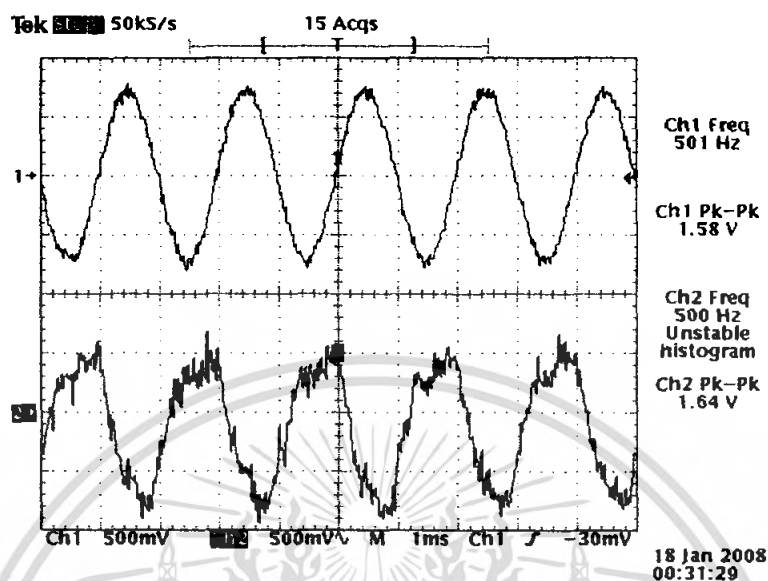


รูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมที่คีมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องแรก

โดยที่ แชนแนลที่ 1 คือสัญญาณอินพุต 3 กิโลเฮิร์ต 700 mVp-p จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ แชนแนลที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุต 3 กิโลเฮิร์ต ที่คีมอคูเลตได้ เมื่อผ่านวงจรยกระดับสัญญาณแล้ว และแสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต ของแชนแนลที่ 2

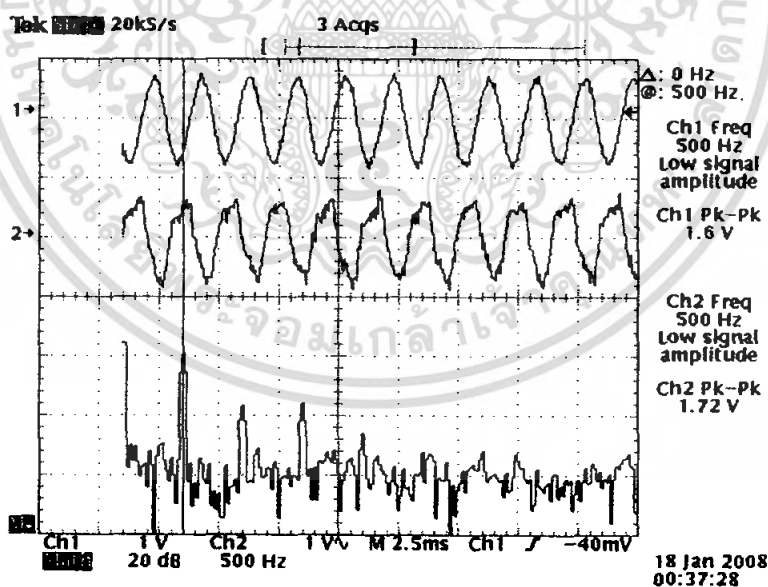
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การทดลองหาค่าความถี่ 500 เฮิร์ตของวงจรเฟรเควนซีแอมพลิฟายเออร์
 ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.33
 ผลการทดลองหาค่าความถี่ 500 เฮิร์ตของวงจรเฟรเควนซีแอมพลิฟายเออร์



รูปที่ 4.36 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่คีมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องที่สอง

โดยที่ แชนแนลที่ 1 คือสัญญาณอินพุต 500 เฮิร์ต 700 mVp-p จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ แชนแนลที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุต 500 เฮิร์ต ที่คีมอคูเลตได้ เมื่อผ่านวงจรระดับสัญญาณแล้ว

