

ชื่อหัวข้อ รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ
Car Survey Controlled by Radio Frequency

ชื่อนักศึกษา	รหัสนักศึกษา	ชื่ออาจารย์	รหัสนักศึกษา
1. นายสมชาติ	10650000000000000000	เกียรติปกรณ์	รหัสนักศึกษา 43035311
2. นายสมัย	10650000000000000000	พิมพ์สุวรรณ	รหัสนักศึกษา 43035313
3. นายสุจินัย	10650000000000000000	บุญอยู่	รหัสนักศึกษา 43035316
4. นายสุรัชย์	10650000000000000000	สุนทรประสาธพร	รหัสนักศึกษา 43035317

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ไพฑูริย์ พวงวงศ์ตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ปิยะ
ศุภวราวุฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ		
2. อาจารย์ปิยะ ศุภราตวัฒน์		
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล		
4. อาจารย์ไพฑูรย์ พวงวงศ์ตระกูล		
5. อาจารย์โกศล ตราขุ		

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 เวลา 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.317 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



<BT4401232>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 14 เดือน 11 พ.ศ. 2565

ปริญญานิพนธ์

รตสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ

CAR SURVEY CONTROLLED BY RADIO FREQUENCY



นายสมชาติ

เกียรติปกรณ

นายสมัย

พิมพ์สุวรรณ

นายสุจินัย

บุญอยู่

นายสุรัชย์

สุนทรประสาทร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....43192
วัน, เดือน, ปี..... 6 ก.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ

Car Survey Controlled by Radio Frequency

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของชุดต่างๆ ของรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
2. เพื่อออกแบบ และสร้างชุดทำงานต่างๆ ของรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
3. เพื่อนำชุดการทำงานต่างๆ มาประกอบ กันเป็นรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
4. เพื่อทดลองนำรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุมาทดลองใช้งานเพื่อเก็บข้อมูล
5. เพื่อนำข้อมูลมาพัฒนารถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุให้เหมาะสมกับการใช้งาน

มากที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการทำงานในส่วนต่างๆ ของรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
2. ได้วงจรในส่วนต่างๆ ของรถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
3. ได้รถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อใช้งานจำนวน 1 คัน
4. ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการแก้ไขข้อบกพร่องของรถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ
5. ได้รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ

นักศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หลักสูตร

สาขาวิชา

ปีการศึกษา

รศ.ดำรงควบคุมด้วยความถี่วิทยุ

นายสมชาติ เกียรติปกรณ

นายสมัย พิมพ์สุวรรณ

นายสุจินัย บุญอยู่

นายสุรัช สุนทรประสาทพร

อาจารย์ไพฑูย์ พวงวงศ์ตระกูล

อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

วิศวกรรมโทรคมนาคม

2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบ และการสร้างรศ.ดำรงควบคุมด้วยความถี่วิทยุ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของตัวรถ และระบบขับเคลื่อนทั้งหมด ส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุมการแพนกล้อง ซ้าย-ขวา บน-ล่าง ส่วนที่สามเป็นส่วนของเครื่องรับ และเครื่องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงย่าน VHF ส่วนสุดท้ายคือ ส่วนของวงจรควบคุมการขับเคลื่อนระยะไกล โดยดำรงควบคุมด้วยความถี่วิทยุ สามารถควบคุมการทำงานระยะไกลโดยส่งสัญญาณภาพมายังเครื่องรับโทรทัศน์ ทำให้สามารถเห็นสภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง ซึ่งสามารถนำรศ.ดำรงไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีอันตรายได้

II

Thesis Title	Car Survey Controlled by Radio Frequency	
Students	Mr.Somchat	Keatipakorn
	Mr.Samai	Pimsuwan
	Mr.Sukinai	Boonyu
	Mr.Surachai	Suntornprasatporn
	Mr.Paiboon	Pongwongtragull
Advisor	Mr.Piya	Supawarasuwat
Co-Advisor		
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Telecommunication Engineering	
Academic Year	2001	

ABSTRACT

This thesis presents design and Construction a project of car survey Controlled by Radio frequency by to Divide four part. First part to show body and drive car system, Second part to be Controlled camera left-right, up-down, Third part to be Receiver and Trasmmitter video signal and Audio signal a section VHF. The Final part to be Circuit controlled far distance a drive car. This survey Control radio Frequency it can Controlled by Video Signal Output to Television Reciver you can see environment the ground in the vicinity and appled this car to survey for Dangerous Area.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่ม
ทุกๆ ท่าน ขอขอบคุณท่านอาจารย์ไพฑูริย์ พวงวงศ์ตระกูล และท่านอาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์
วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมทั้งยังให้คำแนะนำ แนวความคิด
ความรู้ต่างๆ แนวทางในการแก้ไขปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุ
ศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และเอื้อเฟื้อสถานที่
ในการค้นคว้าข้อมูล

สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา และมารดาที่เป็นผู้ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษาและ
เป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และคุณงามความดีทั้งหมดนี้ที่เกิดจาก
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่อดีต
จนถึงปัจจุบัน ตลอดจนถึงเพื่อน ๆ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ดความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 คลื่นวิทยุ	4
2.3 หลักการของเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุ	6
2.3.1 ปัจจัยสำคัญของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ	6
2.3.2 หลักการผลิตความถี่	7
2.3.3 หลักการขยายสัญญาณ	11
2.3.4 หลักการผสมสัญญาณ	13
2.3.5 สายอากาศ	23
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์	26
2.4.1 เครื่องส่งโทรทัศน์	27
2.4.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องรับโทรทัศน์	31
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์	35
2.5.1 สัญญาณภาพ	35

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.2 ความกว้างของช่องคลื่น	38
2.5.3 ช่องสัญญาณ	39
2.6 หลักการเบื้องต้นของกล้องวิดีโอแบบซีซีดี	39
2.6.1 โครงสร้างของซีซีดี	40
2.6.2 ระบบการทำงานของซีซีดี	42
2.7 การสื่อสารข้อมูล	43
2.7.1 ลักษณะของการส่งข้อมูล	44
2.7.2 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	44
2.7.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม	45
2.7.4 ทฤษฎีพื้นฐานของ QPSK	47
2.7.5 ลักษณะของ QPSK	52
2.8 การรับส่งข้อมูลดิจิทัล FSK และแนวทางออกแบบการใช้งาน	54
2.8.1 ตัวกำเนิดสัญญาณ	55
2.8.2 ความกว้างของสัญญาณ FSK	56
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	59
3.1 กล่าวนำ	59
3.2 การออกแบบ	59
3.2.1 ภาควงสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF	59
3.2.2 ภาควงควบคุมการทำงานระยะไกล	67
3.2.3 ภาควงควบคุมการแพนกล้อง VDO	80
3.3 การสร้าง และการทำงาน	81
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	87
4.1 กล่าวนำ	87
4.2 การทดลอง	87
4.2.1 การทดลองภาควงสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF	87

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2.2 การทดลองภาคควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	99
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	111
5.1 บทสรุป	111
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	111
5.3 แนวทางการพัฒนา	113
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบของรถสำรวจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์	115
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	120
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	129
ภาคผนวก ง รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์	137
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	172
บรรณานุกรม	178
ประวัติผู้แต่ง	179

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
ตารางที่ 2.2 การจำแนกคลื่นวิทยุ	5
ตารางที่ 2.3 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการในพื้นที่ต่างๆ	31
ตารางที่ 2.4 ย่านความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ในยุโรป	39
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการเลือกค่าความต้านทาน และค่าคาปาซิเตอร์	70
ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันการทำงานภายในของไอซี TX-2 (PT8A977P)	72
ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันการทำงานของ PT8A978P	78
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง	99
ตารางที่ 4.2 การเข้ารหัสของสวิตช์	101
ตารางที่ ง.1 สวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน	173

