

ปริญญาบัตร

ระบบกระจายเสียงไร้สาย

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM



นาย เกรียงไกร ประพุดติธรรม
นาย พีรเดช ศิริพร
นาย วิจิตร ณรงค์รัตน์



เลขหมู่.....	
เลขทะเบียน.....	1300
วัน เดือน ปี.....	-3 WEI 2538

021068

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ระบบกระจายเสียงไร้สาย

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM

- ชื่อนักศึกษา 1. นายเกรียงไกร ประพฤติธรรม รหัสประจำตัว 36031102
2. นายพีรเดช ศิริพร รหัสประจำตัว 36031127
3. นายวิจิตร ณรงค์รัตน์ รหัสประจำตัว 36031129

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

1. อาจารย์สันติ ต้นตระกูล
2. อาจารย์สมชาย หมั่นสายญาติ
3. อาจารย์โกศล ตราชู

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สันติ ต้นตระกูล	
2. อาจารย์สมชาย หมั่นสายญาติ	
3. อาจารย์โกศล ตราชู	
4. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
5. อาจารย์กิติพงศ์ มะโน	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 20 พฤษภาคม 2538 เวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ก.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ลงนาม.....
(ผศ.ดร.จิตรเมธ เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา
หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาต
วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2538
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบกระจายเสียงไร้สาย

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM

ผู้จัดทำ

นายเกรียงไกร ประพฤติธรรม

นายพีรเดช ศิริพร

นายวิจิตร ณรงค์รัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์สันติ ตันตระกูล)

ลงนาม.....

(อาจารย์สมชาย หมั่นสายญาติ)

ลงนาม.....

(อาจารย์โกศล ทราย)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสติน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบกระจายเสียงไร้สาย

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบกระจายเสียงไร้สาย
2. เพื่อศึกษาออกแบบวงจรการทำงานต่างๆ ของระบบกระจายเสียงไร้สาย
3. เพื่อสร้างเครื่องรับ เครื่องส่ง ในระบบกระจายเสียงไร้สาย
4. เพื่อสามารถนำระบบกระจายเสียงไร้สายไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบกระจายเสียงไร้สาย
2. สามารถออกแบบระบบกระจายเสียงไร้สายได้
3. สามารถสร้างเครื่องรับ เครื่องส่งของระบบกระจายเสียงไร้สายได้
4. สามารถใช้งานเครื่องกระจายเสียงไร้สายได้จริง

ระบบกระจายเสียงไร้สาย

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM

นาย เกรียงไกร ประพุดิธรรม

นาย พีรเดช ศิริพร

นาย วิจิตร ณรงค์รัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สันติ ดันตระกูล

อาจารย์ สมชาย หมั่นสายญาติ

อาจารย์ โกศล ตราชู

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงโครงการเกี่ยวกับระบบการกระจายเสียงแบบควบคุมพื้นที่ ซึ่งใช้งานโดยอาศัยคลื่นวิทยุ การทำงานของระบบประกอบด้วย เครื่องส่งและเครื่องรับ

ทางด้านเครื่องส่ง สัญญาณเสียงจะส่งในระบบสเตอริโอโดยอาศัยการผสมสัญญาณเสียงไปกับความถี่หลัก ซึ่งอาศัยหลักการของระบบสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ส่วนสัญญาณควบคุมพื้นที่นั้นจะเข้ารหัสแบบดีทีเอ็มเอ็ฟ (DTMF) และส่งไปโดยการผสมสัญญาณไปกับความถี่คลื่นพาห่อย่อยซึ่งอาศัยหลักการของการส่งวิทยุในระบบ เอสซีเอ (SCA)

ทางด้านเครื่องรับ สัญญาณเสียงสามารถปรับเป็นสัญญาณสเตอริโอหรือสัญญาณ โมโนได้ ส่วนสัญญาณควบคุมพื้นที่นั้นจะถูกถอดรหัสสัญญาณดีทีเอ็มเอ็ฟ ออกมาเพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องรับโดยจะควบคุมพื้นที่ให้ทำงาน เปิด-ปิด ได้จากเครื่องส่ง ซึ่งจำนวนพื้นที่ทั้งหมดกำหนดได้จากรหัสดีทีเอ็มเอ็ฟ ทางเครื่องส่ง

WIRELESS BROADCASTING SYSTEM

MR. KRIENKRAI PRAPRUTTHAM

MR. PEERADACH SIRIPORN

MR. WIJIT NARONGRAT

ADVISOR

MR. SUNTI TUNTRAKOOL

MR. SOMCHAI MEUNSAIYAT

MR. KOSON TRACHU

1994

ABSTRACT

This thesis concerns the use of wireless broadcasting system to control the used area by using radio frequency wave. The system consists of transmitter and receiver.

The transmitter transmits in stereo system by using the modulation of the sound to the carrier frequency which is the principle of the stereo multiplex system. The control signal enters by DTMF code and it is send by modulation of DTMF signal to the sub-carrier frequency which is the principle of SCA transmission.

The receiver can be adapted to be stereo signal and mono signal. The control signal change from DTMF code to control the receiver, and making it possible to control the on-off switch in each area, all of the area can be controlled by DTMF code of the transmitter.

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำ คำปรึกษาตลอดจน วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ และสถานที่ต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานจาก คณาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน; ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมไปถึงเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ร่วมมือ ร่วมใจ และให้กำลังใจ และขอขอบคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิดและสนับสนุนทางด้านกำลังใจและกำลังทรัพย์ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ กล่าวมาข้างต้นด้วยความจริงใจอย่างสุดซึ้ง



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการส่งวิทยุกระจายเสียง เอ็มเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์	3
2.1.1 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ	3
2.1.2 การส่งกระจายเสียงระบบสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์	4
2.2 เครื่องส่งเอ็มเอฟเอ็ม (FM Transmitter)	15
2.3 เครื่องรับเอ็มเอฟเอ็ม (FM Receiver)	17
2.4 ระบบ เอสซีเอ (SCA System)	18
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของระบบเอสซีเอ	18
2.4.2 การส่งและรับสัญญาณระบบเอสซีเอ	21
2.4.3 การพิจารณาเกี่ยวกับการรบกวน	23
2.5 เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop)	25
2.5.1 การทำงานของวงจรเฟสล็อกลูป	26
2.5.2 การนำวงจรเฟสล็อกลูปไปใช้งาน	28
2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของวงจรเฟสล็อกลูป	31
2.6 DTMF (Dual Tone Multi Frequency)	32
บทที่ 3 การออกแบบ	35
3.1 หลักการออกแบบ	35
3.2 หลักการทำงานของวงจร	35

สารบัญญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบสเตอริโอของเครื่องขยายเสียง	4
รูปที่ 2.2 หลักการส่งกระจายเสียงโดยมัลติเพล็กซ์สัญญาณซ้ายและขวาส่งไปกับคลื่นพาห์อันเดียวกัน	5
รูปที่ 2.3 สเปคตรัมของสัญญาณที่ส่งตามหลักการของรูปที่ 2.2	6
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์	8
รูปที่ 2.5 การรวมสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	12
รูปที่ 2.6 ขอบเขตความถี่ของสัญญาณมัลติเพล็กซ์	14
รูปที่ 2.7 การถอดสัญญาณมัลติเพล็กซ์ด้วยวงจรรีมอดูเลเตอร์	14
รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งอย่างง่าย	15
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งกระจายเสียงเอฟเอ็มแบบคูณความถี่ (Multiply)	16
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับเอฟเอ็ม	17
รูปที่ 2.11 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบเอฟเอ็ม โมโน	19
รูปที่ 2.12 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบเอฟเอ็ม โมโน ร่วมกับเอสซีเอ	19
รูปที่ 2.13 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบเอฟเอ็มสเตอริโอ	20
รูปที่ 2.14 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบเอฟเอ็มสเตอริโอ ร่วมกับเอสซีเอ	20
รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมโดยสังเขปของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบสเตอริโอ โฟนิก บวกกับ เอสซีเอ	22
รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมโดยสังเขปของเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มสเตอริโอ ที่สามารถเลือกรับสัญญาณเอสซีเอได้ด้วย	23
รูปที่ 2.17 ความกว้างของแถบความถี่ของคลื่นสัญญาณ สถานีวิทยุจุฬา (A) ขสทบ.(B) และ ทอ.(C) ที่ส่งระบบเอสซีเอด้วยทั้ง 3 สถานี	24
รูปที่ 2.18 วงจรเฟสล็อกพื้นฐาน	26
รูปที่ 2.19 การสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อก	28
รูปที่ 2.20 วงจรเลื่อนความถี่	29
รูปที่ 2.21 การตรวจจับสัญญาณเอเอ็มแบบโคฮีเรนต์โดยใช้วงจรเฟสล็อก	31
รูปที่ 2.22 การเข้ารหัสของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการกระจายเสียงไร้สาย	35
รูปที่ 3.2	บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของเครื่องส่ง	36
รูปที่ 3.3	บล็อกไดอะแกรมของระบบเสียงสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์	37
รูปที่ 3.4	วงจรมายาเมตริกซ์สเตอริโอ (Stereo Matrix Amplifier)	38
รูปที่ 3.5	วงจรมอดูเลชัน	40
รูปที่ 3.6	วงจรมอดูเลชันความถี่ไฟลิตต โทน และคลื่นพาห่อย่อย	41
รูปที่ 3.7	วงจรมอดูเลชันรวม	42
รูปที่ 3.8	วงจรมอดูเลชันของวงจรมายาเมตริกซ์ สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์	43
รูปที่ 3.9	บล็อกไดอะแกรมของ DTMF	44
รูปที่ 3.10	วงจรมอดูเลชันสัญญาณ DTMF	45
รูปที่ 3.11	บล็อกไดอะแกรมของ ไอซี เบอร์ XR-2206	46
รูปที่ 3.12	วงจรมอดูเลชันพาห่อย่อย	47
รูปที่ 3.13	วงจรมอดูเลชัน	48
รูปที่ 3.14	วงจรมอดูเลชันผลการการทำงานของเครื่องส่ง	49
รูปที่ 3.15	วงจรมอดูเลชันเครื่องรับ	50
รูปที่ 3.16	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ	52
รูปที่ 3.17	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอ	53
รูปที่ 3.18	วงจรมอดูเลชันสัญญาณเสียงสเตอริโอ	54
รูปที่ 3.19	บล็อกไดอะแกรมการถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่	55
รูปที่ 3.20	บล็อกไดอะแกรมการถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่	56
รูปที่ 3.21	วงจรมอดูเลชันสัญญาณเอสซีเอ	56
รูปที่ 3.22	บล็อกไดอะแกรมการดีมอดูเลชันสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ	57
รูปที่ 3.23	การถอดรหัสสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ	58
รูปที่ 3.24	วงจรมอดูเลชันสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์	59
รูปที่ 3.25	วงจรมอดูเลชัน	60
รูปที่ 3.26	วงจรมอดูเลชันสัญญาณควบคุมการทำงาน	61
รูปที่ 3.27	วงจรมอดูเลชันเสียง (Tone Control)	62
รูปที่ 3.28	วงจรมอดูเลชันเสียง (Power Amplifier)	63
รูปที่ 4.1	สัญญาณ DTMF ก่อนเข้ามอดูเลชัน	69
รูปที่ 4.2	สัญญาณความถี่คลื่นพาห่อย่อย 67 kHz	69

VIII

รูปที่ 4.3	สัญญาณความถี่คลื่นพาห้ย่อย 67 kHz ขณะถูกมอดูเลต	70
รูปที่ 4.4	สัญญาณความถี่คลื่นพาห้ย่อย 67 kHz รวมกับความถี่ Pilot Tone 19 kHz ขณะที่ไม่มีสัญญาณเสียงเข้ามามอดูเลต	70
รูปที่ 4.5	สัญญาณเสียงที่รวมกับความถี่คลื่นพาห้ย่อย 67 kHz กับความถี่ Pilot Tone 19 kHz ก่อนเข้ามอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห้หลัก	71
รูปที่ 4.6	สัญญาณความถี่คลื่นพาห้หลัก 87 MHz	71
รูปที่ 4.7	สัญญาณรวมที่รับได้ทางเครื่องรับ	72
รูปที่ 4.8	สัญญาณความถี่คลื่นพาห้ย่อย 67 kHz หลังจากผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ ทางภาครับ	72
รูปที่ 4.9	สัญญาณความถี่ DTMF หลังจากถูก SCA Demodulation แล้ว	73



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปิด	66
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองปิด	66
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดความแรงสัญญาณของเครื่องส่ง	68



บทที่ 1

บทนำ

ระบบการกระจายเสียงภายในอาคาร หน่วยงาน หรือ สถาบันต่าง ๆ เป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการกระจายเสียงประชาสัมพันธ์ข่าวสารต่าง ๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้การกระจายเสียงตามสาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะเกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การเดินสายสัญญาณยากลำบากในบางพื้นที่ และทำให้เกิดความไม่สวยงามแก่ตัวอาคารและยังเป็นการสิ้นเปลืองสายนำสัญญาณและเกิดการสูญเสียภายในสายลำโพงซึ่งทำให้คุณภาพเสียงต่ำลงอีกด้วย

ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะสร้างระบบกระจายเสียงไร้สาย (Wireless Broadcasting System) ขึ้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น และนอกจากนี้ยังสามารถที่จะควบคุมพื้นที่ในการกระจายเสียงได้ตามต้องการว่าจะให้จุดใดสามารถที่จะรับสัญญาณที่ส่งมา โดยการควบคุมจากเครื่องส่ง ซึ่งจะทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือสามารถสื่อสารไปยังกลุ่มเป้าหมายตามที่ต้องการได้ และสัญญาณเสียงที่รับได้นั้นเป็นสัญญาณเสียงที่มีคุณภาพ

นอกจากนี้ทางด้านเครื่องรับสามารถที่จะนำไปใช้งานร่วมกับแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่น ๆ ได้อีก เช่น วิทยุ โทรทัศน์ หรือไมโครโฟน เป็นต้น

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็นบทย่อย ๆ 5 บท เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ซึ่งในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 1 “บทนำ” ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของปฏิญานิพนธ์อย่างกว้าง ๆ เพื่อให้ผู้ศึกษาได้ทราบถึงลักษณะทั่ว ๆ ไป และ ส่วนประกอบของเนื้อหาสาระสำคัญภายในปฏิญานิพนธ์นี้

บทที่ 2 “ทฤษฎีและหลักการ” ในบทนี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาทางทฤษฎี และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ในการทำปฏิญานิพนธ์ ตลอดจนผลงานวิจัยที่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับปฏิญานิพนธ์นี้

บทที่ 3 “การออกแบบ” ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงหลักการทำงานของวงจรต่าง ๆ ในแต่ละส่วนที่นำมาใช้ประกอบในการออกแบบจัดทำปฏิญานิพนธ์นี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปวงจรที่ออกแบบในแต่ละส่วน และอธิบายถึงการทำงานของวงจรอย่างละเอียด

บทที่ 4 “การทดลองและผลการทดลอง” ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองนำวงจรในแต่ละส่วนของปฏิญานิพนธ์นี้ที่ได้จัดทำขึ้นมาเรียบร้อยแล้วมาทำการวัดผลในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียดเพื่อที่จะนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองไปตรวจสอบอ้างอิงกับทางทฤษฎีที่ได้ออกแบบไว้ว่ามีค่าที่ตรงกันหรือไม่

บทที่ 5 “บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา” ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลโดยสรุปของการทำปฏิญยานิพนธ์นี้ เพื่อเปรียบเทียบผลของการทำงานของปฏิญยานิพนธ์ที่ทำได้ดีกับผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำปฏิญยานิพนธ์ที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ อีกทั้งยังได้กล่าวถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทำปฏิญยานิพนธ์ รวมไปถึงแนวทางในการที่จะพัฒนาปฏิญยานิพนธ์นี้ต่อไป

ระบบกระจายเสียงไร้สายที่ได้จัดทำขึ้นในปฏิญยานิพนธ์นี้ เป็นระบบที่มีความสามารถและมีประสิทธิภาพสูงระบบหนึ่ง เพราะสามารถที่จะควบคุมการทำงานของเครื่องรับได้จากเครื่องส่งจึงทำให้การประชาสัมพันธ์ข่าวสารต่าง ๆ ตรงเป้าหมายตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้การสื่อสารสัมฤทธิ์ผลมากที่สุด



บทที่ 2

ทฤษฎี และ หลักการ

2.1 หลักการส่งวิทยุกระจายเสียง เอ็มเฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

ความหมายของระบบสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

สเตอริโอ (Stereo) หมายถึง ระบบที่สามารถแยกทิศทางของเสียงได้ เพื่อเป็นการจำลองมิติให้คล้ายกับการฟังจากของจริง เมื่อเราฟังดนตรีจากระบบสเตอริโอ 2 ทิศทาง (2 Channel) จะสามารถแยกตำแหน่งของเครื่องดนตรีได้ว่าเสียงของเครื่องดนตรีชิ้นนั้น ๆ มาจากทิศทางใด ซ้าย ขวาหรือกึ่งกลาง แต่สำหรับระบบสเตอริโอ 4 ทิศทาง (4 Channel) แล้ว เราจะได้มิติของเสียงเพิ่มขึ้นสามารถแยกตำแหน่งของทิศทางได้รอบตัว ทำให้เพิ่มรสชาติในการฟังได้มากยิ่งขึ้น

มัลติเพล็กซ์ (Multiplex) หมายถึง การส่งสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณรวมกันมา เป็นการผสมสัญญาณต่าง ๆ ลงบนคลื่นพาห်อันเดียวกัน แล้วส่งไป พอถึงปลายทางด้านเครื่องรับก็ใช้วิธีแยกสัญญาณต่าง ๆ ออกมาตามต้องการ เปรียบเทียบได้กับเราเอาสิ่งของหลาย ๆ อย่างใส่หีบห่อเดียวกันแล้วส่งไปยังปลายทาง เมื่อถึงจุดหมายเราก็เอาหีบห่อแยกเอาสิ่งของเหล่านั้นออกมาใช้งานตามความประสงค์

การส่งกระจายเสียงระบบสเตอริโอจึงหมายถึง การนำสัญญาณซีกซ้าย (L) และสัญญาณซีกขวา (R) มัลติเพล็กซ์รวม ๆ กันไปกับคลื่นพาห်ส่งกระจายคลื่นไปยังเครื่องรับ ทางเครื่องรับจะมีขบวนการแยกเอาสัญญาณซีกซ้าย และ สัญญาณซีกขวา ออกมาจากคลื่นพาห်อีกครั้ง

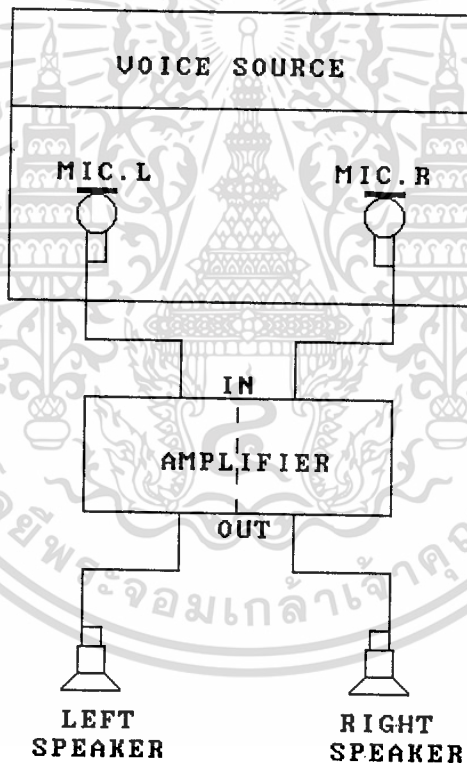
2.1.1 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

- ไทม์ มัลติเพล็กซ์ (Time Multiplex) เป็นการส่งสัญญาณต่าง ๆ รวมกันมาตามลำดับของเวลา เช่น การส่งสัญญาณภาพของโทรทัศน์ขาวดำธรรมดา เมื่อส่งสัญญาณไปหนึ่งเส้นก็สอดด้วยสัญญาณอื่น ๆ แล้วเริ่มต้นใหม่

- ฟรีควอนซ์ มัลติเพล็กซ์ (Frequency Multiplex) เป็นการส่งสัญญาณต่าง ๆ รวมกันมาในเวลาเดียวกัน ไม่เรียงตามลำดับเวลา ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี ก็ใช้การมัลติเพล็กซ์แบบนี้รวมด้วย เพราะสัญญาณสีเกาะมาพร้อมกับสัญญาณ ขาว-ดำ ในเวลาเดียวกัน ในการส่งกระจายเสียงระบบ เอ็มเฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ก็ใช้การมัลติเพล็กซ์แบบนี้ด้วยเช่นกัน

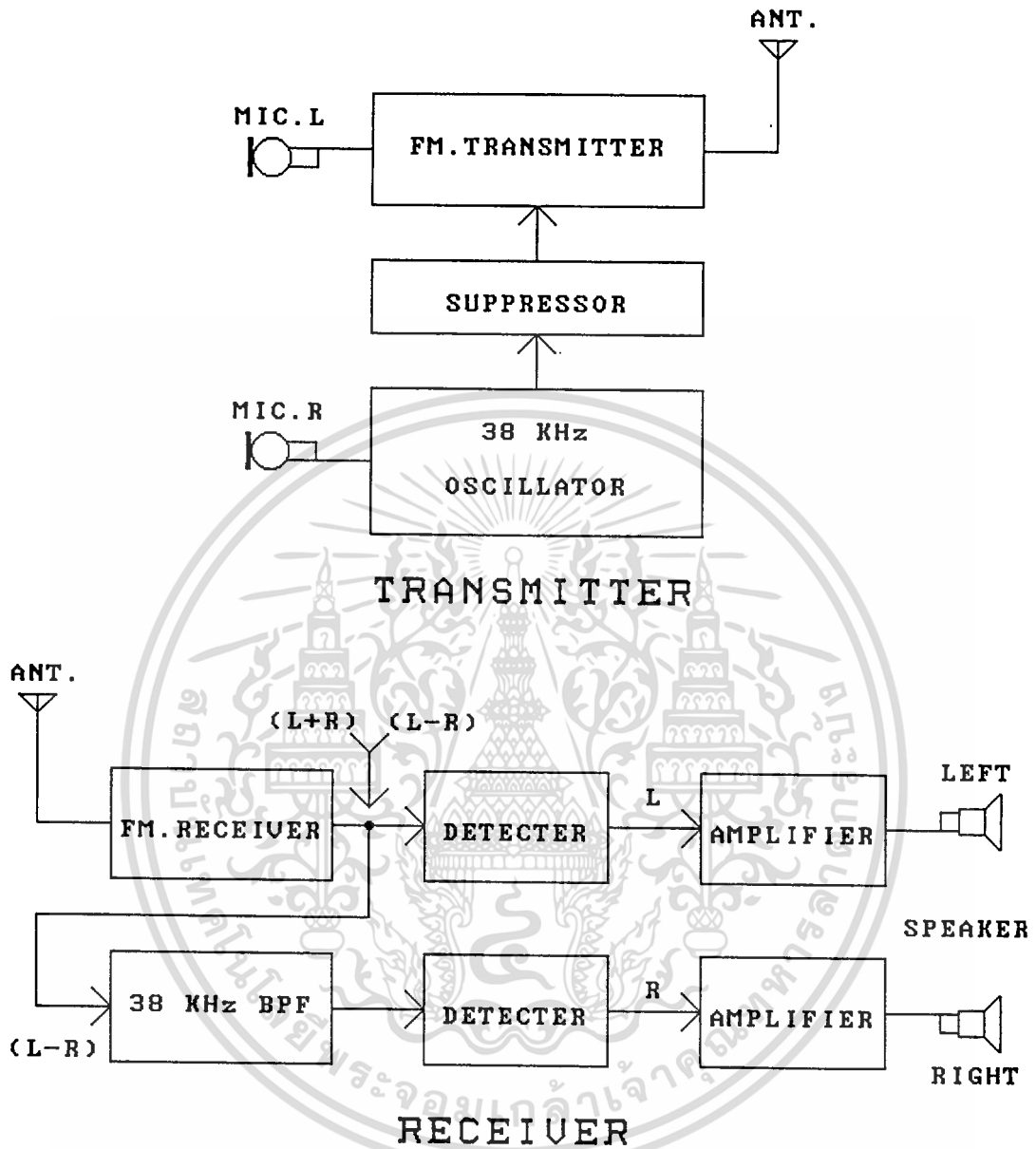
2.1.2 การส่งกระจายเสียงระบบสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

ก่อนอื่นขอทบทวนเกี่ยวกับระบบสเตอริโอของเครื่องขยายเสียงที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ในรูปที่ 2.1 แสดงระบบสเตอริโอของเครื่องขยายเสียง จะเห็นว่ามิดั้วรับสัญญาณเสียงอยู่ 2 ชุด คือ ไมโครโฟนรับสัญญาณเสียงทางซีกซ้าย และไมโครโฟนรับสัญญาณเสียงทางซีกขวา สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนทั้งสองจะถูกส่งไปยังเครื่องขยายเสียงซึ่งแยกเป็น ซ้ายและขวา ด้วยเช่นกัน และในที่สุดสัญญาณจากไมโครโฟนซีกซ้ายจะถูกขยายออกสู่ลำโพงทั้งสองซึ่งเป็นจุดที่สามารถรับฟังเสียงที่มีความเป็นสเตอริโอมากที่สุด หรือเป็นตำแหน่งที่ผู้ฟังสามารถแยกทิศทางของเสียงได้ดีที่สุด

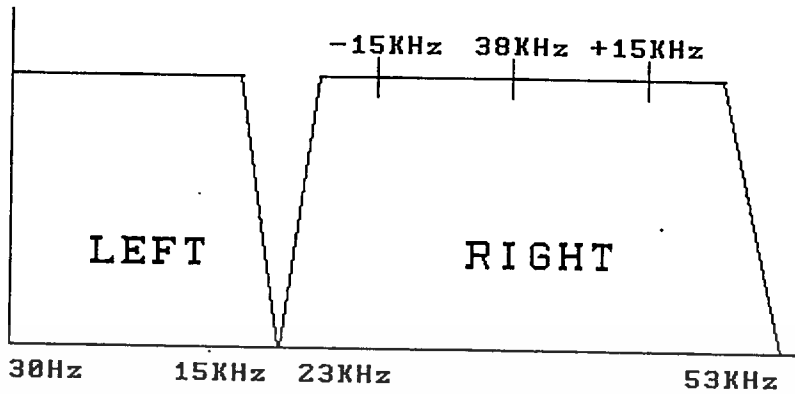


รูปที่ 2.1 ระบบสเตอริโอของเครื่องขยายเสียง

รูปที่ 2.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการส่งกระจายเสียงระบบสเตอริโอที่มีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณเสียงซ้ายและขวาเข้าด้วยกันแล้วส่งไปกับคลื่นพาห์อันเดียวกัน



รูปที่ 2.2 หลักการส่งกระจายเสียงโดยมัลติเพล็กซ์สัญญาณซ้ายและขวาส่งไปกับคลื่นพาห์อันเดียวกัน



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่ส่งตามหลักการของรูปที่ 2.2

ด้านเครื่องส่ง ไมโครโฟน (L) จะรับสัญญาณเสียงซิกซายแล้วส่งเข้าไปมอดูเลตกับคลื่นพาห้ในเครื่องส่งเอ็ฟเอ็มโดยตรง ส่วนไมโครโฟน (R) จะรับสัญญาณเสียงซิกขวาแล้วส่งเข้าไปมอดูเลตกับความถี่ 38 kHz นั้นเราใช้วิธีการมอดูเลตแบบเอเอ็ม จากนั้นก็ทำการซัพเพรสคลื่นพาห้ย่อยออก (ผลจากการซัพเพรสคลื่นพาห้ย่อยออกจะทำให้มีเฉพาะสัญญาณเสียงที่มอดูเลตกับคลื่นพาห้ย่อยแล้วเท่านั้น ที่ปรากฏออกไปเป็นสัญญาณเข้าที่พุดได้ ซึ่งในการมอดูเลตสัญญาณโดยทั่วไปจะมีสัญญาณคลื่นพาห้ปรากฏเป็นสัญญาณออกทางเข้าที่พุดตลอดเวลาไม่ว่าจะมีสัญญาณเสียงเข้ามามอดูเลตหรือไม่ก็ตาม)

สัญญาณที่ถูกมอดูเลตและกำจัดคลื่นพาห้ย่อยออกแล้วนี้จะถูกส่งเข้าไปมอดูเลตแบบเอ็ฟเอ็มกับคลื่นพาห้ที่ใช้ในการส่งออกอากาศอีกครั้งหนึ่ง (มอดูเลตรวม ๆ กันไปกับสัญญาณซิกซาย (L) ที่เข้ามามอดูเลตแบบเอ็ฟเอ็มโดยตรง ดังได้อธิบายก่อนหน้า)

วิธีการนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณซิกซายและซิกขวาเข้าด้วยกันแล้วส่งไปกับคลื่นพาห้ที่ใช้ในการส่งออกอากาศเพียงความถี่เดียว โดยที่สัญญาณเสียงซิกซายและซิกขวาจะไม่กวนกันเลย

สเปกตรัมของสัญญาณมัลติเพล็กซ์ เรากำหนดให้สัญญาณเสียงที่เข้ามาทางไมโครโฟนซิกซายและขวา มีความถี่ตั้งแต่ 30 Hz ถึง 15 kHz ดังนั้น ไชด์แบนด์ของสัญญาณมัลติเพล็กซ์จึงแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกเริ่มจาก 30 Hz ถึง 15 kHz เป็นไชด์แบนด์ที่เกิดจากสัญญาณเสียงซิกซาย ส่วนอีกช่วงเป็นสัญญาณเสียงซิกขวา ซึ่งมอดูเลตกับคลื่นพาห้ย่อย 38 kHz ทำให้ความถี่ด้านต่ำ 23 kHz ($38 \text{ kHz} - 15 \text{ kHz}$) และความถี่ด้านสูง 53 kHz ($38 \text{ kHz} + 15 \text{ kHz}$) (ดูรูปที่ 2.4)

ด้านเครื่องรับ ภาครับจะรับสัญญาณเอฟเอ็ม (FM) เข้ามา แล้วส่งให้วงจรดีเท็คเตอร์ย่านกว้าง (Wideband Dectecter) ทำหน้าที่คืนรูปออกมาเป็นสัญญาณซีกซ้ายและขวา สัญญาณเสียงนี้จะถูกส่งไปขยายเพื่อออกสู่ลำโพงซ้าย แต่เนื่องจากส่วนที่เป็นสัญญาณขวามีความถี่อยู่ในช่วง 23 kHz ถึง 53 kHz เป็นความถี่เหนือเสียงที่มนุษย์ไม่ได้ยิน (ความถี่อยู่ในย่านโซนิก หรือ ซุปเปอร์โซนิก) ฉะนั้นผู้ฟังจึงไม่ได้ยินสัญญาณเสียงซีกขวาทางลำโพงซ้าย

สัญญาณซีกซ้ายและขวา (L และ R) ที่ได้จากวงจรดีเท็คเตอร์ย่านกว้าง ส่วนหนึ่งจะแยกไปเข้าวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) 38 kHz ที่วงจรนี้ จะทำหน้าที่กรองความถี่ให้ผ่านเฉพาะความถี่ของสัญญาณเสียงซีกขวา (23 kHz ถึง 53 kHz) เพื่อส่งไปยังวงจรดีเท็คเตอร์ดีเท็คซ้ำอีกครั้งให้คืนรูปออกมาเป็นสัญญาณเสียงซีกขวา ซึ่งมีความถี่ในช่วง 30 Hz ถึง 15 kHz ส่งไปเข้าวงจรขยายเสียงออกสู่ลำโพงขวาต่อไป

วิธีการตามบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 2.2 นี้ ทำให้เราสามารถส่งกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ได้ ด้านการรับก็สามารถแยกสัญญาณซ้ายและขวา ได้ดีโดยไม่กวนกัน

ระบบการส่งกระจายเสียงแบบเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ที่เหมาะสม และได้รับการคัดเลือกให้ใช้เป็นมาตรฐานในการส่งกระจายเสียงที่ใช้กันในทุกวันนี้ มีสาระสำคัญที่ให้ผลดีในการใช้งานดังนี้

1. ส่งกระจายเสียงด้วยเครื่องส่งเครื่องเดียว และใช้คลื่นพาห้ความถี่เดียวในการส่งออกอากาศโดยมีแบนด์วิดท์ที่เข้ากันได้กับระบบเอฟเอ็มธรรมดา

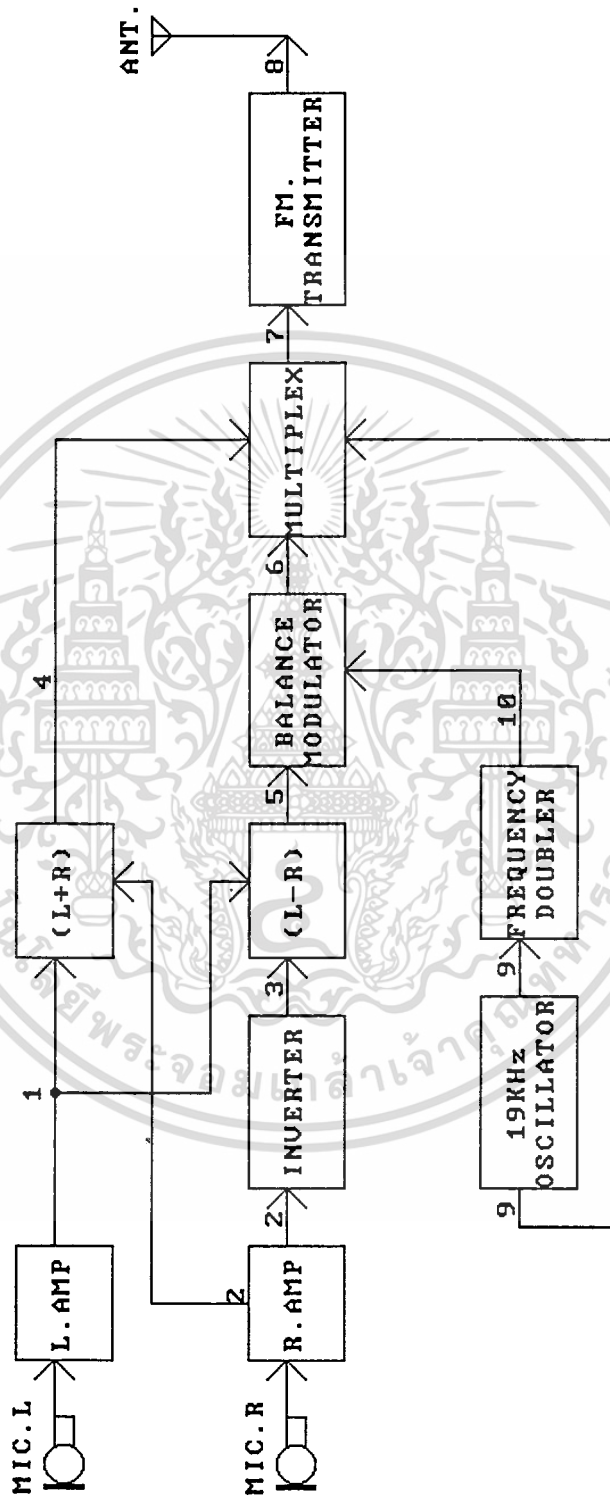
2. เป็นระบบเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ที่สามารถให้เครื่องรับ เอฟเอ็มแบบธรรมดาสามารถรับฟังสัญญาณได้ด้วย โดยเสียงที่รับฟังได้จะออกมาในรูปแบบโมโนโฟนิก (ไม่มีการแยกทิศทางของเสียง) และไม่มีการรบกวนกันระหว่างสัญญาณ คุณภาพของเสียงที่ได้จะต้องสมบูรณ์เหมือนการรับฟังจากสถานีเอฟเอ็มธรรมดา โดยไม่ต้องมีการตัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติมที่เครื่องรับแต่ประการใด

3. เครื่องรับวิทยุ เอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์นั้น นอกจากจะรับคลื่นจากสถานี เอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ซึ่งทำให้สามารถแยกสัญญาณซ้ายและขวาได้แล้ว จะต้องสามารถรับฟังจากสถานีวิทยุเอฟเอ็มธรรมดาได้ด้วย โดยเสียงที่รับฟังได้จะออกมาในรูปแบบโมโนโซนิก (ไม่มีการแยกทิศทางของเสียง)

4. เครื่องรับวิทยุ เอฟเอ็มธรรมดา ที่รับสัญญาณจากสถานีเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ถ้าต้องการรับฟังเสียงที่เป็นระบบสเตอริโอสามารถทำได้โดยการแก้ไขตัดแปลงหรือเพิ่มเติม

อุปกรณ์บางอย่างเข้าไปในวงจรเครื่องรับ เอฟเอ็มธรรมดา นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งเอ็ฟเอ็ม สเตอริโอโมดลิเพ็ล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

เริ่มต้นจากไมโครโฟนซ้าย (MIC.L) และไมโครโฟนขวา (MIC.R) จะรับสัญญาณเสียงเข้ามาขยายที่วงจรขยายเสียง แล้วต่างก็ส่งสัญญาณซีกซ้าย (L) และซีกขวา (R) ไปรวมกันเป็นสัญญาณ (L+R) [ที่ภาค (L+R)] สัญญาณ (L+R) ที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังภาคมัลติเพล็กซ์ เพื่อเตรียมมัลติเพล็กซ์ร่วมกับสัญญาณอื่น ๆ

สัญญาณส่วนหนึ่งจากภาคขยายสัญญาณเสียงซีกขวา (R) จะถูกส่งไปที่ภาคอินเวอร์เตอร์ (inverter) ด้วยเพื่อกลับเฟสสัญญาณ (R) ไปจากเดิมอีก 180 องศา กลายเป็นสัญญาณ (-R) ส่งไปพร้อมกับสัญญาณที่มาจากภาคขยายเสียง (L) ที่ภาค (L-R) สัญญาณที่รวมกันนี้จะกลายเป็นสัญญาณ (L-R) ซึ่งจะถูส่งต่อไปยังภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์ (Balance Modulator) เพื่อมอดูเลตกับคลื่นพาห้ย่อย 38 kHz ที่เข้ามาอีกทาง

คลื่นพาห้ย่อย (Sub Carrier) 38 kHz นั้นได้มาจากความถี่คลื่นชาซีน 19 kHz จากภาคออสซิลเลเตอร์ ซึ่งถูกส่งเข้ามาที่วงจรมวลถี่ขึ้นอีกสองเท่า ($19 \text{ kHz} \times 2 = 38 \text{ kHz}$) ที่ภาคทวีคูณความถี่สองเท่า (Frequency Doubler)

ความถี่ 38 kHz ที่ได้นี้จะถูกใช้เป็คลื่นพาห้ย่อยเพื่อส่งไปมอดูเลตกับสัญญาณเสียง (L-R) ที่ภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์

ภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์นอกจากจะทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณเสียง (L-R) เข้าทางส่วนสูงของคลื่นพาห้ย่อยแล้ว (มอดูเลตแบบ AM) มันยังทำหน้าที่กําจัดคลื่นพาห้ย่อยไม่ให้ไปปรากฏออกไปเป็นสัญญาณเอาท์พุทเพียงสัญญาณเดียวอีกด้วย และสัญญาณนี้จะถูกส่งไปเป็นสัญญาณเอาท์พุทของภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์)

เราเรียกสัญญาณที่มอดูเลตรวมกันระหว่างสัญญาณคลื่นพาห้ย่อย 38 kHz และสัญญาณเสียง (L-R) นี้ว่า สัญญาณคลื่นพาห้ย่อย (L-R) (L-R Subcarrier) และสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังภาคมัลติเพล็กซ์เพื่อมัลติเพล็กซ์รวมกันไปกับสัญญาณอื่นๆ

นอกจากนี้แล้วภาคออสซิลเลเตอร์ยังแยกส่งความถี่ 19 kHz สำหรับเป็นสัญญาณไฟล้อดโทน ไปยังภาคมัลติเพล็กซ์เพื่อมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 19 kHz รวมไปกับสัญญาณอื่น ๆ อีกด้วย

จะเห็นว่าที่ภาคมัลติเพล็กซ์จะเป็นที่รวมของสัญญาณต่าง ๆ คือ

1. สัญญาณเสียง (L+R) จากภาค L+R
2. สัญญาณคลื่นพาห้ย่อย (L-R) จากภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์
3. สัญญาณไฟล้อด โทน 19 kHz จากภาคออสซิลเลเตอร์

สัญญาณทั้ง 3 นี้สามารถมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันได้ โดยไม่มีการแทรกแซงกันได้เพราะแต่

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรวมมัลติเพล็กซ์จะถูกส่งไปมอดูเลตกับคลื่นพาห์ที่ใช้ในการส่งออกอากาศในระบบเอ็ฟเอ็มในภาคส่งนี้ก็เหมือนกับเครื่องส่งเอ็ฟเอ็มธรรมดาทั่วไปที่ใช้ส่งในย่านความถี่กระจายเสียง 88 MHz ถึง 108 MHz ที่มีการส่งสัญญาณเสียงต่าง ๆ ถึง 3 สัญญาณ ออกไปยังเครื่องรับก็เพื่อจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

1. สัญญาณ (L+R) สัญญาณนี้เป็นผลรวมของสัญญาณซีกซ้ายและซีกขวาเป็นสัญญาณเสียงแบบโมโน ที่ต้องส่งสัญญาณนี้ก็เพื่อใช้สำหรับการรับของเครื่องรับเอ็ฟเอ็มธรรมดาให้รับฟังจากสถานีที่ส่งในระบบสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ได้ เครื่องรับเอ็ฟเอ็มธรรมดาก็จะรับเอาเฉพาะสัญญาณนี้ไปเป็นสัญญาณเสียงออกลำโพง เสียงที่ได้ครบทั้งสัญญาณซีกซ้ายและขวารวมกัน ไม่มีการแยกทิศทางของเสียง และคุณภาพเสียงจะเหมือนกับการรับฟังจากสถานีวิทยุธรรมดาทั่วไป

2. สัญญาณคลื่นพาห์ย่อย (L-R) ที่ต้องเอาสัญญาณ (L-R) ไปมอดูเลตกับคลื่นพาห์ย่อย 38 kHz ก่อน ก็เพราะต้องการส่งสัญญาณ (L-R) รวมกันไปด้วย กับสัญญาณ (L+R) โดยไม่ต้องการให้สัญญาณทั้งสองมีการแทรกแซงกัน วิธีการนี้เป็นกลวิธีในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณเข้าด้วยกัน เปรียบเสมือนกับเราต้องการส่งน้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดซึ่งต่างก็เป็นน้ำมันด้วยกันแต่ต่างชนิดกันไปยังจุดหมายปลายทาง โดยไม่จำเป็นต้องใส่น้ำมันทั้งสองรวมกันไปในถังเดียวกัน

ถ้าเราทำโดยการเอาน้ำมันเบนซินใส่ลงไปในถังก่อน (ก็เหมือนกับเราเอาสัญญาณ (L+R) มอดูเลตกับคลื่นพาห์หลัก ที่ใช้ในการส่งออกอากาศ) จากนั้นจึงหาขวดที่ขนาดเล็กกว่าถังมาบรรจุ น้ำมันก๊าดและปิดฝาขวดให้แน่น (ทำนองเดียวกับที่เราเอาสัญญาณ (L-R) มอดูเลตกับคลื่นพาห์ย่อย) แล้วเอาขวดน้ำมันก๊าดใส่ลงในถังน้ำมันเบนซินอีกที ด้วยวิธีนี้ทำให้เราสามารถเอาน้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดใส่รวมไปในถังเดียวกันได้โดยน้ำมันทั้งสองชนิดไม่ผสมปนกัน (เช่นเดียวกับสัญญาณ (L+R) และสัญญาณ (L-R) ซัพแคเรียร์จะไม่มีการแทรกแซงกัน) เมื่อส่งไปถึงปลายทางเพียงเรายกขวดน้ำมันก๊าดขึ้นก็สามารถแยกน้ำมันทั้งสองชนิดออกจากกันได้โดยง่าย

เราสามารถเอาสัญญาณเสียง (L-R) และ (L+R) ที่ส่งไปมาแปลงสภาพให้แยกเป็นสัญญาณซีกซ้ายและขวา (L และ R) ปรากฏทางด้านเครื่องรับได้ โดยการนำสัญญาณทั้งสองมาบวกหรือลบกัน ซึ่งแสดงด้วยพีชคณิตดังนี้