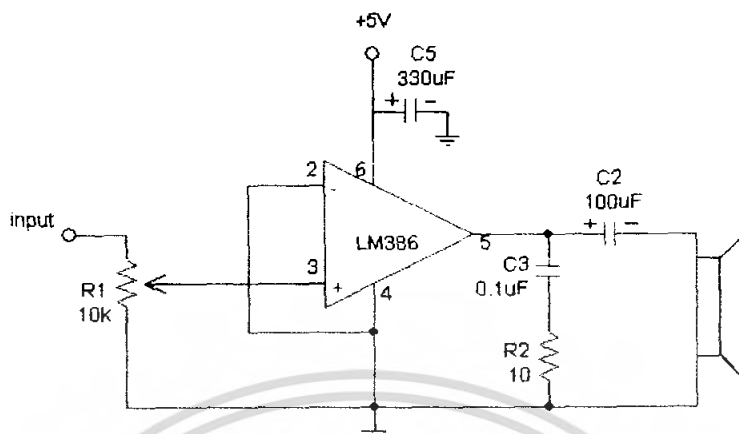


รูปที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมที่คีมอคูเลตออกมาได้ของสัญญาณเสียงช่องที่สอง

โดยที่ แชนแนลที่ 1 คือสัญญาณอินพุต 500 เฮิร์ต 700 mVp-p จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ แชนแนลที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุต 500 เฮิร์ต ที่คีมอคูเลตได้ เมื่อผ่านวงจรระดับสัญญาณแล้ว และแสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 500 เฮิร์ต ของแชนแนลที่ 2

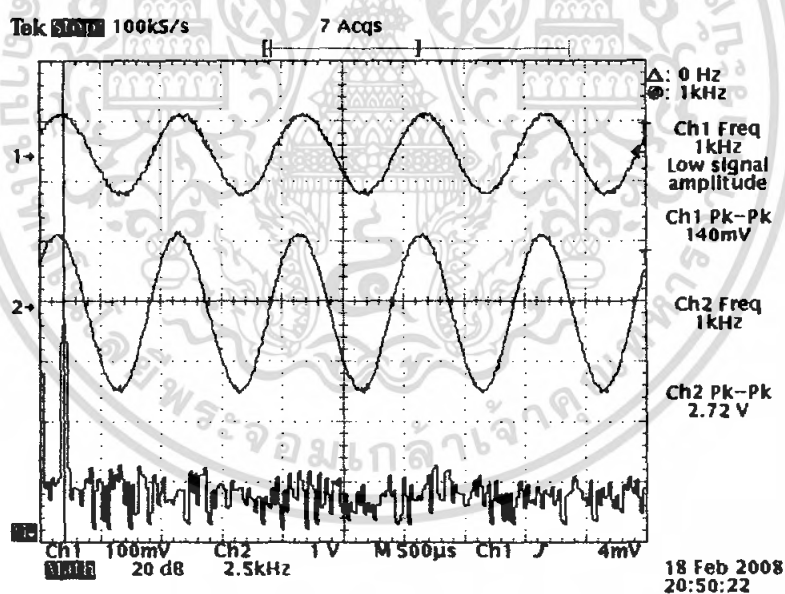
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 การทดลองหาค่าการขยายความถี่เสียงของวงจรขยายสัญญาณเสียง
ไอซีที่ใช้ ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดูได้จากรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียง

ผลการทดลองหาค่าการขยายความถี่เสียงของวงจรขยายสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณเสียง

โดยที่ แชนแนลที่ 1 คือ สัญญาณอินพุต 1 กิโลเฮิร์ต 100 mVp-p จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ
แชนแนลที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุต 1 กิโลเฮิร์ต 2.72 Vp-p ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณเสียง
และแสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต ของแชนแนลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงผ่านสายโคแอกเชียลเคเบิล ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ภาคของการส่ง ส่งสัญญาณภาพและเสียงและส่วนภาคของการรับ รับสัญญาณภาพและเสียง ทางด้านภาคส่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ 1 ช่อง และสัญญาณเสียงอีก 2 ช่อง ทางด้านภาครับจะประกอบด้วยรับสัญญาณภาพ 1 ช่อง รับสัญญาณเสียงอีก 2 ช่อง