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 การผลิตความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน	8
รูปที่ 2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ และภาควงจรตัวเก็บประจุ	10
รูปที่ 2.3 วงจรเทียบเท่าของวงจรจูนสำหรับอัลตราออสซิลเลเตอร์	11
รูปที่ 2.4 วงจรขยายสัญญาณแบบอิมพีแดนซ์คัปปลิง โดยใช้ไคร์เลียง (L) เป็นอิมพีแดนซ์ ของตัวภาระ	12
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ ที่แสดงในรูปของกระแสไฟฟ้า	13
รูปที่ 2.6 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น	15
รูปที่ 2.7 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมาก และน้อยในการมอดูเลต	16
รูปที่ 2.8 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ได้จากการคิมมอดูเลต	17
รูปที่ 2.9 การโอเวอร์มอดูเลต ทำให้สัญญาณทางเครื่องรับผิดเพี้ยน	17
รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบคลื่นเอเอ็มในเชิงเวลา และเชิงความถี่	19
รูปที่ 2.11 การมอดูเลตทางความถี่	22
รูปที่ 2.12 ความแตกต่างระหว่างคลื่นเอฟเอ็มกับพีเอ็ม	22
รูปที่ 2.13 สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้งที่ใช้พื้นผิวตัวนำขนาดใหญ่	23
รูปที่ 2.14 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง	24
รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบการกระจายคลื่นวิทยุจากสายอากาศยาว $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น และสายอากาศยาว $\frac{5}{8}$ ของความยาวคลื่น	26
รูปที่ 2.16 ช่วงกว้างคลื่นที่ส่งโทรทัศน์ระบบ PAL หนึ่งช่อง	28
รูปที่ 2.17 องค์ประกอบรูปคลื่น DC ของสัญญาณโทรทัศน์	28
รูปที่ 2.18 รูปคลื่นการมอดูเลต	29
รูปที่ 2.19 สิ่งที่ต้องพิจารณาในระบบส่งโทรทัศน์	30
รูปที่ 2.20 แผนผังการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์สี	31
รูปที่ 2.21 เส้นโค้งตอบสนองความถี่ของภาคความถี่กลาง	32
รูปที่ 2.22 เส้นโค้งแสดงการแยกความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์ และความถี่กลาง ของสัญญาณโครมิแนนซ์	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.23 สัญญาณภาพเอาต์พุตจากกล้องในการสแกนหนึ่งเส้น	35
รูปที่ 2.24 สัญญาณภาพเอาต์พุตในระดับ DC ที่แตกต่างกัน	36
รูปที่ 2.25 คลื่นพาห้ที่มอดูเลตแบบเอเอ็ม	37
รูปที่ 2.26 ช่วงกว้างความถี่ของช่องสัญญาณระบบ A	38
รูปที่ 2.27 โครงสร้างพื้นฐานทั่วไปของซีซีดี	40
รูปที่ 2.28 รูปคลื่นของการหมุนเฟสที่ปรากฏทางด้านแนวตั้ง และการถ่ายเทของประจุที่สัมพันธ์กัน	41
รูปที่ 2.29 ระบบการทำงานพื้นฐานของซีซีดี	42
รูปที่ 2.30 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	45
รูปที่ 2.31 การกำหนดคลื่นรูปไซน์ และเฟสต่างๆ	46
รูปที่ 2.32 สัญญาณ BPSK	47
รูปที่ 2.33 วงจรคิมมอดูเลต QPSK	48
รูปที่ 2.34 เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณในช่องสัญญาณ P และ Q	49
รูปที่ 2.35 เวกเตอร์ผลลัพธ์ของสัญญาณ QPSK	49
รูปที่ 2.36 สัญญาณ QPSK ถูก Shift Phase $\frac{\pi}{4}$	50
รูปที่ 2.37 วงจรมอดูเลตสัญญาณ QPSK	50
รูปที่ 2.38 การตีเทคสัญญาณ QPSK ออกมาเป็น BPSK 2สัญญาณ	51
รูปที่ 2.39 Keying Speed ในการส่งสัญญาณ	52
รูปที่ 2.40 PSK เวกเตอร์ และ Noise เวกเตอร์	53
รูปที่ 2.41 เปรียบเทียบขนาดของ Noise Ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิต	54
รูปที่ 2.42 การส่งสัญญาณดิจิทัล	55
รูปที่ 2.43 การมอดูเลตแบบ FSK	56
รูปที่ 2.44 การมอดูเลตแบบ FSK	56
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ	60
รูปที่ 3.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณโทรทัศน์	61
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้	62
รูปที่ 3.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม	64
รูปที่ 3.6 วงจรสมบรูณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ	66
รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของวงจรควบคุมการส่ง	68
รูปที่ 3.8 วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD	69
รูปที่ 3.9 วงจรเข้ารหัส (Encode)	70
รูปที่ 3.10 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	71
รูปที่ 3.11 วงจรความถี่พาหะ	73
รูปที่ 3.12 วงจรมอดูเลตและวงจรขยายกำลัง	74
รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของวงจรภาครับ	75
รูปที่ 3.14 วงจรรับสัญญาณและขยายสัญญาณ (Demodulator)	75
รูปที่ 3.15 วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	76
รูปที่ 3.16 วงจรถอดรหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	77
รูปที่ 3.17 วงจรควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	79
รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมการแพนกล้อง	80
รูปที่ 3.19 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	81
รูปที่ 3.20 ชุดตรึงโซ่	82
รูปที่ 3.21 โซ่ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน	82
รูปที่ 3.22 ชุดเฟือง	83
รูปที่ 3.23 ล้อรถที่ใช้ในการขับเคลื่อน	84
รูปที่ 3.24 ชุดล้อรถใช้ในการปีนพื้นต่างระดับ	84
รูปที่ 3.25 ระบบโซ่คลม และกล่องเก็บลม	85
รูปที่ 3.26 ระบบชุดแพนกล้อง	86
รูปที่ 3.27 กล่องเก็บของ และกล่องเก็บวงจร	86
รูปที่ 4.1 การต่อแรงดันไฟฟ้า และจุดวัดสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง	88
รูปที่ 4.2 สัญญาณภาพที่วัดได้	88
รูปที่ 4.3 สัญญาณเสียงที่วัดได้	89
รูปที่ 4.4 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาหะของสัญญาณโทรทัศน์	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.5 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	90
รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์	91
รูปที่ 4.7 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	92
รูปที่ 4.8 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	92
รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์	93
รูปที่ 4.10 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	93
รูปที่ 4.11 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	94
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุต และสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div = 0.5 ms	95
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุต และสัญญาณเอาต์พุตที่ Time/Div = 0.5 μ s	95
รูปที่ 4.14 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	96
รูปที่ 4.15 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	97
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม	98
รูปที่ 4.17 วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD	100
รูปที่ 4.18 วงจรกึ่งสวิตช์ของจริง	102
รูปที่ 4.19 วงจรเข้ารหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	103
รูปที่ 4.20 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 15 ของวงจรเข้ารหัส	103
รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตในขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์	104
รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาต์พุตในขณะที่มีการกดสวิตช์	104
รูปที่ 4.23 วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	105
รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาต์พุตขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์	105
รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุตในขณะที่มีการกดสวิตช์	106
รูปที่ 4.26 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	107
รูปที่ 4.27 จุวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	107
รูปที่ 4.28 สัญญาณเอาต์พุตในขณะกดสวิตช์	108