เมื่อนำสัญญาณ (L+R) และ (L-R) มาบวกกัน

$$(L+R)+(L-R) = 2L$$

เพราะฉะนั้นจะได้สัญญาณเสียงซีกซ้าย = 2L

เมื่อนำสัญญาณ (L+R) และ (L-R) มาลบกัน

$$(L+R)-(L-R) = 2R$$

เพราะฉะนั้นจะได้สัญญาณเสียงซีกขวา = 2R

3. สัญญาณไฟลิตท โทน 19 kHz เนื่องจากสัญญาณเสียง (L-R) ที่ส่งมายังเครื่องรับเป็นสัญญาณเสียงที่มอดูเลตมากับคลื่นพาห้อย่อย 38 kHz ฉะนั้น ในการนำมาเสริมหรือหักล้างกับสัญญาณ (L+R) ในวงจรแยกสัญญาณสเตอริโอ (Decoder) เพื่อทำให้เกิดเป็นสัญญาณเสียงซีกซ้ายและขวาขึ้นนั้น จำเป็นต้องมีสัญญาณ 38 kHz ที่มีเฟสสัมพันธ์กัน (Synchronize) กับคลื่นพาห้อย่อยที่มอดูเลตกับสัญญาณ (L+R) เพื่อช่วยให้วงจรดีโค้ดเดอร์ทำงานแยกสัญญาณได้ จึงต้องมีการส่งสัญญาณไฟลิตท โทน 19 kHz เมื่อมาถึงเครื่องรับก็สามารถทำให้เป็นความถี่ 38 kHz ได้โดยง่ายด้วยการใช้วงจรทวีคูณความถี่ขึ้นมาอีกสองเท่า และเนื่องจากความถี่ 19 kHz ซึ่งเป็นสัญญาณไฟลิตท โทน นี้เป็นต้นกำเนิดของสัญญาณคลื่นพาห้อย่อยทางด้านเครื่องส่ง ความถี่ 38 kHz ที่ได้จะมีเฟสที่สัมพันธ์กับสัญญาณคลื่นพาห้อย่อย (L-R) ตลอดเวลา

จากรูปที่ 2.4 หมายเลขต่าง ๆ คือ

หมายเลข 1 เป็นคลื่นความถี่เสียงรูปซายน์ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณซีกซ้าย (L)

หมายเลข 2 เป็นคลื่นความถี่เสียงรูปซายน์ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณซีกขวา (R)

หมายเลข 3 เป็นสัญญาณเสียง (R) ที่ผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์แล้วกลายเป็นสัญญาณ (-R) สัญญาณที่ได้จะเป็นรูปซายน์เหมือนเดิม เพียงแต่จะมีเฟสต่างไปจากสัญญาณ (R) 180 องศา เท่านั้น

หมายเลข 4 เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างสัญญาณ L และสัญญาณ R เป็นสัญญาณ (L+R)

หมายเลข 5 เป็นรูปคลื่นที่เกิดจากการรวมกันระหว่างสัญญาณ (L) และสัญญาณ (-R) มาเป็นสัญญาณ (L-R)

หมายเลข 9 เป็นสัญญาณความถี่ 19 kHz ซึ่งใช้เป็นสัญญาณไฟลิตทโทน

หมายเลข 10 เป็นสัญญาณความถี่ 38 kHz ซึ่งเกิดจากการนำเอาสัญญาณ 19 kHz มาทวีคูณความถี่ให้สูงขึ้นอีกเท่าตัว เพื่อใช้เป็นคลื่นพาห้อย่อยสำหรับมอดูเลตกับสัญญาณ (L-R)

หมายเลข 6 เป็นสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณเสียง (L-R) มอดูเลตเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห้อย่อยแล้วถูกซัพเพรสไปด้วยในตัวกลายเป็นสัญญาณ (L-R) ซัพแคเรียร์

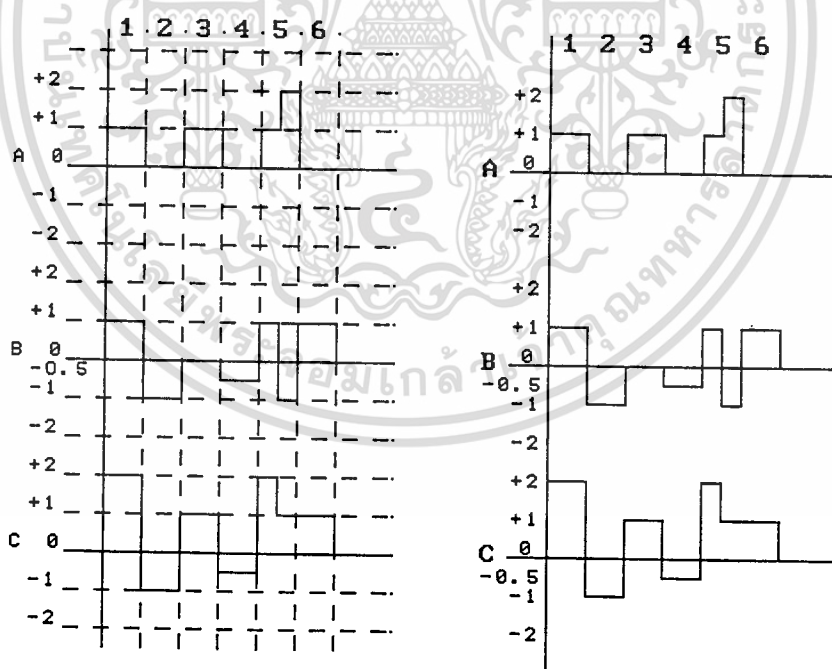
หมายเลข 7 เป็นสัญญาณที่มีลิตีเพิล็กซ์รวมกันระหว่างสัญญาณ (L+R) และ คลื่นพหุห้อย (L-R) (ในที่นี้ไม่ได้แสดงสัญญาณ 19 kHz ไว้)

หมายเลข 10 เป็นสัญญาณคลื่นพหุที่ใช้ในการส่งออกอากาศ เพราะถูกมอดูเลตในระบบ เอ็ฟเอ็ม ความถี่ของสัญญาณจึงเปลี่ยนแปลงไปตามตามสัญญาณมัลติเพิล็กซ์ที่เข้ามามอดูเลตด้วย

สัญญาณที่กำกับด้วย 2L ในหมายเลข 7 เป็นการแสดงให้เห็นผลบวกของสัญญาณ (L+R) และ (L-R) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นสัญญาณเสียงซีกซ้ายหรือ $(L+R)+(L-R) = 2L$

สัญญาณที่กำกับด้วย 2R เป็นการแสดงให้เห็นผลลบของสัญญาณ (L+R) และ (L-R) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นสัญญาณเสียงซีกขวาหรือ $(L+R) - (L-R) = 2R$

การผสมสัญญาณหรือการรวมกันระหว่างสัญญาณทั้งสองที่ทำให้เกิดเป็นสัญญาณรูปร่างใหม่ขึ้น เช่น การรวมกันระหว่างสัญญาณ L กับสัญญาณ R แล้วทำให้เกิดรูปคลื่นสัญญาณ (L+R) ขึ้นนั้นใช้หลักการเสริมหรือหักล้างกันระหว่างสัญญาณ โดยใช้วิธีบวกลบธรรมดา จะเข้าใจได้ง่ายถ้าเราใช้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมาแทนรูปคลื่นไซน์ ดังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การรวมสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ตามรูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างการรวมสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมระหว่างสัญญาณ A และ สัญญาณ B ผลลัพธ์ของการรวมจะทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นสัญญาณ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราแบ่งสัญญาณออกเป็น 6 ลูกคลื่น ตามหมายเลขที่อยู่เหนือสัญญาณ A

ลูกคลื่นที่ 1 สัญญาณ A มีค่า = +1

สัญญาณ B มีค่า = +1

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $1+1 = 2$

ลูกคลื่นที่ 2 สัญญาณ A มีค่า = 0

สัญญาณ B มีค่า = -1

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $0-1 = -1$

ลูกคลื่นที่ 3 สัญญาณ A มีค่า = +1

สัญญาณ B มีค่า = 0

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $1-0 = 1$

ลูกคลื่นที่ 4 สัญญาณ A มีค่า = 0

สัญญาณ B มีค่า = -0.5

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $0-0.5 = -0.5$

ลูกคลื่นที่ 5 แบ่งลูกคลื่นออกเป็น 2 ช่วง

1. ช่วงครึ่งแรก

สัญญาณ A มีค่า = +1

สัญญาณ B มีค่า = +1

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $1+1 = 2$

2. ช่วงครึ่งหลัง

สัญญาณ A มีค่า = +2

สัญญาณ B มีค่า = -1

ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $2-1 = 1$

ลูกคลื่นที่ 6 สัญญาณ A มีค่า = 0

สัญญาณ B มีค่า = +1

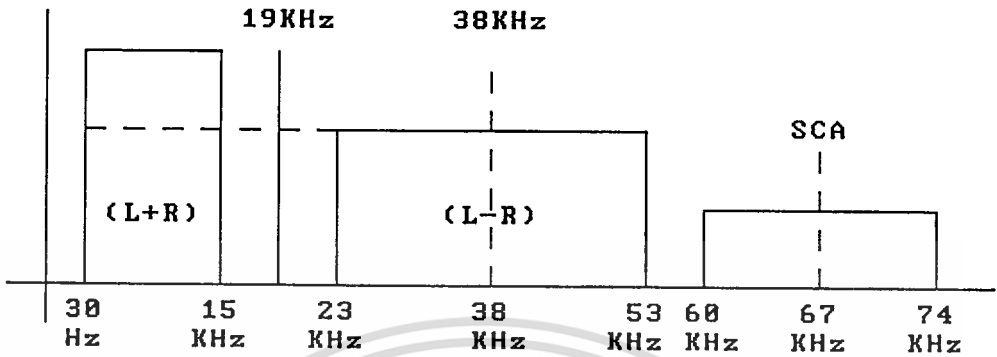
ฉะนั้น ผลลัพธ์ที่สัญญาณ C = $0+1 = 1$

ขอบเขตความถี่ของสัญญาณมัลติเพล็กซ์ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.6 แยกออกเป็นดังนี้

สัญญาณ (L+R) หรือสัญญาณ M = 30 Hz-15 kHz

สัญญาณไพล๊อต โทน = 19 kHz

สัญญาณ (L-R) ซัพแคเรียร์ หรือสัญญาณ S = 23 kHz-53 kHz

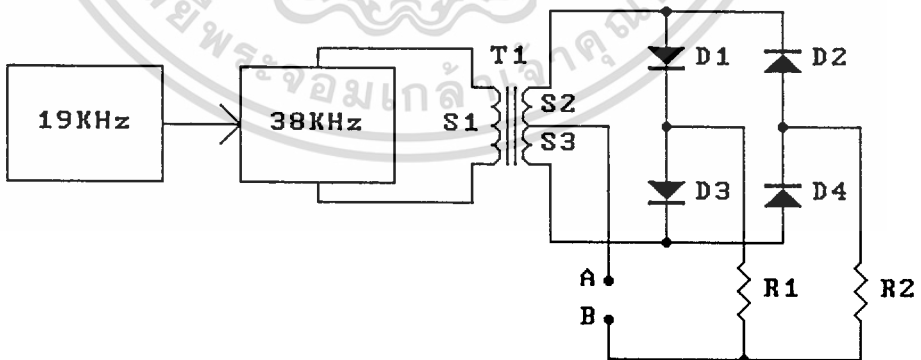


รูปที่ 2.6 ขอบเขตความถี่ของสัญญาณมัลติเพล็กซ์

สัญญาณไฟลोट โทน 19 kHz จะอยู่ระหว่างสัญญาณ (L+R) และ (L-R) ซัพแคเรียร์ โดยมีไซด์แบนด์ด้านสูงและต่ำข้างละ 4 kHz เพื่อกันไม่ให้เกิดการรบกวนกับสัญญาณอื่น

(แถบความถี่ช่วง 60-74 kHz เป็นของระบบ SCA ย่อมาจาก Subsidiary Communication Authorization อ่านว่า ซับซีไดอะรี คอมมูนิเคชั่น ออโตโรเซชัน)

ตัวอย่างวงจรง่าย ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของวงจรีไดคเคอร์ว่าสามารถถอดสัญญาณมัลติเพล็กซ์ให้แยกเป็นสัญญาณซีกซ้ายและขวาได้อย่างไร แสดงอยู่ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การถอดสัญญาณมัลติเพล็กซ์ด้วยวงจรงมอดูเลเตอร์

รูปที่ 2.7 เป็นการนำเอาวงจรงมอดูเลเตอร์มาใช้ในการถอดแยกสัญญาณ L และ R วงจรมัลติเพล็กซ์มีหลักการทำงานโดยมีการแยกเอาสัญญาณไฟลोट 19 kHz ที่มีมัลติเพล็กซ์ร่วมกับเอกสตรานเป็นเอกสตรานที่ส่งวนเวลาหรือการเรียงกันเพื่อที่จะให้มัน เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

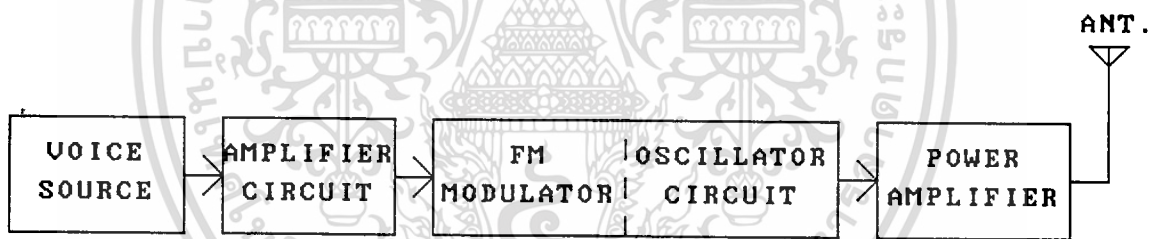


สัญญาณรวมมาเข้าวงจรทวีความถี่สองเท่าเป็นสัญญาณ 38 kHz แล้วส่งเข้ามาที่ S1 ของวงจรส่วนสัญญาณเสียงมัลติเพล็กซ์จะถูกป้อนเข้าทางจุด A และ B

อธิบายสรุป คือ เมื่อมีสัญญาณเข้ามา ไดโอดทั้ง 4 ตัว คือ D1-D4 จะทำหน้าที่เสมือนหนึ่งสวิตช์ไฟฟ้าปิด-เปิด ไปตามความถี่ 38 kHz เป็นผลทำให้เกิดสัญญาณ L และ R ตกคร่อมที่ R1 และ R2

2.2 เครื่องส่งเอฟเอ็ม (FM Transmitter)

จากบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งเอฟเอ็ม ในรูปที่ 2.8 สัญญาณเสียงผ่านการขยายแล้วเข้าสู่วงจรมอดูเลเตอร์ ซึ่งวงจรมอดูเลเตอร์นี้จะทำการแปลงความถี่ของออสซิลเลเตอร์ โดยมีช่วงความถี่เบี่ยงเบนและอัตราการเบี่ยงเบนขึ้นอยู่กับขนาด (Amplitude) และความถี่ของสัญญาณเสียงตามลำดับ คลื่นพาห์ของเอฟเอ็มที่ถูกมอดูเลตแล้วจะถูกขยายโดยภาคขยายกำลังสุดท้ายป้อนสู่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศต่อไป



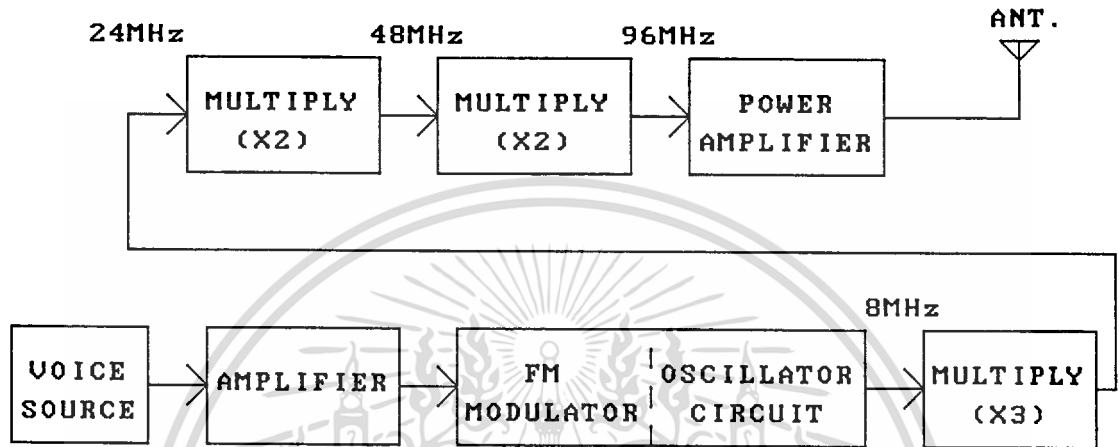
รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งอย่างง่าย

เครื่องส่งที่กล่าวมาข้างต้นอาจเกิดปัญหาเมื่อเราต้องการส่งออกอากาศที่ความถี่สูง ๆ เช่น เครื่องส่งกระจายเสียงเอฟเอ็ม (ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 88 MHz ถึง 108 MHz) ทำงานที่ความถี่สูงทำให้ยากต่อการควบคุมให้ความถี่คงที่ นอกจากนี้การควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่ก็ทำได้ยากขึ้นด้วย วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป

จากรูปที่ 2.9 แสดงการใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ 8 MHz และคูณความถี่ (Multiply) ขึ้นไปเป็น 96 MHz การคูณความถี่นี้ทำได้โดยการใช้วงจรคูณความถี่ หลักการของวงจรคูณความถี่คือ ใช้คุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยาย ซึ่งจะก่อให้เกิดสัญญาณฮาร์โมนิกออกมาเป็นจำนวนมาก จากนั้นวงจรแท็งก์ (Tank) ที่เข้าที่พู่จะจูนเอาเฉพาะความถี่ฮาร์โมนิกที่ต้องการใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปวงจรคูณความถี่มักจะเป็นวงจรชนิดคูณ 2 (Doubler) หรือชนิดคูณ 3

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(tripler) ในที่นี้เราใช้วงจรคูณ 3 จำนวน 1 วงจร และวงจรคูณ 2 จำนวน 2 วงจร นั่นคือ $3 \times 2 \times 2 = 12$ เท่า ฉะนั้นความถี่เข้าที่พูดจะเป็น 8 MHz คูณ 12 เท่า เท่ากับ 96 MHz



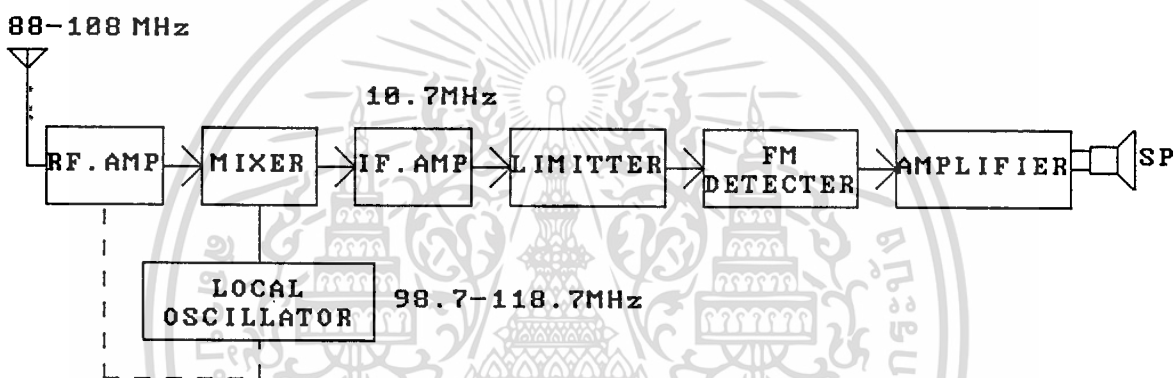
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งกระจายเสียงเอฟเอ็มแบบคูณความถี่ (Multiply)

ช่วงความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มเท่ากับ ± 75 kHz ฉะนั้นเข้าที่พูดจะต้องมีความถี่เบี่ยงเบนไปเท่ากับค่านี้ อย่างไรก็ตามการคูณความถี่จะทำให้ปริมาณความถี่เบี่ยงเบนถูกคูณให้กว้างขึ้นไปด้วย เช่น ออสซิลเลเตอร์ 8 MHz ความถี่ก็จะเบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 7.9 MHz ถึง 8.1 MHz (± 0.1 MHz) เมื่อคูณ 12 เท่า คลื่นพาก็จะมีความถี่กลางเป็น 96 MHz และเบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 94.8 MHz ถึง 97.2 MHz (± 1.2 MHz) ดังนั้นถ้าหากเราต้องการให้ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็น ± 75 kHz ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะต้องเบี่ยงเบนไปเท่ากับ $\pm 75 / 12 = \pm 6.25$ kHz

ข้อดีอีกประการหนึ่งของระบบเอฟเอ็มก็คือ วงจรขยายกำลัง สามารถทำงานในคลาส ซี (Class C) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะขนาดของสัญญาณเอฟเอ็มคงที่ไม่มีผลทำให้ข่าวสารเพี้ยน (มักจะเกิดการขลิบยอดสัญญาณ) ข่าวสารนั้นอยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มเท่านั้น

2.3 เครื่องรับเอฟเอ็ม (FM Receiver)

บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับเอฟเอ็มมีความคล้ายคลึงกับเครื่องรับเอเอ็มมาก จะแตกต่างกันก็เฉพาะขบวนการตรวจจับ (Detect) สัญญาณเท่านั้น สำหรับความถี่ไอเอฟ (Intermediate Frequency : IF) ซึ่งจะใช้ความถี่ 10.7 MHz เพื่อกำจัดสัญญาณเงาและเพื่อให้แบนด์วิดท์ของวงจรรักษาพิกัดที่จะรับสัญญาณเอฟเอ็มได้ ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณเอฟเอ็มที่ส่งมาจากเครื่องส่งมีค่าเท่ากับ ± 75 kHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ของเครื่องรับมีค่า 150 kHz เป็นอย่างน้อย ปกติมักจะเผื่อให้กว้างอีกเล็กน้อยเป็น 180 kHz ถึง 200 kHz



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับเอฟเอ็ม

สมมติว่าเราจูนเครื่องรับไว้ที่ 100 MHz ลูกบิตที่หน้าปัทม์จะเลื่อนไปตรงความถี่ 100 MHz วงจรขยายอาร์เอฟ (RF. Amp) จะจูนไว้ที่ความถี่ 100 MHz ส่วนโลคอล ออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) จะจูนเอาไว้ที่ 110.7 MHz เมื่อผ่านกระบวนการในวงจรมิกเซอร์ (Mixer) ผลต่างของความถี่จะปรากฏที่อินพุทของวงจรขยายไอเอฟ เท่ากับ $110.7 - 100 \text{ MHz} = 10.7 \text{ MHz}$ สัญญาณที่ความถี่ไอเอฟนี้ถูกขยายและจำกัดแบนด์วิดท์ให้กว้างเพียงพอที่จะรับสัญญาณเอฟเอ็ม และแคบเพียงพอที่จะจำกัดสัญญาณที่ไม่ต้องการอื่น ๆ ออกไป

ถ้าคลื่นพาห์ของเอฟเอ็มที่ส่งจากเครื่องส่งมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 50 kHz (ความถี่เอฟเอ็มเท่ากับ 100 MHz โลคอล ออสซิลเลเตอร์และไอเอฟ คงเดิม) สัญญาณไอเอฟจะมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 50 kHz ด้วยจะนั้นสัญญาณที่มอดูเลตมาบนคลื่นพาห์จะยังอยู่ในสัญญาณไอเอฟ โดยไม่ผิดเพี้ยนแม้ว่าความถี่สัญญาณเอฟเอ็มจะลดทอนจาก 100 MHz เหลือ 10.7 MHz

2.4 ระบบ เอสซีเอ (SCA System)

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของระบบ เอสซีเอ (SCA)

เอสซีเอ (SCA) ย่อมาจากคำว่า Subsidiary Communication Authorization (หรือหนังสือบางเล่มระบุว่าย่อมาจากคำว่า Subsidiary Carrier Authorization) หมายถึงการส่งกระจายเสียงในระบบ เอ็ฟเอ็ม ซึ่งสอดคล้องกับข่าวสาร หรือ รายการที่นอกเหนือไปจากรายการปกติอีกหนึ่งหรือหลายรายการควบคู่ไปพร้อมกันกับการส่งกระจายเสียงของระบบ เอ็ฟเอ็ม โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนระหว่างข่าวสาร หรือรายการซึ่งกันและกัน รายการของ เอสซีเอ อาจเป็นสัญญาณเสียงพูด หรือเสียงดนตรี เช่นเดียวกับรายการปกติ หรืออาจเป็นรหัสตัวเลข หรือสัญญาณอื่นใดก็ได้

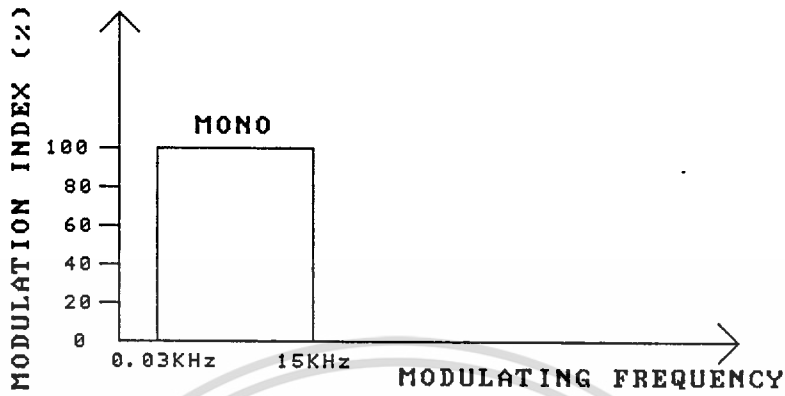
การส่งกระจายเสียงในระบบ เอ็ฟเอ็ม โมโน (FM mono) จะใช้ความกว้างแถบคลื่นประมาณ 180 kHz

การส่งกระจายเสียงในระบบ เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอโมัลติเพล็กซ์ จะใช้ความกว้างแถบคลื่นประมาณ 256 kHz

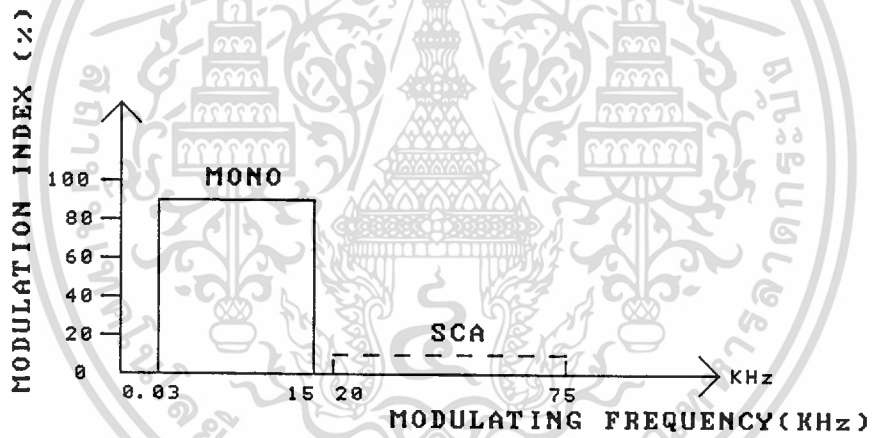
การส่งกระจายเสียงในระบบ เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอโมัลติเพล็กซ์ ร่วมกับ เอสซีเอ (SCA) จะใช้ความกว้างแถบคลื่นประมาณ 300 kHz

สำหรับสัญญาณ เอสซีเอ ที่จะนำไปผสมกับสัญญาณในระบบ เอ็ฟเอ็ม นั้น จะต้องมีแอมพลิจูด (Amplitude) และแบนด์วิดท์ (Bandwidth) อยู่ในขอบเขตจำกัด เพื่อป้องกันมิให้เกิดการรบกวนกับรายการ เอ็ฟเอ็ม ในภาคปกติและสัญญาณของสถานีที่ใช้ความถี่ข้างเคียง การรับฟังรายการของ เอสซีเอ เครื่องรับวิทยุจะต้องมีอุปกรณ์แยกสัญญาณ เอสซีเอ ด้วยจึงสามารถรับฟังรายการเอสซีเอ ได้เช่นเดียวกันกับเครื่องรับวิทยุระบบ เอ็ฟเอ็ม โมโน ที่ไม่สามารถแยกสัญญาณระบบ สเตอริโอโมัลติเพล็กซ์ ได้ เนื่องจากไม่มีวงจรแยกสัญญาณสเตอริโอโมัลติเพล็กซ์

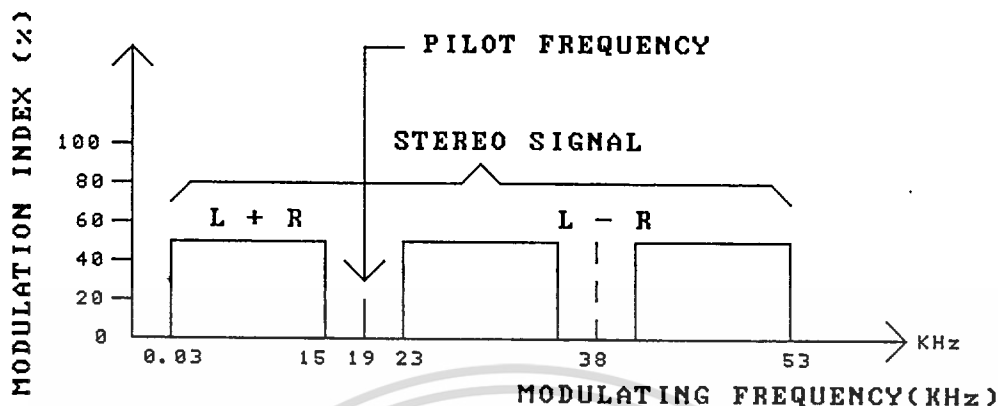
ในรูปที่ 2.11 , 2.12 , 2.13 และ 2.14 แสดงถึงความแตกต่างของแถบความถี่ที่ใช้ส่งกระจายเสียงในระบบ เอ็ฟเอ็ม โมโน ,เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอโมัลติเพล็กซ์ เอ็ฟเอ็ม โมโน บวกกับ เอสซีเอ และ เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอโมัลติ-เพล็กซ์ บวกกับ เอสซีเอ ตามลำดับ



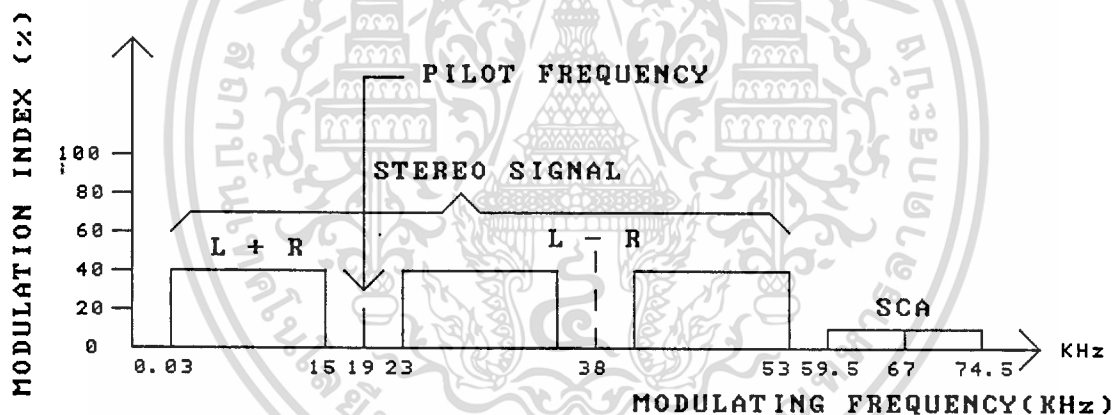
รูปที่ 2.11 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบ เอ็มเอ็ม โมโน



รูปที่ 2.12 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบ เอ็มเอ็ม โมโน ร่วมกับ เอสซีเอ



รูปที่ 2.13 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบ เอฟเอ็ม สเตอริโอ



รูปที่ 2.14 การใช้แถบความถี่ของสัญญาณในระบบ เอฟเอ็ม สเตอริโอ รวมกับ เอสซีเอ

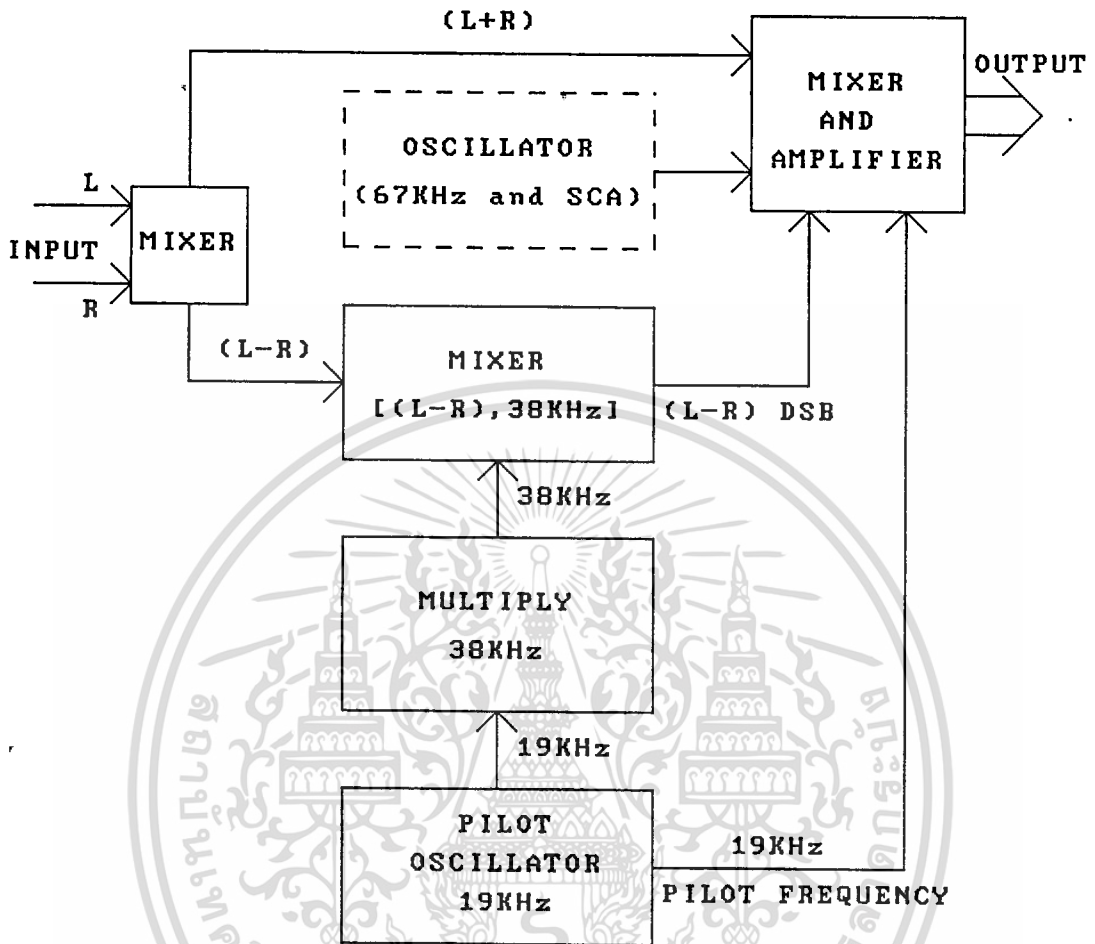
ในรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า ระบบ เอฟเอ็ม โมโน ความถี่ของสัญญาณข่าวสาร (Modulating Frequency) มีความกว้างของแถบคลื่นไม่เกิน 15 kHz รูปที่ 2.13 แสดงระบบ เอฟเอ็ม สเตอริโอ ซึ่งความกว้างของแถบความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 53 kHz โดยมีคลื่นพาห่อยุ่ความถี่ 38 kHz เป็นตัวทำให้เกิดการแยกสัญญาณออกเป็นข้างซ้ายและข้างขวา โดยคลื่นพาห่อยุ่ความถี่ 38 kHz นี้ ได้มาจากความถี่ 19 kHz ซึ่งกำหนดขึ้นภายในเครื่องส่งความถี่ 19 kHz นี้ ยังใช้เป็นความถี่นำ (Pilot Frequency) เพื่อให้เครื่องรับทราบว่าเป็นระบบ สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ และใช้ในการแยกสัญญาณข้างซ้ายและสัญญาณข้างขวาในเครื่องรับอีกเครื่องหนึ่ง

2.4.2 การส่งและรับสัญญาณระบบ เอสซีเอ

การส่งสัญญาณระบบ เอสซีเอ

การส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ เอ็ฟเอ็ม มีอยู่ 2 แบบ คือ โมโนโฟนิก (Mono Phonic) และ สเตอริโอ โฟนิค (Stereo Phonic) สำหรับสัญญาณของ เอสซีเอ นั้น สามารถสอดแทรกได้ทั้ง 2 ระบบ แต่จะแตกต่างกันตรงขนาดความถี่ของคลื่นพาห์ เท่านั้น ในระบบโมโนสามารถสอดแทรกจำนวนคลื่นพาห์ย่อยของเอสซีเอได้มากกว่ากรณีของระบบสเตอริโอ ในระบบ เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอ โดยปกติ จะสอดแทรกคลื่นพาห์ย่อยของ เอสซีเอ ได้เพียงหนึ่งหรือสองช่องสัญญาณเท่านั้น หากเกินกว่านี้ จะทำให้ความกว้างของแถบความถี่ของคลื่นวิทยุเกินไป อาจก่อให้เกิดการรบกวนต่อช่องสัญญาณของสถานีที่ใช้ความถี่วิทยุข้างเคียงได้ เมื่อได้ทำการสอดแทรกสัญญาณ เอสซีเอร่วมไปกับสัญญาณกระจายเสียงหลักนั้นจะต้องจำกัดขนาดและความแรงของสัญญาณกระจายเสียงหลัก และสัญญาณเอสซีเอด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน

ในการส่งกระจายเสียงระบบ เอ็ฟเอ็ม แบบ โมโนโฟนิก ,สเตอริโอโฟนิค ,โมโนโฟนิก บวกกับ เอสซีเอ และ สเตอริโอโฟนิค บวกกับ เอสซีเอ จะใช้อุปกรณ์การส่งที่แตกต่างกัน โดยระบบที่มี เอสซีเอ รวมอยู่ด้วยจะมีอุปกรณ์สร้าง เอสซีเอ (SCA Generator) เพิ่มเข้ามาดังแสดงให้เห็นในบล็อกไดอะ-แกรมของระบบ สเตอริโอโฟนิค บวกกับ เอสซีเอ ดังรูปที่ 2.15 บล็อกที่แสดงด้วยเส้นประแสดงถึงส่วนของอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจากระบบการส่ง เอ็ฟเอ็ม สเตอริโอปกติ รายการที่ส่งโดยระบบเอสซีเอ จะถูกผสมด้วยคลื่นพาห์ย่อยขนาดความถี่ 67 kHz แล้วส่งไปพร้อมกับ สัญญาณสเตอริโอซึ่งเป็นรายการกระจายเสียง เอ็ฟเอ็ม เข้าไปผสมกับคลื่นพาห์หลัก ในเครื่องส่ง แล้วจึงแพร่กระจายคลื่นออกทางสายอากาศ

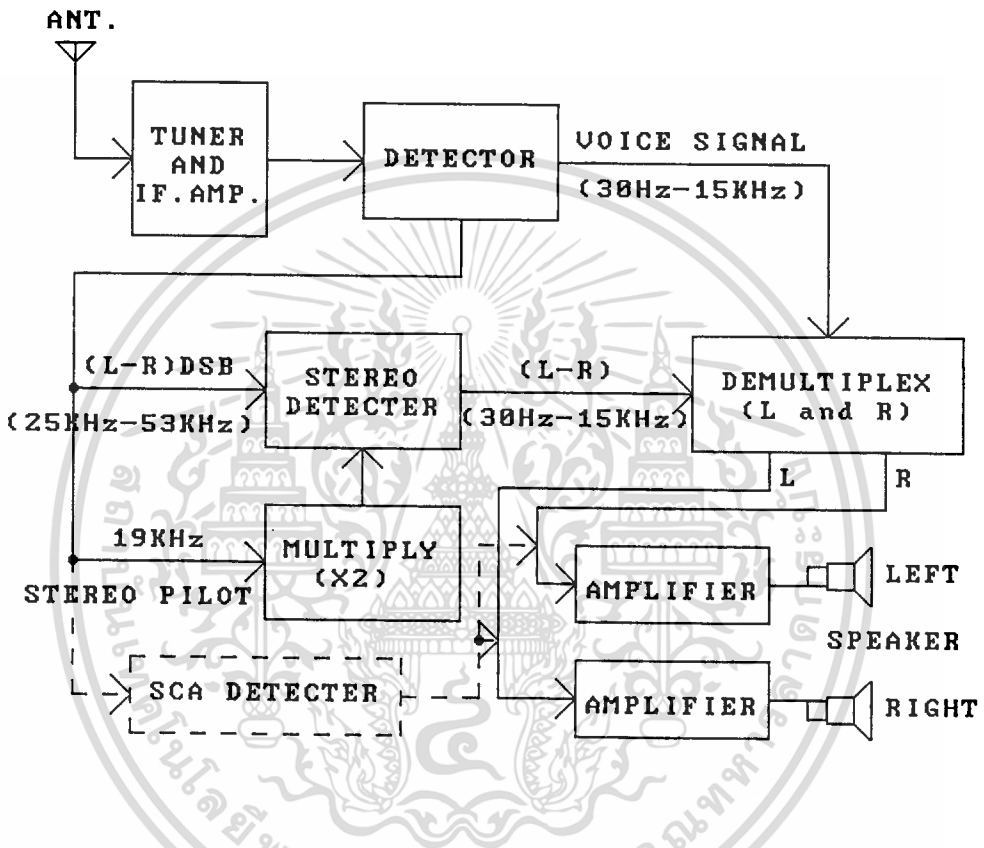


รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมโดยสังเขป ของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบ สเตอริโอโฟนิค บวกกับ เอสซีเอ

การรับสัญญาณระบบเอสซีเอ

กรณีของการรับสัญญาณของสถานีวิทยุกระจายเสียงระบบ เอ็ฟเอ็ม ก็เช่นเดียวกันจะมีการรับอยู่ 2 แบบ คือ โมโนโฟนิค และ สเตอริโอโฟนิค หากเครื่องรับวิทยุต้องการรับฟังสัญญาณเสียงในระบบ เอสซีเอ ให้ได้นั้นจะต้องมีอุปกรณ์แยกสัญญาณเอสซีเอ จึงจะสามารถรับฟังรายการหรือข่าวสารของระบบ เอสซีเอ ได้ ดังแสดงให้เห็นด้วยบล็อกไดอะแกรม ของเครื่องรับวิทยุซึ่งมีอุปกรณ์แยกสัญญาณ เอสซีเอ ในรูปที่ 2.16.