ทางด้านภาคส่งประกอบด้วยวงจร

1. วงจรวิดีโอแอมป์ทางด้านส่ง

เป็นวงจรขยายสัญญาณภาพ ออกแบบให้มีการขยายสัญญาณประมาณ 1 – 5 เท่า เนื่องจากสัญญาณวิดีโอที่เข้ามามีความแรงอยู่แล้ว วงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ NE 592 เมื่อต่อวงจรแล้วสัญญาณที่ได้ ออกมาก็มีการขยายตรงตามที่ออกแบบไว้ คือ ใส่อินพุตสัญญาณชาชนัน 5 เมกกะเฮิร์ต ออกเอาต์พุตสัญญาณชาชนัน 5 เมกกะเฮิร์ต เกนการขยายเป็น 2 เท่าของสัญญาณอินพุต

2. วงจรเอฟเอ็มมอดูเลต

เป็นวิธีการที่จะทำการส่งสัญญาณเสียงออกไปให้ได้ไกลๆ ก็คืออาศัยสัญญาณหรือคลื่นไฟฟ้าเป็นตัวพาหะ นำสัญญาณเสียงนั้นไป โดยอาศัยหลักการผสมคลื่น สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่สูงกับคลื่นไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณเสียงแล้วส่งสัญญาณออกไป โดยสัญญาณเสียงนั้นจะต้องการขยายสเป็คตรัมของสัญญาณออกไปให้มีความถี่มากกว่าสัญญาณภาพ เราเลือกใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณเสียงแบบแบ่งความถี่ โดยสัญญาณเสียงช่องแรกจะมีสเป็คตรัมความถี่อยู่ที่ 8 เมกกะเฮิร์ต และช่องสัญญาณเสียงช่องที่สองจะมีสเป็คตรัมความถี่อยู่ที่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต การที่เราเลือกใช้สเป็คตรัมความถี่ที่จุดนี้ ก็เพื่อให้มีความถี่มากกว่าสัญญาณภาพและสามารถสร้างวงจรรองความถี่โดยใช้เซรามิกฟิลเตอร์ที่หาซื้อง่ายมีราคาถูกและมีคุณสมบัติของความกว้างของแถบความถี่ที่แคบ ประมาณ 100 กิโลเฮิร์ต ทำให้ได้ความถี่ที่เราต้องการ โดยมีความถี่อื่นปะปนมาปริมาณน้อยมาก

- วงจรเอฟเอ็มมอดูเลตที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต

ใช้ไอซีเบอร์ 74HC4046 เป็นไอซีที่ทำการมอดูเลตและดีมอดูเลตได้ เมื่อเราทำการต่อวงจรแล้วก็จะเห็นว่ามีความถี่ที่ 8 เมกกะเฮิร์ต เมื่อทำการใส่ความถี่เสียงหรือความถี่อื่นเข้าไปก็จะเห็นย่านความถี่ของข่าวสารตามที่ใส่

- วงจรเอฟเอ็มมอดูเลตที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต

ใช้ไอซีเบอร์ 74HC4046 เป็นไอซีที่ทำการมอดูเลตและดีมอดูเลตได้ เมื่อเราทำการต่อวงจรแล้วก็จะเห็นว่ามีความถี่ที่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต เมื่อทำการใส่ความถี่เสียงหรือความถี่อื่นเข้าไปก็จะเห็นย่านความถี่ของข่าวสารตามที่ใส่

3. วงจรนำคัพปลักษณ์แบบแบ่งความถี่

เป็นการรวมเอาทั้ง 3 สัญญาณเข้าด้วยกันโดยใช้วงจรรวมสัญญาณ (summing) ในการรวมสัญญาณนั้นเราจะต้องเลือกความถี่ของแต่ละสัญญาณให้เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้สัญญาณทั้ง 3 สามารถรวมกันไปได้โดยที่ไม่มีสัญญาณใด โคนหักล้างจากสัญญาณที่แรงกว่า การรวมสัญญาณภาพ 1 ช่อง และสัญญาณเสียง 2 ช่อง จะใช้ไอซีเบอร์ LM 318 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีความถี่ได้ถึง 15 เมกกะเฮิร์ต ในการรวมสัญญาณจะใช้วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟสของสัญญาณ (Noninverting Amplifier) ผลที่ได้ก็คือ ได้ความถี่ทั้ง 3 ความถี่ โดยไม่มีความถี่ใด โคนหักล้าง แต่ทำให้ขนาดของแต่ละความถี่ลดลงจากเดิม