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.29 สัญญาณเอาต์พุตในขณะกดสวิทช์ S_2	108
รูปที่ 4.30 วงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ	109
รูปที่ 4.31 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ	110
รูปที่ ก.1 ชุดล้อปีนพื้นต่างระดับ	116
รูปที่ ก.2 ระบบโซ่คลม	116
รูปที่ ก.3 กล้องเก็บของ และกล้องเก็บวงจร	117
รูปที่ ก.4 ระบบชุดแพนกล้อง	117
รูปที่ ก.5 ลักษณะของตัวรถด้านหน้า	118
รูปที่ ก.6 ลักษณะของตัวรถด้านข้าง	118
รูปที่ ก.7 ลักษณะของตัวรถด้านบน	119
รูปที่ ก.8 ลักษณะของตัวรถด้านล่าง	119
รูปที่ ข.1 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ	121
รูปที่ ข.2 รูปด้านการวางอุปกรณ์วงจรเครื่องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง	122
รูปที่ ข.3 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเครื่องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง	122
รูปที่ ข.4 วงจรเข้ารหัส (ENCODE)	123
รูปที่ ข.5 การวางอุปกรณ์วงจรเข้ารหัส (ENCODE)	123
รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์เข้ารหัส (ENCODE)	124
รูปที่ ข.7 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	124
รูปที่ ข.8 การวางอุปกรณ์วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	125
รูปที่ ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์	125
รูปที่ ข.10 วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	126
รูปที่ ข.11 รูปด้านการวางอุปกรณ์วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	126
รูปที่ ข.12 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ	127
รูปที่ ข.13 วงจรควบคุมการแพนกล้อง	127
รูปที่ ข.14 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการแพนกล้อง	128
รูปที่ ข.15 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการแพนกล้อง	128
รูปที่ ง.1 รถสำรวจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ชุดแพนกล้อง	173

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ง.2 ชุดควบคุมการแพนกล้อง	174
รูปที่ ง.3 เครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF	175



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การกู้ภัยในสถานที่ๆ มีอันตรายสูง สำหรับเจ้าหน้าที่กู้ภัยแล้ว จำเป็นต้องรู้สภาพของสถานที่ปฏิบัติงานให้มากที่สุด จึงจะทำให้สามารถปฏิบัติงานได้ด้วยความรวดเร็ว และเกิดความปลอดภัยแก่ตัวเจ้าหน้าที่เอง เช่น เกิดอุบัติเหตุก๊าซรั่วภายในห้องๆ หนึ่ง สิ่งที่เจ้าหน้าที่กู้ภัยจำเป็นต้องรู้มากที่สุด คือสภาพที่เป็นอยู่ปัจจุบันของสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งข้อนี้จำเป็นต้องมีเครื่องมือสำรวจสภาพภายในเพื่อให้ได้ข้อมูลมา หากจะให้เจ้าหน้าที่ทำการสำรวจ และปฏิบัติงานไปด้วยอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานเพราะไม่รู้ว่ามีก๊าซรั่วของก๊าซที่จุดไหน มากน้อยเพียงใด ดังนั้นโครงการรณรงค์สำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุจึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้ เพื่อลดอัตราเสี่ยงอันตรายของเจ้าหน้าที่กู้ภัย และช่วยย่นระยะเวลาการปฏิบัติงานให้น้อยลง ทำให้สูญเสียทรัพยากรสินน้อยลงตามไปด้วยนั่นเอง