ในเครื่องรับระบบ เอสซีเอ สัญญาณ เอสซีเอ ซึ่งรวมกับสัญญาณสเตอริโอ จะถูกแยกโดยภาคแยกสัญญาณ เอสซีเอ ดังแสดงในบล็อกเส้นประ ภาคนี้จะแยกคลื่นพาห์ (67 kHz) ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข่าวสารในรายการเอสซีเอ แล้วขยายออกที่ลำโพงของเครื่องรับ



รูปที่ 2.16 บล็อกโคอะแกรมโดยสังเขปของเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มสเตอริโอ ที่สามารถเลือกรับสัญญาณเอสซีเอ ได้ด้วย

2.4.3 การพิจารณาเกี่ยวกับการรบกวน

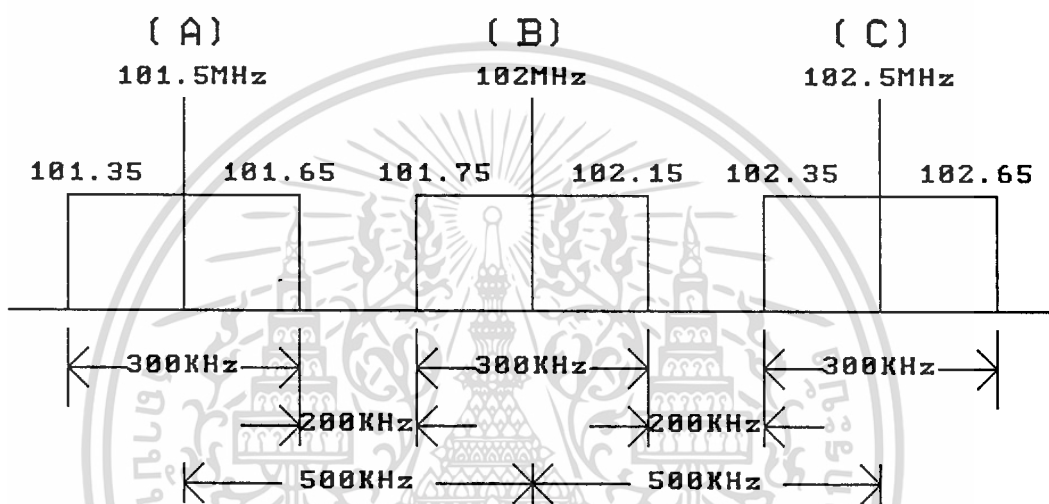
การรบกวนข้างเคียง

สถานีวิทยุกระจายเสียงระบบ เอฟเอ็ม ในกรุงเทพมหานคร (ประมาณ 40 สถานี) ทุกสถานีจะมีความถี่ข้างเคียงห่างกัน 500 kHz สถานี เอฟเอ็ม สเตอริโอ ที่ส่งรายการเอสซีเอด้วย จะมีความกว้างแถบความถี่หรือ แบนด์วิดท์ ประมาณ 300 kHz $(2 \times 75) + (2 \times 74.5) = 299$ kHz และสถานีซึ่งออกอากาศในระบบ เอฟเอ็ม สเตอริโอ ที่ไม่มีการส่งเอสซีเอจะใช้ความกว้างของแถบความถี่ประมาณ 256 kHz $(2 \times 75) + (2 \times 53) = 256$ kHz จากตัวเลขดังกล่าวจะเห็นว่า จะไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างสถานีวิทยุ เอฟเอ็ม ที่ส่งคลื่น เอสซีเอ ด้วยกับสถานีที่อยู่ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอนาคตอาจเป็นไปได้ว่า สถานีวิทยุ เอฟเอ็ม ต่าง ๆ อาจส่งคลื่นเอสซีเอด้วย ดังนั้นการใช้ตัวเลขดังกล่าวข้างต้นประกอบการพิจารณา จะพบว่ายังไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างสถานีที่อยู่ข้างเคียงตัวอย่าง เช่น สถานีวิทยุ ขสททบ., สถานีวิทยุจุฬา และสถานีวิทยุ ทอ. ส่งคลื่นระบบเอสซีเอ อาจใช้การพิจารณาข้างต้น แสดงความกว้างของแถบความถี่ของคลื่นทั้ง 3 สถานีขณะที่ส่งเอสซีเอด้วยว่าจะไม่เกิดการรบกวนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความกว้างของแถบความถี่ของคลื่นสัญญาณ สถานีวิทยุจุฬา (A), ขสททบ (B) และทอ (C) ที่ส่งระบบ เอสซีเอ ด้วยทั้ง 3 สถานี

ในกรณีของสถานีวิทยุในต่างจังหวัด ปัญหาการรบกวนระหว่างสถานีที่ใช้ความถี่ข้างเคียง ยังไม่ต้องพิจารณาถึงเลย เนื่องจากในแผนความถี่วิทยุ เอฟเอ็ม ของประเทศ ได้กำหนดให้สถานีในต่างจังหวัดใช้ความถี่ห่างกันอย่างน้อย 750 kHz

การรบกวนกันเองภายในระบบ

โดยที่การส่งคลื่นระบบ เอสซีเอ หมายถึง การผสมคลื่นอีกชุดหนึ่ง (หรือหลายชุด) เพิ่มจากการผสมคลื่น เอฟเอ็ม ตามปกติในช่องความถี่เดียวกัน คลื่นผสมดังกล่าว จึงมีช่วงความถี่อยู่ไม่ห่างกันนัก ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการรบกวนกันเองในสถานีส่งระหว่างคลื่นความถี่หลักกับคลื่นเอสซีเอ (crosstalk) จึงอาจเกิดขึ้นได้หากไม่มีการควบคุมที่ดีพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่คลื่นความถี่หลักเป็นชนิด เอฟเอ็มสเตอริโอแมลติเพล็กซ์ซึ่งต้องใช้ความกว้างความถี่ถึง 30 Hz - 53 kHz

เอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับเรื่องนี้ ในกรณีของประเทศสหรัฐอเมริกา เอฟซีซี (Federal Communication Commission) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำหนด และควบคุมการใช้วิทยุของหน่วยงานเอกชนของประเทศ ได้กำหนดไว้ว่า ในกรณีของระบบ เอ็มเอ็ม โมโน ความถี่ของคลื่นผสมในระบบเอสซีเอที่ใช้จะอยู่ในระหว่าง 20-75 kHz โดยไม่จำกัดว่าจะใช้ชุดคลื่นผสมเอสซีเอกี่ชุด(กี่รายการ) และผลรวมของความแรงในการผสมคลื่น เอสซีเอ จะต้องสูงไม่เกิน 30% และตัวสัญญาณรบกวนของเอสซีเอที่เข้าไปในช่องความถี่ของสัญญาณ โมโนจะต้องมีความแรงของสัญญาณ โมโนไม่น้อยกว่า 60 dB

กรณีของสถานีวิทยุแบบ เอ็มเอ็ม สเตอริโอ ความถี่คลื่นผสม เอสซีเอ จะจำกัดอยู่ในระหว่าง 53-75 kHz ความแรงในการผสมคลื่น เอสซีเอ จะต้องไม่เกิน 10% (ของผลรวมคลื่นผสมทั้งหมดของสถานี) และสัญญาณทั้งหมดของ เอสซีเอที่เลยเข้าไปในช่องสัญญาณ สเตอริโอ จะต้องมีความแรงต่ำกว่าสัญญาณสเตอริโอไม่น้อยกว่า 60 dB (เช่นเดียวกับกรณีของสถานีโมโน)

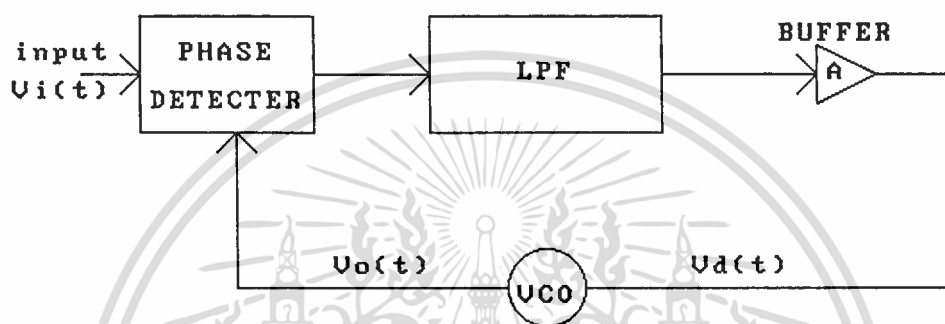
เพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนกันเองดังกล่าว สถานีส่งที่มีการส่งคลื่นระบบ เอสซีเอ ด้วย จะต้องรับผิดชอบในการดำเนินการทางเทคนิค ให้เป็นไปตามที่หน่วยงานรับผิดชอบของแต่ละประเทศได้กำหนดไว้ หรือไม่ให้เกิดการรบกวนดังกล่าวขึ้น โดยอาจถือเอาตามรายงานของคณะกรรมการที่ปรึกษาการวิทยุระหว่างประเทศ (CCIR) หรือปฏิบัติมาก่อนหน้าในประเทศอื่น ในกรณีในประเทศนั้น ๆ ยังไม่มีการกำหนดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ เอสซีเอ ไว้

2.5 เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop)

เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop : PLL) เป็นวิธีการควบคุมความถี่เฉลี่ยของคลื่นพาห้ให้คงที่ในขณะที่เดียวกัน ก็สามารถทำให้ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ของคลื่นพาห้มีค่ากว้างที่ความถี่เบสแบนด์ มอดูเลตติ้ง (Baseband Modulating Frequency) ต่าง ๆ หมายความว่า ระบบเฟสล็อกลูป ประพตติตัวคล้ายกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) โดยความถี่ของสัญญาณมอดูเลตติ้ง (Modulating Signal) ที่สูงกว่า จะไม่ผ่านส่วนควบคุม (Control Loop) ในขณะที่ความถี่ที่ต่ำกว่าจะถือเป็นค่าที่ผิดเพี้ยน (Error) ของความถี่เฉลี่ย และ ลูป (Loop) จะแก้ไขให้สัญญาณเท่ากับความถี่เฉลี่ยจนกระทั่งค่าที่ผิดเพี้ยนหายไป ข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของเฟสล็อกลูป คือ ความสามารถในการสังเคราะห์ (Synthesize) ความถี่ที่ต้องการจากตัวผลิตความถี่อ้างอิง (Reference Oscillator) เพียงชุดเดียว

2.5.1 การทำงานของวงจรเฟสล็อกถู (PLL)

วงจรเฟสล็อกถูประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบเฟส (Phase Comparator) วงจรผ่านต่ำ (Low Pass Filter) วงจรขยาย และวงจรแกว่งควบคุมโดยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VCO) ต่อเป็นวงรอบ อย่างเช่น วงจรป้อนกลับทั่ว ๆ ไป (ดูรูปที่ 2.18)



รูปที่ 2.18 วงจรเฟสล็อกถูพื้นฐาน

วงจรเปรียบเทียบเฟส คือ วงจรที่ให้แรงดันออกมาเป็นปฏิภาคกับผลต่างระหว่างเฟสของสัญญาณที่เข้ามา 2 สัญญาณ วงจรนี้อาจเป็นวงจรคูณถ้สัญญาณเข้า $V_i(t)$ มีความถี่เป็น ω_i และเฟส θ_i

$$V_i(t) = V_i \sin(\omega_i t + \theta_i) \quad (1)$$

และสัญญาณออกจาก VCO มีความถี่ ω_o และเฟส θ_o

$$V_o(t) = V_o \cos(\omega_o t + \theta_o) \quad (2)$$

(สังเกตว่าในการเขียนสมการเช่นนี้ V_i และ V_o มีมุมอ้างอิงต่างกันอยู่ 90 องศา เพราะ V_i เขียนเป็นไซน์ และ V_o เป็นโคไซน์)

ถ้าป้อน V_i และ V_o เข้าที่วงจรเปรียบเทียบเฟส จะได้สัญญาณออก

$$V_e(t) = K_m V_i V_o$$

ถ้าละเลยเทอมความถี่ $2\omega_i$ ซึ่งจะถูกรำจัดโดยวงจรผ่านต่ำ จะได้

$$\dot{V}_e = [(K_m V_i V_o)/2] \sin(\theta_i - \theta_o) \quad (3)$$

ถ้าสมมติว่าผลต่าง $(\theta_i - \theta_o)$ มีค่าน้อย จะได้

$$V_e = K_d (\theta_i - \theta_o) \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K_d คือความไวของวงจรเปรียบเทียบเฟส = $K_m V_i (V_d/2)$ (V/rad)

แรงดัน V_e นี้จะได้รับการขยายและให้เป็นแรงดันควบคุมความถี่ของ VCO ซึ่งในการทำงานปกติ การควบคุมนี้จะมีผลให้สัญญาณ V_o จาก VCO มีความถี่ตรงกับสัญญาณเข้า V_i และถ้าอัตราขยายวงรอบมีค่าสูง V_e จะมีค่าต่ำและเฟส θ_o กับ θ_i จะมีค่าใกล้เคียงกันดังที่สมมติไว้

การทำงานของวงจรเฟสล็อกอุปอาจอธิบายคร่าว ๆ ได้ดังนี้ เมื่อไม่มีสัญญาณเข้า ($V_i = 0$) แรงดัน V_e และ V_d (ที่ใช้ควบคุม VCO) จะเป็นศูนย์ VCO จะกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่หนึ่งเรียกว่า ความถี่อิสระ (Free Running Frequency) f_{∞} เมื่อใส่สัญญาณเข้า V_i ที่ความถี่ f_i ถ้า f_i ต่างจาก f_{∞} มากสัญญาณ V_e ซึ่งมีความถี่เท่ากับ $f_{\infty} - f_i$ จะไม่สามารถผ่านวงจรผ่านต่ำ แรงดัน V_d ที่ใช้ควบคุม VCO จะยังคงเป็นศูนย์ และ VCO ยังคงทำงานที่ความถี่ f_{∞}

ถ้า f_i ไม่ต่างจาก f_{∞} มากนัก นั่นคือ $|f_i - f_{\infty}| < \Delta f_p$ ($2\Delta f_p$) มีชื่อว่าช่วงดึงเข้าหรือ (Pull-in Range) สัญญาณ V_e จะมีลักษณะไม่สมมาตร กล่าวคือมีองค์ประกอบไฟตรงไม่เท่ากับ ศูนย์ (0) V_d จะค่อย ๆ เพิ่มค่าขึ้น และหลังจากช่วงเวลาหนึ่งเรียกว่า เวลาดึง (Pull-in Time) ความถี่ f_o ซึ่งค่อย ๆ แปรไปยังค่า f_i จะต่างจาก f_i เพียง $|f_i - f_o| < \Delta f_c$ ($2\Delta f_c$) มีชื่อว่าช่วงจับ (Capture Range) ถึงตอนนั้น f_o จะแปรเข้าสู่ค่า f_i อย่างรวดเร็วจับปล้นเรียกว่า เกิดการล็อก (Lock) V_d ก็จะเปลี่ยนแปลงจับปล้นเช่นกัน ทั้งนี้สำหรับ VCO โดยทั่วไปความถี่ f_o เป็นปฏิภาคกับการเบี่ยงเบนจากความถี่อิสระ นั่นคือ

$$\omega_o - \omega_{\infty} = K_o V_d$$

โดยที่ K_o เรียกว่าความไวของ VCO มีหน่วยเป็น (rad/sec)/V การได้มา (Acquisition) ซึ่งการล็อกอาจใช้วิธีดังนี้

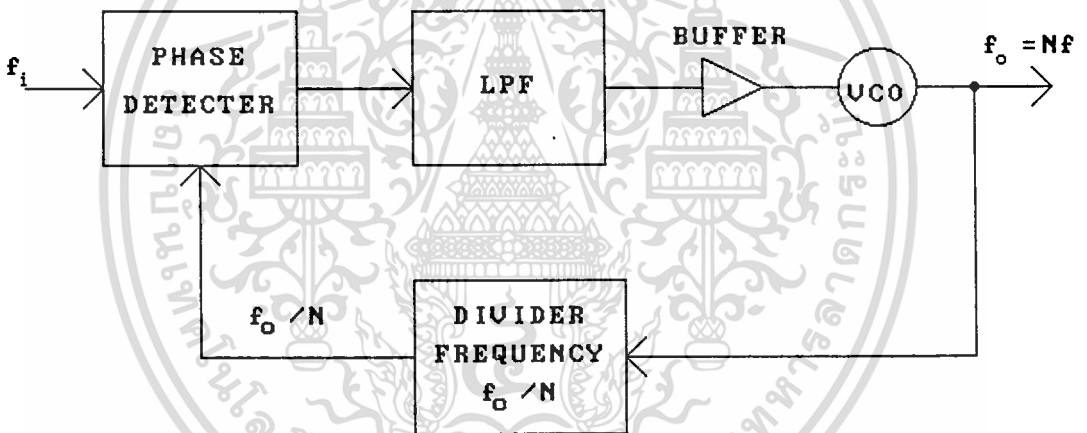
(ก) ณ ขณะหนึ่งความถี่ของ VCO ต่างจากความถี่ขาเข้า f_i น้อยกว่า Δf_c จะเกิดการล็อก โดยจับปล้นเรียกว่า เกิดการจับ (Capture)

(ข) ณ ขณะหนึ่งความถี่ของ VCO ต่างจากความถี่ขาเข้า f_i มากกว่า Δf_c แต่น้อยกว่า Δf_p ความถี่ของ VCO กวาด (Sweep) ไปเพื่อเสาะหาความถี่ของสัญญาณ หรือถ้าเสียงรบกวน (Noise) มีน้อย ก็อาจเพิ่มแถบความถี่ ของวงรอบ ซึ่งจะเพิ่มช่วงการจับและการดึงเข้า หรือเพิ่มเดิมวงจรจำแนกความถี่ (Frequency Discriminator) ซึ่งจะปรับ VCO เข้าสู่ช่วงการจับได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อเกิดการล็อกแล้วถ้าความถี่ของสัญญาณแปรไป ความถี่ของ VCO จะแปรตามไปด้วย เรียกว่า เกิดการตามรอย (Tracking) ความถี่ของ VCO จะสามารถตามรอยความถี่ f_i ได้ราบใดที่ $|f_i - f_{\infty}| < \Delta f_H$ ($2\Delta f_H$) มีชื่อว่าช่วงคงไว้ (Hold-in Range) บางทีก็เรียกว่าช่วงตามรอยหรือช่วงล็อก)

2.5.2 การนำวงจรเฟสล็อกูปไปใช้งาน

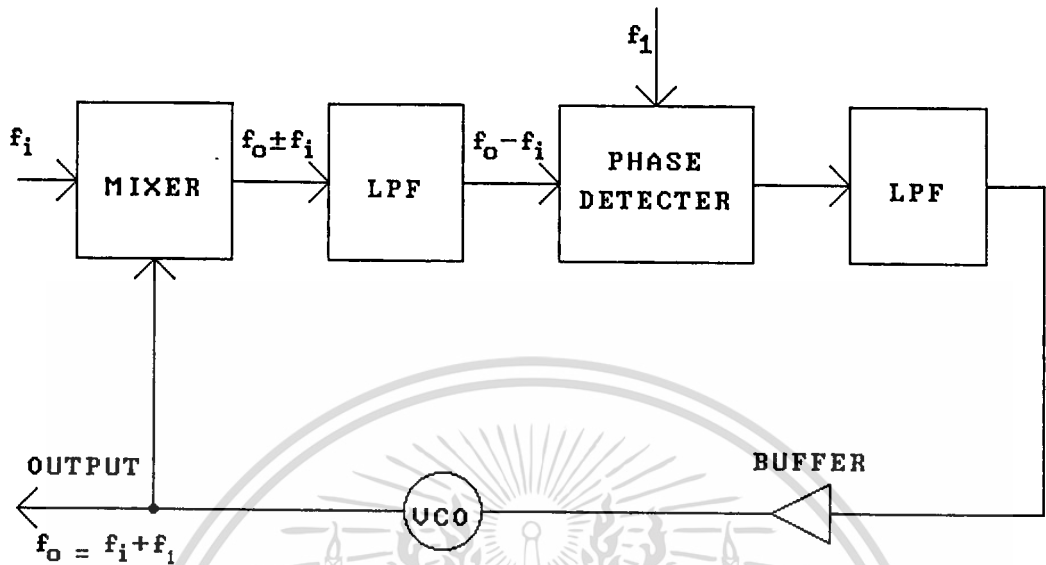
(ก) การสังเคราะห์ความถี่ ตัวอย่างการใช้วงจรเฟสล็อกูป อีกอย่างหนึ่งที่พบบ่อยคือ ใช้สังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) วงจรนี้จะให้สัญญาณออกมีความถี่ซึ่งเลือกได้เป็นค่า ๆ ไป (Discrete) เช่น เลือกได้ระหว่าง 2.0 MHz ถึง 3.0 MHz เป็นขั้นๆ (Steps) ขั้นละ 0.1 MHz เป็นต้น หลักการของวงจรก็คือ การคูณความถี่มาตรฐานด้วยเลขจำนวนเต็ม N ที่เลือกค่าได้ เช่น คูณความถี่มาตรฐาน 0.1 MHz ด้วยเลขจำนวนเต็ม N ที่เลือกค่าได้ระหว่าง 20 ถึง 30 วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกูป แสดงอยู่ในรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าการแทรกวงจรหารความถี่เข้าในวงรอบ จะเป็นการล็อกความถี่ f_0/N เข้ากับความถี่มาตรฐาน f_i ความถี่ของ VCO จะเท่ากับ $f_o = Nf_i$ ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.19 วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกูป

ในการทำงานคล้ายคลึงกัน ถ้าสัญญาณออกของ VCO มีฮาร์โมนิกอยู่ด้วยมาก เราอาจปรับความถี่มาตรฐานขาเข้า f_i ให้ตรงกับฮาร์โมนิกที่ m ของสัญญาณจาก VCO นั่นคือ $f_i = mf_o$ สภาพการล็อกที่ฮาร์โมนิกเช่นนี้จะทำให้ได้ความถี่หลักมูลของ VCO เท่ากับ $f_o = f_i/m$ วงจรเฟสล็อกูปทำหน้าที่เป็นวงจรหารความถี่

ถ้าต้องการเลื่อนความถี่จากค่ามาตรฐานค่าหนึ่งไปเล็กน้อย เช่น จากค่า f_i เป็น $f_i + f_1$ การใช้เทคนิคการผสม (Mixing) จะไม่ได้ผลนักเพราะถ้า f_i มีค่าเล็ก การกรองเอาแต่ความถี่ $f_i + f_1$ ไปได้โดยตัดความถี่ $f_i - f_1$ ออกไปจะทำได้ยาก จึงควรใช้วงจรเฟสล็อกูป ดังในรูปที่ 2.20 ซึ่งจะทำให้ไม่มีปัญหาในด้านการกรอง



รูปที่ 2.20 วงจรเลื่อนความถี่

วงจรเฟสล็อกแบบนี้นำสัญญาณออกจาก VCO มาผสมกับสัญญาณเข้า แล้วกรองเอาเฉพาะความถี่ผลต่าง $f_o - f_i$ ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับความถี่ f_1

เมื่อเกิดการล็อกจะได้ $f_o - f_i = f_1$ นั่นคือ $f_o = f_i + f_1$ ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่มาตรฐานเลื่อนไป f_1

(๗) การเข้าจังหวะ (Synchronization) ระบบเฟสล็อกอาจใช้ประโยชน์ในการเพิ่มเสถียรภาพความถี่ของวงจรแวงได้ เช่น ถ้ามีวงจรแวงกำลังสูง แต่เสถียรภาพความถี่ไม่ดีและมีวงจรแวงกำลังต่ำ ๆ แต่เสถียรภาพดี ก็ให้ใช้วงจรแรกเป็น VCO และวงจรที่สองใช้สำหรับให้สัญญาณเข้าของเฟสล็อก เมื่อเกิดการล็อกแรงดันออกจาก VCO ก็จะมีระดับสูงและมีเสถียรภาพความถี่ดี หนึ่งวงจรแวงกำลังสูงแต่เสถียรภาพความถี่ไม่ดี อาจทำงานที่ความถี่สูงมาก ๆ เช่น ในย่านไมโครเวฟ ส่วนวงจรแวงที่มีเสถียรภาพดีอาจทำงานที่ความถี่ต่ำกว่า เช่น เป็นวงจรแวงที่ให้ผลึก การเข้าจังหวะอาจทำได้โดยการล็อกความถี่ของ VCO เข้ากับฮาร์โมนิกสูง ๆ ของสัญญาณเข้า การล็อกอาจเกิดขึ้นได้โดยใช้สัญญาณเข้าเพียงชนิดเดียว จึงไม่มีปัญหาในการล็อกที่ฮาร์โมนิกสูง

หลักการเดียวกันนี้อาจใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ ในที่นี้ VCO ก็คือ มอเตอร์ซึ่งอาจใช้สวิทช์ไว้ใกล้ ๆ แกน เมื่อมอเตอร์หมุนหนึ่งรอบ สวิทช์ก็จะเปิด-ปิดครั้งหนึ่งหรือหลายครั้ง ทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าออกมามีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความเร็วของมอเตอร์ สัญญาณนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับความถี่มาตรฐานซึ่งอาจได้จากการหารความถี่ของวงจรแกว่งที่ใช้ผลิตสัญญาณที่ได้ออกมาเมื่อผ่านการกรองและการขยายก็จะนำไปใช้ขับนำมอเตอร์ และควบคุมความเร็วของมัน เมื่อเกิดการล่อท ความเร็วของมอเตอร์จะมีเสถียรภาพเท่ากับความถี่มาตรฐาน

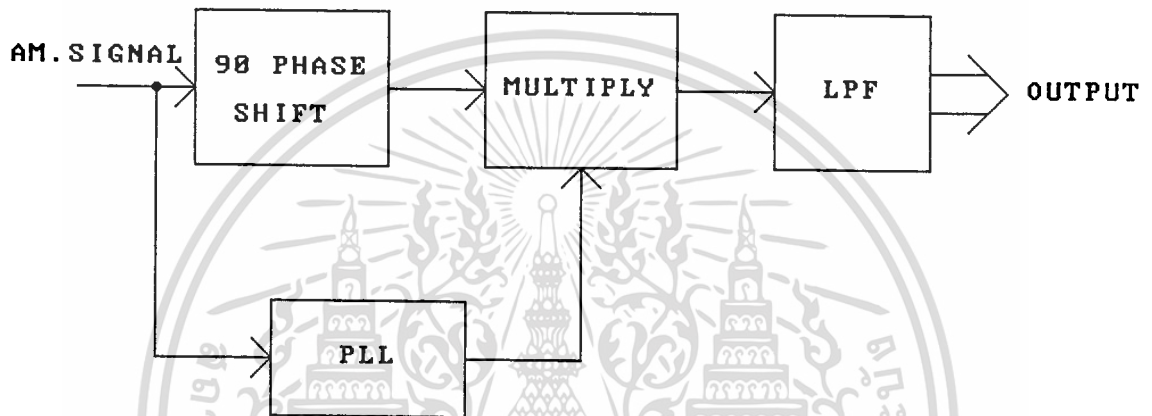
ในบางกรณีสัญญาณเข้าจังหวะมีลักษณะไม่ครบสมบูรณ์คือขาดเป็นห้วง ๆ ที่ต้องการคือสร้างเสริมขึ้นใหม่ได้ครบรูป เช่น ให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่บริบูรณ์ ในกรณีนี้อาจใช้วงจรเฟสล็อกูปได้ โดยที่ VCO จะให้สัญญาณสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เข้าจังหวะกับสัญญาณที่ได้รับเป็นห้วง ๆ นั้น ในช่วงที่ไม่มีสัญญาณเข้า VCO ยังพอมี “ความทรงจำ” และยังไม่ทันจะเปลี่ยนจากความถี่เดิมก็มีสัญญาณมาเข้าจังหวะให้เป็นห้วง ๆ ไป ตัวอย่างดังกล่าวนี้จะพบได้ในการเข้าจังหวะสัญญาณของเครื่องรับโทรทัศน์สี ในระบบเชิงเลขและในระบบโทรมาตรที่ใช้ PCM (Pulse Code Modulation)

(ค) การตรวจจับสัญญาณ (Detection) หรือวงจรเลือกความถี่ในกรณีที่สัญญาณมีองค์ประกอบความถี่หลายความถี่และต้องการเลือกเฟ้นเพียงความถี่เดียวก็อาจทำได้โดยใช้วงจรเฟสล็อกูป โดยปรับความถี่อิสระ ให้ตรงกับความถี่ที่ต้องการและปรับแถบของวงรอบให้แคบเพื่อว่าวงจรเฟสล็อกูปจะได้ลือกกับความถี่นั้นในกรณีนี้สัญญาณออกของ VCO จะมีความถี่เท่ากับสัญญาณที่ต้องการ ส่วนความถี่อื่น ๆ ที่มี ณ ช่วงเข้าจะปะปนอยู่น้อยมาก สัญญาณที่ได้จาก VCO จะมีอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวนสูงกว่าสัญญาณเข้ามา กล่าวได้ว่าวงจรเฟสล็อกูปทำหน้าที่เป็นตัวกรองเสียงรบกวนโดยกำเนิดเป็นสัญญาณขึ้นใหม่จากสัญญาณเล็ก ๆ ที่จมอยู่ในเสียงรบกวน

ซึ่งวงจรเฟสล็อกูปทำหน้าที่คล้ายวงจรเลือกความถี่ต่างกันที่ว่าสัญญาณออกจาก VCO แม้จะตรงตามสัญญาณเข้าในแง่ความถี่ แต่ก็ไม่เกี่ยวข้องกับสัญญาณเข้าในแง่ช่วงสูงเลย พิจารณาในแง่นี้จะเห็นว่าเมื่อใช้วงจรเฟสล็อกูปสำหรับคิมอดูเลตสัญญาณ เอ็ฟเอ็ม วงจรก็จะมีอำนาจเลือกสรรความถี่ในตัว

วงจรเฟสล็อกูปอาจใช้ประกอบการคิมอดูเลต สัญญาณเอเอ็ม ได้อย่างมีคุณภาพ เป็นที่ทราบกันว่าถ้ามีเสียงรบกวนผนวกกับสัญญาณเอเอ็มมาก วิธีหนึ่งที่ใช้ได้ดีในการขจัดเสียงรบกวนคือ การตรวจจับแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Detection) กล่าวคือ เอาสัญญาณเอเอ็ม คู่กับสัญญาณอ้างอิงมีความถี่เดียวกัน แต่ปราศจากเสียงรบกวน ผลคูณที่ได้จะประกอบด้วยค่าไฟตรงที่เป็นปฏิภาคกับช่วงสูงของสัญญาณเข้าและองค์ประกอบความถี่สูงอื่น ๆ ซึ่งจะถูขจัดโดยวงจรผ่านค่า

เสียงรบกวนหรือสัญญาณแทรกที่ความถี่ไม่ตรงกับสัญญาณอ้างอิง จะไม่ให้ค่าไฟตรง จึงถูกวงจรผ่านตัวกรองออกหมดในการคิมอดูเลตเช่นนี้วงจรเฟสล็อกจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณอ้างอิง ซึ่งมีความถี่ตรงกับสัญญาณเอเอ็มและมีเสียงรบกวนปนอยู่น้อยมาก แต่สัญญาณจะต่างมุมกับสัญญาณเอเอ็มอยู่ 90 องศา จึงจำเป็นต้องเพิ่มวงจรเลื่อนความถี่เข้าไปก่อนที่จะทำการตรวจกับแบบโคฮีเรนซ์ (ดูรูปที่ 2.21)



รูปที่ 2.21 การตรวจจับสัญญาณเอเอ็มแบบโคฮีเรนซ์โดยใช้วงจรเฟสล็อก

2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของวงจรเฟสล็อก

วงจรเฟสล็อกมีข้อดีหลายประการสำหรับการใช้งานบางอย่างซึ่งไม่มีวงจรอื่นที่จะเทียบเท่าอย่างไรก็ดีในการใช้งานบางอย่างนั้นก็อาจใช้วงจรกรองแบบแอลซี (LC) หรือ อาร์ซี (RC) แทนได้ ข้อดีของวงจรเฟสล็อกเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรกรองในงานแบบอาร์ซีได้แก่

1. ทำงานได้ดีที่ความถี่สูง วงจรประมวลเฟสล็อกสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่า 100 MHz ส่วนวงจรประมวลที่ต่อเป็นวงจรกรองในงานนั้น จะทำงานได้ถึงความถี่ประมาณ 100 kHz

2. อำนาจการเลือกสรร (Selectivity) และความถี่ไม่ขึ้นต่อกัน กล่าวคือความถี่กลางกำหนดโดยความถี่อิสระ ของ VCO ส่วนอำนาจการเลือกสรรขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรผ่านต่ำ จึงไม่มีปัญหาการเรียงคลื่น (Alignment) อย่างเช่น วงจรเลือกความถี่หลาย ๆ หน่วย

3. องค์ประกอบภายนอกวงจรประมวลมีน้อย หรือปรับคลื่นได้ง่าย โดยทั่วไปความถี่อิสระของ VCO กำหนดโดย C ตัวเดียว หรือ C กับ R ซึ่งจะปรับคลื่นได้ตั้งแต่ค่าต่ำกว่า kHz ถึง 100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีเมื่อเทียบกับวงจรกรอง LC หรือวงจรกรองในงานแล้ว วงจรเฟสล็อกถูก มีข้อเสียดังนี้

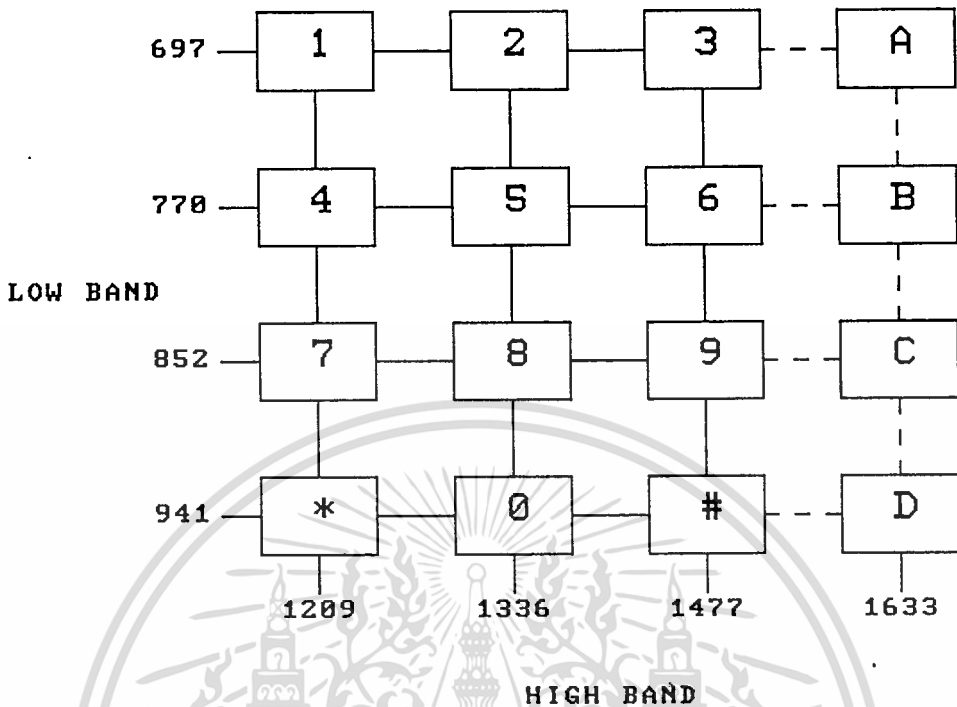
1. ไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับช่วงสูง วงจรเฟสล็อกถูกสนองต่อความถี่เท่านั้น ทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่สัญญาณเข้ามีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้เกิดการลื่นไถล วงจรจะไม่สนองต่อช่วงสูงของสัญญาณเข้า
2. สมองตอบสนองฮาร์โมนิก วงจรเฟสล็อกถูกตอบสนองต่อฮาร์โมนิก หรือฮาร์โมนิกย่อยของสัญญาณเข้า ทำให้การขจัดสัญญาณแทรกแซงที่มีความถี่เป็นอัตราส่วนจำนวนเต็มกับสัญญาณไม่สู้ได้ผลนัก
3. ขาดเทคนิคการสังเคราะห์เนื่องจากลักษณะการจับ ของวงจรเฟสล็อกถูก เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เทคนิคการสังเคราะห์ให้ได้วงจรที่มีลักษณะเชิงความถี่ตามข้อกำหนดจึงเป็นเรื่องที่ยากมาก

2.6 DTMF (Dual Tone Multi Frequency)

DTMF เป็นการเข้ารหัสความถี่คู่ของหมายเลขโทรศัพท์ และเรียกว่าโทรศัพท์กดปุ่ม (Touch Tone) และระบบ DTMF ดีกว่าระบบพัลส์ คือลดเวลาของการหมุนเลขหมายของผู้ใช้โทรศัพท์ ซึ่งระบบของ DTMF จะประกอบด้วยคู่ความถี่ และจะส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์โดยความถี่ดังกล่าว จะมีความถี่สูง (High Band) และความถี่ต่ำ (Low Band) รวมกันไป โดยเมื่อส่งไปยังชุมสาย จะถูกถอดรหัสเป็นเลขหมายอีกครั้ง และ ระบบ DTMF จะดีกว่าระบบพัลส์หรือแบบหมุนถึง 10 เท่า และมีการผิดพลาดน้อยมาก ซึ่งส่วนมากเกิดจากสายโทรศัพท์ยาวเกินไป

การเข้ารหัสของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม

โทรศัพท์แบบกดปุ่มหรือ DTMF ใช้หลักการสร้างความถี่ต่อกันไปลักษณะเมตริกซ์ 4*4 ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงการเข้ารหัสของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม

ซึ่งการทำงานเมื่อกดปุ่มต่าง ๆ จะให้ความถี่ออกมาดังนี้

หมายเลข 1 จะให้ความถี่ 697 Hz กับ 1209 Hz

หมายเลข 2 จะให้ความถี่ 697 Hz กับ 1336 Hz

หมายเลข 3 จะให้ความถี่ 697 Hz กับ 1477 Hz

หมายเลข 4 จะให้ความถี่ 770 Hz กับ 1209 Hz

หมายเลข 5 จะให้ความถี่ 770 Hz กับ 1336 Hz

หมายเลข 6 จะให้ความถี่ 770 Hz กับ 1477 Hz

หมายเลข 7 จะให้ความถี่ 852 Hz กับ 1209 Hz

หมายเลข 8 จะให้ความถี่ 852 Hz กับ 1336 Hz

หมายเลข 9 จะให้ความถี่ 852 Hz กับ 1477 Hz

เครื่องหมาย * จะให้ความถี่ 941 Hz กับ 1209 Hz

หมายเลข 0 จะให้ความถี่ 941 Hz กับ 1336 Hz

เครื่องหมาย # จะให้ความถี่ 941 Hz กับ 1477 Hz

อักษร A จะให้ความถี่ 697 Hz กับ 1633 Hz

อักษร B จะให้ความถี่ 770 Hz กับ 1633 Hz

อักษร C จะให้ความถี่ 852 Hz กับ 1633 Hz

อักษร D จะให้ความถี่ 941 Hz กับ 1633 Hz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

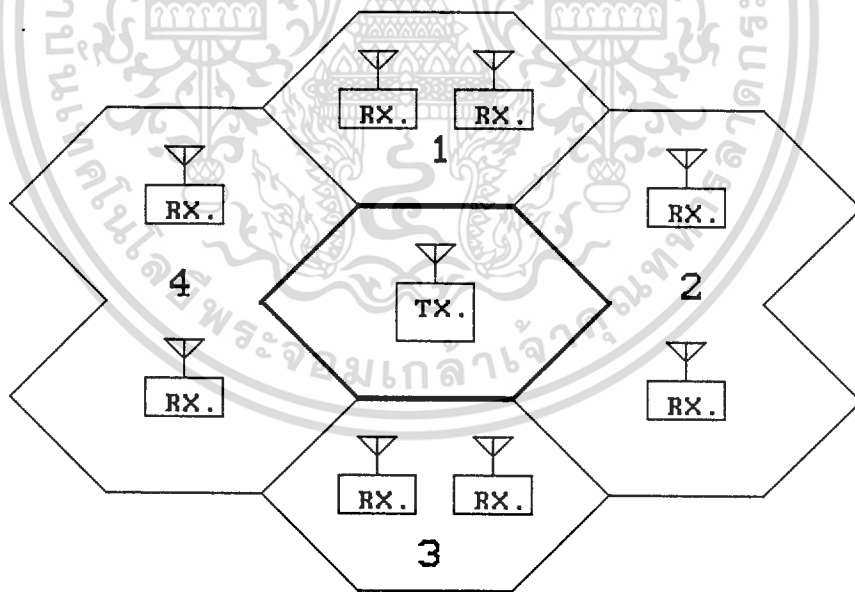
3.1.หลักการออกแบบ

การออกแบบระบบกระจายเสียงไร้สายแบบควบคุมพื้นที่นี้ในการทำงานของเครื่องกระจายเสียง ซึ่งเครื่องรับสามารถทำการติดตั้งได้ในระบบไร้สายไปตามจุดต่าง ๆ โดยที่ไม่ต้องเดินสายให้ยุ่งยากและเกะกะ โดยเมื่อติดตั้งและปรับแต่งเสร็จแล้วการทำงานทั้งหมดจะอยู่ที่เครื่องส่งหมด ซึ่งในโครงงานนี้จะมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ เป็น 2 ส่วน คือ

- 1.สถานีส่งจำนวน 1 ตัว
- 2.สถานีรับจำนวน N ตัว (ตามพื้นที่ที่ต้องการใช้งาน)

ซึ่งโครงสร้างการทำงานของระบบกระจายเสียงไร้สายนี้มีอยู่ในบล็อกไดอะแกรม

ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบกระจายเสียงไร้สาย

3.2.หลักการทำงานของวงจร

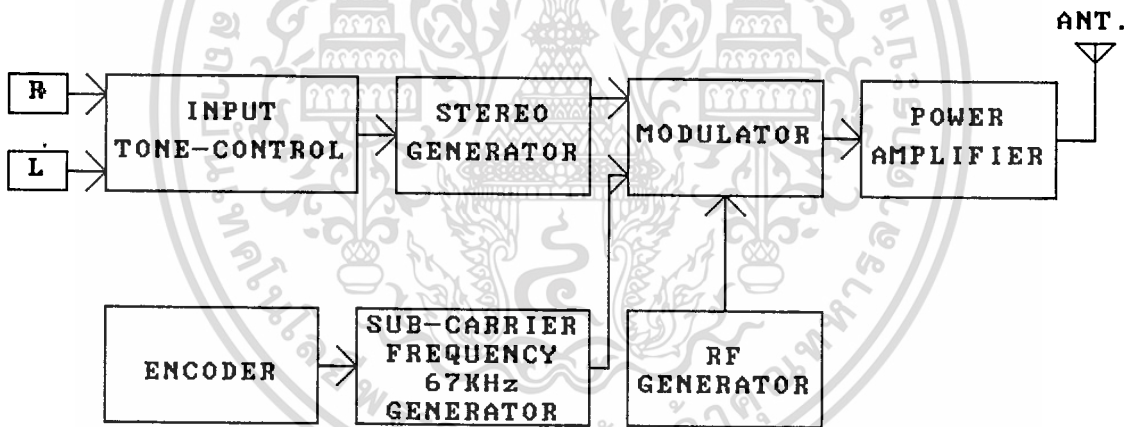
จากหลักการออกแบบวงจรจะเห็นว่าเราสามารถแบ่งการออกแบบวงจรทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ อันได้แก่ ส่วนแรกสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรทางด้านเครื่องส่ง
- วงจรทางด้านเครื่องรับ

3.2.1 ส่วนของวงจรเครื่องส่ง

ระบบเครื่องส่ง

ในส่วนสถานีส่งนี้จะส่งสัญญาณเสียงออกอากาศในระบบ เอ็ฟเอ็มสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ โดยระบบเสียงที่ใช้ส่งในระบบนี้จะเป็นระบบสเตอริโอที่ให้คุณภาพเสียงที่ดีและมีการเข้ารหัสเสียงควบคุมพื้นที่ในการใช้งาน โดยในภาคเข้ารหัสนี้จะทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห่อย่อยของความถี่หลักในการใช้งาน ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเสียงทางช่องสัญญาณเสียงเลยในขณะที่เข้ารหัส ซึ่งโครงสร้างของระบบการทำงานของสถานีส่งจะเป็นส่วนของภาคต่าง ๆ ตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของเครื่องส่ง

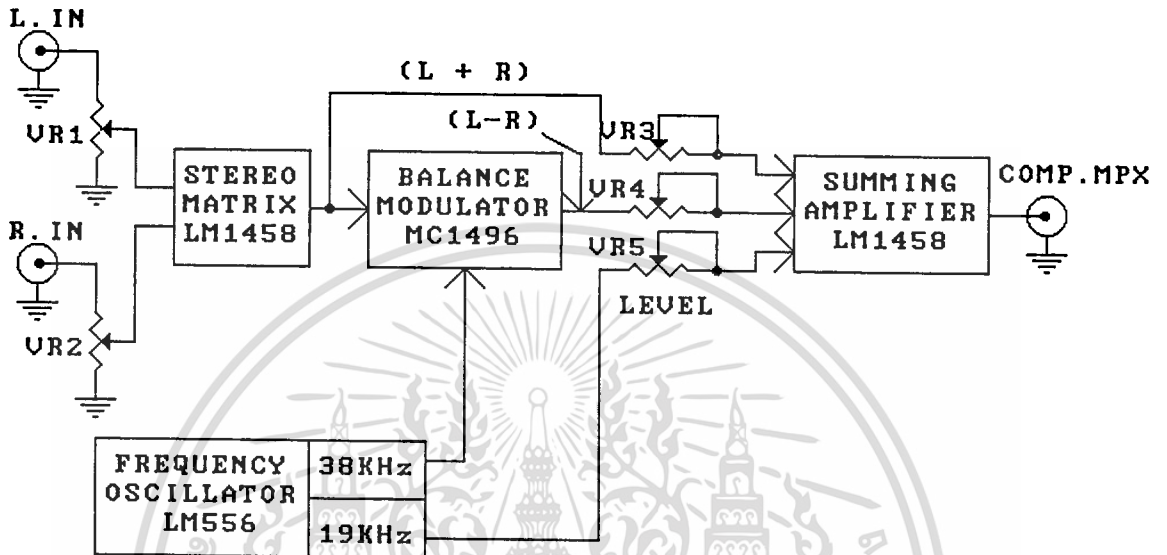
จากรูปเป็นโครงสร้างของสถานีส่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. วงจรระบบเสียงสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์
2. วงจรระบบเข้ารหัส
3. วงจรกำเนิดความถี่คลื่นพาห่อย่อย
4. วงจรปรับแต่งและวงจรแสดงผลการทำงานของเครื่องส่ง
5. วงจรเครื่องส่งเอ็ฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) วงจรระบบเสียงสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