ทางด้านภาครับประกอบด้วยวงจร

1. วงจรขยายสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

เมื่อสัญญาณมาจากวงจรรวมสัญญาณ จะมีขนาดเล็กมาก จึงนำมาผ่านวงจขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติงแอมพลิฟายเออร์ โดยเลือกไอซีเบอร์ LM318 จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ขนาดของสัญญาณมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเพียงพอต่อการนำสัญญาณไปใช้ในวงจรถัดไป

2. วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

เป็นการกรองเอาสัญญาณภาพออกมา โดยใช้ไอซีเบอร์ OPA680 ซึ่งคัตออฟที่ความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ต เมื่อนำมาต่อเป็นวงจรจริงแล้วเก็บผลจากออสซิลโลสโคป ค่าความถี่คัตออฟที่ได้ก็ใกล้เคียงกับค่าความถี่คัตออฟที่เลือกไว้ การที่ไม่สามารถทำให้ได้ค่าตรงกับค่าความถี่คัตออฟที่เลือกไว้ได้อาจเนื่องจาก ค่าความต้านทานตัวเก็บประจุที่คำนวณได้ไม่มีความเที่ยงตรงจึงต้องเลือกค่าใกล้เคียง จึงเป็นผลทำให้ความถี่เปลี่ยนไป และจากรูปกราฟที่ได้จะเห็นว่ามีกรโอเวอร์ชูตขึ้น เนื่องจากวงจรมีค่าตัวประกอบคุณภาพค่อนข้างสูง เพราะว่ายังค่าตัวประกอบคุณภาพสูงมากเท่าใด โอเวอร์ชูตก็ยิ่งมากขึ้นไปอีก การที่ได้ค่าตัวประกอบคุณภาพมาๆสำหรับวงจรรองความถี่ต่ำผ่านจะทำให้ได้ความคม (sharpness) ในช่วงการลดลงของความถี่มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ในอุดมคติ

3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

เป็นการกรองเอาสัญญาณเสียงออกมา โดยใช้เซรามิกฟิลเตอร์ ซึ่งคัตออฟที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต และ 10.7 เมกกะเฮิร์ต เมื่อนำมาต่อเป็นวงจรจริงแล้วเก็บผลจากออสซิลโลสโคป ค่าความถี่คัตออฟที่ได้ตรงกับค่าความถี่คัตออฟที่เลือกไว้ และยังมีแบนด์วิดท์ที่แคบมาก บ่งบอกว่าตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูงมาก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{8 \times 10^6}{0.3 \times 10^6} = 26.67 \quad \text{ค่าตัวประกอบคุณภาพที่ความถี่ 8 เมกกะเฮิร์ต}$$

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{10.7 \times 10^6}{0.19 \times 10^6} = 56.32 \quad \text{ค่าตัวประกอบคุณภาพที่ความถี่ 10.7 เมกกะเฮิร์ต}$$

4. วงจรยกระดับสัญญาณ

จุดประสงค์ของภาคนี้คือพยายามที่จะทำให้สัญญาณเหมือนกับสัญญาณทางภาคส่ง โดยอาศัยสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามา โดยวงจรมีระดับสัญญาณนั้นจะนำสัญญาณที่ได้จากวงจรกรองแถบความถี่ผ่านมาเป็นสัญญาณอินพุตเพื่อนำมาเทียบกับระดับสัญญาณที่เป็นกราวด์ ซึ่งเมื่อทดลองแล้วก็สามารถยกระดับสัญญาณได้จริง

5. วงจรวีทีโอแอมป์ทางค้ำรับ

เป็นวงจรมีขยายสัญญาณภาพ ออกแบบให้มีการขยายสัญญาณประมาณ 10 – 180 เท่า เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้นั้นมีขนาดสัญญาณต่ำ จึงต้องออกแบบให้มีการขยายสัญญาณที่เข้ามา วงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ NE 592 เมื่อต่อวงจรแล้วสัญญาณที่ได้ออกมาก็มีการขยายตรงตามที่ออกแบบไว้ คือ ใส่อินพุตสัญญาณชาชนัน 5 เมกกะเฮิร์ต ออกเอาต์พุตสัญญาณชาชนัน 5 เมกกะเฮิร์ต เกนการขยายเป็นประมาณ 16 เท่าของสัญญาณอินพุต