การส่งข้อมูลภาพ และเสียงไปยังเครื่องรับที่ไม่ไกลมากเราสามารถส่งจากกล้องวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ได้ทันที แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือส่งได้ไม่ไกลเนื่องจากใช้สายนำสัญญาณจึงทำให้เกะกะ และยังต้องมีผู้ปฏิบัติงานคอยทำหน้าที่ถ่ายภาพ ดังนั้นหากมีการปฏิบัติงานในสถานที่ๆ อันตราย ก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ง่าย อีกทั้งขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ และหนัก รวมทั้งมีสายนำสัญญาณต่ออยู่อาจจะทำให้การปฏิบัติงานขาดความคล่องตัว และอาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานเช่นเดียวกัน

จากปัญหาที่ว่า การปฏิบัติงานของมนุษย์ในสถานที่อันตรายจะต้องรู้จักสภาพภายในเป็นอย่างดีก่อนการทำงานจึงจะเป็นไปด้วยความรวดเร็วและปลอดภัย โดยการใช้รถสำรวจจึงเป็นแนวทางแก้ไขในส่วนนี้ โดยรถสำรวจจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพกลับมายังสถานีฐาน ให้ผู้ปฏิบัติงานกู้ภัยได้รู้ข้อมูลสภาพภายในปัจจุบันที่เป็นจริงโดยสัญญาณที่ได้นั้นจะเป็นภาพที่ผ่านกล้อง ซีซีดี ผ่านระบบการส่งสัญญาณภาพกระจายออกมา และการควบคุมระบบต่างๆ สามารถทำได้โดยการควบคุมระยะไกลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทำให้สามารถปฏิบัติงานได้ไกล และครอบคลุมสถานที่เกิดเหตุ

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการรณสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ มีขีดความสามารถต่างๆ ดังนี้

- 1) รั้งบนพื้นราบได้
- 2) รั้งบนพื้นผิวลาดเอียงได้ 0-30 องศาได้
- 3) ปีนขึ้นบนพื้นที่ต่างระดับความสูง 0-5 เซนติเมตรได้
- 4) กระจายสัญญาณภาพและเสียงย่าน VHF ออกมาได้ในระยะทางประมาณ 100 เมตร ในที่โล่ง
- 5) สามารถแพนกล้อง ซ้าย – ขวาได้ 180 องศา
- 6) สามารถแพนกล้อง ก้ม – เงย ได้ 180 องศา
- 7) สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 10 กิโลกรัม
- 8) ขนาดชิ้นงานที่บรรจุไม่เกิน 20×20×25 เซนติเมตร
- 9) สามารถปฏิบัติงานได้ในที่มืด
- 10) สามารถควบคุมการรั้งได้ด้วยความเร็วสองระดับ คือ สูงสุด 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และช้าสุด 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 11) สามารถควบคุมการทำงานได้เป็นระยะทางประมาณ 150 เมตรในที่โล่ง

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาในแต่ละบทของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ ประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ หลักการของเครื่องส่งวิทยุ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์ และหลักการเบื้องต้นของกล้องวิดีโอ ซึ่งจะเป็นความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรและการทำงานที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน เป็นการอธิบายการออกแบบ การสร้างหลักการ และการทำงานของวงจรต่างๆ ซึ่งทำให้มีความเข้าใจต่อการทำงานโดยรวมของโครงการ

บทที่ 4 การทดสอบ และผลการทดสอบ กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพ และการทำงานของวงจรต่างๆของโครงการ เพื่อที่จะตรวจสอบว่าโครงการสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงานของรถสำรวจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และได้เสนอแนะแนวทางแก้ไข พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ส่วนในภาคผนวกจะแสดงรายละเอียดของรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำโครงการ โดยจะประกอบด้วย

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบของรถสำรวจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน



บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎี และหลักการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย คลื่นวิทยุ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ หลักการของเครื่องส่งคลื่นวิทยุ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 คลื่นวิทยุ

จากการศึกษาถึงระบบการสื่อสาร จะเห็นว่าระบบสื่อสารวิทยุช่วยให้มนุษย์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เป็นระยะทางไกลมากขึ้นโดยวิธีเปลี่ยนเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่าคลื่นเสียง (Audio) นำมาผสมกับคลื่นพาห์ (Carrier) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป ทำให้ติดต่อสื่อสารกันในระยะทางไกลขึ้นได้