ในวงจรภาคนี้ประกอบไปด้วยบล็อกโคอะแกรมในส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 บล็อกโคอะแกรมของระบบเสียงสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

จากรูปจะเห็นว่า สามารถแบ่งส่วนต่าง ๆ ออกเป็นดังนี้

- วงจรขยาย สเตอริโอ เมตริกซ์ (Stereo Matrix Amp)
- บาลานซ์ มอดูเลชัน (Balance Modulation)
- วงจรไฟลีด ทอน (Pilot tone) และ วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห่อย่อย (Subcarrier Frequency Generator)
- วงจรขยายผลรวม (Summing Amplifier)

วงจร Stereo Matrix Amplifier

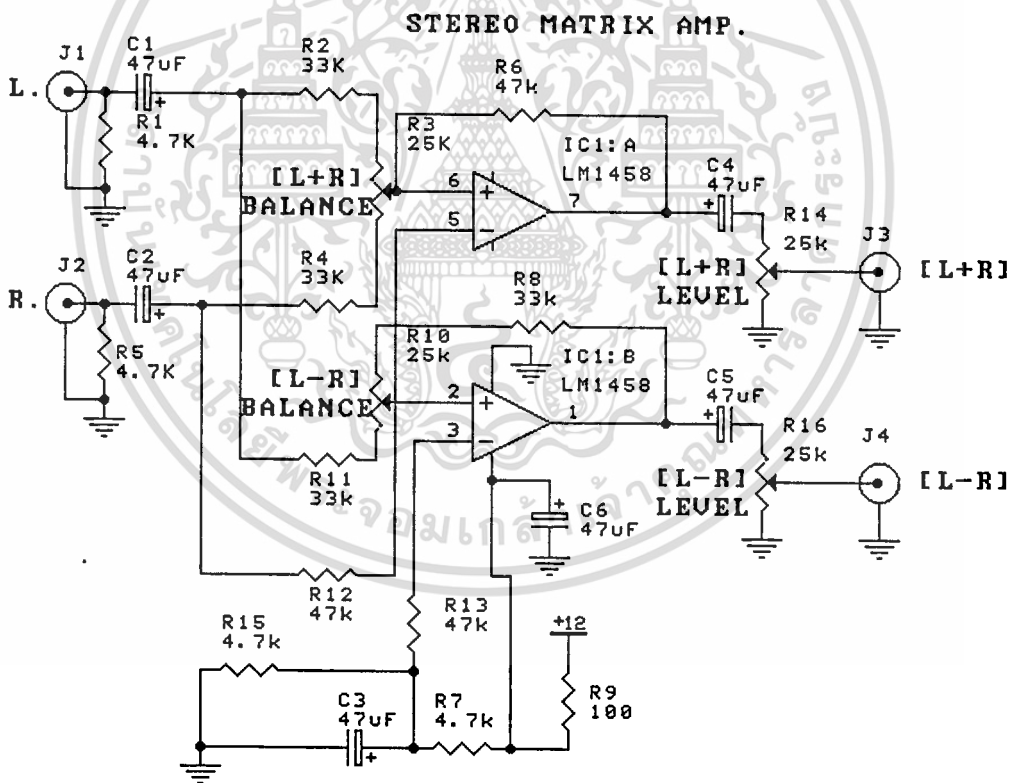
จากบล็อกโคอะแกรมสัญญาณเสียงซีกซ้ายและขวาจะป้อนเข้ายังวงจรเมตริกซ์ที่ทำงานด้วย ไอซี LM1458 ซึ่งภายใน ไอซี ประกอบไปด้วย ออปแอมป์ (Op-Amp) 2 ตัว ออปแอมป์ตัวที่หนึ่งในไอซีจะทำหน้าที่เป็นตัวบอดสัญญาณตามรูปแบบทางพีชคณิตเป็นการรวมลูกคลื่นของสัญญาณซีกซ้ายและซีกขวาเข้าด้วยกัน ใช้สำหรับเป็นสัญญาณหลัก (Main Channel) โดยที่อัตราการขยายสัญญาณทางขาเข้า (Input) ดังนั้น สัญญาณขาออก (Output) ที่ได้จึงเท่ากับสัญญาณขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละอินพุท และเอาท์พุทที่ได้นี้จะเป็ผลบวกทางพีชคณิต (L+R) ของสัญญาณเสียงซีกซ้าย และซีกขวา

ส่วนอีกครึ่งหนึ่งของไอซี LM1458 ซึ่งเป็นออปแอมป์อีกตัวหนึ่งถูกจัดให้ทำหน้าที่เป็นตัวลบตามรูปแบบทางพีชคณิต (L-R) ของสัญญาณซีกซ้ายและซีกขวา เพื่อให้เกิดเป็นสัญญาณความแตกต่างสเตอริโอ (Stereo Difference Channel) ซึ่งสัญญาณเข้าซีกขวาจะนำไปลบกับสัญญาณเข้าซีกซ้ายในรูปสัญญาณ (L-R) สังเกตได้ว่าถ้าสัญญาณทั้ง 2 เหมือนกัน สัญญาณออก (L-R) จะเป็นศูนย์ (0)

สัญญาณ (L+R) และสัญญาณ (L-R) ที่ได้จะออกทางเอาท์พุท ไปยังวงจรบาลานซ์มอดูเลชัน ต่อไป



รูปที่ 3.4 วงจรขยายเมตริกซ์สเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของวงจร

จากการทำงานของวงจรในรูป 3.4 จะเห็นว่าสัญญาณเสียงซีกซ้ายและซีกขวา จะเข้ามายังทาง J1 และ J2 โดยผ่าน C1 และ C2 ซึ่งทำหน้าที่ ถ่ายทอดสัญญาณเสียงเข้าไปยัง R2 และ R4 ซึ่งเป็นตัวต้านทานขาเข้า (Input Resistance) ของสัญญาณ (L+R) และในขณะเดียวกันสัญญาณเสียงที่ถ่ายทอดผ่าน C1 และ C2 จะเข้ามายัง R11, R12 ซึ่งเป็นตัวต้านทานขาเข้าของช่องสัญญาณ (L-R) ด้วยเช่นกัน

ส่วน R3 เป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่ต่อระหว่าง R2 และ R4 ใช้สำหรับปรับแต่งให้อัตราการขยายสัญญาณของซีกซ้าย และซีกขวาเท่ากัน ในอัตราส่วนของสัญญาณทั้ง 2 เท่ากับ 1 ต่อ 1

ในทางอุดมคติถ้า R2 และ R4 มีค่าเท่ากันจริง ๆ R3 จะปรับที่ตำแหน่งกึ่งกลางพอดี ส่วน R6 เป็นตัวจัดให้วงจรออปแอมป์ มีอัตราการขยายเท่ากับ 1 (Unity Gain)

ส่วน IC1-b เป็นตัวขยายสัญญาณความแตกต่าง (L-R) มี R8,R10,R11 ต่ออยู่ในของวงจรที่ปรับค่าได้ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับ R2,R3 และ R4 สัญญาณซีกซ้ายถูกส่งผ่านเข้ามาโดยผ่านทาง R12 และ R13 วงจรนี้สร้างขึ้นได้จาก R7,R14 และ C3 ใช้สำหรับให้ไบอัส ที่ค่าครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่ายแก่ออปแอมป์ทั้งคู่

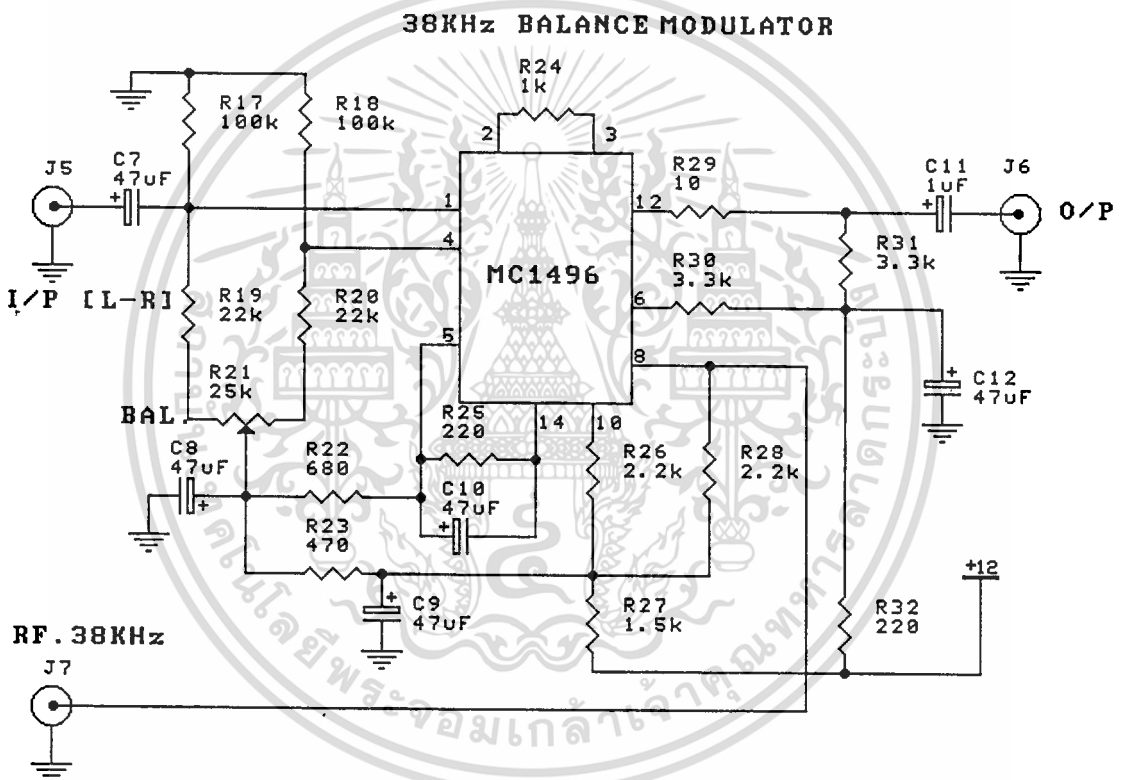
อัตราการขยายสัญญาณที่เข้ามาทางนอนอินเวอร์ติ้ง (Non Inverting) ขา 3 ของ IC1-b จะเท่ากับ 2 ถ้า R11 เท่ากับ R8 โดยที่ R10 ตั้งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง R12 และ R13 จะเป็นตัวแบ่งครึ่งสัญญาณอินพุตที่เข้ามา ส่วน R10 เป็นตัวปรับแต่งเพื่อให้สัญญาณอินพุตซีกซ้ายและสัญญาณออกของ IC1-b ต้องเท่ากับศูนย์ ซึ่งในทางอุดมแล้วเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้สัญญาณ (L-R) เท่ากับศูนย์ สัญญาณอินพุตของทั้ง 2 จะเท่ากัน

สัญญาณ (L+R) นี้ได้ออกทางขา 7 ของ IC1-a ผ่าน R14 ปรับระดับ (L+R) เพื่อส่งไปในภาครวมสัญญาณ (Summing Amp) ต่อไป สัญญาณ (L-R) ที่ได้ออกทางขา 1 ของ IC1-b ผ่าน R16 เพื่อให้ระดับ (L-R) ส่งไปยังภาคบาลานซ์ มอดูเลชัน ต่อไป

บาลานซ์ มอดูเลชัน (Balance Modulation)

วงจรบาลานซ์ มอดูเลชัน เป็นการมอดูเลตสัญญาณ (L-R) เข้ากับสัญญาณความถี่คลื่นพาห่อย่อย 38 kHz โดยได้เข้าที่พุทเป็นสัญญาณของรหัสคลื่นพาห่อย่อยออกให้มากที่สุดโดย IC3 ทำหน้าที่เป็นบาลานซ์ มอดูเลเตอร์ ที่ทำให้สัญญาณ (L-R) คลื่นพาห่อย่อย ซึ่งเป็นหนึ่งของสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่เข้าที่พุทของ IC3 จะเป็นสัญญาณผลต่างและผลรวมของความถี่ 2 ชุดที่เข้ามาเป็นอินพุตที่ขา 1 (สัญญาณเสียง L-R) ขา 8 (38 kHz) และ IC3 ทำงานโดยไม่ให้สัญญาณอินพุตตัวหนึ่งตัวใดถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปปรากฏออกที่ขาเข้าที่พุทโดยลำพังเพียงสัญญาณเดียว โดย R3 เป็นตัวควบคุมระดับสัญญาณเสียง (L-R) ที่ผ่าน R21 เข้าไปยังขา 1 ของ IC3 ตัวต้านทาน R32-R36 ต่อกันเป็นวงจรที่ใช้ในการปรับค่าไบอัสกระแสตรง C22 ที่ต่อกับขากลางประมาณ 10 Ω ซึ่งค่านี้อาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้ถึง 2.2 kΩ ถ้าระดับสัญญาณที่ขา 12 และ IC3 มีค่าสูงขึ้น สังเกตได้ว่าค่า R43 จะมีค่ามากขึ้นไปไม่เกินกว่า 10% ของค่าระหว่าง R44 และ R48 สัญญาณที่ได้ออกขา 12 เพื่อไปเข้าวงจรขยายผลรวม (Summing Amplifier) ต่อไป



รูปที่ 3.5 วงจรบาลานซ์ มอดูเลชัน

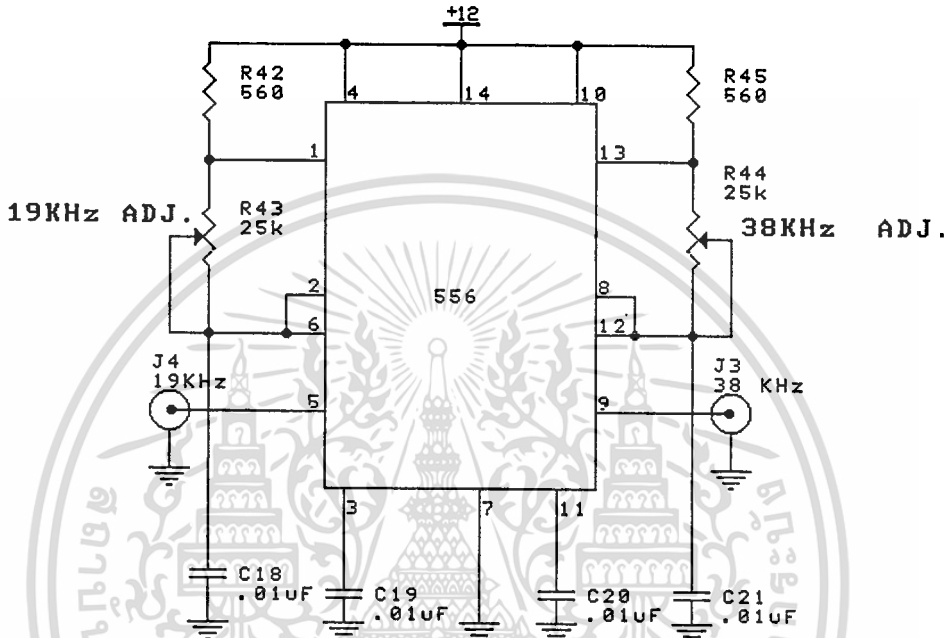
วงจรไฟลोट โทน (Pilot tone) และ วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห้ย่อย (Subcarrier Frequency Generator)

ในภาคนี้เป็นวงจรกำเนิดความถี่สำหรับเป็นสัญญาณความถี่ไฟลोट โทน และสัญญาณของความถี่คลื่นพาห้ย่อยโดยใช้ IC2 (LM556) เป็นตัวกำเนิดความถี่ซึ่งทำงานเป็น VCO 2 ทาง (Dual VCO) ภายในแบ่งชุดการทำงานกำเนิดความถี่อิสระ แยกกัน 2 ชุด หนึ่งชุดกำเนิดความถี่ไฟลोट โทน ที่ความถี่ 19 kHz ซึ่งความถี่ที่กำเนิดขึ้นอยู่กับ R43 กับ C8 ซึ่งเข้าที่พุทที่ออกทางขา

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของกรมการสื่อสารแห่งประเทศไทย หากมีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

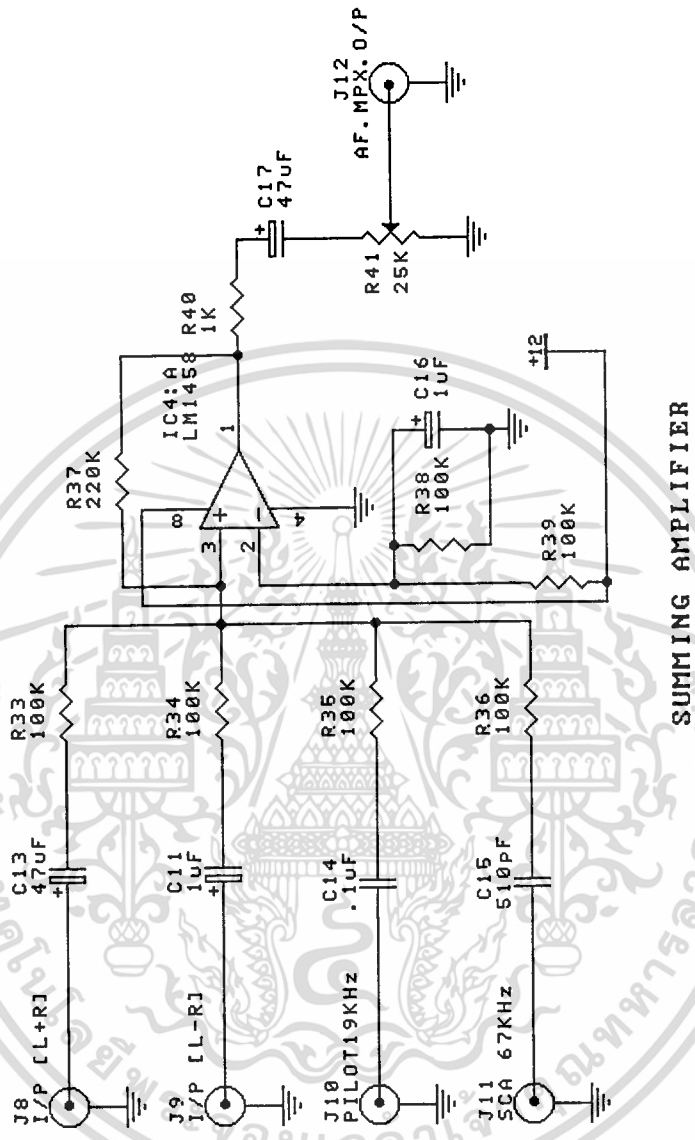
5 ส่งเข้าไปมอดูเลตกันที่ วงจรขยายผลรวม ส่วนอีกชุดของ IC2 ทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่ 38 kHz ซึ่งการกำเนิดความถี่ขึ้นอยู่กับ R44 กับ C21 ซึ่งเอาท์พุทที่ได้เป็น 38 kHz ส่งไปเป็นซึ้นพาทซ์ย่อยที่ วงจรบาลานซ์ มอดูเลชัน



รูปที่ 3.6 วงจรกำเนิดความถี่ไฟล็ด โทน และ คลื่นพาทซ์ย่อย

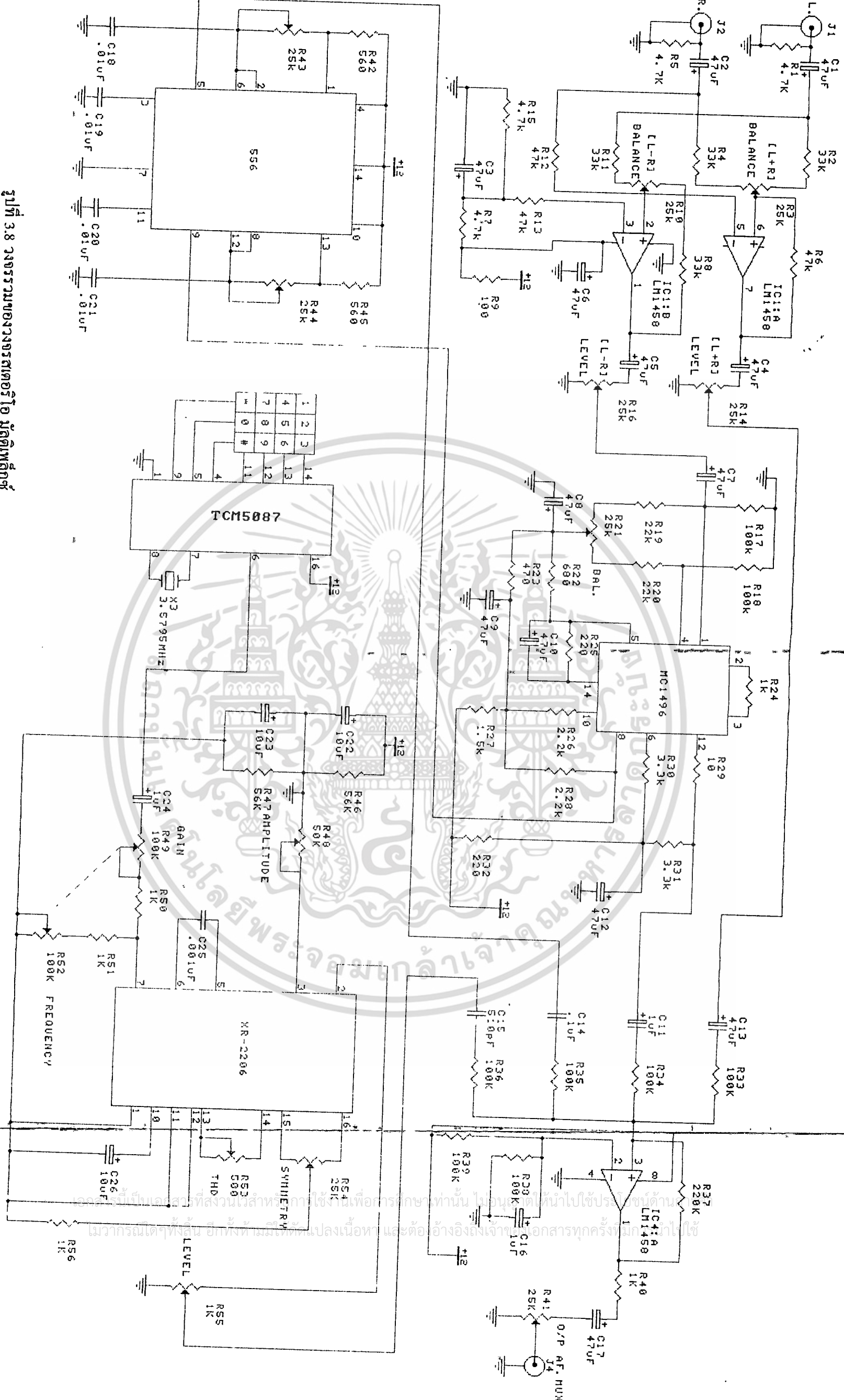
วงจขยายผลรวม (Summing Amplifier)

วงจรมีจะนำผลรวมของสัญญาณ (L+R),(L-R) Subpress carrier , Pilot tone เข้าด้วยกัน จะได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ การทำงานโดยใช้ IC4 ทำหน้าที่เป็นวงจขยายผลรวม ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรก IC4-a ต่อเป็นวงจขยายโดยสัญญาณทั้งหมดมารวมเข้าที่ขา 2 และได้เอาท์พุทออกมาที่ขา 1 ผ่าน R64 เป็นตัวปรับควบคุมการเบียงเบนสัญญาณเอ็ฟเอ็ม และอีกชุดหนึ่งจะต่อไปเข้าชุดที่ 2 ของ IC4-b ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกันชน (Buffer) ในกรณีต้องการนำสัญญาณที่ได้ไปต่อกับเครื่องส่งชุดอื่น ๆ จุดที่ทำหน้าที่ควบคุมการเบียงเบนของความถี่เพื่อส่งไปยังเครื่องส่งต่อไป



รูปที่ 3.7 วงจรขยายผลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

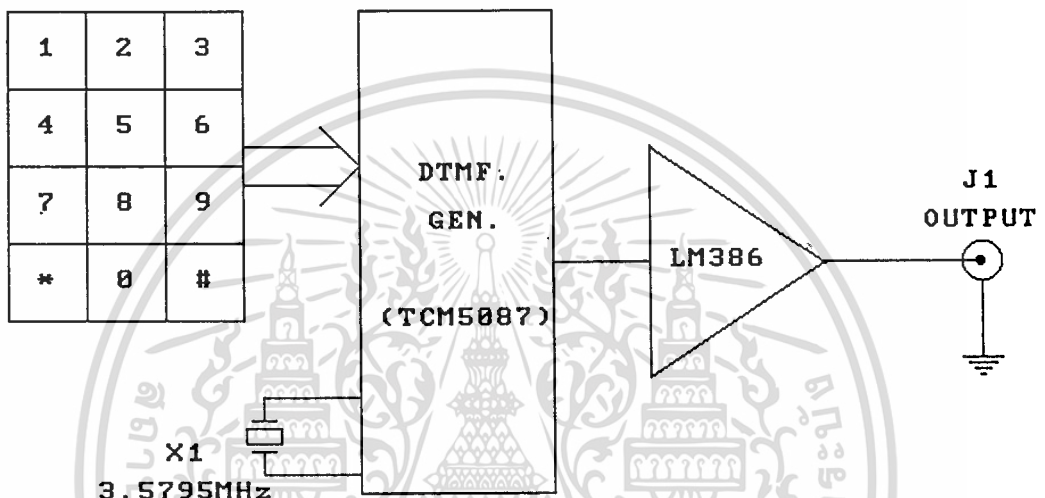


รูปที่ 3.8 วงจรรวมของวงจรสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน
 วิชาการใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำหนังสือที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง มิฉะนั้นจะไม่ใช้

2) วงจรเข้ารหัส (Encoding)

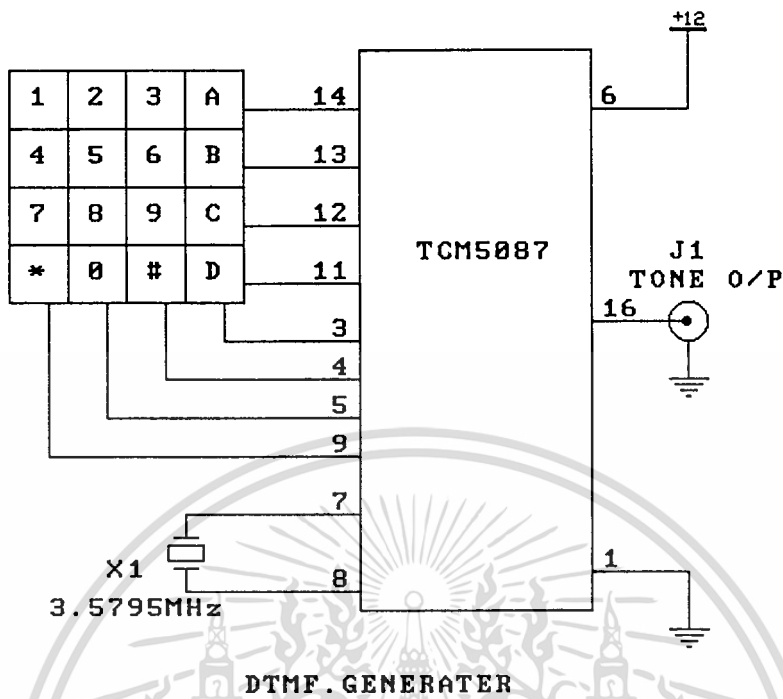
วงจรเข้ารหัสที่นำมาใช้ในการส่งนี้เป็นหลักการของวงจร DTMF ซึ่งเป็นตัวกำหนดรหัส โดยจะใช้หมายเลข หรือสัญลักษณ์บนคีย์บอร์ด เป็นตัวกำหนดรหัสของพื้นที่ต่าง ๆ ที่ใช้โดย บล็อกและการทำงานของวงจรมีดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของ DTMF

โดยวงจรจริง ๆ ที่ใช้ในวงจรมีใช้ IC เบอร์ TCM5087 เป็นตัวกำหนดรหัสความถี่ ซึ่งภายในของไอซีตัวนี้ประกอบไปด้วย วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรนับ (Counter) วงจรถอดรหัส วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A Converter) และใช้คีย์แบบ 4*4 หรือ 3*4 มาต่อใช้งาน โดยเมื่อมีการกดคีย์ใดๆ จะทำให้วงจรถอดรหัสไบนารี และผ่านไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เป็นทางแวนอนและแนวตั้งจะได้สัญญาณอนาล็อก และรวมกันเป็นสัญญาณ 2 ความถี่ ที่ทางเข้าที่พูด

จากวงจรที่ใช้มี IC เบอร์ TCM5087 เป็นตัวกำหนดในการทำงานโดยใช้ X-TAL ความถี่ 3.5795 MHz เป็นความถี่อ้างอิงในการทำงาน ซึ่งสวิทช์คีย์ที่อยู่หน้าของ R1-R4 และ C1-C4 เมื่อมีการกดสวิทช์คีย์สัญญาณที่ได้จากเข้าที่พูดจะ ไปออกที่ขาโทนเข้าที่พูด(ขา 16) แล้วนำไปมอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห่อย่อยต่อไป



รูปที่ 3.10 วงจรผลิตสัญญาณ DTMF

3) วงจรกำเนิดความถี่คลื่นพาห่อย่อย

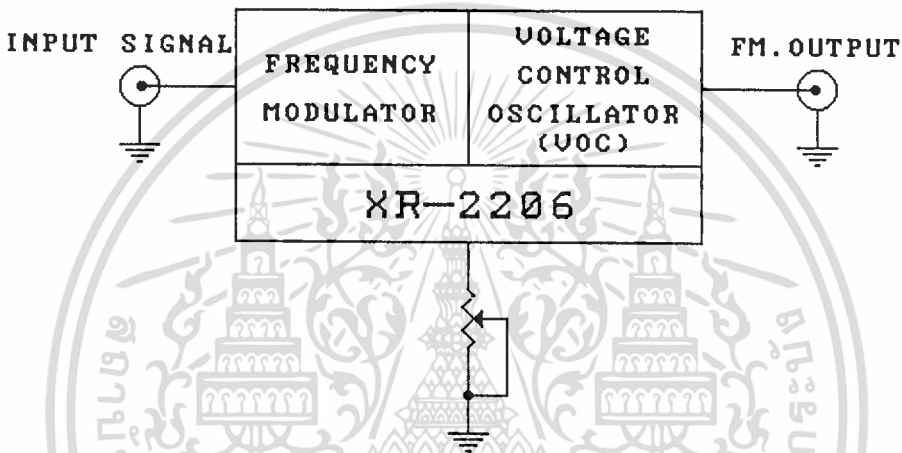
ในรูปที่ 3.11 เป็นวงจรกำเนิดความถี่คลื่นพาห่อย่อยนี้ ใช้ IC เบอร์ XR-2206 โดยลักษณะการทำงานของ IC สามารถทำงานได้จากภาคต่าง ๆ คือ

ซึ่งเป็น IC โมโนลิทิก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ เป็น IC หลักในการทำงานของภาคนี้โดยจะกำเนิดความถี่ที่ 67 kHz และใช้การมอดูเลตในคลื่นพาห่อย่อยแบบ เอ็มพีเอ็ม มอดูเลชัน โดยความถี่ที่ได้หาจาก

$$f_o = 1/RC \quad \text{Hz}$$

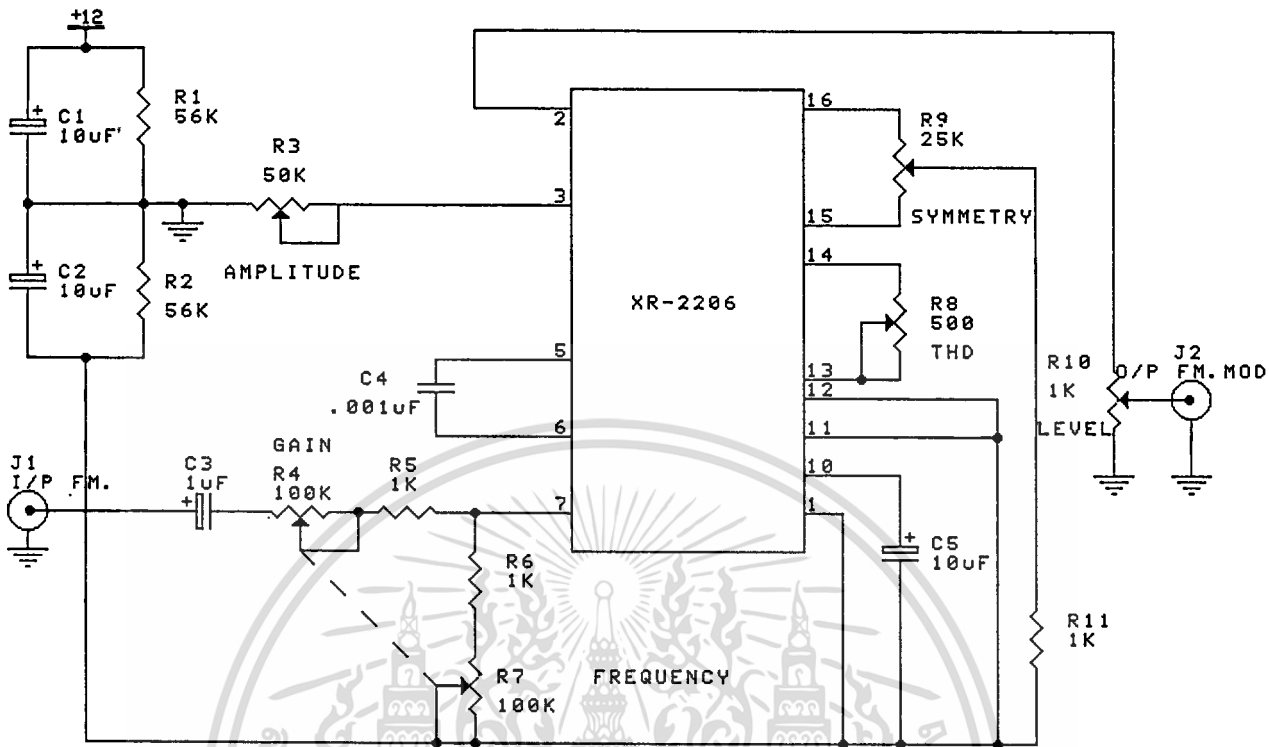
วงจรกำเนิดความถี่คลื่นพาห่อย่อยที่ใช้ในงานจริงมีการต่อใช้งานตามรูปที่ 3.12 โดยต่อเป็นวงจรคลื่นซายน์ที่มีตัวต้านทานจัดเวลา (Timing Resister) ประกอบด้วย R1 และ R2 ต่ออนุกรมกันอยู่โดยความถี่ที่ได้ขึ้นอยู่กับค่า C4 และ R1 โดยช่วงความถี่ที่ต้องการจะให้ C4 เท่ากับ 0.001 μF โดยขา 13 และขา 14 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้มีไว้เพื่อปรับความเที่ยงของสัญญาณ ส่วน

ความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 3 เป็นตัวปรับขนาดของสัญญาณ ปกติมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งแหล่งจ่าย (Vcc) โดยมีไว้เพื่อไม่ให้สัญญาณโดนตัด (Clip) ส่วนความต้านทานที่ปรับค่าได้ที่ต่ออยู่ที่ขา 15 และ ขา 16 เป็นตัวปรับความสมมาตรของสัญญาณชายน์ ส่วนความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขา 2 กับกราวด์ (Ground) เป็นตัวปรับระดับแรงดันกระแสตรงทางเข้าที่พุดโดยให้อยู่ที่กราวด์จริง ๆ เนื่องจากวงจรทำงานที่ไฟบวก-ลบ จึงอาจมีองค์ประกอบของแรงดันกระแสตรงเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของ IC เบอร์ XR-2206

ส่วนสัญญาณอินพุตที่เข้ามาออกดูเลตนั้นนำมาต่อเข้าที่อินพุตของเอ็ฟเอ็ม มอดูเลชั่น (FM Modulation) ของวงจรโดย R5 และ C3 เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณกับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้ามา ควบคุมการทำงานของวงจรโดยมีความต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับความไวของวงจร โดยเมื่อไม่สัญญาณเข้ามาออกดูเลต และให้เอาท์พุทที่มีความถี่เท่ากับ 67 kHz แต่หากมีอินพุตเข้ามาทำให้เอาท์พุทเบี่ยงเบนได้ตามสัญญาณอินพุตที่เข้ามาและสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจรจะผ่านความต้านทานปรับค่าได้เพื่อลดขนาดของสัญญาณลง 10% ของความถี่หลักเพื่อนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห่อย่อยของวงจร โดยต่อเข้าที่อินพุตของวงจรขยายผลรวม

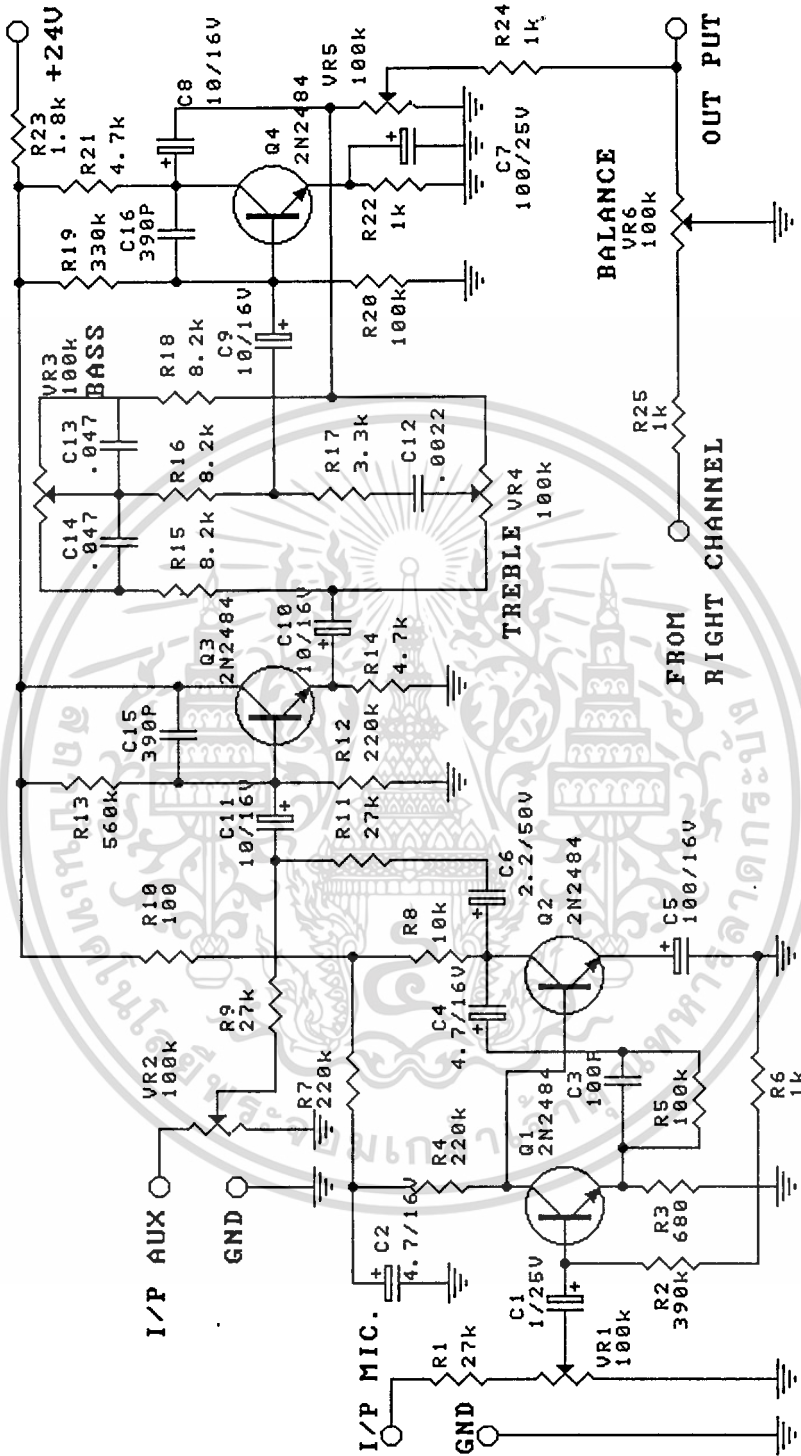


รูปที่ 3.12 วงจรคลื่นพหุข้อย

4) วงจรปรับแต่งและวงจรแสดงผลการทำงานของเครื่องส่ง

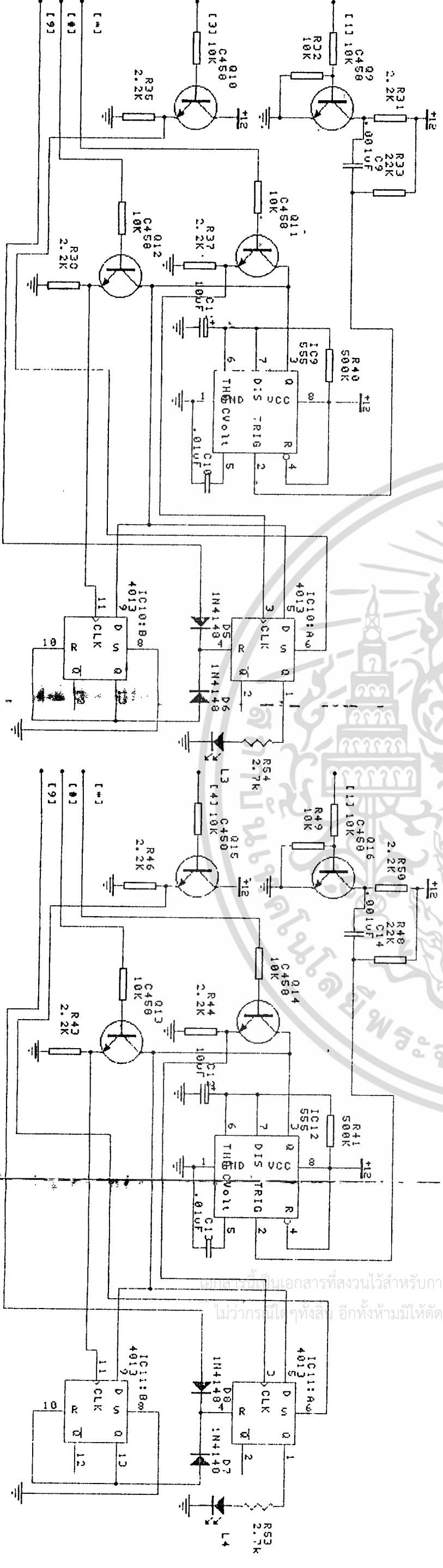
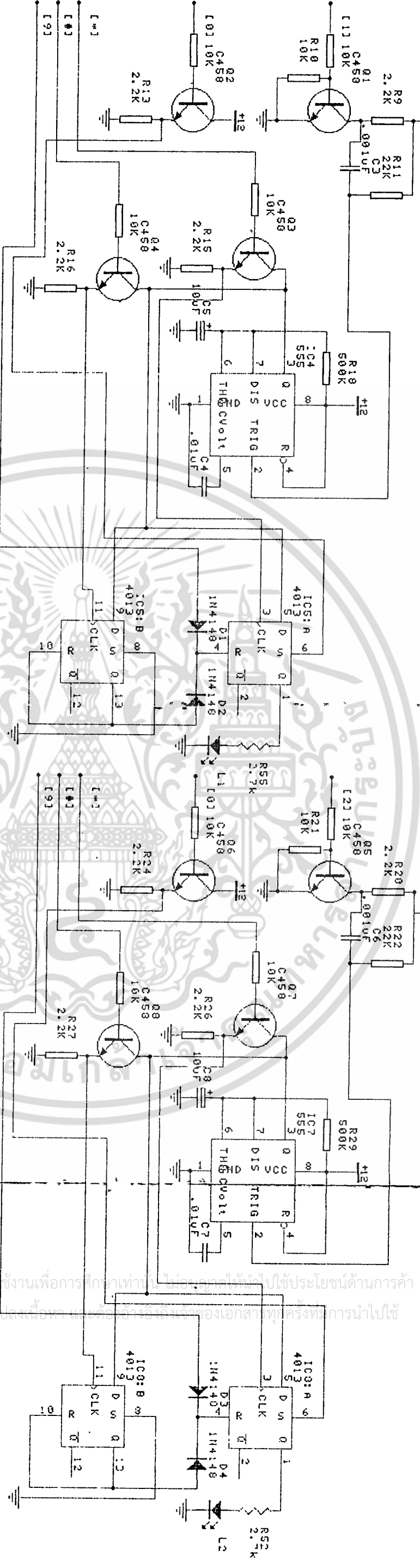
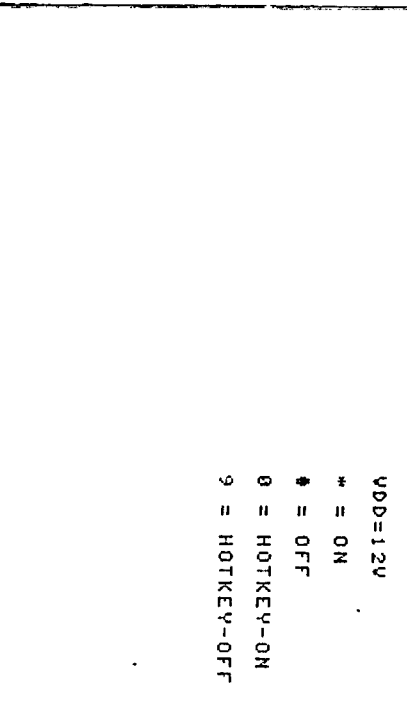
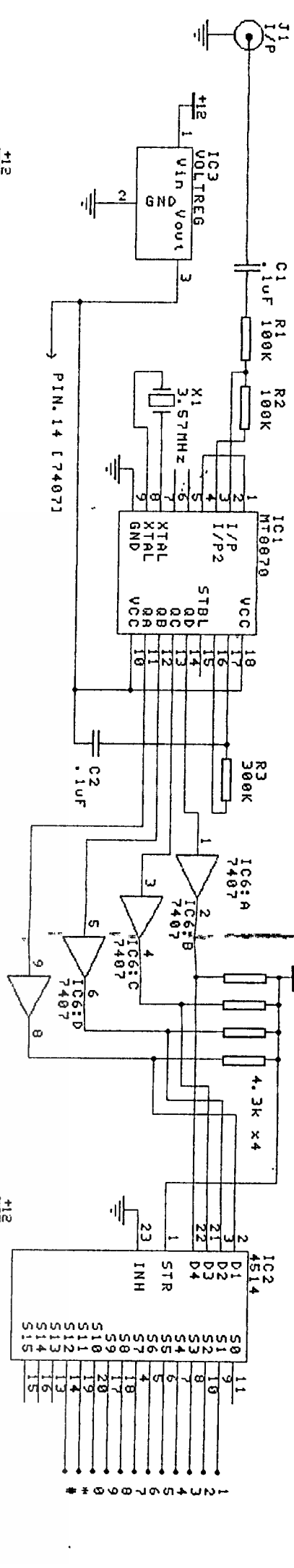
วงจรปรับแต่งเสียง จะทำหน้าที่ปรับแต่งให้ระบบเสียงเป็นระบบสเตอริโอที่สมบูรณ์ และปรับให้เป็นระบบ ไฮ-ไฟ (HI-FI) คือสามารถตอบสนองความถี่เสียงได้ครบตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20 kHz ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.13