6. วงจรคิมมอลูเลต

วงจรมอลูเลตนั้นจะทำการแปลงสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบระดับสัญญาณมาเป็นสัญญาณเสียงคังเคิม โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ 74HC4046 เป็นไอซีเฟสล็อก และเพื่อให้สมพ้องกันกับทางมอลูเลตด้วย ซึ่งเมื่อทำการทดลองแล้วก็พบว่าสามารถทำการคิมมอลูเลตเอาสัญญาณเสียงออกมาได้ ซึ่งเราทำวงจรมอลูเลตความถี่ผ่านไว้ที่ 5 กิโลเฮิร์ต ซึ่งก็ให้เกินกว่าย่านเสียงคนพูดเล็กน้อย เพื่อให้สามารถนำสัญญาณไปใช้ในวงจรมอลูเลตขยายสัญญาณเสียงต่อไป

7. วงจรขยายสัญญาณสัญญาณเสียง

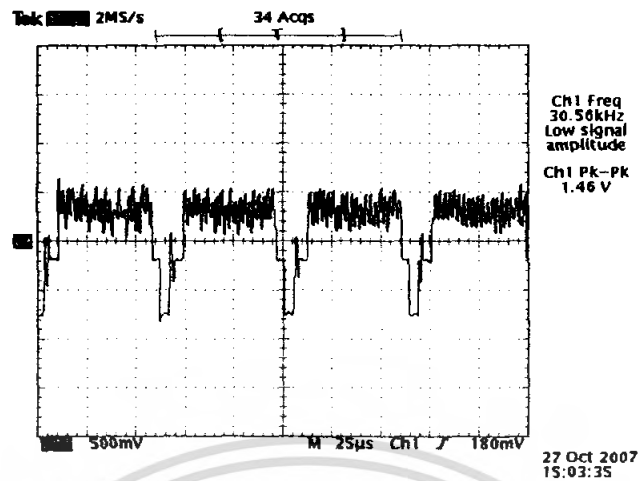
วงจรมอลูเลตออกไอซีจะรับสัญญาณจากวงจรมอลูเลต แล้วนำสัญญาณไปขยายโดยใช้ไอซี LM386 เป็นตัวขยายสัญญาณ ซึ่งมี R1 เป็นตัวควบคุมอัตราการขยาย ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้ถึง 200 เท่า หลังจากนั้นสัญญาณเสียงที่ถูกขยายกำลังแล้วผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิงออกไปยังลำโพง

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการต่อไป

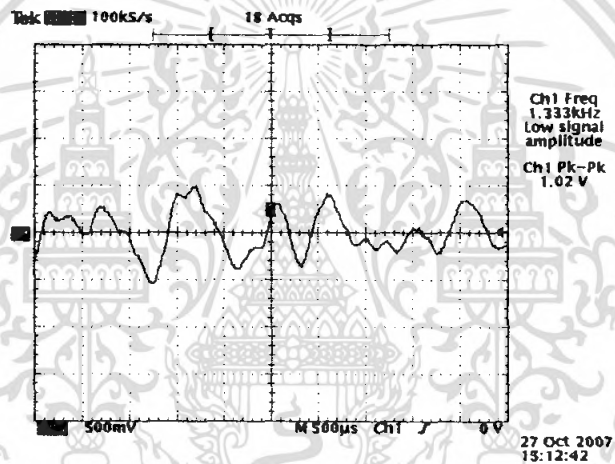
โครงการนี้ทำเพื่อศึกษาการมอลูเลตคิมมอลูเลต การมัลติเพล็กซ์ความถี่ และสามารถใช้งานได้จริง วงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณภาพและเสียงนั้น สามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง

สำหรับผู้ที่ต้องการนำโครงการนี้ไปทำการพัฒนาต่อไปนั้น อาจพัฒนาให้สามารถส่งแบบไร้สายหรือส่งผ่านแสงก็ได้ เพื่อให้เกิดความหลากหลายมากขึ้นไปอีก