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

ความถี่วิทยุ (Radio Wave or Radio Frequency) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วคงที่อยู่ในย่านความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 300 กิกะเฮิร์ตซ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความถี่มีความสัมพันธ์ต่อความยาวคลื่นดังนี้

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (2.1)$$

เมื่อ f = ความถี่ หน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz)

v = ความเร็ว (Velocity) ของคลื่นวิทยุ ประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)

λ = ความยาวคลื่น (Wavelength) หน่วย เมตร (m)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

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

ตารางที่ 2.2 การจำแนกคลื่นวิทยุ

ชื่อ	ย่านความถี่	ความยาวคลื่น	การนำไปใช้งาน
1. Very Low Frequency (VLF)	3kHz – 30 kHz	100 km 10 km	คลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยิน
2.Low Frequency (LF)	30 khz – 300 khz	10 km – 1 km	การสื่อสารระยะไกลจากจุดหนึ่งถึงจุดหนึ่ง
3. Medium Frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz	1 Km – 100 m	ใช้ส่งวิทยุคลื่นยาว วิทยุเดินเรือ และการติดต่อสื่อสารระยะทางไกลๆ
4. High Frequency (HF)	3 MHz – 30 Mhz	100 m – 10 m	ส่งวิทยุในย่านกระจายเสียงทั่วไป(Broadcast Band,AM)และเรีอรับ
5. Very High Frequency (VHF)	30 MHz 300 MHz	10m – 1 m	ใช้ในการส่งวิทยุคลื่นสั้น ในทางอุตสาหกรมวิทยา
6. Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz - 3GHz	1m – 10 cm	ศาสตร์อุปกรณ์ทางการแพทย์ และวิทยุสมัครเล่น
7. Super High Frequency (SHF)	3 GHz - 30 GHz	10 cm – 1 cm	ใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 2-13 ส่งวิทยุเอฟเอ็ม
8. Extremely High Frequency (EHF)	30 GHz – 300 GHz	1 cm – 1 mm	วิทยุเดินเรือ และวิทยุสมัครเล่น
9. ย่านที่ยัง ไม่มีชื่อ	300GHz – 3THZ	1 mm – 01 mm	ใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 14 – 83 เคราร์ และไมโครเวฟ
			เรคราร์ ไมโครเวฟ สื่อสารดาวเทียม คันควัทดลอง
			คันควัทดลอง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) สามารถจำแนกประเภทตั้งแต่ความถี่ต่ำสุดถึงความถี่สูงสุดได้ดังตารางที่ 2.1 และจำแนกรายละเอียดเฉพาะคลื่นวิทยุที่ใช้งานในระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุได้ตามตารางที่ 2.2

2.3 หลักการของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ คือ อุปกรณ์ที่ผลิตสัญญาณคลื่นวิทยุ (คลื่นพาห์) ขึ้นมา และส่งต่อสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่หนึ่งไปให้กับสายอากาศ พร้อมกับนำข่าวสารที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแพร่กระจายออกอากาศไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1 ปัจจัยสำคัญของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งในระบบสื่อสารวิทยุ คือ ความถี่ ซึ่งแน่นอนที่สุด คือ หมายถึงช่วงกว้างของความถี่ (Bandwidth) จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้องกับช่วงความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เริ่มตั้งแต่ 100 เฮิรตซ์ ในระบบโทรเลขจนถึงหลายๆ เมกะเฮิรตซ์ ในระบบโทรทัศน์

สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่ง คือ กำลัง (Power) เครื่องส่งวิทยุอาจจะมีกำลังส่งเป็นร้อยกิโลวัตต์ ในขณะที่กำลังในสายส่งโทรศัพท์มีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ในระบบสื่อสารดาวเทียมสัญญาณที่รับเข้าเครื่องรับมีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ ในกรณีที่สัญญาณมีกำลังอ่อนมากๆ นั้นการออกแบบวงจรก็จะยุ่งยากขึ้น โดยเฉพาะการถ่ายเทพลังงานจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดนั้น การทำให้อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรต่อวงจรสมดุลกันจึงเป็นสิ่งสำคัญการลดทอน หรือการสูญเสียในวงจรเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบวงจร อีกทั้งอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

หน้าที่หลักของเครื่องส่ง คือ การผลิตสัญญาณ, การขยายสัญญาณ, และการผสมสัญญาณ ในการส่งสัญญาณจะมีคลื่นพาห์ (Carrier Wave) เป็นตัวพาสัญญาณไป