วงจรแสดงผลการทำงานของเครื่องส่ง จะทำหน้าที่แสดงผลด้วยแอลอีดี (LED) ว่าตอนนี้เครื่องรับตัวใดบ้างที่กำลังทำงานอยู่ ซึ่งวงจรการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.14 คือนำสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ มาทำการถอดรหัสเป็นเลขฐาน 10 แล้วนำสัญญาณเลขฐาน 10 นั้นมาทำการส่งไปให้วงจรควบคุมแอลอีดี สว่างหรือดับ ที่แสดงที่เครื่องส่ง ซึ่งวงจรนี้จะมีการทำงานเหมือนกันกับวงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุมการทำงานของวงจรทางภาครับเพียงแค่เปลี่ยนจากรีเลย์เป็นแอลอีดี



รูปที่ 3.13 วงจรปรับแต่งเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VDD=1.2V
 * = ON
 # = OFF
 0 = HOTKEY-ON
 9 = HOTKEY-OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและข้อมูลข้างในของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 วงจรแสดงผลการทำงานของเครื่องส่ง

รายละเอียดและการทำงานของวงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม

ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านเข้ามาทาง C1 โดยสัญญาณเสียงจะถูกป้อนเข้ามาเป็นอินพุตของวงจรได้ 2 ทาง คือ ป้อนเข้าทางจุดต่ออินพุตสัญญาณระดับต่ำ L (LOW) เป็นจุดที่ป้อนสัญญาณผ่านเข้ามาทางตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้า (VR1) ค่า 10k โดยตรงที่จุดนี้ใช้สำหรับต่อเข้ากับแหล่งสัญญาณเสียงที่มีระดับแรงดันสัญญาณต่ำ ๆ เช่น การต่อเข้ากับไมโครโฟนหรืออื่น ๆ ส่วนอีกทางคือการป้อนสัญญาณเสียงเข้าทางจุดต่ออินพุตสัญญาณระดับสูง H (HIGH) เป็นจุดป้อนสัญญาณโดยผ่านทางตัวต้านทาน R1 ค่า 100 K Ω ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแบบเกือกม้า ที่จุดนี้สำหรับต่อเข้ากับแหล่งสัญญาณเสียงที่มีระดับแรงดันสัญญาณสูง ๆ เช่นการต่อเข้ากับเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงหรือจุดสัญญาณออกของเครื่องรับวิทยุ เป็นต้น

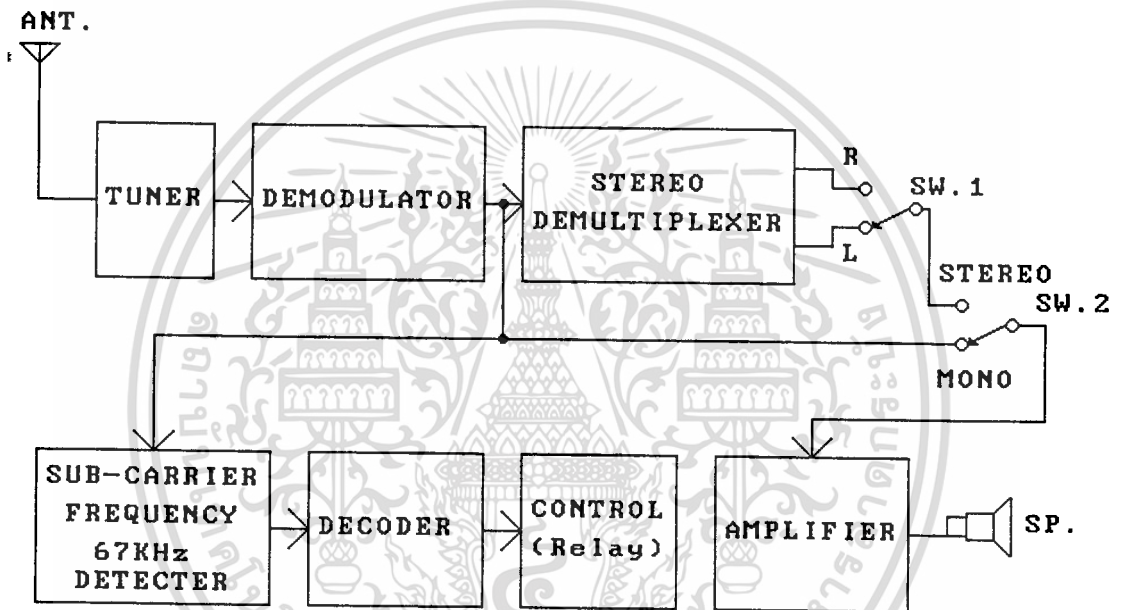
ทรานซิสเตอร์ Q2 จะขยายสัญญาณที่ได้จากทรานซิสเตอร์ Q1 อีกครั้งแล้วป้อนสัญญาณออกผ่านทาง C3 และ R10 เข้าไปมอดูเลตกับสัญญาณอาร์เอฟ ซึ่งกำเนิดขึ้นจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q3 ,Q4 และวงจรร่วม โดยสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตเข้าทางจุดต่อระหว่างวาริแคป (VCD) และ C6

ทรานซิสเตอร์ Q3 ,Q4 และวงจรร่วม ต่อกันเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ที่ทำงานในช่วงความถี่อาร์เอฟ โดย Q3 และ Q4 จะสลับผลัดกันทำงานในการกำเนิดคลื่นความถี่ ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะเกิดจากค่า C7, R9 และ C8, R12 ในวงจร ส่วนขดลวด L1 และทรिमเมอร์ (TC1) ซึ่งต่อขนานกันเป็นวงจรจูนจะทำหน้าที่เป็นตัวจูนเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ค่าความถี่คลื่นพาห้ที่ต้องการส่งออกอากาศ ส่วนค่าคาปาซิเตอร์ซึ่งเกิดจากการต่ออนุกรมกันระหว่างวาริแคป และคาปาซิเตอร์ C6 จะถูกต่อคร่อมขนานเข้ากับวงจรจูน L1, TC1 อีกที เมื่อค่าคาปาซิเตอร์ของวาริแคป เปลี่ยนแปลงไปตามอินพุตของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตที่ภาคอาร์เอฟ ก็จะทำให้ความถี่คลื่นพาห้ที่ส่งออกอากาศของวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วยตามหลักการมอดูเลตสัญญาณในการส่งคลื่นออกอากาศแบบเอฟเอ็ม ที่ทรिमเมอร์ TC2 จะเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังสายอากาศและทำหน้าที่เป็นตัวจูนสายอากาศไปในตัวด้วย

ไดโอด D1 ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการจ่ายแรงดันไฟกลับขั้วให้กับวงจรถ้ามีการป้อนไฟผิดขั้วไดโอด D1 จะไม่นำกระแสทำให้ไม่เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในวงจร เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟเข้าวงจรได้ถูกต้อง LED จะสว่างขึ้นแสดงให้ทราบว่าวงจรได้รับแรงดันจ่ายไฟพร้อมทำงานตามหน้าที่

3.2.2 วงจรทางด้านเครื่องรับ

ทางด้านเครื่องรับเมื่อสัญญาณที่รับมาได้จะผ่านเข้ามาทางวิทยุเอ็เอ็มแบบธรรมดาโดยปรับความถี่ของวงจรให้ตรงกับทางเครื่องส่ง ซึ่งสัญญาณที่รับได้จะออกมาเป็นสัญญาณเสียงแบบโมโนโดยสัญญาณเข้าที่ทุกที่ได้เหล่านี้ไปเข้าวงจรภาคต่าง ๆ เพื่อถอดรหัสสัญญาณเป็นสเตอริโอและถอดรหัสสัญญาณควบคุมให้ออกมาซึ่งบล็อกไดอะแกรมทางภาครับแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ

จากรูปทางภาครับสามารถแบ่งได้เป็นภาคต่าง ๆ ดังนี้

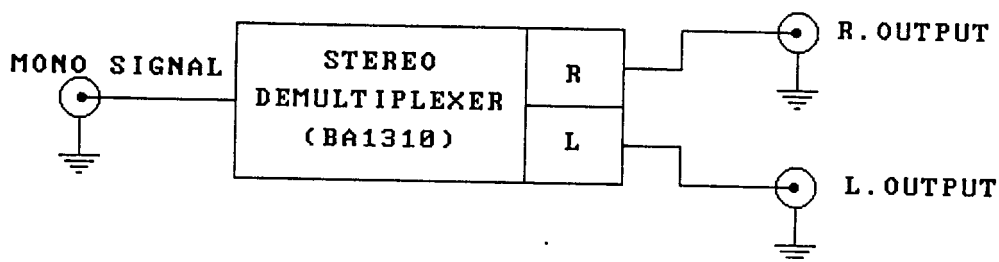
1. วงจรถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอ
2. วงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่
3. วงจรควบคุมสัญญาณเสียงทางเข้าที่ทุก
4. วงจรขยายเสียงทางเข้าที่ทุก

1) วงจรถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอ

วงจรนี้จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณเสียงโมโนให้กลับเป็นสัญญาณเสียงสเตอริโอ

แบบเดิมตามเครื่องส่งซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.17

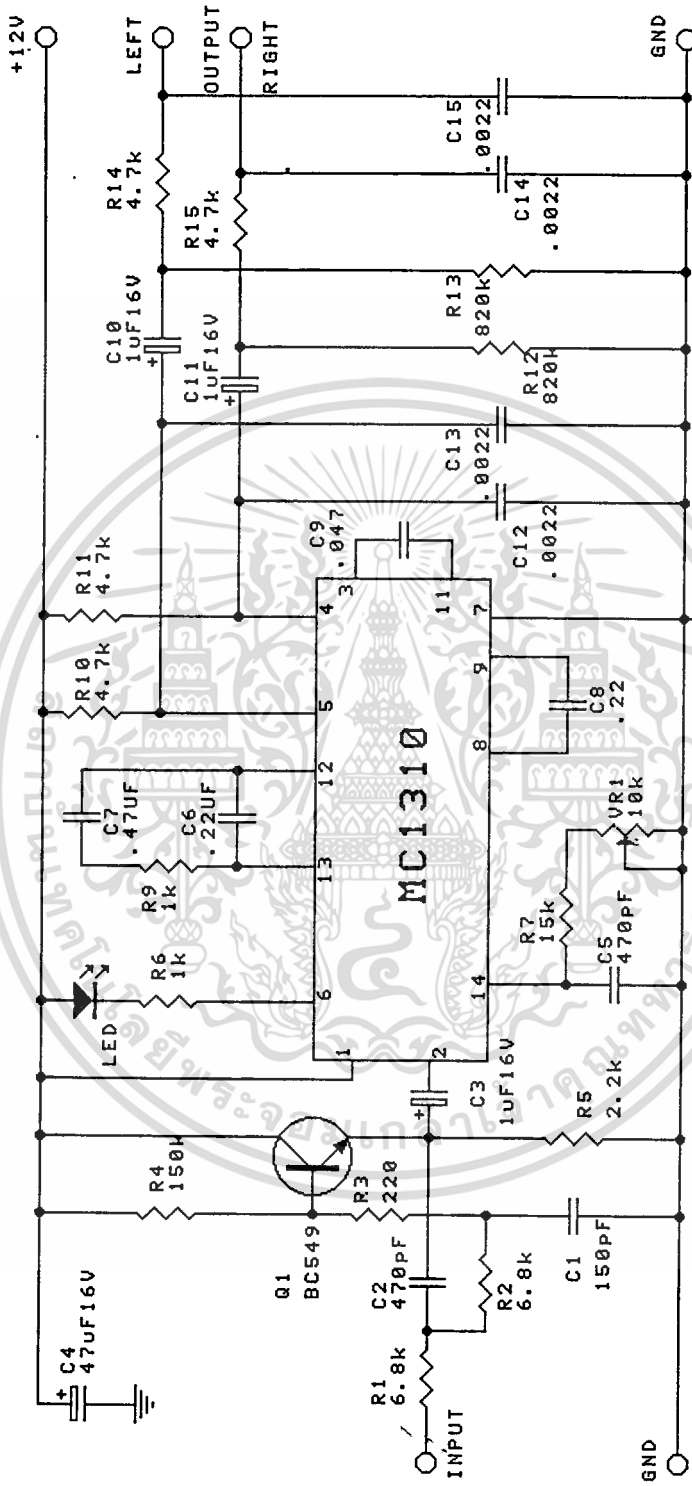
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 บล็อกโคเดแกรมการทำงานของการถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอ

ในวงจรที่ใช้งานจริงจะใช้วงจร PLL เป็นตัวถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอออกมาโดยใช้ IC เบอร์ BA1310 ซึ่งการทำงานของวงจรมีดังนี้

ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำหน้าที่เป็นวงจร อีมิตเตอร์ ฟอลโลเวอร์ (Emitter Follower) และแมชซิ่ง อิมพีแดนซ์ (Matching Impedance) ระหว่างวงจรอินพุทของ IC กับทางเข้าที่พุทของวงจรถูเนออร์และยังทำหน้าที่เป็นวงจรแอกทีฟ ฟิลเตอร์ (Active Filter) ร่วมกับ R1,R2,R3,C1,C2 โดยวงจรกรอง (Filter) ดังกล่าวจะทำให้การตอบสนองของวงจรเป็น -3 dB ที่ 60 kHz และ -37 dB ที่ 200 kHz ซึ่งจะช่วยให้การตอบสนองของวงจรมีเลือก (Selectivity) ของสถานีไม่ตีพ้อ อาจทำให้เกิดฮาร์โมนิก (Harmonic) มาอดุลชัน กับความถี่ฮาร์โมนิกของสัญญาณ 38 kHz ในชุดมัลติเพล็กซ์ ทำให้เกิดสัญญาณหลักได้ โดยเข้าที่พุทของ Q1 จะป้อนเข้า IC BA1310 ส่วน C1 ซึ่งจะตรวจจับสัญญาณแบบเฟสล็อกคูล์ฟ ที่ความถี่ 38 kHz กรณีที่การตรวจจับความถี่ 38 kHz ได้จะทำให้ไฟแสดงผลสว่าง สัญญาณเข้าที่พุทของวงจรมัลติเพล็กซ์ก็จะได้เข้าที่พุทที่ขา 4 และ 5 ของ IC ซึ่งผ่าน C10 , R14 ซึ่งเป็นสัญญาณซีกซ้าย และสัญญาณอีกด้านจะผ่าน C11,R15 ซึ่งเป็นสัญญาณซีกขวา โดยการปรับความถี่ให้ได้ 38 kHz โดยการปรับความต้านทานปรับค่าได้จนกระทั่งไฟแสดงผลสว่างและสัญญาณที่นำมาป้อนให้วงจรมีต้องนำมาจากการตรวจจับ (Detection) ตอนที่ก่อนจะเข้า ดีเอ็มฟาซิส (De-Emphasis) เท่านั้น



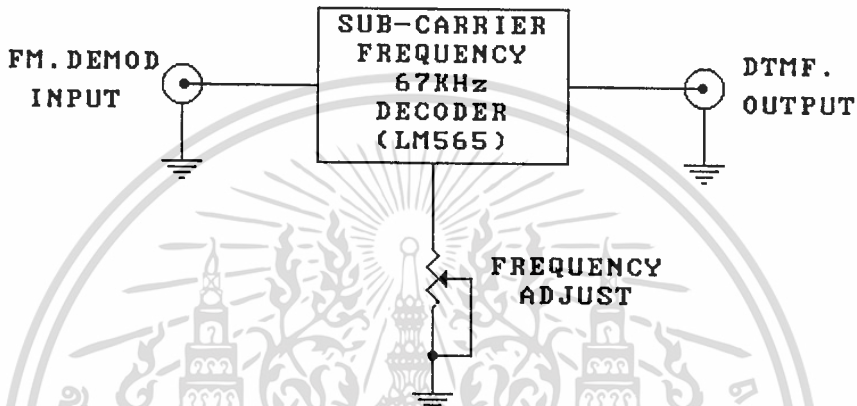
รูปที่ 3.18 วงจรถอดรหัสสัญญาณเสียงสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่

วงจรในภาคนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.19 ดังนี้

- วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คลื่นพาห้อย่อย
- วงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.19 บล็อก ไดอะแกรมการถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่

วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่คลื่นพาห้อย่อย

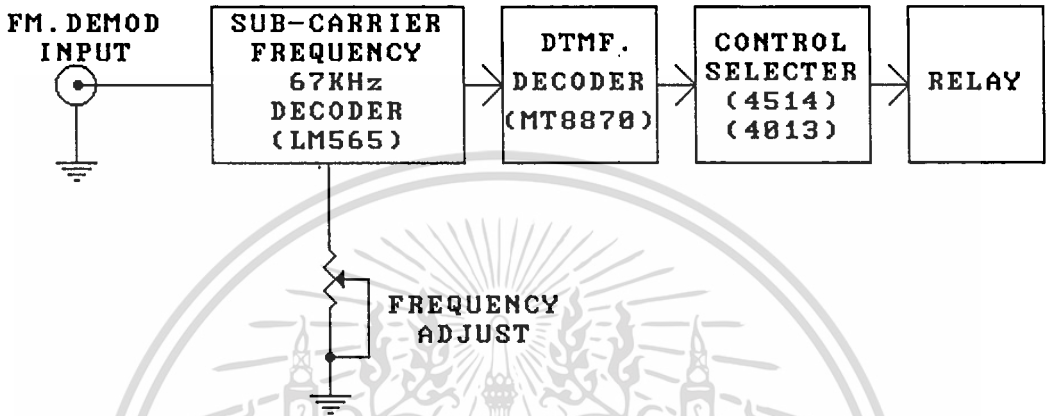
ในวงจรภาคนี้จะทำหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณคลื่นพาห้อย่อยที่ผ่านเข้ามา กับสัญญาณเสียง ทางด้านเข้าที่พูดของช่องรับ เอ็ฟเอ็ม ก่อนเข้าวงจรดีเอ็มฟาซิสซึ่งเป็นสัญญาณความถี่แบบ เอ็ฟเอ็มที่มีความถี่ 67 kHz ซึ่งบล็อก ไดอะแกรมของการถอดรหัสสัญญาณควบคุมพื้นที่แสดงดังรูปที่ 3.20

จากบล็อก ไดอะแกรมเป็นลักษณะของการถอดรหัสสัญญาณเอสซีเอ (SCA) ความถี่คลื่นพาห้อย่อย 67 kHz โดยเป็นสัญญาณแบบเอ็ฟเอ็ม ซึ่งในวงจรจริงใช้ IC เบอร์ 565 ซึ่งจะทำงานเป็น เฟสล็อกคูล ใน การตรวจจับสัญญาณออกมา ซึ่งการทำงานของวงจรมีดังนี้

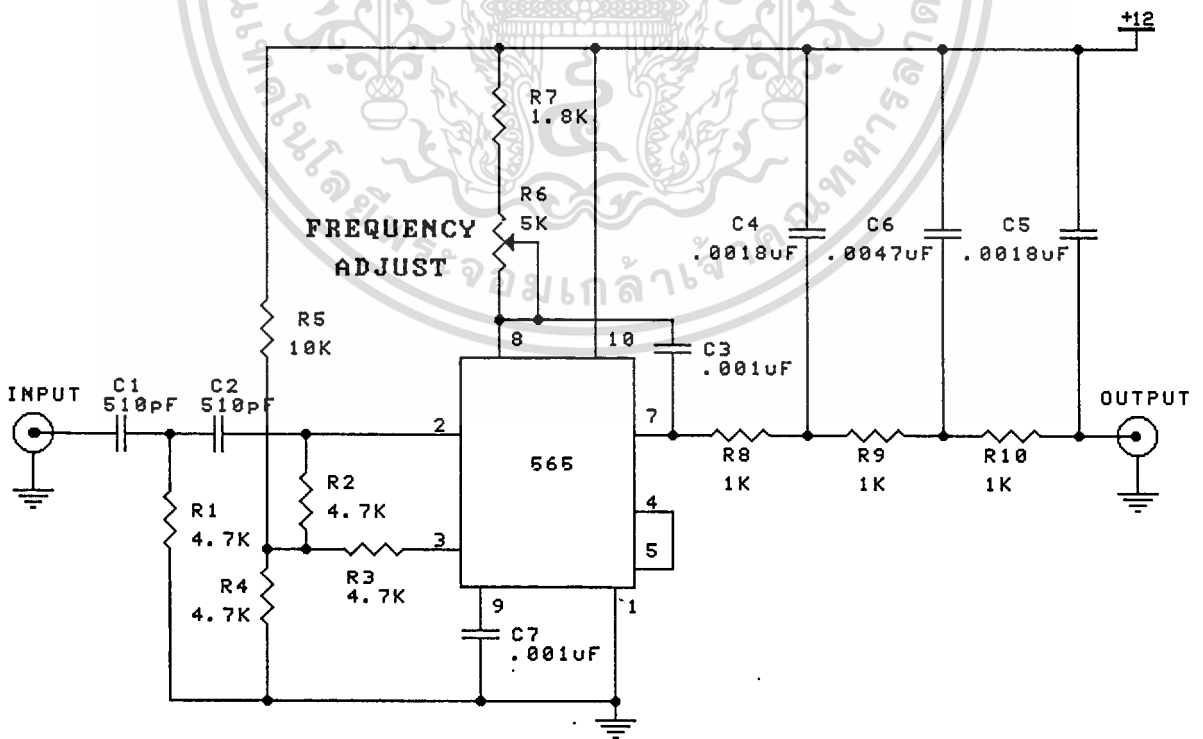
จากวงจรสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาจากเข้าที่พูดของวิทยุแบบเอ็ฟเอ็มที่ก่อนจะเข้าวงจรดีเอ็มฟาซิสโดยสัญญาณอินพุตที่ส่งมาจะถูกต่อมาเข้าวงจรทางอินพุตซึ่งมีค่าอินพุตอินพีแดนซ์น้อยกว่า 10 kΩ ซึ่งสัญญาณที่เข้ามาควรมีค่าระหว่าง 80 ถึง 300 mV โดยสัญญาณจะเข้าทางอินพุตของวงจรที่ขา 2 ซึ่ง R6 ที่มีอยู่เพื่อให้ความถี่ในการถอดรหัสสัญญาณเฟสล็อกคูล ที่ 67 kHz โดยเมื่อสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุตมาดีมอด (Demod) กับสัญญาณเฟสล็อกคูลที่ความถี่ 67 kHz จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสัญญาณเข้าที่พุดออกมาประมาณ 50 mV ซึ่งมีการตอบสนองความถี่เสียงสูงสุดของวงจรมีประมาณ 7 kHz



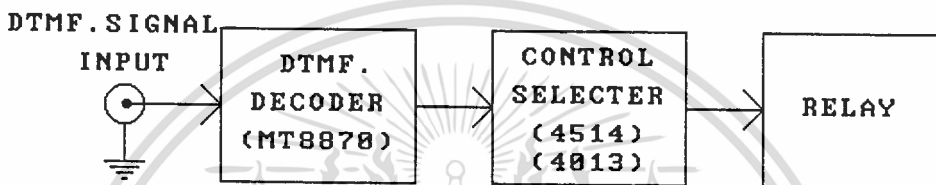
รูปที่ 3.20.บล็อกไดอะแกรมของการถอดรหัสสัญญาณความถี่



รูปที่ 3.21 วงจรถอดรหัสสัญญาณเอคซีเอ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

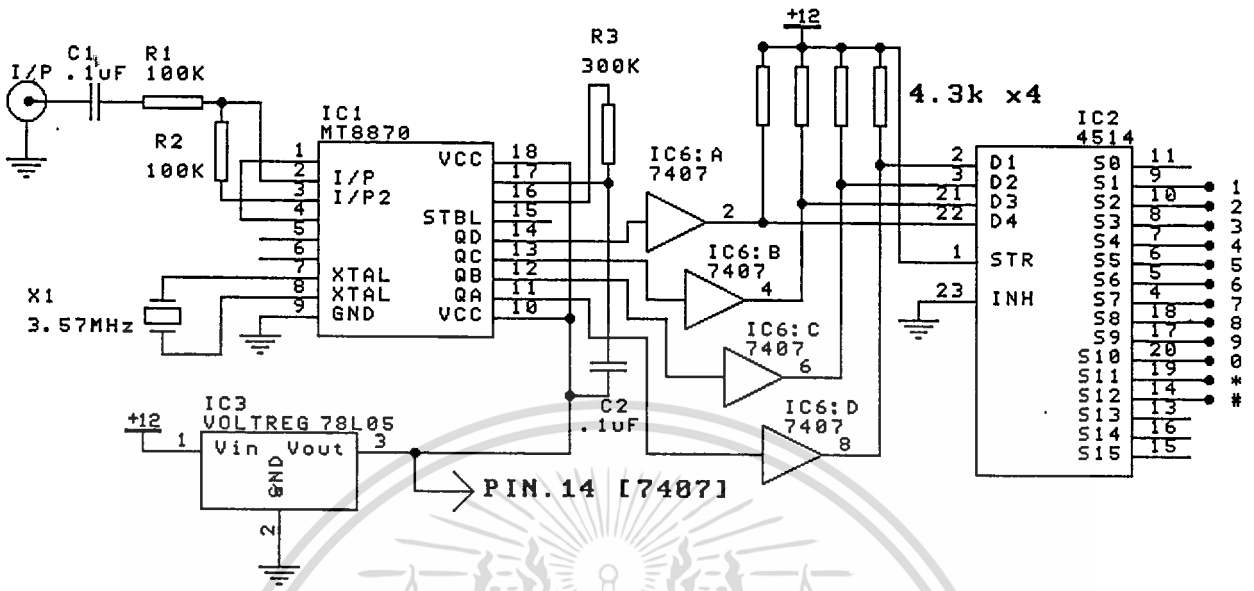
วงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุมการทำงาน

วงจรในภาคนี้ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ ที่มอดูเลตมาด้วยความถี่คลื่นพาห์ย่อย 67 kHz ทางเครื่องส่งโดยจะนำสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ ที่มอดูเลตมานั้นแปลงเป็นเลขฐาน 10 (Decimal) เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของภาคขยายเสียงในเครื่องรับซึ่งแสดงเป็นภาคต่าง ๆ ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.22



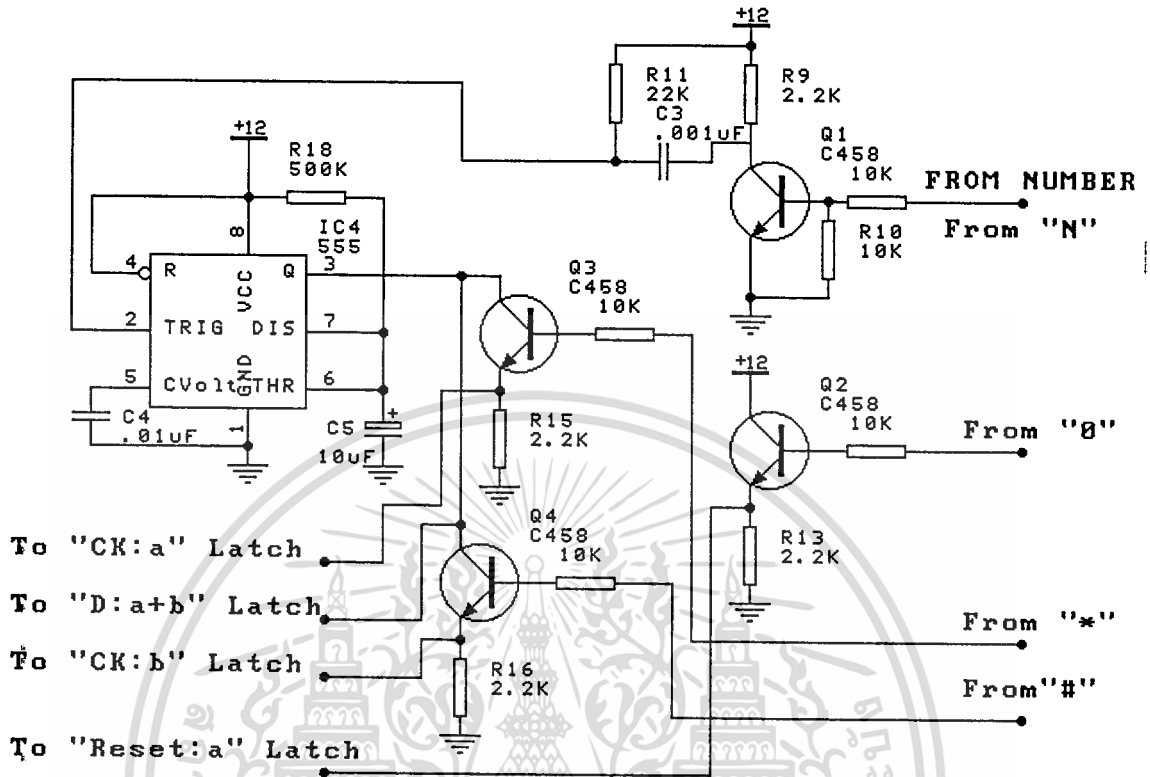
รูปที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมการมอดูเลตสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ

จากบล็อกไดอะแกรมสามารถนำไปออกแบบวงจรใช้งานจริงได้โดยสัญญาณอินพุทของ ดีทีเอ็มเอฟ ที่มาจากวงจรถอดรหัสความถี่คลื่นพาห์ย่อย 67 kHz จะนำมาเข้า IC ถอดรหัสเพื่อแปลงเป็นรหัสไบนารี ซึ่งใช้ IC เบอร์ MT8870 ดังรูปที่ 3.23 โดยเมื่อมีสัญญาณอินพุทของ ดีทีเอ็มเอฟเข้ามาจะถูกถอดรหัสเพื่อแปลงเป็นสัญญาณไบนารีตามค่าประจำหมายเลข ซึ่งเลขไบนารีนี้จะถูกต่อไปผ่านวงจรกันชน เพื่อส่งไปแปลงเป็นค่าเลขฐาน 10 ซึ่งใช้ IC เบอร์ 4514 สัญญาณเข้าที่พุทที่ออกมาจะเป็นเลขฐาน 10 แล้วนำเข้าที่พุทที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐาน 10 นี้ ไปใช้โดยกำหนดให้ เลข 1-8 เป็นเลขการใช้งาน; ✓, X เป็นคำสั่งเปิด-ปิดการทำงานของเครื่อง และ 0, 9 จะเป็นคำสั่งการเปิด-ปิดลูกข่ายทุกตัว



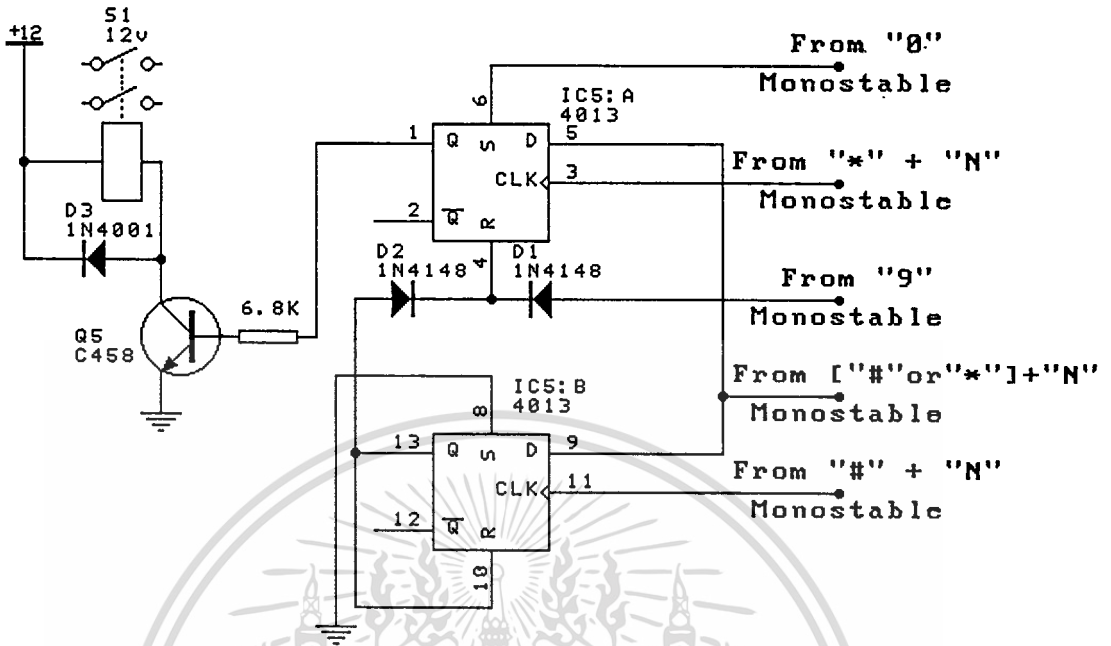
รูปที่ 3.23 การถอดรหัสสัญญาณคีย์เอ็มเอ็มเอฟ

ซึ่งการทำงานให้เปิดที่ละพื้นที่นั้น ได้ออกแบบไว้โดยให้ครหัสพื้นที่ก่อนจึงจะกดคำสั่งเปิด-ปิด ซึ่งใช้เวลากดติดกันไม่เกิน 5 วินาที หากเกินกว่านี้วงจรจะไม่ทำงาน ดังนั้นในส่วนนี้จึงใช้วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Monostable multivibrator) เป็นตัวกำหนดเวลาในการกดโดยเมื่อครหัสใช้งานใด ๆ ก็จะทำให้เข้าที่พุทของ โมโนสเตเบิล ในช่วงแอกทีฟ ฉะนั้นจึงต้องรีบกดรหัสคำสั่ง เปิด-ปิดทันที หากกดไม่ทันเข้าที่พุทของโมโนสเตเบิล ของรหัสนี้จะถูกยกเลิกไปแต่หากกดทันเข้าที่พุทก็จะไปบังคับให้รีเลย์ ในภาคคอลโทรลทำงาน ซึ่งวงจรโมโนสเตเบิลจะใช้ IC เบอร์ 555 ซึ่งช่วงของเวลาจะกำหนดได้จากค่า R18 และ C5 ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์

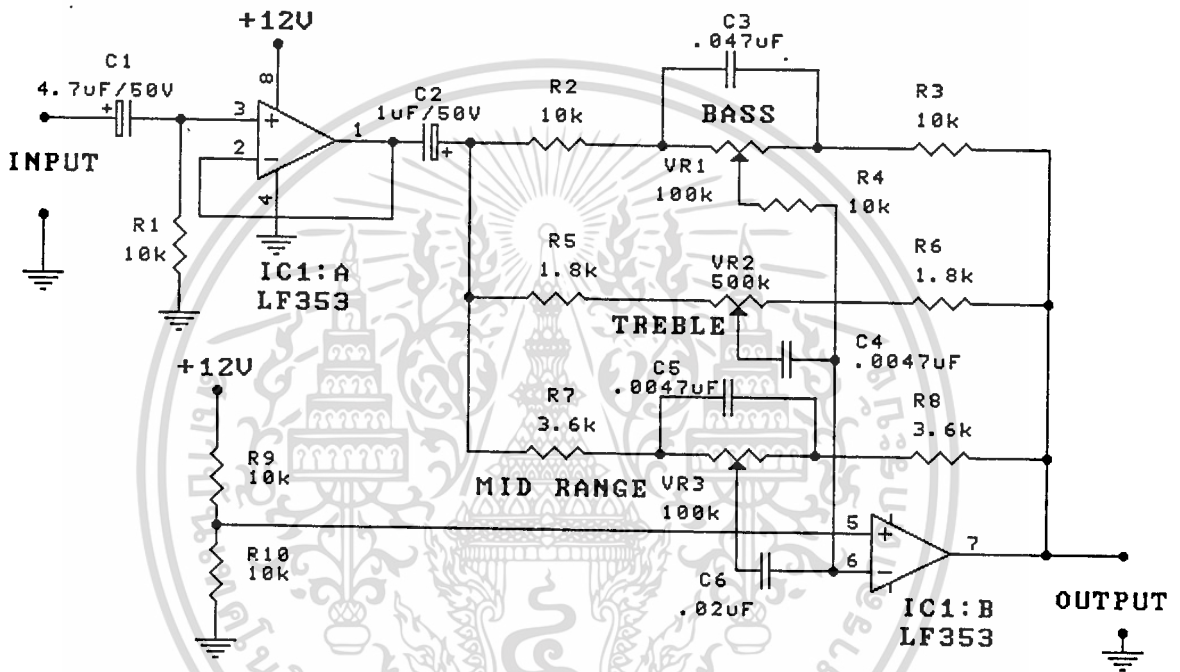
ในส่วนสุดท้ายซึ่งเป็นวงจรจับเอาต์พุตให้มีค่าคงที่จะใช้วงจรแล็ทช์ (Latch) ซึ่งทำงานโดย IC เบอร์ 4013 เป็นดี-ฟลิปฟล็อป (D Flip-Flop) ซึ่งทำงานโดยจะให้เอาต์พุตที่มีค่าคงที่ตลอดรหัสที่ถูกกดจนกว่าจะมีคำสั่งในการสั่งให้หยุดทำงานโดยภายใน เบอร์ 4013 จะประกอบด้วย 2 ชุด คือชุดแรก ทำงานเป็นตัวรักษาสถานะข้อมูลให้คงที่ และชุดที่ 2 จะทำหน้าที่ในการรีเซ็ตตัวเอง ในกรณีที่ถูกสั่งให้หยุดทำงานเอาต์พุตของส่วนนี้ก็จะส่งไปควบคุมเครื่องส่งให้ส่งสัญญาณ ไปควบคุมวงจรรับรีเลย์หยุดทำงาน ซึ่งวงจรการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 วงจรเล็ทซ์

3) วงจรควบคุมเสียงทางด้านเข้าที่พุท

เป็นวงจรที่ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณเสียงให้มีคุณภาพเสียงที่ดีขึ้นหรือเป็นวงจรที่ใช้ในการปรับแต่งเสียงให้ได้ตามความต้องการ เพื่อที่จะให้เสียงที่ออกมาสมบูรณ์และไพเราะที่สุด ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.27

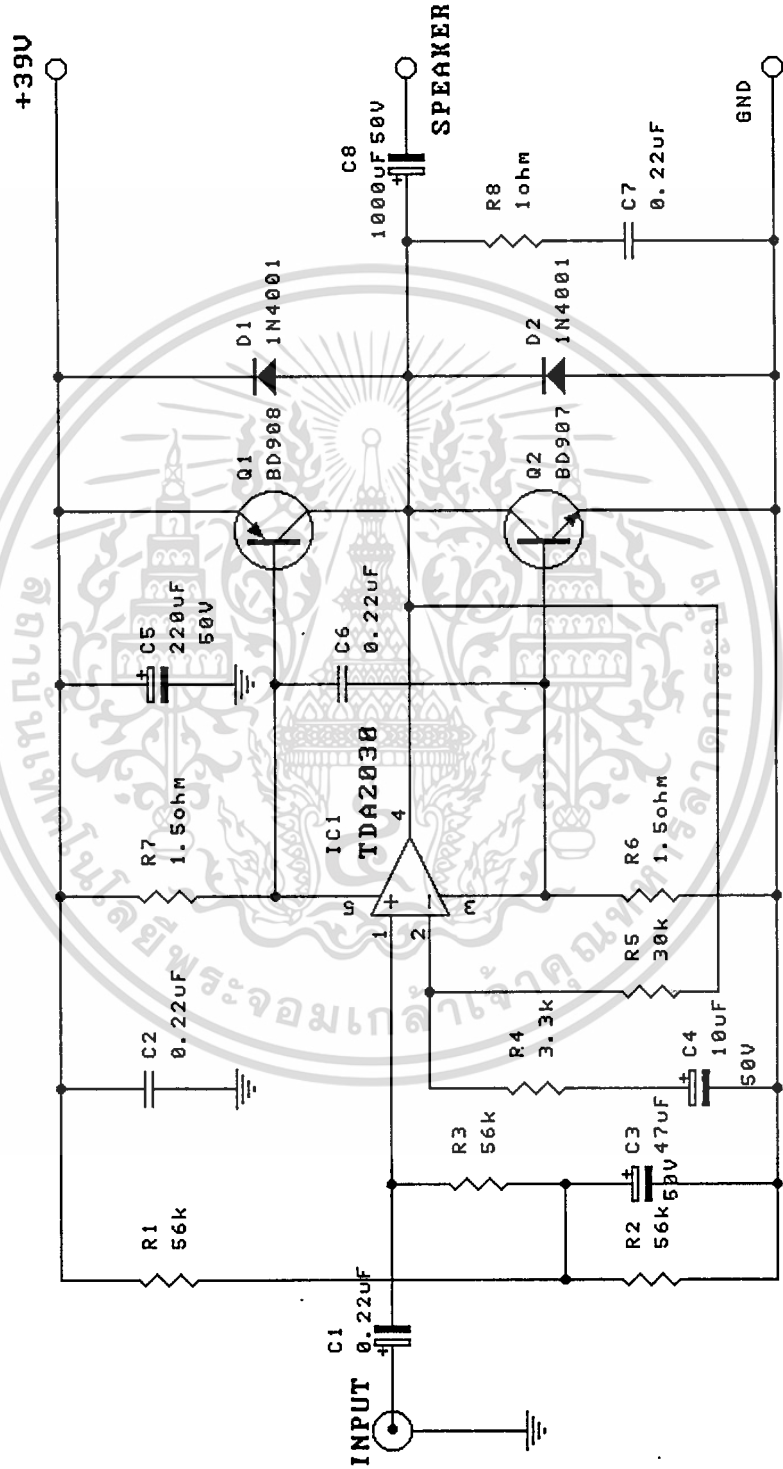


รูปที่ 3.27 วงจรปรับแต่งเสียง (Tone Control)

การทำงานของวงจร

สัญญาณเข้ามาทาง C1 ผ่านมายัง IC1-A ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกันชน ระหว่างภาคอินพุทกับเอาต์พุท จากนั้นผ่าน C2 ไปยังความต้านทานปรับค่าได้ โดย VR1 เป็นตัวปรับเสียงทุ้ม (bass) VR2 เป็นตัวปรับเสียงแหลม (treble) และ VR3 เป็นตัวปรับเสียงกลาง (mid range) โดยมี R3, R6, R8 เป็นตัวป้อนกลับในการขยายสัญญาณ และสัญญาณจากขากลางของความต้านทานปรับค่าได้ทั้ง 3 ตัว จะเข้ามายังขา 6 ของ IC1-B เพื่อนำไปขยายสัญญาณให้แรงขึ้นแล้วส่งไปยังภาคขยายเสียงต่อไป