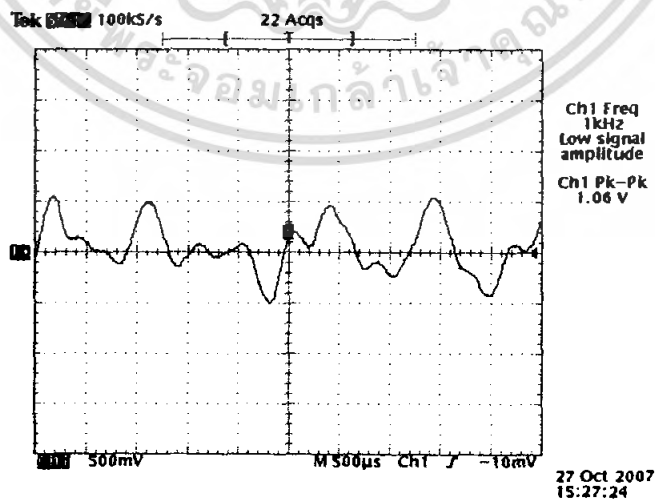
ภาคผนวก ก : ผลการทดลองวัดสัญญาณภาพและเสียงของสายเอวีจากเครื่องเพลสตัน



รูปที่ ก.1 แชนเนลที่ 1 คือ สัญญาณภาพจากสายเอวีสีเหลืองที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสตัน



รูปที่ ก.2 แชนเนลที่ 1 คือ สัญญาณเสียงจากสายเอวีสีแดงที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสตัน



รูปที่ ก.3 แชนเนลที่ 1 คือ สัญญาณเสียงจากสายเอวีสีขาวที่วัดจากเอาต์พุตของเครื่องเพลสตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- Frank R.Dungan. ออปแอมป์และอิเล็กทรอนิกส์. แปลโดย พิสมัย สุภัทรานนท์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2545.
- ชิน ภู่วรรณ. ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2541.
- วรรธน์ ภัทรอมรกุล, โกสินทร์ พัฒานนท์ และคณะ. Easy Electronics เรียนรู้จากการทดลอง ฉบับรวบรวมชุดทดลอง. กรุงเทพมหานคร : สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2549.
- กัมพล ทองเรือง. การใช้งานโปรแกรม PSpice A/D For Windows วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2544.
- National Semiconductor. "LMV Products Qualification Package." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.national.com> สืบค้น สิงหาคม 2550.
- Tharadol Komolmis. "การสื่อสารในระบบอนาล็อก." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.google.com> สืบค้น สิงหาคม 2550.
- นายชนิ ราชดวง. "ทฤษฎีเครื่องรับวิทยุ AM-FM และ FM สเตอริโอโมดูลิเฟอิกซ์." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.google.com> สืบค้น สิงหาคม 2550.
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีราดล โกมลมิศร์. "บทที่ 3 การผสมสัญญาณ." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.google.com> สืบค้น สิงหาคม 2550.
- อาจารย์แหวดดา เตชะทวิวรรณ. "เอกสารประกอบการสอน บส 352 ชุดที่ 5 เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล (Data Communication Technology)." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.google.com> สืบค้น กันยายน 2550.
- Paramate Horkaew. "Multiplexing." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.google.com> สืบค้น กันยายน 2550.
- Telecom Club. "บทที่ 4 Multiplexing" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.kmitl.telecom.ac.th> สืบค้น กันยายน 2550
- ผดุงเด่น รังษี และ อุทัย แสงจันทร์. "ระบบเอฟดีเอ็ม ผ่านสายโทรศัพท์แบบเช่า." ปรินูญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- ฐิติกร แก้วใจรักษ์, สันติ จึงรุ่งฤทธิ์, และสิทธิพล แจ่มสุวรรณ. "การส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง." ปรินูญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- ภาควิชาบรรณารักษศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การค้นคว้าและการเขียนรายงาน. กรุงเทพมหานคร : โครงการเผยแพร่ผลงานวิชาการ คณะอักษรศาสตร์, 2549.
- ฉัฐพล สมบัติบุญโญ, ฉัฐยา อินทร์แก้ว, ฉัฐวีระ มหาวงศ์. "การส่งสัญญาณเสียงโดยใช้แสง." ปรินูญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
chanyanutwongsa@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้