4) วงจรขยายเสียงทางด้านเข้าที่พูด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.28 วงจรขยายเสียง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแสดงดังรูปที่ 3.28 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ได้จากวงจรปรับแต่งเสียงมาขยายให้สัญญาณแรงพอที่จะส่งไปยังลำโพงได้

การทำงานของวงจร

สัญญาณเสียงที่ได้จากวงจรปรับแต่งเสียงจะผ่าน C1 เข้ามายัง IC1 (TDA2030) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงขึ้น และทำหน้าที่แยกสัญญาณทางด้านซีกบวกส่งไปยัง Q1 และ แยกสัญญาณซีกลบส่งไปยัง Q2 ซึ่ง Q1 และ Q2 จะต่อกันเป็นวงจรพุทพล คือจะสลับกันทำงานกล่าวคือ Q1 จะทำหน้าที่ขยายซีกบวก และ Q2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณซีกลบ ดังนั้นสัญญาณที่ได้ทั้งซีกบวกและลบ ก็จะผ่าน C8 ไปยังลำโพง ก็จะได้เสียงเพลงที่ไพเราะออกมา

C8 จะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณไปยังลำโพง และ ทำหน้าที่กั้นไฟตรงไม่ให้ออกไปยังลำโพง เพราะว่าที่ขา C ของทรานซิสเตอร์จะมีแรงดันไฟตรงอยู่เท่ากับ $V_{cc}/2$ ถ้าหากแรงดันไฟตรงส่วนนี้ผ่านไปได้ก็จะทำให้ลำโพงเสียหายได้

บทที่ 4

การทดลอง และ ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงาน ในวงจรส่วนต่าง ๆ ของปริยญาณิพนธ์นี้ว่าผลของการทดลองที่ได้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบเอาไว้หรือไม่ โดยการใช้เครื่องมือวัดทำการตรวจสอบผลของรูปสัญญาณ การทำงานในแต่ละส่วนของวงจรที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น การทดลองและผลการทดลองในแต่ละส่วนได้เป็นดังนี้

4.1 วงจรส่วนภาคควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องรับ

4.1.1. การควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องรับสามารถกระทำได้โดยการกดคีย์ควบคุมได้จากคีย์บอร์ด (Keyboard) ทางเครื่องส่ง เพื่อส่ง ไปควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องรับได้ โดยทำการทดลองดังนี้

รหัสควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องรับ มีดังนี้

ตัวเลข 1-8 เป็นรหัสควบคุมพื้นที่ (ในที่นี้ใช้เฉพาะ 1-4)

เครื่องหมาย ✓ เป็นรหัสควบคุมการเปิด

เครื่องหมาย × เป็นรหัสควบคุมการปิด

วิธีใช้ โดยการกดตัวเลขรหัสควบคุมพื้นที่ แล้วตามด้วยรหัสควบคุมการเปิดหรือปิด โดยใช้ระยะเวลาระหว่างการกดรหัสทั้ง 2 ตัวไม่เกิน 5 วินาที เช่น

1 + ✓ หมายถึงเป็นการเปิดพื้นที่ที่ 1

2 + ✓ หมายถึงเป็นการเปิดพื้นที่ที่ 2

3 + ✓ หมายถึงเป็นการเปิดพื้นที่ที่ 3

4 + ✓ หมายถึงเป็นการเปิดพื้นที่ที่ 4

ตัวอักษร ON เป็นรหัสควบคุมการเปิดทุกพื้นที่ (เปิดเครื่องรับทุกตัว)

ตัวอักษร OFF เป็นรหัสควบคุมการปิดทุกพื้นที่ (ปิดเครื่องรับทุกตัว)

วิธีการใช้มีดังนี้

กด ON เครื่องรับทุกเครื่องจะทำงานทั้งหมดพร้อมกัน

กด OFF เครื่องรับทุกเครื่องจะหยุดทำงานทั้งหมดพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองมีดังนี้

การทดลองการเปิด

การกด	ผลการทดลอง
ON	เครื่องรับทุกเครื่องทำงาน
“1” + “✓”	เครื่องรับหมายเลข 1 ทำงาน
“2” + “✓”	เครื่องรับหมายเลข 2 ทำงาน
“3” + “✓”	เครื่องรับหมายเลข 3 ทำงาน
“4” + “✓”	เครื่องรับหมายเลข 4 ทำงาน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการเปิด

การทดลองการปิด

การกด	ผลการทดลอง
OFF	เครื่องรับทุกเครื่องหยุดทำงาน
“1” + “X”	เครื่องรับหมายเลข 1 หยุดทำงาน
“2” + “X”	เครื่องรับหมายเลข 2 หยุดทำงาน
“3” + “X”	เครื่องรับหมายเลข 3 หยุดทำงาน
“4” + “X”	เครื่องรับหมายเลข 4 หยุดทำงาน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการปิด

4.1.2 ทดลองกดปุ่มตัวอย่างส่ง โดยไม่ให้ตรงกับรหัสเปิด-ปิด ในขณะที่เครื่องรับทั้งหมดหยุดทำงาน

ผลการทดลอง ไม่มีเครื่องรับเครื่องใดทำงาน

4.1.3 ทดลองกดปุ่มตัวอย่างส่ง โดยไม่ให้ตรงกับรหัสเปิด-ปิดในขณะที่เครื่องรับทั้งหมดกำลังทำงานอยู่

ผลการทดลอง ไม่มีเครื่องรับเครื่องใดทำงาน (เครื่องรับทุกตัวทำงานตามปกติ)

4.2 วงจรส่วนภาคเสียง

4.2.1 ทดลองส่งสัญญาณเสียงโดยป้อนสัญญาณเสียงผ่าน AUX แล้วทำการปรับปุ่มควบคุมเสียง (Tone Control) ดังนี้

- ปุ่มปรับความแรงของเสียง (VOLUME)

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจน แต่ถ้าปรับระดับความแรงมากเกินไปเสียงจะแตกพร่าเล็กน้อย

- ปุ่มปรับเสียงทุ้ม (BASS)

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจน

- ปุ่มปรับเสียงแหลม (TREBLE)

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจน

- ปุ่มปรับเสียงซ้าย-ขวา (BALANCE)

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจนทั้งซ้ายและขวา

4.2.2 ทดลองเครื่องรับในระบบสเตอริโอ โดยการปรับปุ่มปรับเสียงไปทาง ซ้าย

ผลการทดลอง เครื่องรับหมายเลข 2 และ 3 ทำงาน คุณภาพเสียงชัดเจน ส่วนเครื่องรับหมายเลข 1 และ 4 มีเสียงออกมาน้อยกว่าปกติ

4.2.3 ทดลองเครื่องรับในระบบสเตอริโอ โดยการปรับปุ่มปรับเสียงไปทาง ขวา

ผลการทดลอง เครื่องรับหมายเลข 1 และ 4 ทำงาน คุณภาพเสียงชัดเจน ส่วนเครื่องรับหมายเลข 2 และ 3 มีเสียงออกมาน้อยกว่าปกติ

4.2.4 ทดลองตัวเครื่องรับโดยต่อสัญญาณเสียงเข้าโดยตรงจากภายนอกดังนี้

- ต่อเข้าทางช่อง MIC

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจน

- ต่อเข้าทางช่อง AUX

ผลการทดลอง คุณภาพเสียงชัดเจน

4.3 การวัดความแรงสัญญาณของเครื่องส่ง

ในการวัดความแรงของเครื่องส่งใช้เครื่องวัด RF FIELD STRENGTH METER ของ PROMAX รุ่น MC-843E/1 วัดความแรงในจุดต่าง ๆ บริเวณรอบคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยเครื่องส่งตั้งอยู่ ณ ห้อง ก.311 การวัดสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

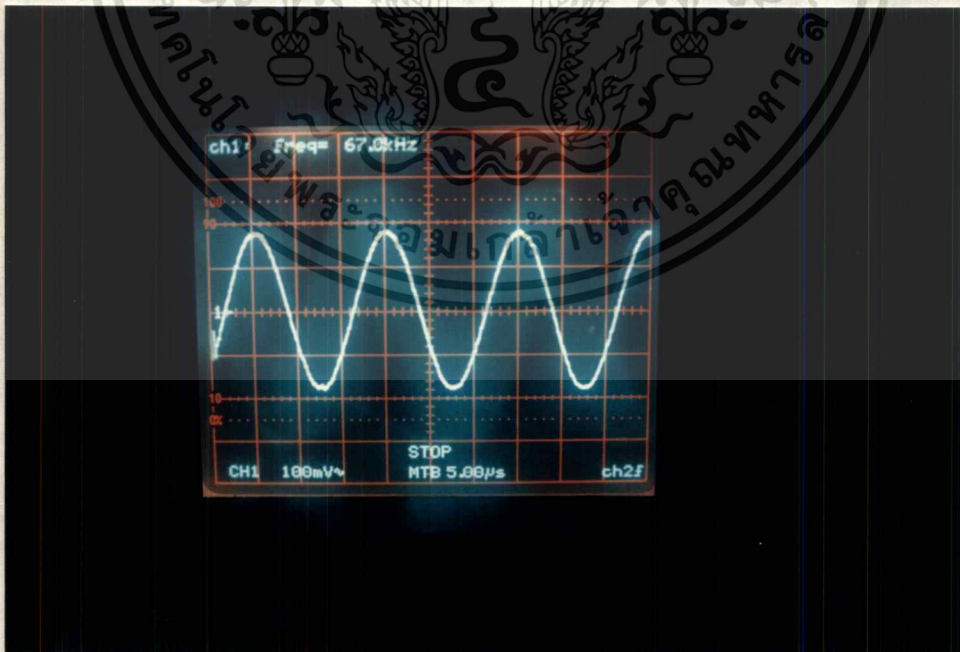
จุดที่	สถานที่	สายอากาศชนิด Helical			สายอากาศชนิด $\lambda/2$		
		dB μ V	μ V	คุณภาพเสียง	dB μ V	μ V	คุณภาพเสียง
1	สำนักงานคณบดี คณะครุศาสตร์ ฯ	30	33	ชัดเจน	50	300	ชัดเจน
2	โรงอาหาร คณะครุศาสตร์ ฯ	27	23	ชัดเจน	42	140	ชัดเจน
3	สนามบาสเก็ตบอล คณะวิทยาศาสตร์	28	25	รบกวน 20%	38	100	ชัดเจน
4	ตึก L คณะเกษตร	21	11	รบกวน 70%	35	60	ชัดเจน
5	ป้อมยามประตู คณะครุศาสตร์ ฯ	20	10	ชัดเจน	26	29	ชัดเจน
6	สำนักวิจัย คอมพิวเตอร์	20	10	ชัดเจน	37	75	ชัดเจน
7	พระบรมรูป ร.4	21	12	รบกวน 40%	36	70	ชัดเจน
8	ตึกพระเทพฯ	รับไม่ได้			30	32	รบกวน 80%

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดความแรงสัญญาณของเครื่องส่ง

4.4 รูปคลื่นของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ของวงจร

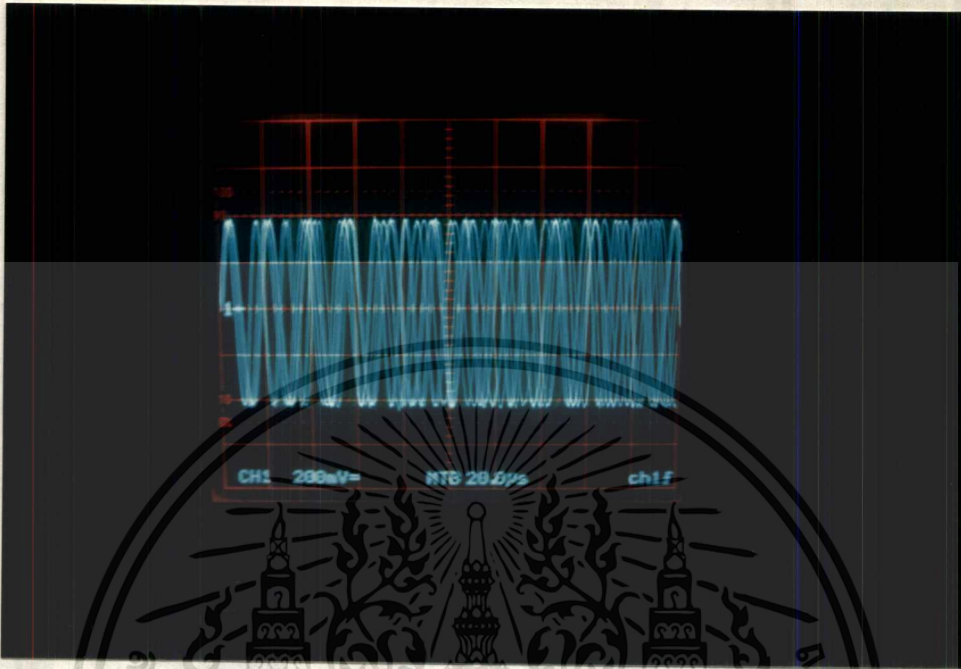


รูปที่ 4.1 สัญญาณ DTMF ก่อนเข้า Modulation

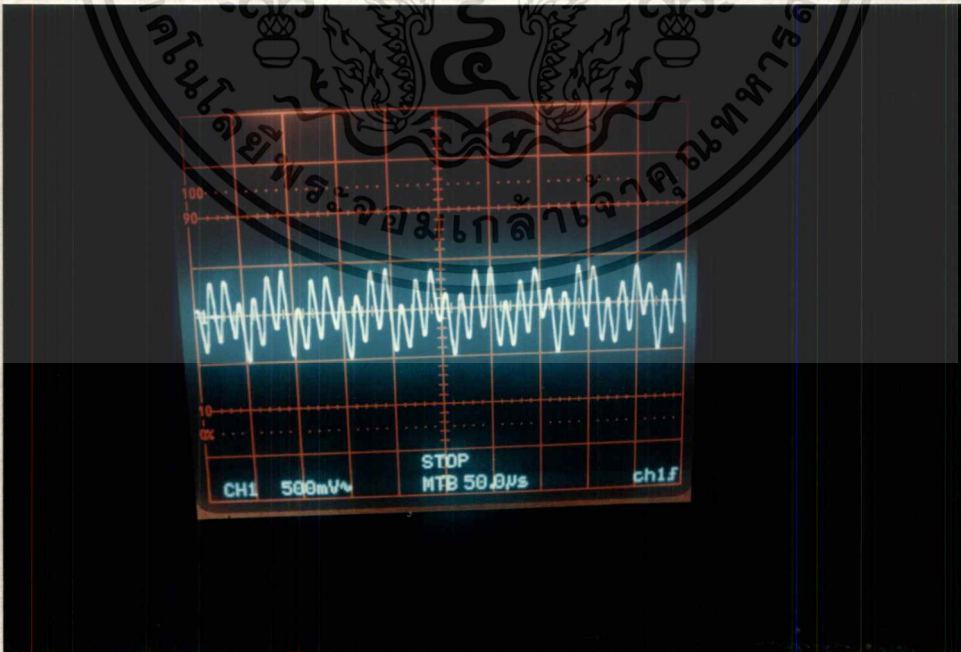


รูปที่ 4.2 สัญญาณความถี่คลื่นพาห้อยู่ 67 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

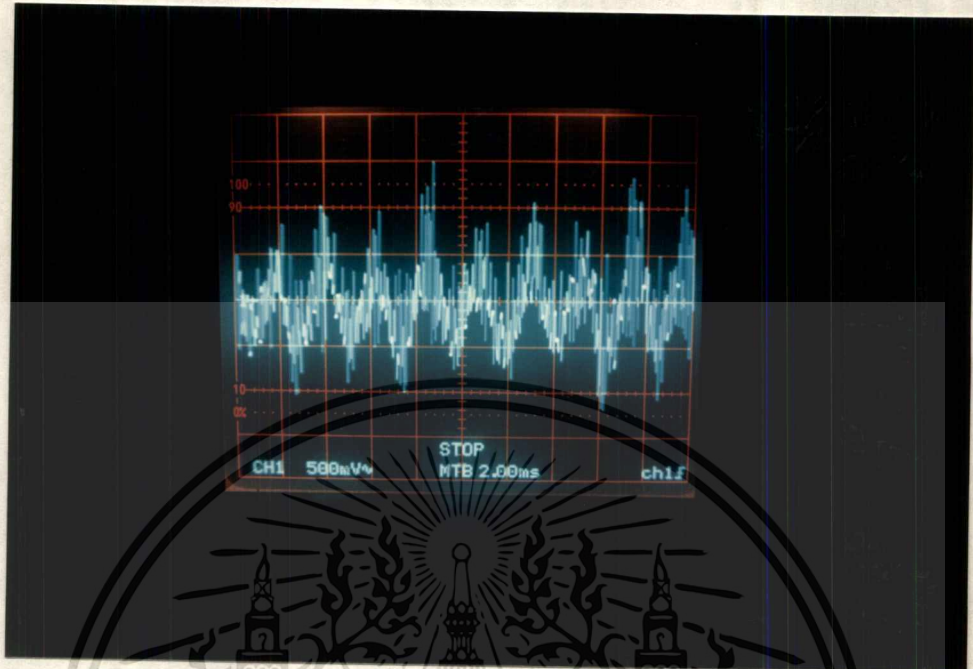


รูปที่ 4.3 สัญญาณความถี่คลื่นพาห้อย่อย 67 kHz ขณะถูกมอดูเลต

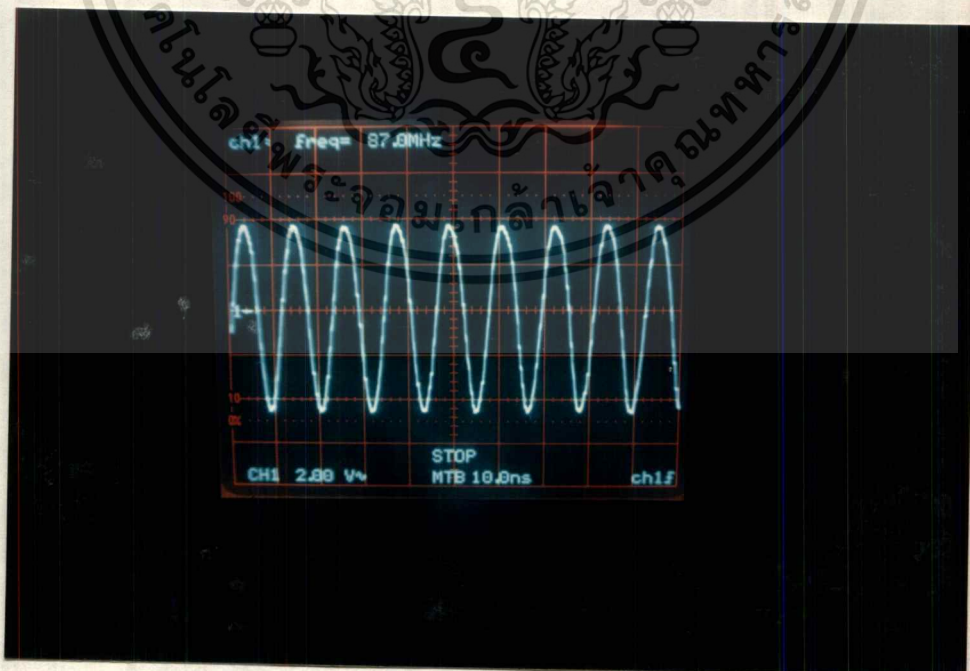


รูปที่ 4.4 สัญญาณความถี่คลื่นพาห้อย่อย 67 kHz รวมกับความถี่ Pilot Tone 19 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

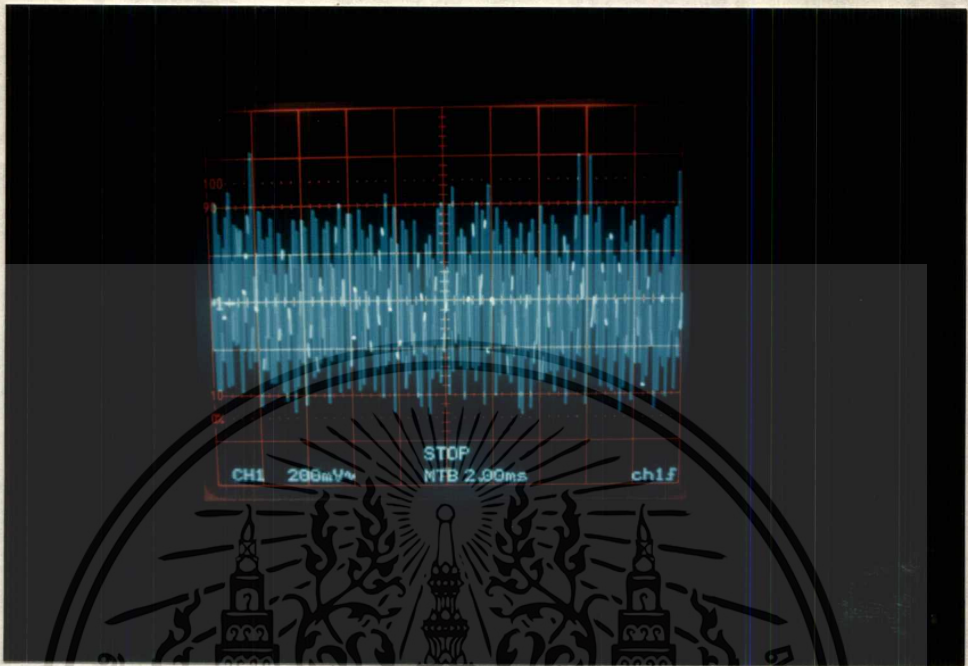


รูปที่ 4.5 สัญญาณเสียงที่รวมกับความถี่คลื่นพาห้ย่อย 67 kHz กับความถี่ Pilot Tone 19 kHz ก่อนเข้ามอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห้หลัก

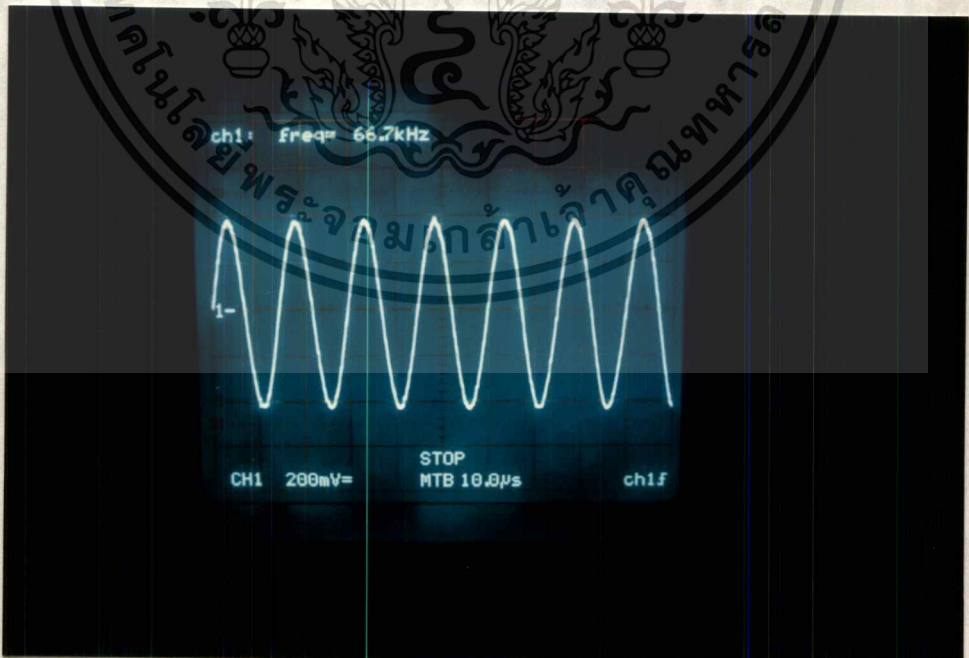


รูปที่ 4.6 สัญญาณความถี่คลื่นพาห้หลัก 87.0 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

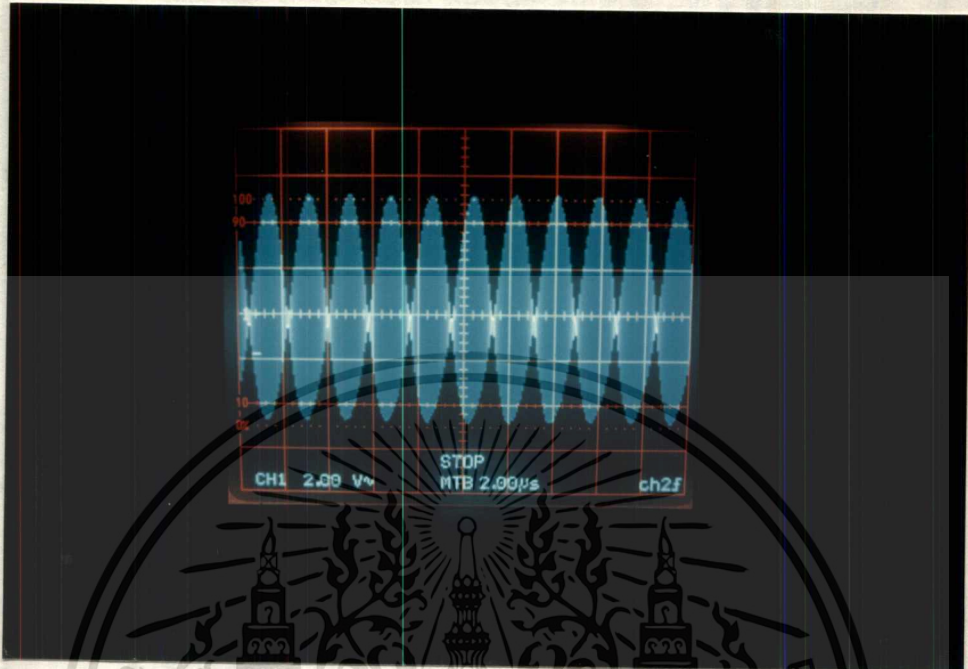


รูปที่ 4.7 สัญญาณรวมที่รับได้ทางเครื่องรับ



รูปที่ 4.8 สัญญาณความถี่คลื่นพาห้อย่อย 67 kHz หลีกจากผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัญญาณความถี่ DTMF หลังจากถูก SCA Demodulation แล้ว

บทที่ 5

สรุป และ แนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ระบบกระจายเสียงไร้สายแบบควบคุมพื้นที่ในปริญญาโทฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและสร้างระบบกระจายเสียงที่สามารถควบคุมการกระจายเสียงแบบไร้สายตามจุดต่าง ๆ ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกต่อการใช้งาน มีความประหยัด และง่ายต่อการควบคุม ซึ่งทางผู้จัดทำได้วางขอบเขตคุณสมบัติของระบบกระจายเสียงไร้สายแบบควบคุมพื้นที่ ที่จะทำการจัดสร้างไว้ดังนี้

- การทำงานทั้งหมดหลังจากติดตั้งเครื่องรับเสร็จเรียบร้อยแล้วจะสามารถควบคุมการทำงานทั้งหมดได้ที่เครื่องส่ง ทั้งระบบการกระจายเสียงและระบบควบคุมการทำงาน

- เพื่อความเอนกประสงค์และความสะดวกสบายในการใช้งานทางเครื่องรับสามารถตัดต่อสัญญาณภายนอกทั้งจากไมโครโฟนและแหล่งกำเนิดเสียงอื่น ๆ ได้ที่ทางเครื่องรับโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านเครื่องส่งก็ได้ในกรณีที่ต้องการ

- ในกรณีที่น่าไปใช้งานในบริเวณที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ 220 โวลต์ ทางเครื่องรับสามารถใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟตรง 12 โวลต์ เช่น แบตเตอรี่ ได้

- ในการควบคุมการทำงานจากเครื่องส่งสามารถควบคุมการทำงานให้เครื่องรับสามารถทำงานได้พร้อมกันทั้งหมดหรือหยุดทำงานพร้อมกันทั้งหมดได้ หรือให้เครื่องรับเครื่องหนึ่งเครื่องใดทำงานหรือหยุดทำงานได้ตามต้องการ

- ในกรณีที่ต้องการให้เครื่องรับทำงานอิสระจากเครื่องส่ง สามารถสั่งให้เครื่องรับทำงานหรือหยุดทำงานได้ตามต้องการ

จากการที่ได้ทำการศึกษาและทดลองสร้างระบบกระจายเสียงไร้สายแบบควบคุมพื้นที่นี้ปรากฏว่าเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง เพราะเครื่องที่สร้างเสร็จแล้วนั้นหลังจากได้ทำการทดลองแล้วสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่วางเอาไว้ทุกประการ คือ สามารถส่งสัญญาณเสียงจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับได้ และสามารถควบคุมเครื่องรับได้ตามที่ต้องการทุกประการ โดยพื้นที่ในการควบคุมสามารถควบคุมได้ 8 พื้นที่ใช้งาน และถ้าแก้ไขวงจรควบคุมทางภาครับก็จะสามารถเพิ่มพื้นที่การควบคุมได้อีกตามต้องการ

5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข

ในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์ เกิดปัญหาและอุปสรรคขึ้นซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมปัญหา และแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเอาไว้พอสังเขป ดังนี้

ปัญหา

สัญญาณควบคุมที่มอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห่อย่อยที่ส่งไปทางเครื่องรับนั้นถูกลดทอนและรบกวนจากความถี่เสียงและสัญญาณไฟลัด โทน

แนวทางแก้ไข

ปัญหานี้เกิดจากในระบบ Frequency Division Multiplex (FDM) นั้นใช้ความถี่หลาย ๆ ความถี่มามอดูเลตรวมกัน ดังนั้นความถี่จึงรบกวนกันเอง ทำให้สัญญาณทางเครื่องรับมีความแรงไม่พอที่จะนำไปถอดรหัสจึงต้องใช้วงจรกรองผ่านความถี่ (Band Pass Filter) ช่วยในการกรองสัญญาณควบคุมที่ต้องการให้ผ่านและขยายให้แรงเพียงพอที่จะใช้งานได้ ซึ่งก็สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง

ปัญหา

ทางเครื่องส่งสัญญาณ RF จากเสาที่หูกของเครื่องส่งเกิดการแพร่กระจายและป้อนกลับเข้ามารบกวนระบบเสียงทางเครื่องส่งเองทำให้ทางเครื่องรับ ไม่สามารถรับสัญญาณเสียงได้และไม่สามารถถอดรหัสสัญญาณได้

แนวทางแก้ไข

ดังนั้นจึงต้องสร้างกล่องชิลด์สัญญาณ RF จากเครื่องส่งและสร้างระบบกราวด์ของเครื่องให้ดีให้มีประสิทธิภาพ มิให้เกิดการย้อนกลับจนเกิดการออสซิลเลตได้

ปัญหา

วงจรกรองผ่านความถี่ (BPF) ที่สร้างขึ้นนั้นมีแบนด์วิดท์แคบเกินไปทำให้สัญญาณควบคุมที่มอดูเลตแบบ FM ซึ่งมีการเบี่ยงเบนของความถี่ ความถี่ที่เบี่ยงเบนนี้ไม่สามารถผ่าน BPF ได้ทั้งหมด ทำให้การควบคุมทำได้ไม่เต็ม 100%

แนวทางแก้ไข

ทำการแก้ไขวงจร BPF ให้มีแบนด์วิดท์กว้างกว่าเดิมเพียงพอที่ความถี่เบี่ยงเบนสามารถผ่านวงจร BPF ได้หมดเพื่อให้ทำการถอดรหัสได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา

ระยะทางในการใช้งานมีรัศมีการทำงานไม่ไกลมากนัก

แนวทางแก้ไข

ต้องเพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่งหรือพัฒนาสายอากาศทางเครื่องส่งและเครื่องรับให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนานั้นสามารถกระทำได้ดังนี้

1 การพัฒนาทางเครื่องส่ง

- 1.1 ปรับปรุงสายอากาศให้มีเกนและประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.2 เพิ่มกำลังเครื่องส่งให้สูงขึ้นเพื่อควบคุมในระยะไกลได้
- 1.3 เพิ่มช่องต่อสัญญาณเสียง (AUX) จากแหล่งกำเนิดเสียงภายนอกให้มากขึ้น

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดรายการ

2 พัฒนาทางเครื่องรับ

- 2.1 เพิ่มความไวของเครื่องรับให้มีความไวสูงกว่านี้
- 2.2 ปรับปรุงสายอากาศให้กระต๊อดแต่มีเกนและประสิทธิภาพสูง
- 2.3 ปรับปรุงแก้ไขวงจรจรรดครัทสเพื่อเพิ่มจำนวนพื้นที่ให้มากยิ่งขึ้น
- 2.4 ปรับปรุงคุณภาพของวงจรขยายเสียงและลำโพงเพื่อให้คุณภาพเสียงที่ดีกว่านี้

ซึ่งแนวทางในการพัฒนาทั้งหมดเพื่อให้ระบบกระจายเสียงไร้สายแบบควบคุมพื้นที่ทำงานได้เอนกประสงค์ มีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์ในการใช้งานให้ได้มากที่สุด

บรรณานุกรม

กฤษดา วิศวธีรานนท์ รัช. ,เทคนิคการต่อวงจรเครื่องขยายเสียง.กรุงเทพมหานคร:
ซีเอ็ดยูเคชั่น,2532

บรรเจิด ตันติภัตยาภรณ์,เครื่องรับส่ง 8.กรุงเทพมหานคร:เครื่องรับส่ง,2533

วิเชียร ชมเชย และ สมชาย อินทร์ทอง,ความถี่.กรุงเทพมหานคร:ความถี่,2537

สุชาติ กังวารจิตต์,เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสารกรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น,
2532

John L. Hilburn and David E.Johnson,MANUAL OF ACTIVE FILTER DESIGN.
San Francisco:McGraw-Hill Book Company,1973

MOT GROUP,ความรู้เบื้องต้นทางวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์.กรุงเทพมหานคร:
ฟิสิกส์เซ็นเตอร์,2535

PHILIPS,ECG Semiconductors Master Replacement Guide.Canada:Philips ECG,
1991



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.รายการอุปกรณ์วงจรปรับแต่งเสียง

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R13	carbon	560 k Ω	1
R2	carbon	390 k Ω	1
R19	carbon	320 k Ω	1
R4,R7,R12	carbon	220 k Ω	3
R5,R20	carbon	100 k Ω	2
R1,R9,R11	carbon	27 k Ω	3
R8	carbon	10 k Ω	1
R15,R16,R18	carbon	8.2 k Ω	3
R14,R27	carbon	4.7 k Ω	2
R17	carbon	3.3 k Ω	1
R23	carbon	1.8 k Ω	1
R6,R12,R24,R25	carbon	1 k Ω	4
R3	carbon	680 Ω	1
R10	carbon	100 Ω	1
VR1,VR2,VR3,VR4,VR5,VR6	potentiometer	100 k Ω	6
C5,C7	electrolitics	100 μ F	2
C8,C9,C10,C11	electrolitics	10 μ F	4
C2,C4	electrolitics	4.7 μ F	2
C6	electrolitics	2.2 μ F	1
C1	electrolitics	1 μ F	1
C13,C14	milar	0.047 μ F	2
C12	milar	0.0022 μ F	1
C15,C16	ceramic	390 pF	2
C3	ceramic	100 pF	1
Q1,Q2,Q3,Q4	Si,TR-npn	2N2484	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.รายการอุปกรณ์วงจรภาคแม่ทริกสเตอริโอ

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R6,R12,R13	carbon	47 k Ω	3
R2,R4,R8,R11	carbon	33 k Ω	4
R3	carbon	25 k Ω	1
R1,R5,R7,R15	carbon	4.7 k Ω	4
R9	carbon	100 Ω	1
VR1,VR2,VR3,VR4	potentiometer	25 k Ω	4
C1,C2,C3,C4,C5	electrolitics	47 μ F	5
IC1	Dual Op Amp	LM1458	1

3.รายการอุปกรณ์วงจรภาคบาลานซ์มอดูเลเตอร์

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R17,R18	carbon	100 k Ω	2
R19,R20	carbon	22 k Ω	2
R30,R31	carbon	3.3 k Ω	2
R26,R28	carbon	2.2 k Ω	2
R27	carbon	1.5 k Ω	1
R24	carbon	1 k Ω	1
R22	carbon	680 Ω	1
R23	carbon	470 Ω	1
R25,R32	carbon	220 Ω	2
R29	carbon	10 Ω	1
VR21	potentiometer	22 k Ω	1
C7,C8,C9,C10,C11,C12	electrolitics	47 μ F	6
IC3	balanced mod.	MC1496	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.รายการอุปกรณ์วงจรภาคเข้ารหัสสัญญาณควบคุม

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1,R2	carbon	56 k Ω	2
R5,R6,R11	carbon	1 k Ω	3
VR4,VR7	potentiometer	100 k Ω	2
VR3	potentiometer	50 k Ω	1
VR9	potentiometer	25 k Ω	1
VR10	potentiometer	1 k Ω	1
VR8	potentiometer	500 Ω	1
C1,C2,C5	electrolitics	10 μ F	3
C3	electrolitics	1 μ F	1
C4	ceramic	0.001 μ F	1
IC5	Monophonic	XR2206	1

5.รายการอุปกรณ์วงจรภาคออสซิลเลเตอร์

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R42,R45	carbon	560 k Ω	2
VR43,VR44	potentiometer	25 k Ω	2
C18,C19,C20,C21	ceramic	0.01 μ F	4
IC2	Dual Timing	LM556	1

6.รายการอุปกรณ์วงจรภาครวมและขยายสัญญาณ

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R37	carbon	220 k Ω	1
R33,R34,R35,R36,R38,R39	carbon	100 k Ω	6
R40	carbon	1 k Ω	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำออกนอกมหาวิทยาลัยได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R41	potentiometer	25 k Ω	1
C13,C17	electrolitics	47 μ F	2
C11,C16	electrolitics	1 μ F	2
C14	milar	0.1 μ F	1
C15	ceramic	510 μ F	1
IC4	Daul Op Amp	LM1458	1

7.รายการอุปกรณ์วงจรภาคเครื่องส่ง

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R9,R10,R12	carbon	100 k Ω	3
R4	carbon	220 k Ω	1
R3,R6	carbon	47 k Ω	2
R7	carbon	15 k Ω	1
R12	carbon	10 k Ω	1
R11,R13	carbon	4.7 k Ω	2
R8	carbon	2.2 k Ω	1
R5	carbon	1 k Ω	1
R14	carbon	680 Ω	1
VR1	potentiometer	10 k Ω	1
C3,C10	electrolitics	22 μ F	2
C2,C6	electrolitics	10 μ F	2
C1	electrolitics	1 μ F	1
C4,C9	ceramic	0.047 μ F	2
C5	ceramic	0.001 μ F	1
C7,C8	ceramic	27 pF	2
TC1,TC2	timmer	1-50 pF	2
D1	Si diode	1N4001	1
VD1	varicap	BB139	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q1,Q2	Si TR npn	BC549	2
Q3,Q4	Si TR npn	2SC1947	2
LED	LED	red	1

8.รายการอุปกรณ์วงจรถอดรหัสสัญญาณเสียง

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R12,R13	carbon	820 k Ω	2
R4	carbon	150 k Ω	1
R7	carbon	15 k Ω	1
R1,R2	carbon	6.8 k Ω	2
R10,R11,R14,R15	carbon	4.7 k Ω	4
R5	carbon	2.2 k Ω	1
R6,R9	carbon	1 k Ω	2
R3	carbon	220 Ω	1
VR1	potentiometer	10 k Ω	1
C4	electrolitics	47 μ F	1
C3,C10,C11	electrolitics	1 μ F	3
C7	milar	0.47 μ F	1
C6,C8	milar	0.22 μ F	2
C9	milar	0.047 μ F	1
C12,C13,C14,C15	milar	0.0022 μ F	4
C2,C5	ceramic	470 pF	2
C1	ceramic	150 pF	1
D1,D2	Si diode	1N4001	2
Q1	Si TR npn	BC549	1
IC1	Stereo Demod	MC1310	1
LED	LED	red	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.รายการอุปกรณ์วงจรภาคอครหัสสัญญาควบคุม

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R5	carbon	10 k Ω	1
R1,R2,R3,R4	carbon	4.7 k Ω	4
R7	carbon	1.8 k Ω	1
R8,R9,R10	carbon	1 k Ω	3
VR1	potentiometer	5 k Ω	1
C6	ceramic	0.0047 μ F	1
C4,C5	ceramic	0.0018 μ F	2
C3,C7	ceramic	0.001 μ F	2
C1,C2	ceramic	510 pF	2
IC1	PLL	LM565	1

10.รายการอุปกรณ์วงจรภาคปรับแต่งเสียง

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1,R2,R3,R4,R9,R10	carbon	10 k Ω	6
R7,R8	carbon	3.6 k Ω	2
R6,R7	carbon	1.8 k Ω	2
VR2	potentiometer	500 k Ω	1
VR1,Vr3	potentiometer	100 k Ω	2
C1	electrolitics	4.7 μ F	1
C2	electrolitics	1 μ F	1
C3,C4,C5	milar	0.047 μ F	3
C6	milar	0.02 μ F	1
IC1	Daul Op Amp	LF353	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.รายการอุปกรณ์วงจรภาคขยายเสียง

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1,R2,R3	carbon	56 k Ω	3
R5	carbon	30 k Ω	1
R4	carbon	3.3 k Ω	1
R6,R7	carbon	1.5 k Ω	2
R8	carbon	1 Ω	1
C2	electrolitics	100 μ F	1
C3	electrolitics	47 μ F	1
C4	electrolitics	10 μ F	1
C1	milar	0.22 μ F	1
D1,D2	Si diode	1N4001	2
Q1	Si TR pnp	BD908	1
Q2	Si TR npn	BD907	1
IC1	Power Amp	TDA2030	1

12.รายการอุปกรณ์วงจรภาคควบคุมสวิทซ์

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า/เบอร์	จำนวน
R18	carbon	500 k Ω	1
R3	carbon	300 k Ω	1
R1,R2	carbon	100 k Ω	2
R11	carbon	22 k Ω	1
R4-R8,R10,R12,R14,R17	carbon	4.3 k Ω	5
R9,R13,R15,R16	carbon	2.2 k Ω	4
R19	carbon	6.8 Ω	1
C5	electrolitics	10 μ F	1
C1,C2	electrolitics	1 μ F	2

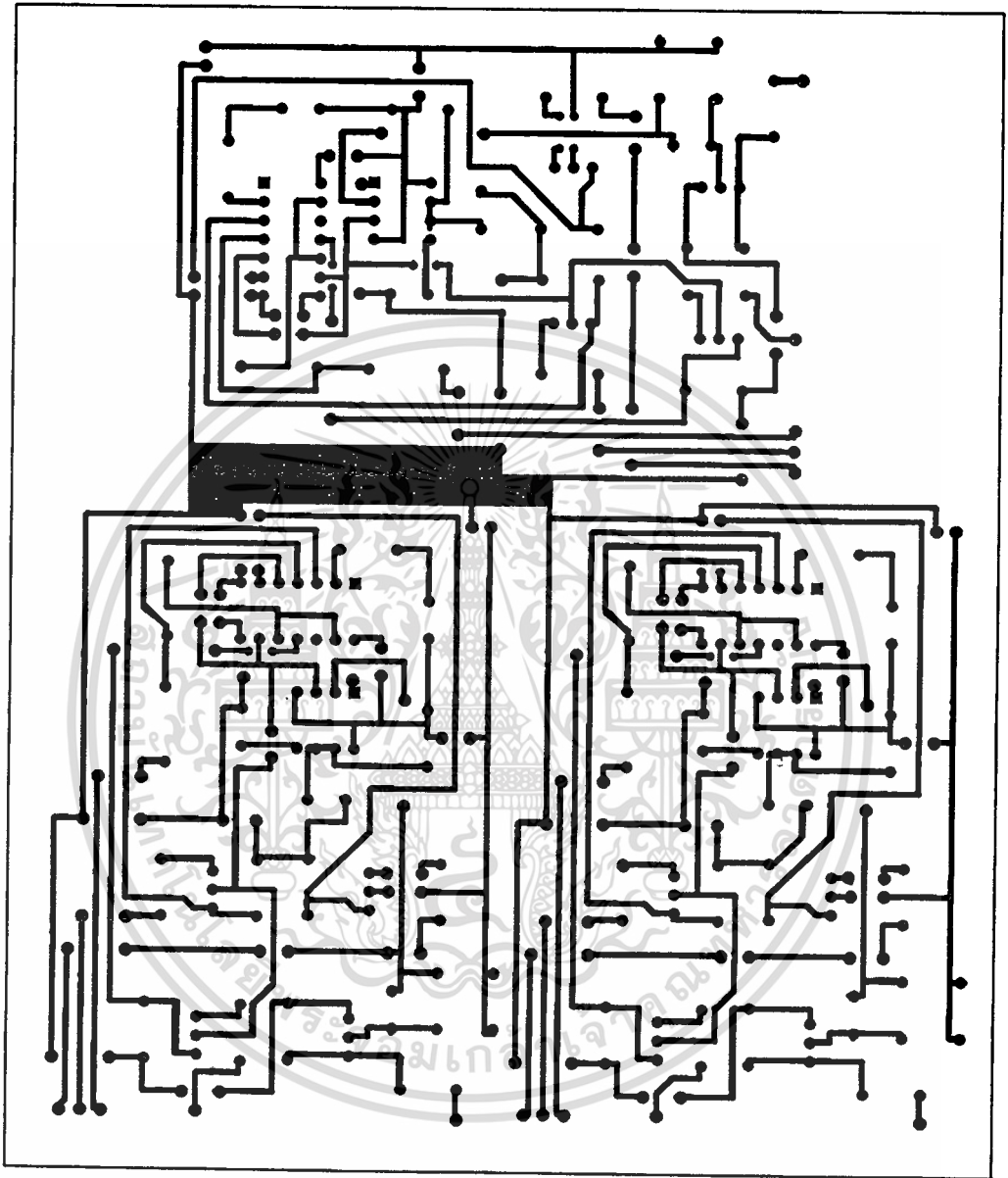
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่บนเว็บไซต์การศึกษานี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C4	mlar	0.01 μ F	1
C3	mlar	0.001 μ F	1
D1	Si diode	1N4001	1
D2,D3	Si diode	1N4148	2
Q1,Q2,Q3,Q4,Q5	Si TR npn	2SC458	5
IC1	DTMF decode	MT8870	1
IC2	4 to 16 decoder	CD14514	1
IC3	Reguator 5 V	78L05	1
IC4	Timer/OSC	LM555	1
IC5	D flip-flop	CD14013	1
IC6	Buffer	7407	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

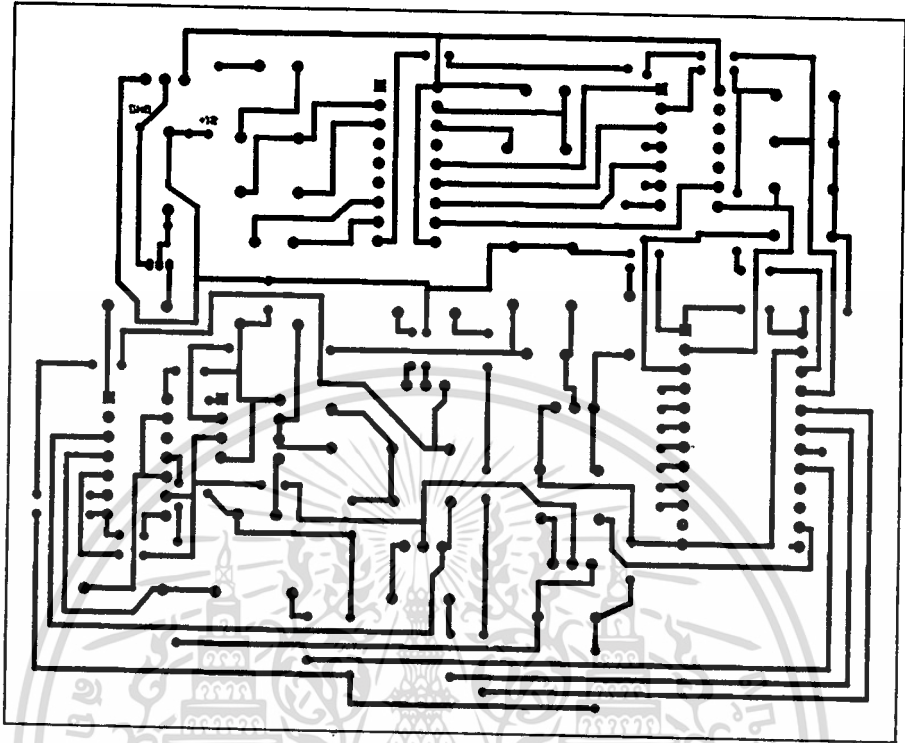


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

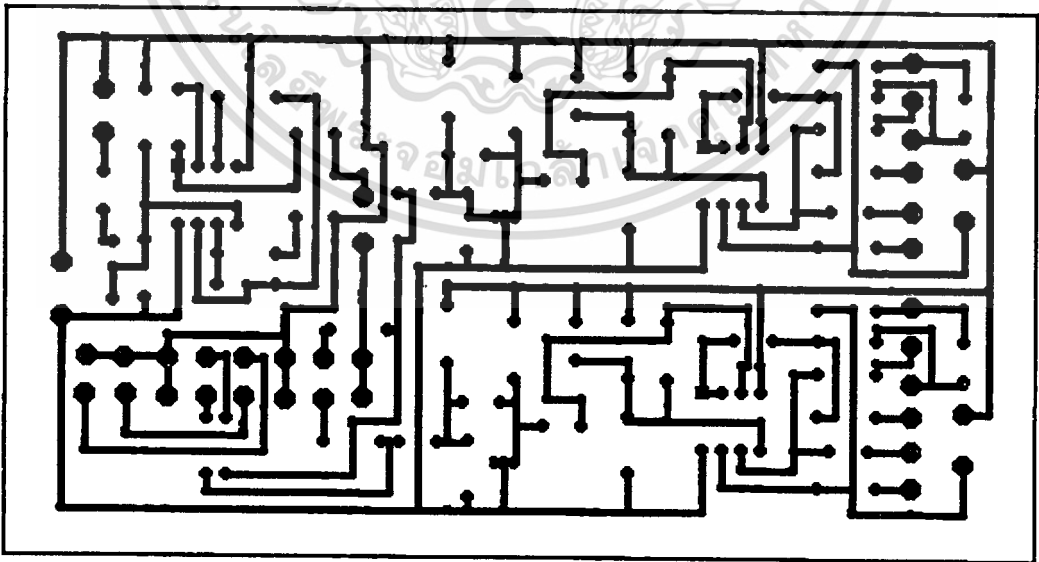


แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแสดงผลการทำงานของเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

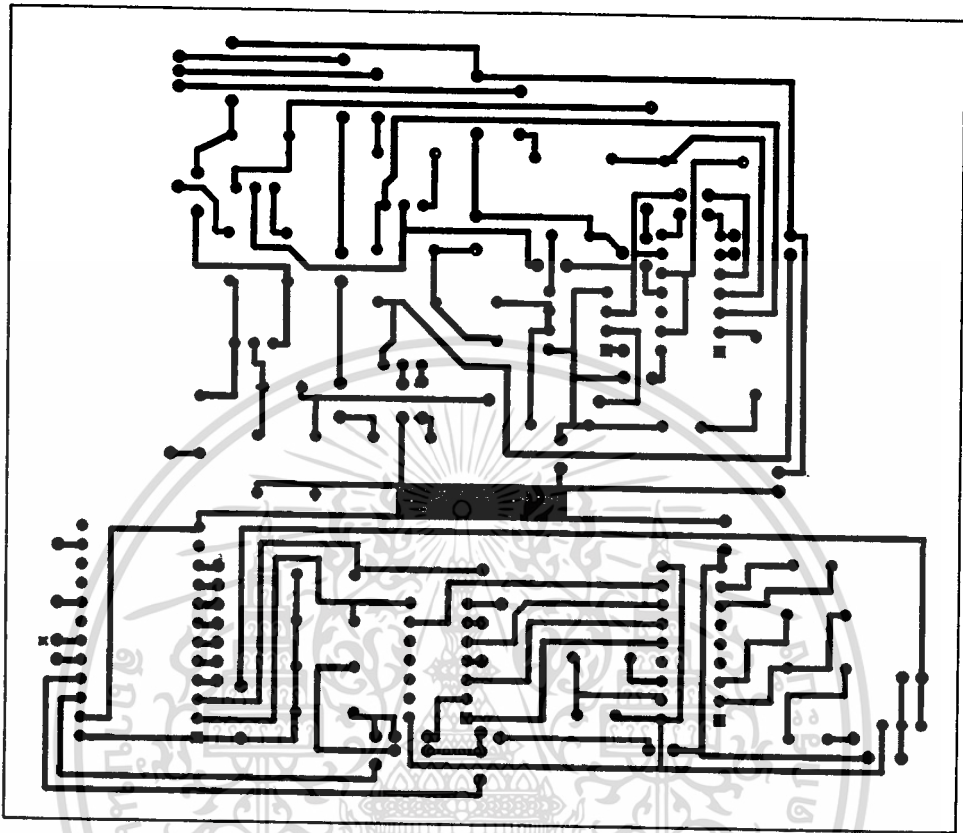


แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องส่ง



แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรปรับแต่งเสียงสเตอริโอ + ไมค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรถอดรหัสสัญญาณควบคุม

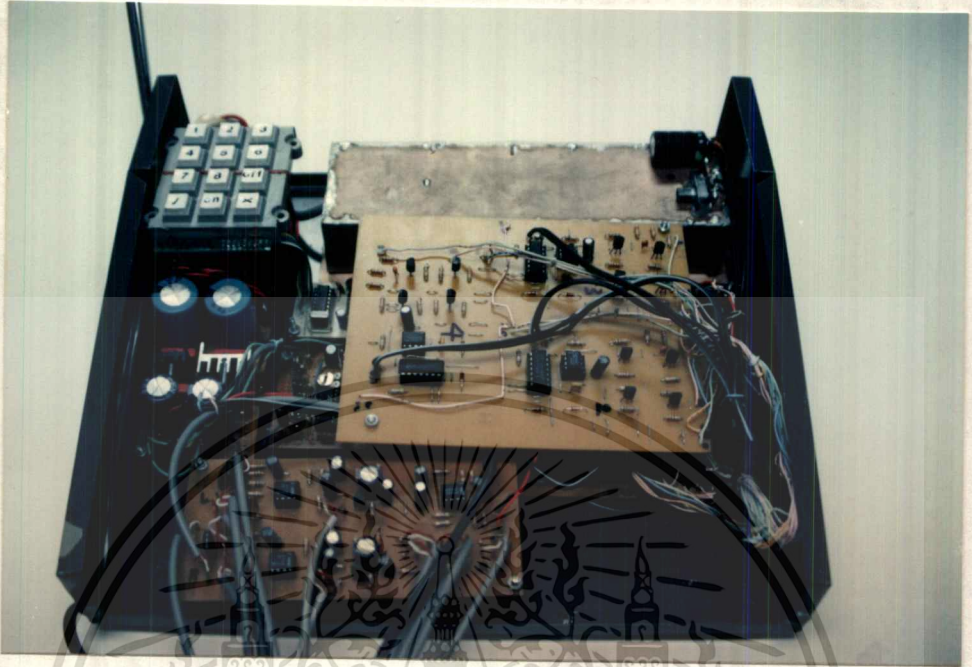
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



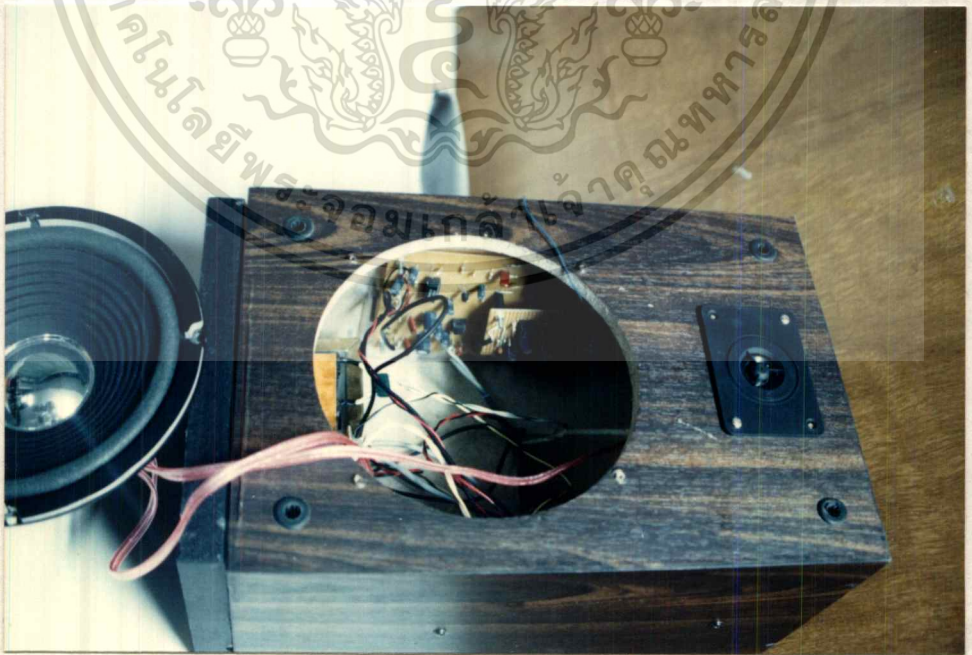
ภาคผนวก ก

รูปเครื่องต้นแบบของระบบกระจายเสียงไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงเครื่องส่งขณะประกอบ



รูปแสดงเครื่องรับขณะประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงเครื่องส่งขณะประกอบเสร็จ



รูปแสดงเครื่องรับขณะประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
รายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LINEAR
INTEGRATED
CIRCUITS**

**TYPES MC1558, MC1458
DUAL GENERAL-PURPOSE
OPERATIONAL AMPLIFIERS**

BULLETIN NO. DL-S 11457, FEBRUARY 1971—REVISED OCTOBER 1979

- Short-Circuit Protection
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required

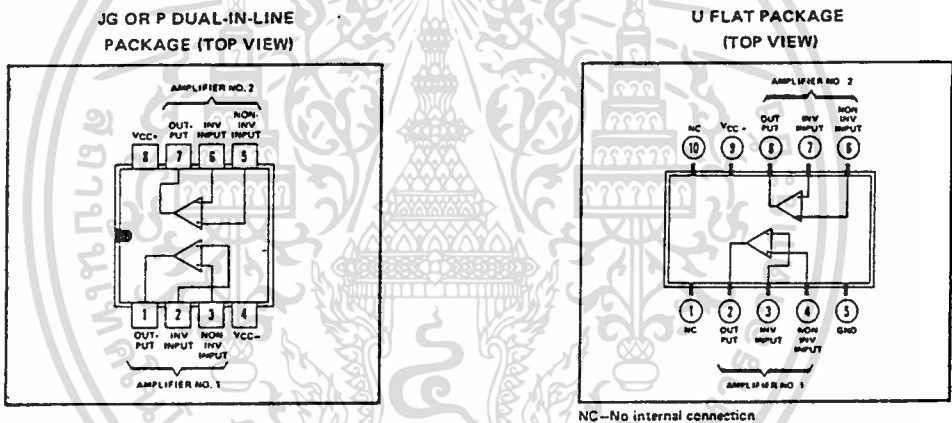
- Low Power Consumption
- No Latch-up
- Designed to be Interchangeable with Motorola MC1558/MC1458 and Signetics S5558/N5558

description

The MC1558 and MC1458 are dual general-purpose operational amplifiers with each half electrically similar to uA741 except that offset null capability is not provided.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make these amplifiers ideal for voltage-follower applications. The devices are short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components.

The MC1558 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C ; the MC1458 is characterized for operation from 0°C to 75°C .



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MC1558	MC1458	UNIT	
Supply voltage V_{CC+} (see Note 1)	22	18	V	
Supply voltage V_{CC-} (see Note 1)	-22	-18	V	
Differential input voltage (see Note 2)	± 30	± 30	V	
Input voltage (any input, see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	V	
Duration of output short-circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited		
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)	Each amplifier	500	500	
	Total package	JG or P package	680	680
		U Package	675	675
Operating free-air temperature range	-55 to 125	0 to 75	$^{\circ}\text{C}$	
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$	
Lead temperature 1/16 inch (1, 6 mm) from case for 60 seconds	JG or U package	300	$^{\circ}\text{C}$	
Lead temperature 1/16 inch (1, 6 mm) from case for 10 seconds	P package	260	$^{\circ}\text{C}$	

- NOTES:**
1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or either power supply. For the MC1558 only, the unlimited duration of the short-circuit applies at (or below) 125°C case temperature or 75°C free-air temperature.
 5. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Table. In the JG package, MC1558 chips are alloy-mounted; MC1458 chips are glass-mounted.

Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES MC1558, MC1458 DUAL GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC+} = 15\text{ V}$, $V_{CC-} = -15\text{ V}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MC1558			MC1458			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$R_S < 10\text{ k}\Omega$	25°C	1	5	1	6	mV	
		Full range		6		7.5		
I_{IO} Input offset current		25°C	20	200	20	200	nA	
		Full range		500		300		
I_{IB} Input bias current		25°C	80	500	80	500	nA	
		Full range		1500		800		
V_{ICR} Common-mode input voltage range		25°C	± 12	± 13	± 12	± 13	V	
		Full range		± 12		± 12		
V_{OPP} Maximum peak-to-peak output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	24	28	24	28	V	
	$R_L > 10\text{ k}\Omega$	Full range	24		24			
	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C	20	26	20	26		
	$R_L > 2\text{ k}\Omega$	Full range	20		20			
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$R_L > 2\text{ k}\Omega$	25°C	50	200	20	200	V/mV	
	$V_O = \pm 10\text{ V}$	Full range	25		15			
B_{OM} Maximum-output-swing bandwidth (closed-loop)	$R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_O \geq 10\text{ V}$, $A_{VD} = 1$, THD < 5%	25°C		14		14	kHz	
B_1 Unity-gain bandwidth		25°C		1		1	MHz	
ϕ_{PM} Phase margin	$A_{VD} = 1$	25°C		65°		65°		
A_{GM} Gain margin		25°C		11		11	dB	
r_i Input resistance		25°C	0.3	2	0.3	2	M Ω	
r_o Output resistance	$V_O = 0$, See Note 6	25°C		75		75	Ω	
C_i Input capacitance		25°C		1.4		1.4	pF	
Z_{ic} Common-mode input impedance	$f = 20\text{ Hz}$	25°C		200		200	M Ω	
$CMRR$ Common-mode rejection ratio	$R_S < 10\text{ k}\Omega$	25°C	70	90	70	90	dB	
		Full range	70		70			
k_{SVS} Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	$R_S < 10\text{ k}\Omega$	25°C	30	150	30	150	$\mu\text{V/V}$	
		Full range		150		150		
V_n Equivalent input noise voltage (closed-loop)	$A_{VD} = 100$, $R_S = 0$, $f = 1\text{ kHz}$, $B_{JV} = 1\text{ Hz}$	25°C		45		45	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
I_{OS} Short-circuit output current		25°C	± 25	± 40	± 25	± 40	mA	
I_{CC} Supply current (Both amplifiers)	No load,	25°C	3.4	5	3.4	5.6	mA	
	No signal	Full range		6.6		6.6		
P_D Total power dissipation (Both amplifiers)	No load,	25°C	100	150	100	170	mW	
	No signal	Full range		200		200		
V_{O1}/V_{O2} Channel separation		25°C		120		120	dB	

† All characteristics are specified under open-loop operation, unless otherwise noted. Full range for MC1558 is -55°C to 125°C and for MC1458 is 0°C to 75°C .

NOTE 6: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

operating characteristics, $V_{CC+} = 15\text{ V}$, $V_{CC-} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MC1558			MC1458			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r Rise time	$V_i = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$,		0.3			0.3	μs	
Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		5%			5%		
SR Slew rate at unity gain	$V_i = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		0.5			0.5	V/ μs	

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

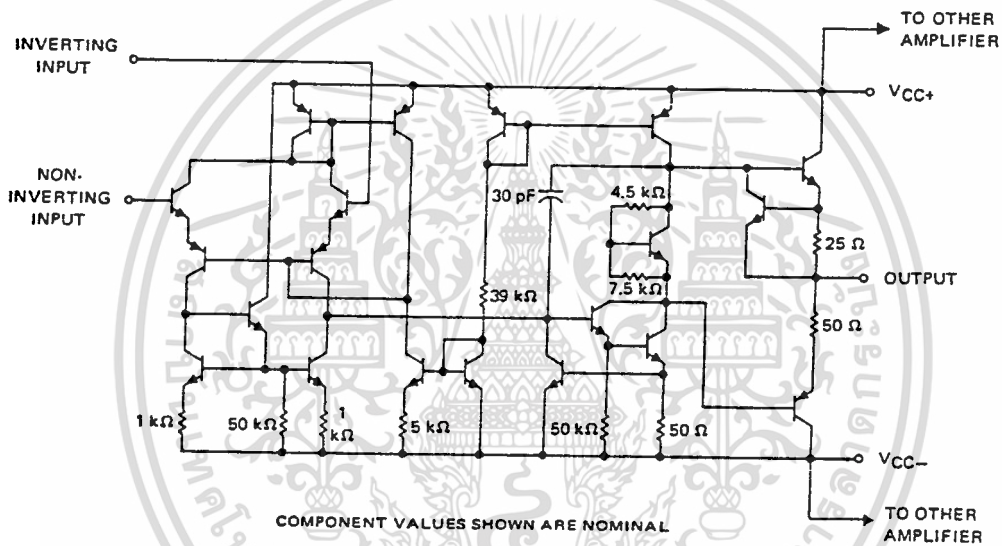
TYPES MC1558, MC1458 DUAL GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE T_A
JG (Alloy-Mounted Chip)	680 mW	8.4 mW/°C	69°C
JG (Glass-Mounted Chip)	680 mW	6.6 mW/°C	47°C
P	680 mW	8.0 mW/°C	65°C
U	675 mW	5.4 mW/°C	25°C

Also see Dissipation Derating Curves, Section 2.

schematic (each amplifier)



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

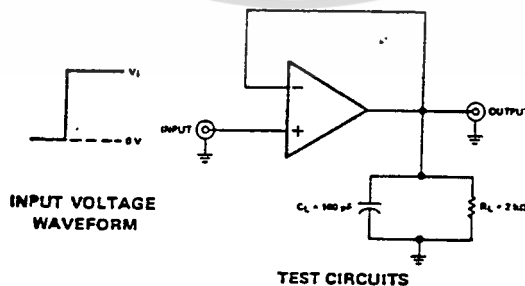


FIGURE 1—RISE TIME, OVERSHOOT,
AND SLEW RATE

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES MC1558, MC1458 DUAL GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS

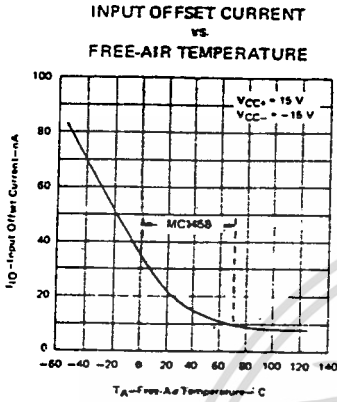


FIGURE 2

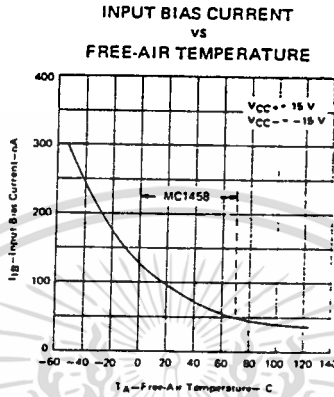


FIGURE 3

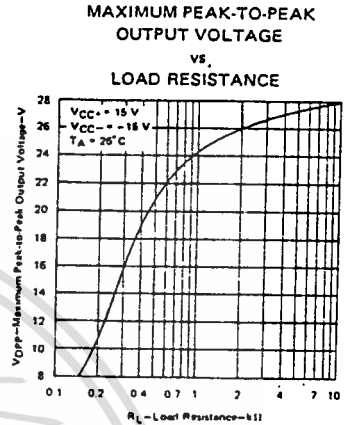


FIGURE 4

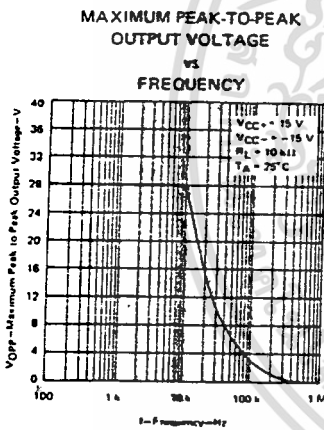


FIGURE 5

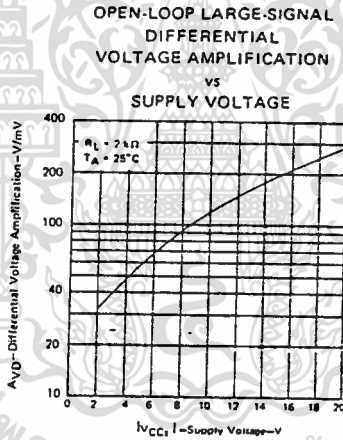


FIGURE 6

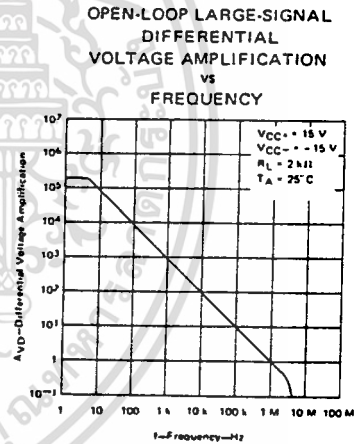


FIGURE 7

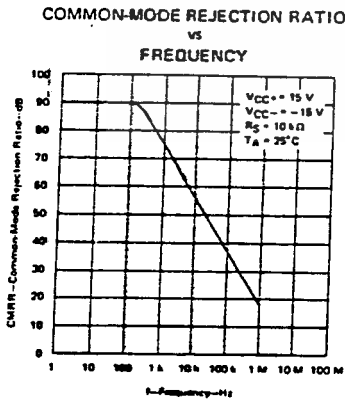


FIGURE 8

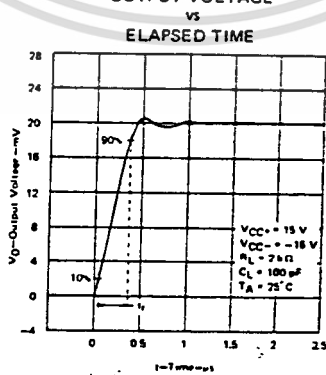


FIGURE 9

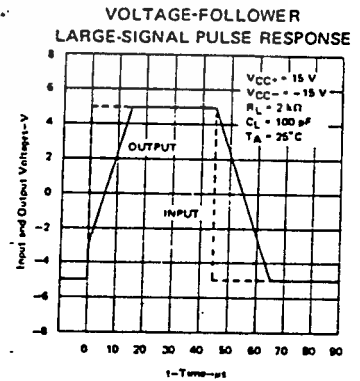


FIGURE 10

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

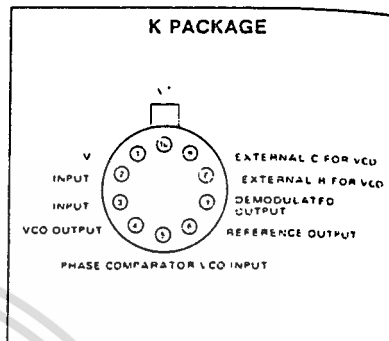
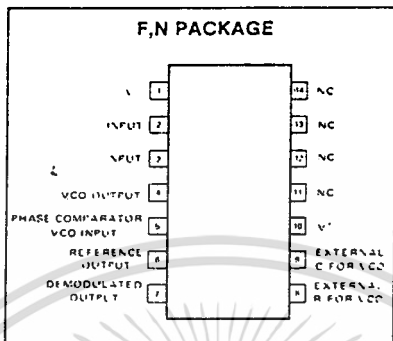
PHASE LOCKED LOOP

NE/SE565-F,K,N

DESCRIPTION

The SE/NE565 Phase-Locked Loop (PLL) is a self-contained, adaptable filter and demodulator for the frequency range from 0.001Hz to 500kHz. The circuit comprises a voltage-controlled oscillator of exceptional stability and linearity, a phase comparator, an amplifier and a low-pass filter as shown in the block diagram. The center frequency of the PLL is determined by the free-running frequency of the VCO; this frequency can be adjusted externally with a resistor or a capacitor. The low-pass filter, which determines the capture characteristics of the loop, is formed by an internal resistor and an external capacitor.

PIN CONFIGURATIONS



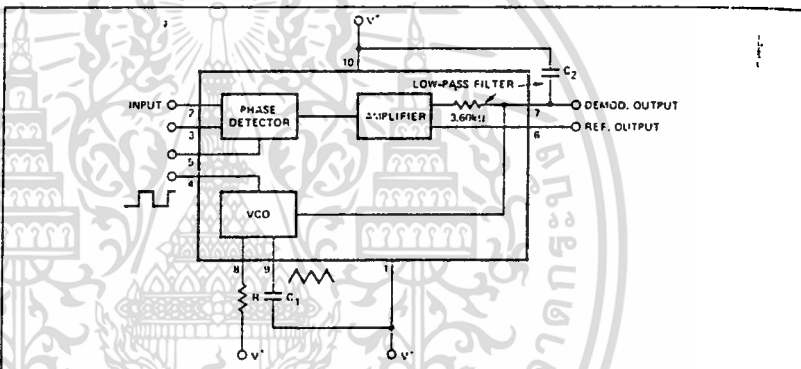
FEATURES

- Highly stable center frequency (200ppm/°C typ.)
- Wide operating voltage range (± 6 to ± 12 volts)
- Highly linear demodulated output (0.2% typ.)
- Center frequency programming by means of a resistor or capacitor, voltage or current
- TTL and DTL compatible square-wave output; loop can be opened to insert digital frequency divider
- Highly linear triangle wave output
- Reference output for connection of comparator in frequency discriminator
- Bandwidth adjustable from $< \pm 1\%$ to $> \pm 60\%$
- Frequency adjustable over 10 to 1 range with same capacitor

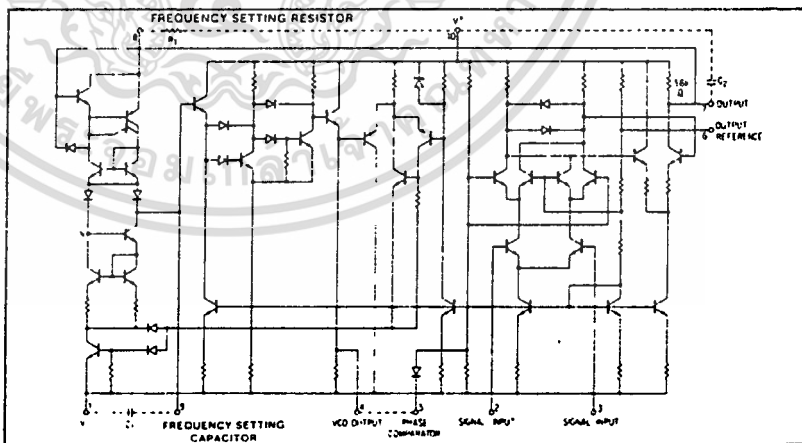
APPLICATIONS

- Frequency shift keying
- Modems
- Telemetry receivers
- Tone decoders
- SCA receivers
- Wideband FM discriminators
- Data synchronizers
- Tracking filters
- Signal restoration
- Frequency multiplication & division

BLOCK DIAGRAM



EQUIVALENT SCHEMATIC



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

PARAMETER	RATING	UNIT
Maximum operating voltage	26	V
Input voltage	3	Vp-p
Storage temperature	-65 to +150	°C
Operating temperature range		
NE565	0 to +70	°C
SE565	-55 to +125	°C
Power dissipation	300	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

signetics

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

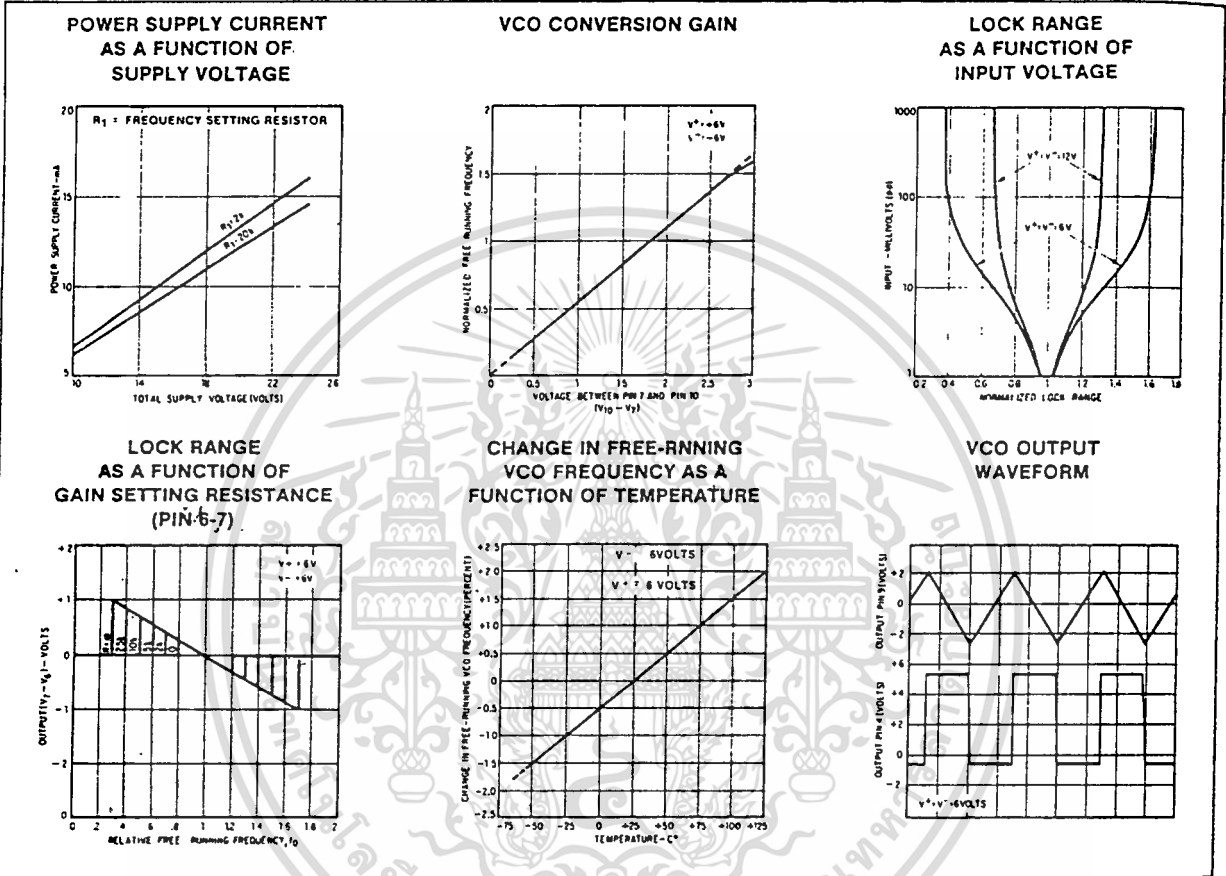
ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \pm 6\text{V}$ unless otherwise specified.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE565			NE565			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SUPPLY REQUIREMENTS Supply voltage Supply current		± 6	8	± 12 12.5	± 6	8	± 12 12.5	V mA
INPUT CHARACTERISTICS Input impedance ¹ Input level required for tracking	$f_o = 50\text{kHz}$, $\pm 10\%$ frequency deviation	7 10	10 1		5 10	10 1		k Ω mVrms
VCO CHARACTERISTICS Center frequency Maximum value Distribution ²	$C_1 = 2.7\text{pF}$ Distribution taken about $f_o = 50\text{kHz}$, $R_1 = 5.0\text{k}\Omega$, $C_1 = 1200\text{pF}$	300 -10	500 0			500 0		kHz %
Drift with temperature Drift with supply voltage	$f_o = 50\text{kHz}$ $f_o = 50\text{kHz}$, $V_{CC} = \pm 6$ to ± 7 volts		200 0.1	525 1.0		300 0.2		ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Triangle wave Output voltage level Amplitude Linearity		1.9	0 2.4 0.2		1.9	0 2.4 0.5		V Vp-p %
Square wave Logical "1" output voltage Logical "0" output voltage	$f_o = 50\text{kHz}$ $f_o = 50\text{kHz}$	+4.9	+5.2 -0.2	+0.2	+4.9	+5.2 -0.2	+0.2	V V
Duty cycle	$f_o = 50\text{kHz}$	45	50	55	40	50	60	%
Rise time Fall time			20 50	100 200		20 50		ns ns
Output current (sink) Output current (source)		0.6 5	1 10		0.6 5	1 10		mA mA
DEMODULATED OUTPUT CHARACTERISTICS Output voltage level Maximum voltage swing ³ Output voltage swing Total harmonic distortion Output impedance ⁴ Offset voltage (V6-V7) Offset voltage vs temperature (drift) AM rejection	Measured at pin 7 $\pm 10\%$ frequency deviation	4.25 250	4.5 300 0.2 3.6 30 50 30	4.75 200 0.75 100	4.0 200	4.5 300 0.4 3.6 50 100 40	5.0	V Vp-p mVp-p % k Ω mV $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ dB

NOTES

- Both input terminals (pins 2 and 3) must receive identical dc bias. This bias may range from 0 volts to -4 volts.
- The external resistance for frequency adjustment (R1) must have a value between 2k Ω and 20k Ω .
- Output voltage swings negative as input frequency increases.
- Output not buffered.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



DESIGN FORMULAS
(See Figure 1)

Free-running frequency of VCO: $f_0 = \frac{1.2}{4R_1C_1}$ in Hz

Lock-range: $f_L = \pm \frac{8f_0}{V_{CC}}$ in Hz

Capture-range: $f_C = \pm \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau}}$

where $\tau = (3.6 \times 10^3) \times C_2$

TYPICAL APPLICATIONS
FM Demodulation

The 565 Phase Locked Loop is a general purpose circuit designed for highly linear FM demodulation. During lock, the average dc level of the phase comparator output signal is directly proportional to the frequency of the input signal. As the input frequency shifts, it is this output signal which causes the VCO to shift its frequency to match that of the input. Consequently, the linearity of the phase comparator output with frequency is determined by the voltage-to-frequency transfer function of the VCO. This allows the lock range to be

Because of its unique and highly linear VCO, the 565 PLL can lock to and track an input signal over a very wide bandwidth (typically $\pm 60\%$) with very high linearity (typically, within 0.5%).

A typical connection diagram is shown in Figure 1. The VCO free-running frequency is given approximately by

$f_0 = \frac{1.2}{4R_1C_1}$ and should be adjusted to be at the center of the input signal frequency range. C_1 can be any value, but R_1 should be within the range of 2000 to 20,000 ohms with an optimum value on the order of 4000 ohms. The source can be direct coupled if the dc resistances seen from pins 2 and 3 are equal and there is no dc voltage difference between the pins. A short between pins 4 and 5 connects the VCO to the phase comparator. Pin 6 provides a dc reference voltage that is close to the dc potential of the demodulated output (pin 7). Thus, if a resistance is connected between pins 6 and 7, the gain of the output stage can be reduced with little change in the dc voltage level at the output. This allows the lock range to be

decreased with little change in the free-running frequency. In this manner the lock range can be decreased from $\pm 60\%$ of f_0 to approximately $\pm 20\%$ of f_0 (at $\pm 6V$).

A small capacitor (typically $0.001 \mu F$) should be connected between pins 7 and 8 to eliminate possible oscillation in the control current source.

A single-pole loop filter is formed by the capacitor C_2 , connected between pin 7 and the positive supply, and an internal resistance of approximately 3600 ohms.

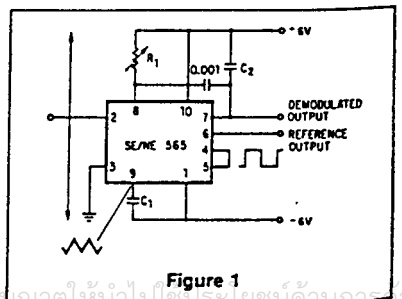


Figure 1

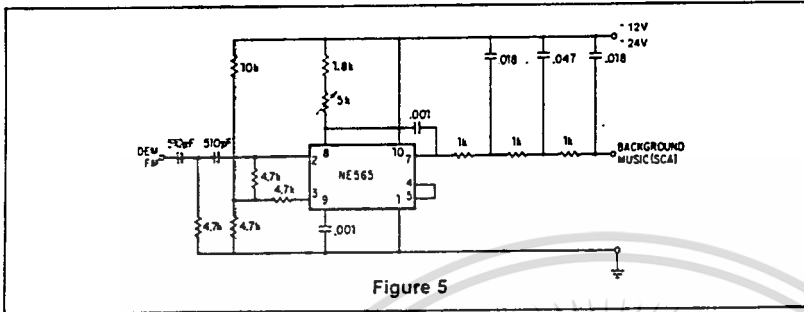
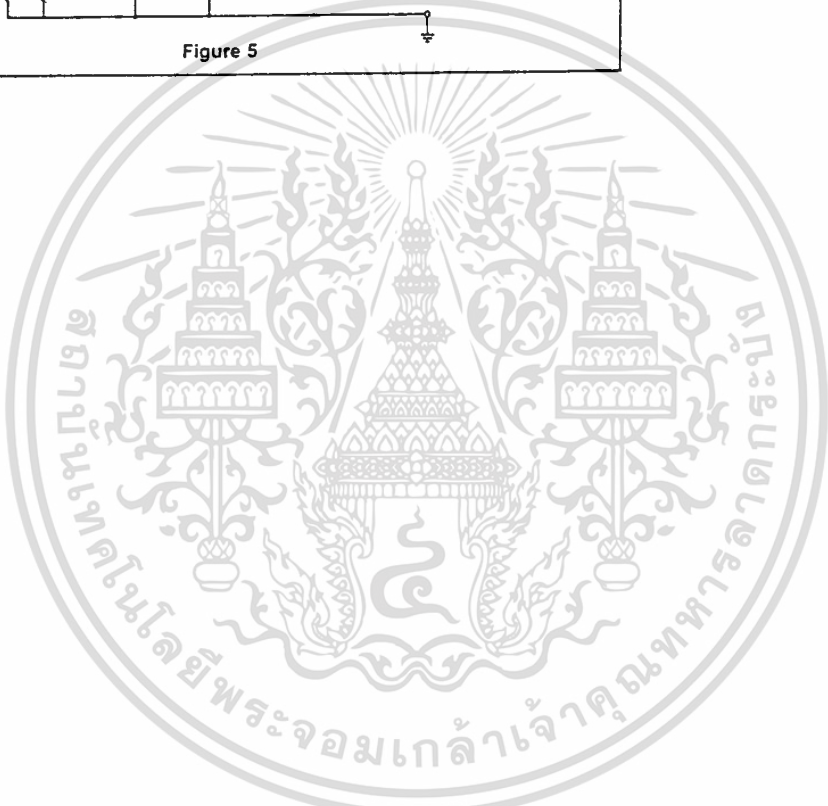


Figure 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS^{1,2}

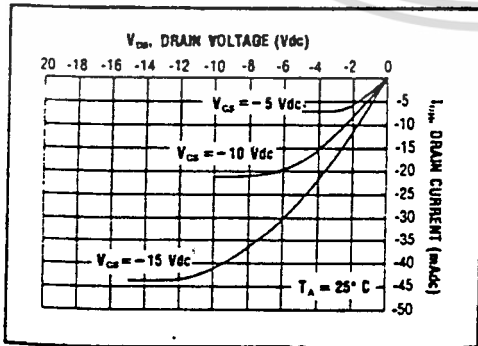
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ¹		+25°C			T _{HIGH} ¹		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	5	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	1.0	-	0.005	1.0	-	30	μA _{dc}
	10		-	2.0	-	0.01	2.0	-	60	
	15		-	4.0	-	0.02	±0	-	120	

- NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

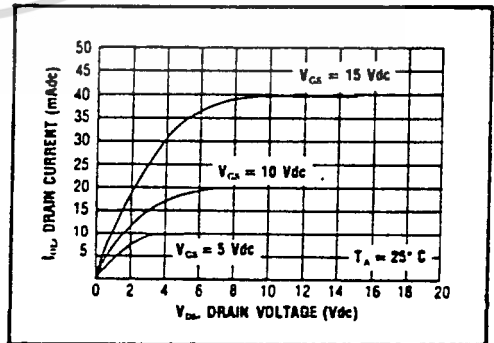
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	-	125	250	ns
		10	-	65	130	
		15	-	45	90	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{FLH} , t _{FHL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	-	70	140	ns
		10	-	30	60	
		15	-	20	40	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	3.5	7.0	-	MHz
		10	8.0	16	-	
		15	12.5	25	-	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME ¹	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	-	-	μs
		10	10	-	-	
		15	5	-	-	
MINIMUM SETUP TIME	t _{setup}	5	-	25	50	ns
		10	-	10	20	
		15	-	7.5	15	
MINIMUM HOLD TIME	t _{hold}	5	-	-25	0	ns
		10	-	-10	0	
		15	-	-5	0	
SET AND RESET OPERATIONS						
PROPAGATION DELAY TIME S to O, R to Q	t _{P_{LH}}	5	-	125	250	ns
		10	-	65	130	
		15	-	45	90	
MINIMUM SET AND RESET PULSE WIDTH	PW _S , PW _R	5	-	65	130	ns
		10	-	30	60	
		15	-	25	50	
SET AND RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	-	0	25	ns
		10	-	0	10	
		15	-	0	5	

¹When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4013B



CMOS DUAL D-TYPE FLIP-FLOP

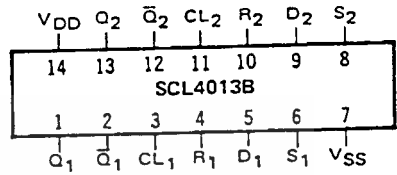
FEATURES

- ◆ Independent Set and Reset Controls
- ◆ Static Operation
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 16MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4013B consists of two identical, independent D-type Flip-Flops. These devices can be used for shift register applications, and, by connecting the \bar{Q} output to the Data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the D input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the Clock pulse. Setting or resetting is independent of the Clock and is accomplished by a high level on the Set or Reset line, respectively.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

TRUTH TABLE

CL Δ	D	R	S	Q	\bar{Q}
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	x	0	0	Q	\bar{Q}
x	x	1	0	0	1
x	x	0	1	1	0
x	x	1	1	1	1

NO CHANGE

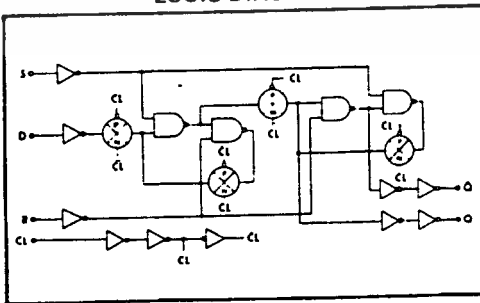
Δ = Level Change
x = Don't Care

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

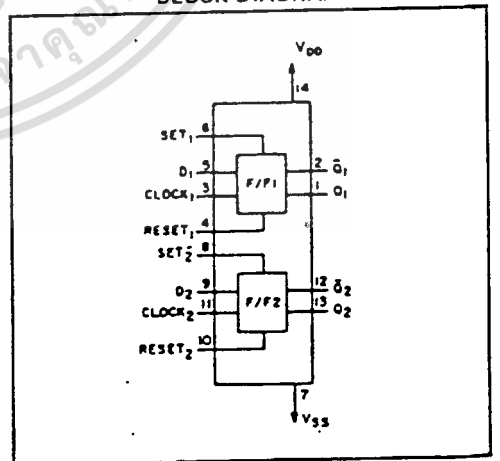
For maximum reliability:

- DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc
- Operating Temperature T_A -55 to +125 °C
- C, D, F, H Device -40 to +85 °C
- E Device

LOGIC DIAGRAM



BLOCK DIAGRAM



SCL4514B
SCL4515B



CMOS 4-TO-16 LINE
DECODERS WITH LATCH

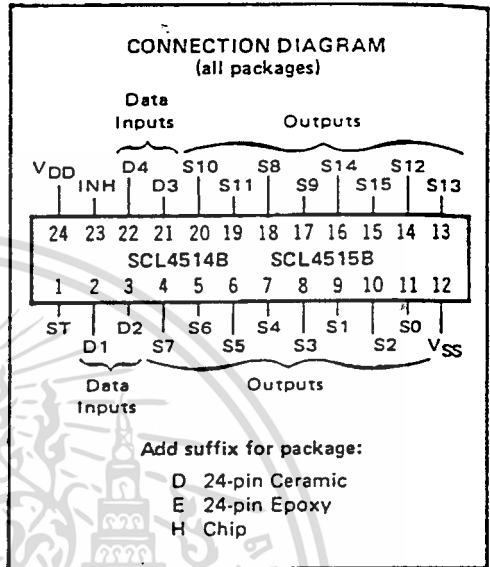
FEATURES

- ◆ Strobed Input Latch
- ◆ Inhibit Control
- ◆ Selected Output Active High (SCL4514B) or Active Low (SCL4515B)

DESCRIPTION

The SCL4514B and SCL4515B are two output options of a 4-to-16 Line Decoder with Latched Inputs. The SCL4514B presents a logic "1" at the selected output, and the SCL4515B presents a logic "0" at the selected output. The latches hold the last input data presented prior to the Strobe transition from "1" to "0". Inhibit allows all outputs to be placed at "0" (SCL4514B), or "1" (SCL4515B), regardless of the state of the Data or Strobe inputs.

Applications include code conversion, address decoding, memory selection control, demultiplexing, and readout decoding.



TRUTH TABLE (Strobe = 1)

Inhibit	Data Inputs				Selected Output SCL4514B = Logic "1" SCL4515B = Logic "0"
	D	C	B	A	
0	0	0	0	0	S0
0	0	0	0	1	S1
0	0	0	1	0	S2
0	0	0	1	1	S3
0	0	1	0	0	S4
0	0	1	0	1	S5
0	0	1	1	0	S6
0	0	1	1	1	S7
0	1	0	0	0	S8
0	1	0	0	1	S9
0	1	0	1	0	S10
0	1	0	1	1	S11
0	1	1	0	0	S12
0	1	1	0	1	S13
0	1	1	1	0	S14
0	1	1	1	1	S15
1	X	X	X	X	All Outputs = "0", SCL4514B All Outputs = "1", SCL4515B

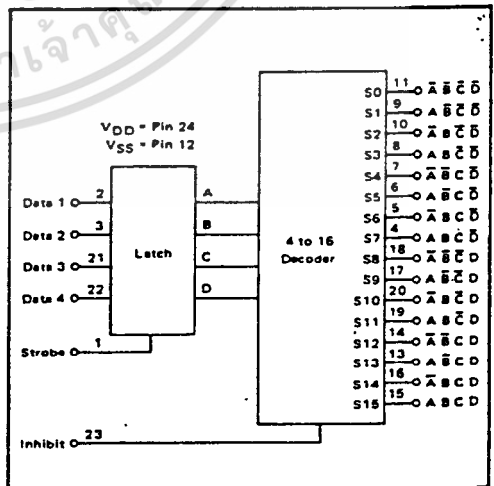
X = Don't Care

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

- DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc
- Operating Temperature T_A -55 to +125 °C
- D, H Device -40 to +85 °C
- E Device

BLOCK DIAGRAM



SCL4514B, SCL4515B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS

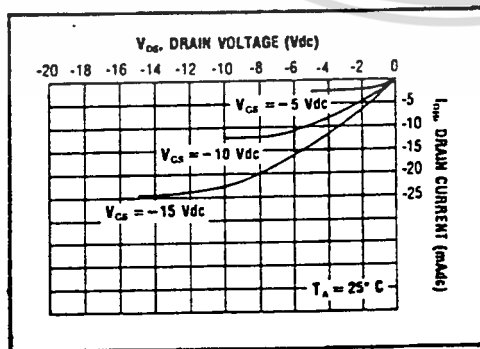
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	5	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	5	-	0.05	5	-	150	μA _{dc}
	10		-	10	-	0.1	10	-	300	
	15		-	20	-	0.2	20	-	600	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.

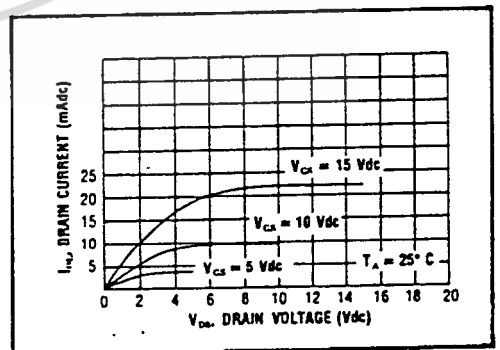
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
PROPAGATION DELAY TIME From Data Inputs From Inhibit Input	I _{PLH} , I _{PHL}	5	-	550	1100	ns
		10	-	225	450	
		15	-	150	300	
OUTPUT TRANSITION TIME	I _{TLH} , I _{THL}	5	-	130	260	ns
		10	-	65	130	
		15	-	50	100	
MINIMUM DATA INPUT SETUP TIME	I _{setup}	5	-	125	250	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
MINIMUM STROBE PULSE WIDTH	PW _{ST}	5	-	175	350	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	



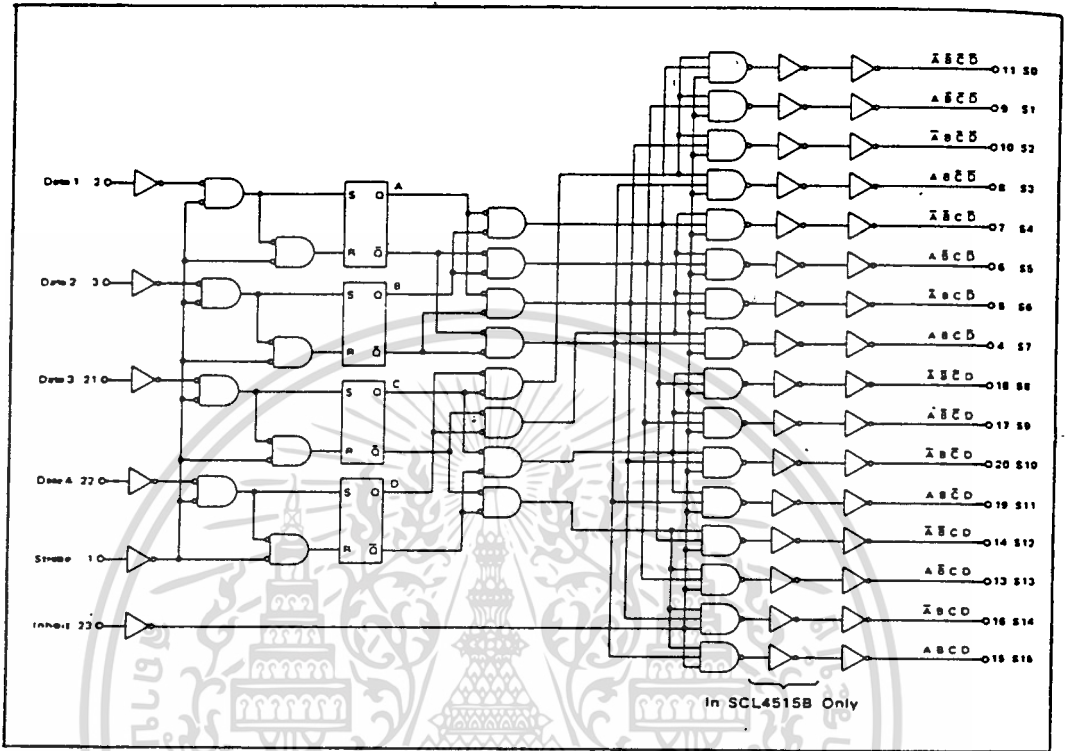
Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LINEAR
INTEGRATED
CIRCUITS**

**TYPES SE555, NE555.
PRECISION TIMERS**

BULLETIN NO. DL-S 12053, SEPTEMBER 1973—REVISED OCTOBER 1979

- Timing from Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source up to 200 mA
- Designed to be Interchangeable with Signetics SE555/NE555

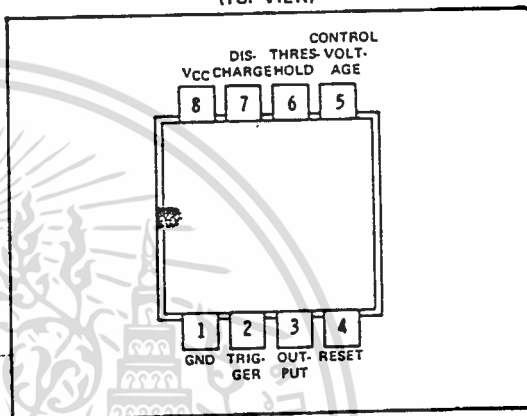
description

The SE555 and NE555 are monolithic timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle may be independently controlled with two external resistors and a single external capacitor.

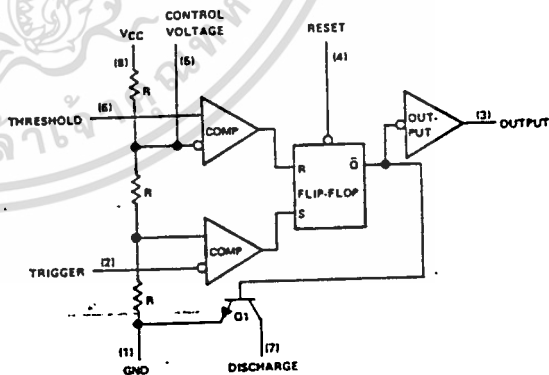
The threshold and trigger levels are normally two-thirds and one-third, respectively, of VCC. These levels can be altered by use of the control voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set and the output goes high. When the threshold input rises above the threshold level, the flip-flop is reset and the output goes low. The reset input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When the reset input goes low, the flip-flop is reset and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between the discharge terminal and ground.

The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 milliamperes. Operation is specified for supplies of 5 to 15 volts. With a 5-volt supply, output levels are compatible with TTL inputs.

JG OR P DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



functional block diagram



Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

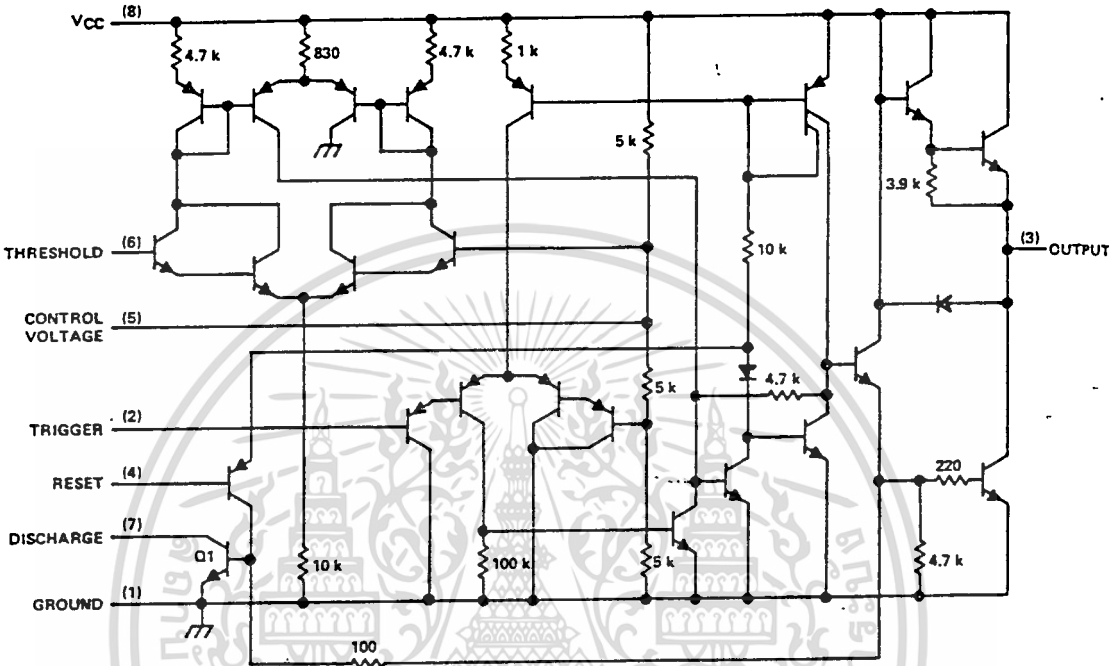
TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SE555, NE555 PRECISION TIMERS

schematic



Resistor values shown are nominal and in ohms.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	18 V
Input voltage (control voltage, reset, threshold, trigger)	V_{CC}
Output current	± 225 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 2)	600 mW
Operating free-air temperature range:	
SE555	-55°C to 125°C
NE555	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 10 seconds: P package	260°C

NOTES: 1. All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Table. In the JG package, SE555 chips are alloy-mounted, NE555 chips are glass-mounted.

recommended operating conditions

	SE555			NE555			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5		18	4.5		16	V
Input voltage, V_I (control voltage, reset, threshold, trigger)	V_{CC}			V_{CC}			V
Output Current, I_O	± 200			± 200			mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPES SE555, NE555
PRECISION TIMERS**

electrical characteristics at 25°C free-air temperature, V_{CC} = 5 V to 15 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NE555			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Threshold voltage level as a percentage of supply voltage		66.7			66.7			%	
Threshold current (see Note 3)		0.1			0.1			μA	
Trigger voltage level	V _{CC} = 15 V	4.8	5	5.2	5			V	
	V _{CC} = 5 V	1.45	1.67	1.9	1.67				
Trigger current		0.5			0.5			μA	
Reset voltage level		0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V	
Reset current		0.1			0.1			mA	
Control voltage (open-circuit)	V _{CC} = 15 V	9.6	10	10.4	9	10	11	V	
	V _{CC} = 5 V	2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4		
Low-level output voltage	V _{CC} = 15 V	I _{OL} = 10 mA	0.1		0.15		0.1	0.25	V
		I _{OL} = 50 mA	0.4		0.5		0.4	0.75	
		I _{OL} = 100 mA	2		2.2		2	2.5	
		I _{OL} = 200 mA	2.5		2.5		2.5		
	V _{CC} = 5 V	I _{OL} = 5 mA	0.1		0.25		0.25	0.35	
High-level output voltage	V _{CC} = 15 V	I _{OH} = -100 mA	13	13.3	12.75		13.3	V	
		I _{OH} = -200 mA	12.5		12.5				
	V _{CC} = 5 V	I _{OH} = -100 mA	3	3.3	2.75		3.3		
Supply current	Output low, V _{CC} = 15 V	10		12		10	15	mA	
	No load, V _{CC} = 5 V	3		5		3	6		
	Output high, V _{CC} = 15 V	9		11		9	14		
	No load, V _{CC} = 5 V	2		4		2	5		

NOTE 3: This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B in the circuit of Figure 13. For example when V_{CC} = 5 V the maximum value is R = R_A + R_B = 20 MΩ.

operating characteristics, V_{CC} = 5 V and 15 V

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	SE555			NE555			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial error of timing interval	R _A = 1 kΩ to 100 kΩ, T _A = 25°C	0.5			2			%
Temperature coefficient of timing interval	R _B = 0 to 100 kΩ, T _A = MIN to MAX	30			100			ppm/°C
Supply voltage sensitivity of timing interval	C = 0.1 μF, T _A = 25°C	0.05			0.2			%/V
Output pulse rise time	C _L = 15 pF, T _A = 25°C	100			100			ns
Output pulse fall time		100			100			ns

¹For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE T _A
JG (Alloy-Mounted Chip)	600 mW	8.4 mW/°C	79°C
JG (Glass-Mounted Chip)	600 mW	6.6 mW/°C	59°C
P	600 mW	8.0 mW/°C	75°C

Also see Dissipation Derating Curves, Section 2.

FIGURE 1

**TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED**

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPES SE555, NE555
PRECISION TIMERS**

TYPICAL CHARACTERISTICS†

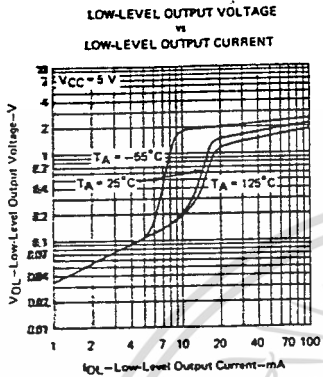


FIGURE 1

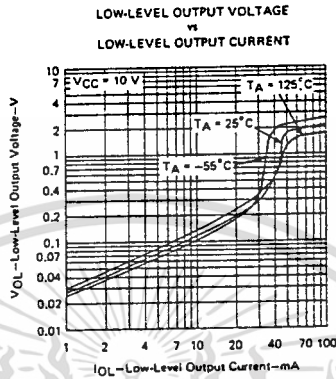


FIGURE 2

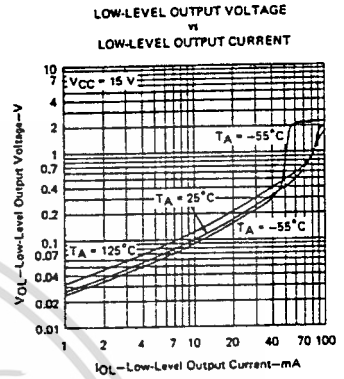


FIGURE 3

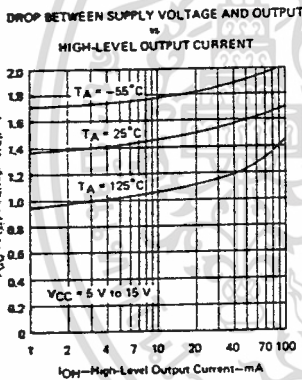


FIGURE 4

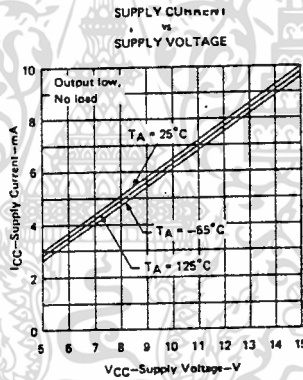


FIGURE 5

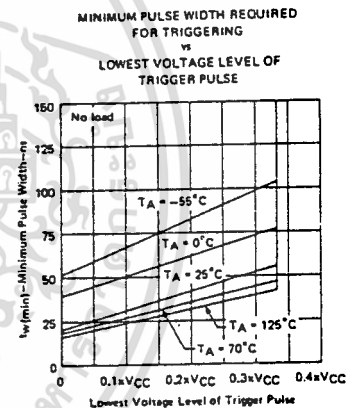


FIGURE 6

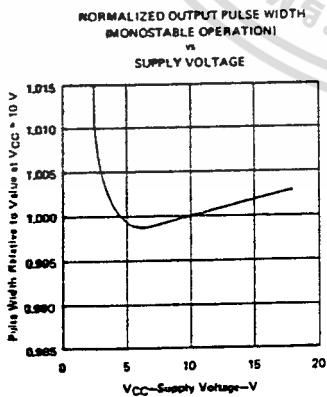


FIGURE 7

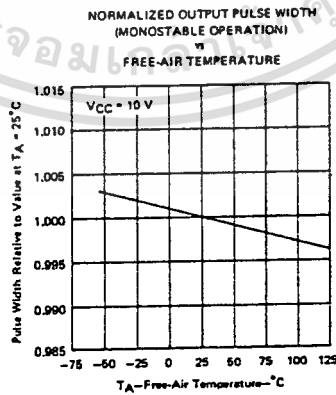


FIGURE 8

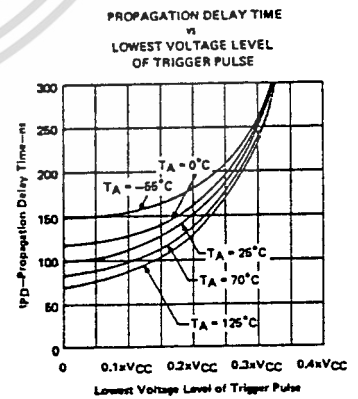


FIGURE 9

† Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SE555 circuits only.

**TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED**

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SE555, NE555
PRECISION TIMERS

TYPICAL APPLICATION DATA

monostable operation

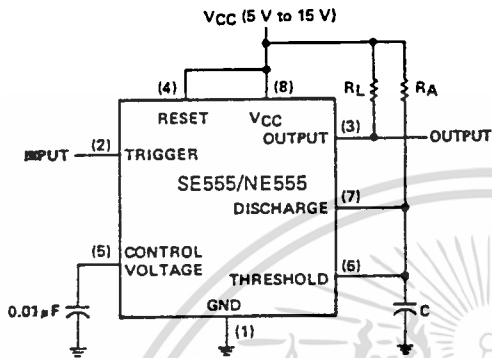


FIGURE 10—CIRCUIT FOR MONOSTABLE OPERATION

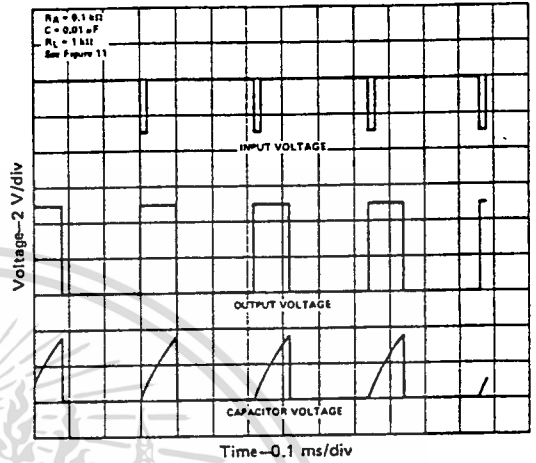


FIGURE 11—TYPICAL MONOSTABLE WAVEFORMS

For monostable operation, the SE555/NE555 may be connected as shown in Figure 10. If the output is low, application of a negative-going pulse to the trigger input sets the flip-flop (\bar{Q} goes low), drives the output high, and turns off \bar{Q} . Capacitor C is then charged through R_A until the voltage across the capacitor reaches the threshold voltage of the threshold input. If the trigger input has returned to a high level, the output of the threshold comparator will reset the flip-flop (\bar{Q} goes high), drive the output low, and discharge C through Q1.

Monostable operation is initiated when the trigger input voltage falls below the trigger threshold. Once initiated, the sequence will complete only if the trigger input is high at the end of the timing interval. Because of the threshold level and saturation voltage of Q1, the output pulse width is approximately $t_w = 1.1 R_A C$. Figure 12 is a plot of the time constant for various values of R_A and C. The threshold levels and charge rates are both directly proportional to the supply voltage, V_{CC} . The timing interval is therefore independent of the supply voltage, so long as the supply voltage is constant during the time interval.

Applying a negative-going trigger pulse simultaneously to the reset and trigger terminals during the timing interval will discharge C and re-initiate the cycle, commencing on the positive edge of the reset pulse. The output is held low as long as the reset pulse is low. When the reset input is not used, it should be connected to V_{CC} to prevent false triggering.

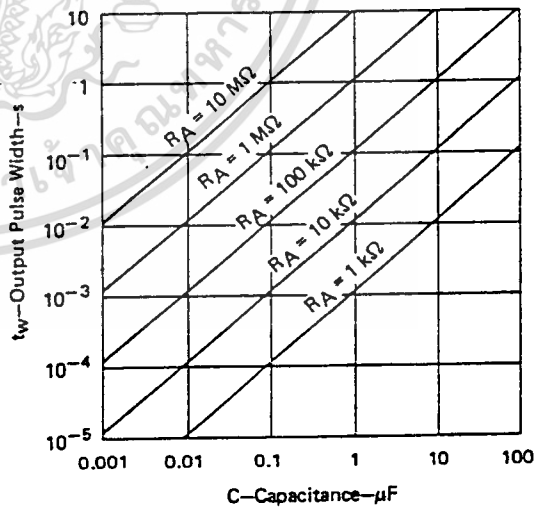


FIGURE 12—OUTPUT PULSE WIDTH vs CAPACITANCE

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

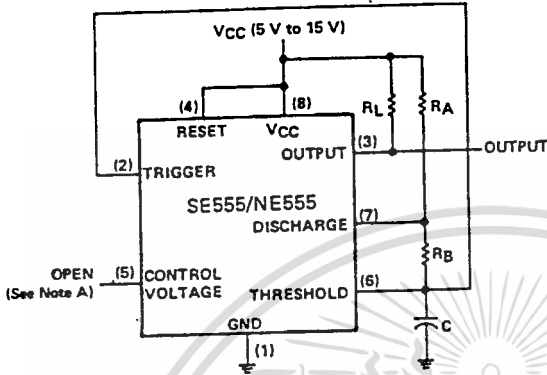
POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SE555, NE555 PRECISION TIMERS

TYPICAL APPLICATION DATA

astable operation



NOTE A: Decoupling the control voltage input (pin 5) to ground with a capacitor may improve operation. This should be evaluated for individual applications.
FIGURE 13—CIRCUIT FOR ASTABLE OPERATION

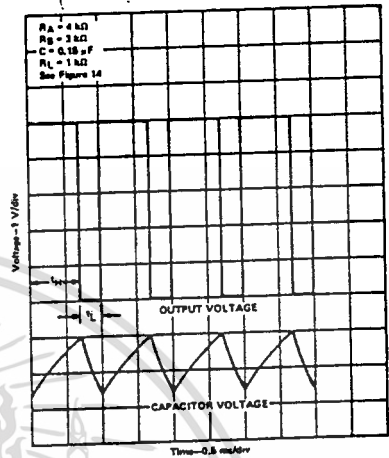


FIGURE 14—TYPICAL ASTABLE WAVEFORMS

Addition of a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 10, as shown in Figure 13, and connection of the trigger input to the threshold input will cause the SE555/NE555 to self-trigger and run as a multivibrator. The capacitor C will charge through R_A and R_B then discharge through R_B only. The duty cycle may be controlled, therefore, by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \cdot V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \cdot V_{CC}$). As in the monostable circuit, charge and discharge times (and therefore the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.

Figure 14 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration t_H and low-level duration t_L may be found by:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

Other useful relationships are shown below.

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Output waveform duty cycle} = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

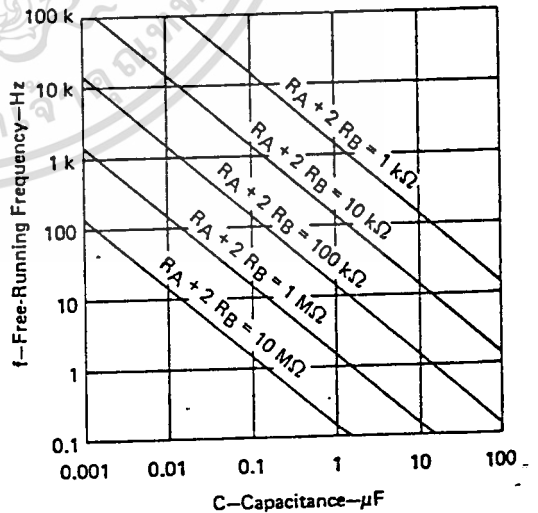


FIGURE 15—FREE-RUNNING FREQUENCY

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SE555, NE555
PRECISION TIMERS

TYPICAL APPLICATION DATA

missing-pulse detector

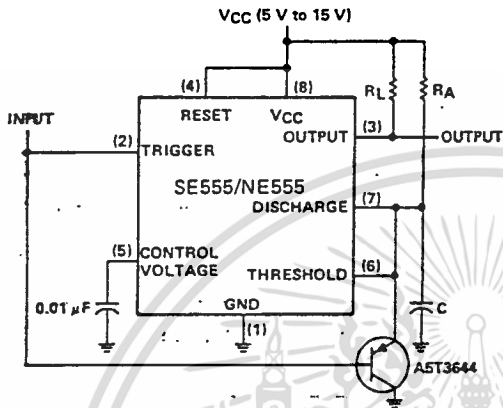


FIGURE 16—CIRCUIT FOR MISSING-PULSE DETECTOR

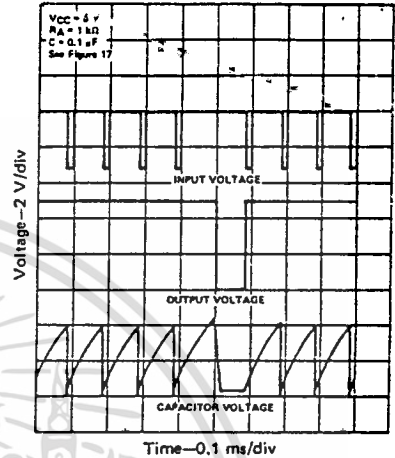


FIGURE 17—MISSING-PULSE DETECTOR WAVEFORMS

The circuit shown in Figure 16 may be utilized to detect a missing pulse or abnormally long spacing between consecutive pulses in a train of pulses. The timing interval of the monostable circuit is continuously retriggered by the input pulse train as long as the pulse spacing is less than the timing interval. A longer pulse spacing, missing pulse, or terminated pulse train will permit the timing interval to be completed, thereby generating an output pulse as illustrated in Figure 17

frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 10 can be made to operate as a frequency divider. Figure 18 illustrates a divide-by-3 circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

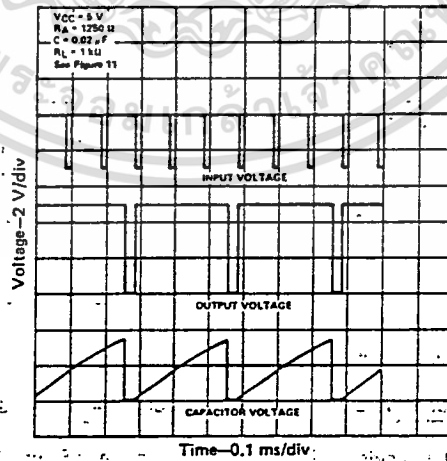


FIGURE 18—DIVIDE-BY-THREE CIRCUIT WAVEFORMS

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

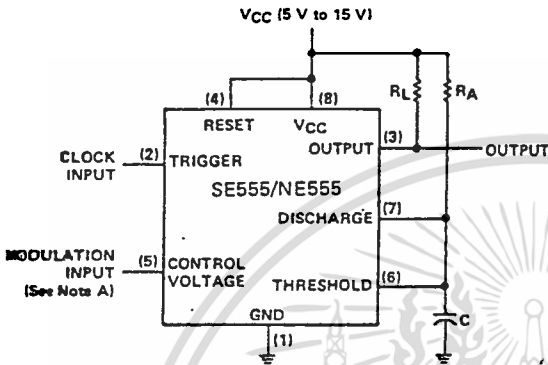
POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SE555, NE555 PRECISION TIMERS

TYPICAL APPLICATION DATA

pulse-width modulation



NOTE A: The modulating signal may be direct or capacitively coupled to the control voltage terminal. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the SE555/NE555 should be considered.

FIGURE 19—CIRCUIT FOR PULSE-WIDTH MODULATION

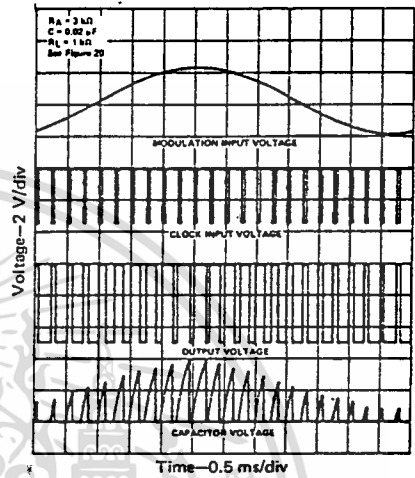
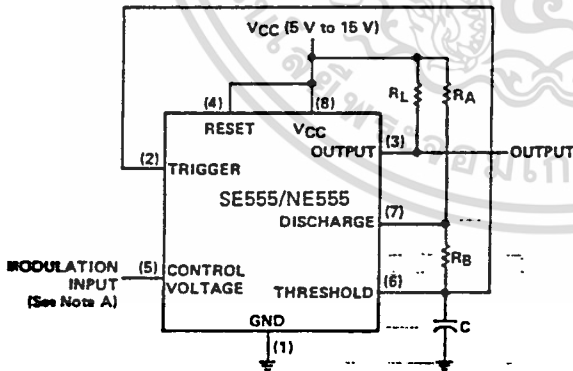


FIGURE 20—PULSE-WIDTH-MODULATION WAVEFORMS

The operation of the timer may be modified by modulating the internal threshold and trigger voltages. This is accomplished by applying an external voltage (or current) to the control voltage pin. Figure 19 is a circuit for pulse-width modulation. The monostable circuit is triggered by a continuous input pulse train and the threshold voltage is modulated by a control signal. The resultant effect is a modulation of the output pulse width, as shown in Figure 20. A sine-wave modulation signal is illustrated, but any wave-shape could be used.

pulse-position modulation



NOTE A: The modulating signal may be direct or capacitively coupled to the control voltage terminal. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the SE555/NE555 should be considered.

FIGURE 21—CIRCUIT FOR PULSE-POSITION MODULATION

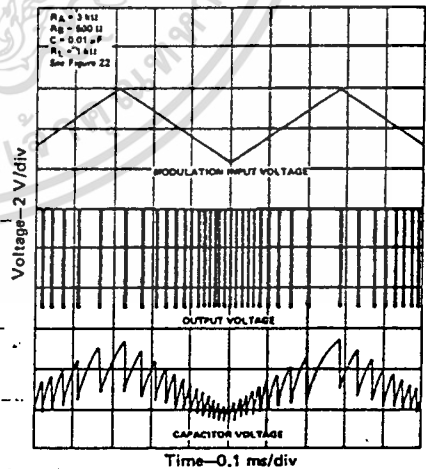


FIGURE 22—PULSE POSITION-MODULATION WAVEFORMS

The SE555/NE555 may be used as a pulse-position modulator as shown in Figure 21. In this application, the threshold voltage, and thereby the time delay, of a free-running oscillator is modulated. Figure 22 shows such a circuit, with a triangular-wave modulation signal, however, any modulating wave-shape could be used.

TEXAS INSTRUMENTS

INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใช้

TYPES SE555, NE555
PRECISION TIMERS

sequential timer

TYPICAL APPLICATION DATA

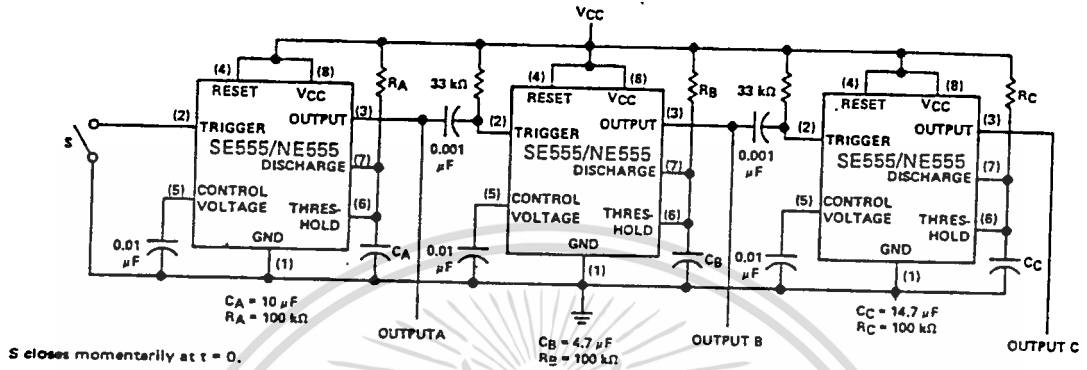


FIGURE 23—SEQUENTIAL TIMER CIRCUIT

Many applications, such as computers, require signals for initializing conditions during start-up. Other applications such as test equipment require activation of test signals in sequence. SE555/NE555 circuits may be connected to provide such sequential control. The timers may be used in various combinations of astable or monostable circuit connections, with or without modulation, for extremely flexible waveform control. Figure 23 illustrates a sequencer circuit with possible applications in many systems and Figure 24 shows the output waveforms.

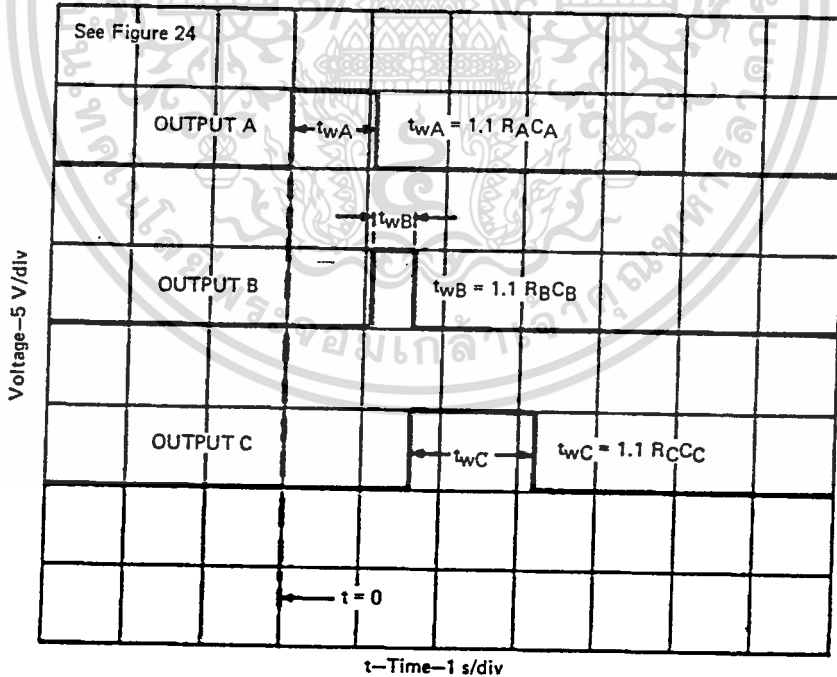


FIGURE 24—SEQUENTIAL TIMER WAVEFORMS

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED
POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก๊อปปี้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


XR-2206

Monolithic Function Generator

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01 Hz to more than 1 MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20 ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range, with an external control voltage, having a very small affect on distortion.

FEATURES

Low-Sine Wave Distortion	.5%, Typical
Excellent Temperature Stability	20 ppm/°C, Typical
Wide Sweep Range	2000:1, Typical
Low-Supply Sensitivity	0.01%V, Typical
Linear Amplitude Modulation	
TTL Compatible FSK Controls	
Wide Supply Range	10V to 26V
Adjustable Duty Cycle	1% to 99%

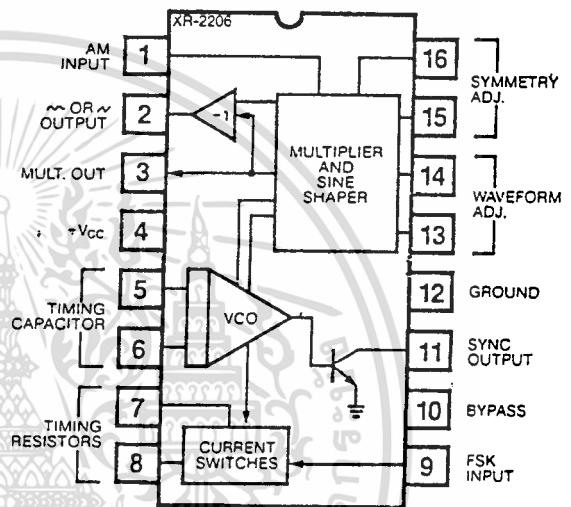
APPLICATIONS

Waveform Generation
Sweep Generation
AM/FM Generation
V/F Conversion
FSK Generation
Phase-Locked Loops (VCO)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V
Power Dissipation	750 mW
Derate Above 25°C	5 mW/°C
Total Timing Current	6 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

Part Number	Package	Operating Temperature
XR-2206M	Ceramic	-55°C to +125°C
XR-2206N	Ceramic	0°C to +70°C
XR-2206P	Plastic	0°C to +70°C
XR-2206CN	Ceramic	0°C to +70°C
XR-2206CP	Plastic	0°C to +70°C

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO actually produces an output frequency proportional to an input current, which is produced by a resistor from the timing terminals to ground. The current switches route one of the timing pins current to the VCO controlled by an FSK input pin, to produce an output frequency. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK Generation Applications.



Integrated Systems, Inc., 750 Palomar Avenue, Sunnyvale, CA 94086 • (408) 732-7970 • TWX 910-339-9233

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีลิขสิทธิ์

XR-2206

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 1, $V^+ = 12V$, $T_A = 25^\circ$, $C = 0.01 \mu F$, $R_1 = 100 k\Omega$, $R_2 = 10 k\Omega$, $R_3 = 25 k\Omega$ unless otherwise specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

PARAMETER	XR-2206M			XR-2206C			UNIT	CONDITIONS
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.		
GENERAL CHARACTERISTICS								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 > 10 k\Omega$
OSCILLATOR SECTION								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000 pF$, $R_1 = 1 k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50 \mu F$, $R_1 = 2 M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_o	$f_o = 1/R_1 C$
Temperature Stability		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 75^\circ C$.
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$R_1 = R_2 = 20 k\Omega$ $V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$.
Sweep Range	1000:1	2000:1		2000:1			$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1 k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2 M\Omega$
Sweep Linearity							%	$f_L = 1 kHz$, $f_H = 10 kHz$
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 100 Hz$, $f_H = 100 kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$\pm 10\%$ Deviation
FM Distortion		0.1			0.1		%	
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	See Figure 4.
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	$k\Omega$	
Triangle Sine Wave Output								See Note 1, Figure 2.
Triangle Amplitude		160			160		mV/ $k\Omega$	Figure 1, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80	60	60		mV/ $k\Omega$	Figure 1, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		V p-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Amplitude Stability		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	See Note 2.
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30 k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figures 6 and 7.
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		$k\Omega$	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		V p-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		nsec	$C_L = 10 pF$
Fall Time		50			50		nsec	$C_L = 10 pF$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2 mA$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	$V_{I1} = 26V$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Note 1: Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 2.

Note 2: For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Frequency-Shift Keying:

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 12. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control:

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figures 10, 11 and 12, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION**Sine Wave Generation****Without External Adjustment:**

Figure 10 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 10 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to $\approx 0.5\%$ by additional adjustments as shown in Figure 11. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint, and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of Figures 10 and 11 can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 12 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted, by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 . The output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V^- .

Pulse and Ramp Generation

Figure 13 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99%, by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of $1 \text{ k}\Omega$ to $2 \text{ M}\Omega$.