การผลิตสัญญาณคือ การผลิตคลื่นพาห์ความถี่วิทยุ (RF: Radio Frequency) ซึ่งวงจรมาตรฐานที่ประยุกต์ใช้กันทั่วไป ได้แก่ วงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ตเลย์ (Hartley Oscillator), วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ (Colpitts Oscillator), วงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยคริสตัล (Crystal Controlled Oscillator) เป็นต้น สำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในวงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน UHF สำหรับกล้องวิดีโอจะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ดังนั้น ในที่นี้จึงกล่าวถึงเฉพาะวงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์เท่านั้น

การขยายสัญญาณ คือ การขยายสัญญาณความถี่วิทยุจากเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์หน้าที่ของวงจรขยายสัญญาณนี้มี 2 ประการด้วยกัน คือ

- 1) ทำการขยายสัญญาณความถี่วิทยุระดับต่ำให้มีระดับสูงขึ้นจนเพียงพอที่จะส่งไปขับวงจรในภาคขยายกำลังได้
- 2) เป็นภาควงจรที่กันวงจรออสซิลเลเตอร์ออกจากวงจรขยายกำลังเพื่อจะลดปัญหาเกี่ยวกับโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์ และช่วยให้เสถียรภาพทางความถี่ขึ้น

การมอดูเลชันคือ การเปลี่ยนแปลงความสูง (Amplitude), เฟส (Phase) ของสัญญาณคลื่นพาห์ตามสัญญาณที่จะส่ง การมอดูเลตสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ การมอดูเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Carrier Wave Modulation) และการมอดูเลตเป็นช่วงๆ (Pulse Modulation) การมอดูเลตในระบบสื่อสารนั้นเป็นการสมดุลระหว่างสัญญาณกับคุณสมบัติของช่อง เพื่อลดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในการส่งสัญญาณหลายๆ สัญญาณเข้ากับช่องส่งเดียว ความสำเร็จของระบบการสื่อสาร คือการออกแบบการมอดูเลชันได้อย่างเหมาะสม

วงจรขยายกำลังเป็นตัวจ่ายกระแสสายอากาศด้วยขนาดที่เพียงพอตามความต้องการทางด้านเอาต์พุต ยิ่งถ้ามีกระแสสูงก็จะส่งผลให้กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แรงมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นสัญญาณจึงสามารถถูกส่งกระจายออกไปได้ไกลกว่าสภาพปกติได้

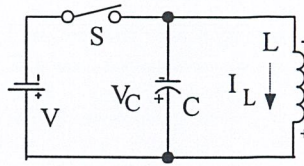
2.3.2 หลักการผลิตความถี่

การผลิตความถี่ คือ การทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ หรือกล่าวทั่วๆ ไป คือ การแกว่งตัวของสิ่งต่างๆ ด้วยความแรงและความเร็วคงที่

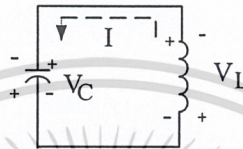
เครื่องส่งคลื่นวิทยุทุกชนิด จำเป็นต้องใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ในการผลิตสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่วิทยุ และยังมีความจำเป็นต้องวงจรเปลี่ยนความถี่ (Frequency Converter Circuit) ของวงจรเครื่องรับซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ สำหรับสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency : IF) นอกจากนี้ ยังมีการใช้งานในเครื่องผลิตสัญญาณ (Signal Generator) เป็นต้น ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งสัญญาณความถี่ต่ำ หรือสัญญาณเสียง และสัญญาณคลื่นวิทยุได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในวงจรคิิตอด ออสซิลเลเตอร์ยังถูกใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณนาฬิกา ให้แก่ มัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งสัญญาณที่ผลิตออกมาเป็นพัลส์ที่มีความถี่แน่นอน เป็นต้น

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

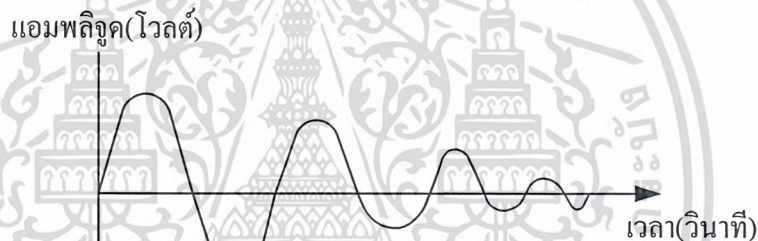
- 1) มีการเคลื่อนที่ไปมา หรือมีการสั่นตัวของวัตถุ ถ้าเป็นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีการทำงานของวงจรที่สลับไปสลับมาของแรงดัน และกระแสตลอดเวลา
- 2) การเคลื่อนที่ หรือการสั่นดังกล่าวจะต้องสัมพันธ์กับเวลา มีความคงที่ และสม่ำเสมอจะทำให้เกิดความถี่ขึ้นมาเทียบกับเวลาใน 1 วินาที คือ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
- 3) ถ้าระดับความแรงของคลื่นลดลงที่เรียกว่า รูปคลื่นทรุด (Damping Wave) จะต้องมีการกระตุ้นเสริมความแรงของคลื่น เพื่อให้เกิดความคงที่ และสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา



- (ก) ในขณะที่สวิตช์ปิดวงจร แบตเตอรี่จะสะสมประจุให้แก่ C และป้อนกระแสให้ไหลภายใน L



- (ข) ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจร แบตเตอรี่จะถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ในวงจร LC ขณะนี้เกิดจากการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่าง L กับ C



- (ค) คลื่นไซน์ที่เกิดจากการออสซิลเลต

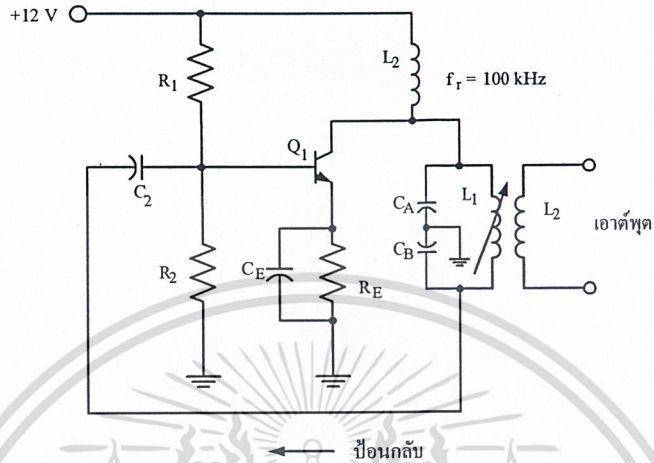
รูปที่ 2.1 การผลิตความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน

วงจรเบื้องต้นของการผลิตความถี่จะประกอบด้วยขดลวด (Inductor, L) และตัวเก็บประจุ (Capacitor, C) ประกอบรวมกันเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน ดังรูปที่ 2.1 (ก) โดยแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้แก่ C ที่ต่อขนานอยู่กับ L ในลักษณะนี้ยังไม่มี การออสซิลเลตใดๆ เกิดขึ้น แบตเตอรี่จะสะสมประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ จนกระทั่งถึงระดับ V_C และเกิด I_L ไหลภายในขดลวด ดังนั้น จะเกิดพลังงานไฟฟ้าสะสมภายในตัวเก็บประจุ และเกิดพลังงานแม่เหล็กสะสมภายในขดลวดขึ้น จากรูปที่ 2.1 (ข) สวิตช์ S เปิดวงจร ทำให้วงจรของแบตเตอรี่ V_A ถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ทันที ในสถานะเช่นนี้จึงสามารถพิจารณาการทำงานของวงจร LC ได้ เมื่อปราศจากแบตเตอรี่ ระดับของ I_L

จะค่อยๆ ลดลง ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิด V_L ขึ้น ในขณะนั้น L เป็นเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร LC แต่อย่างไรก็ตาม ขั้วของ V_L จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ I_L ไหลในทิศทางเดียวกับ I_C เพื่อให้ C สามารถคายประจุได้ แต่ที่จริงแล้ว V_L จะสะสมประจุให้แก่ C ด้วย ขั้วที่ตรงข้าม เมื่อเปลี่ยนไปจนมีค่ามากกว่า V_L ตัวเก็บประจุจะคายประจุทำให้ I_C ซึ่งมีค่าตรงข้ามกับ I_L ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น คือ จะเกิดการเปลี่ยนพลังงานระหว่างความเหนี่ยวนำและความจุเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง V กับ I ด้วยความถี่รีโซแนนซ์ธรรมชาติของวงจร LC ดังรูปที่ 2.1 (ค) ขณะใดก็ตามที่ I_L มีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ V_L ขึ้น และในขณะใดก็ตามที่ V_C มีค่าเป็นศูนย์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแส I_C ขึ้น สลับกันอย่างนี้เรื่อยไปทำให้เกิดเป็นคลื่นไซน์ที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลาเพราะ V และ I จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ทันทีทันใด

แอมพลิจูดของการออสซิลเลตค่า V และ I จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานที่ความต้านทานของวงจร จนกระทั่งแอมพลิจูดของคลื่นไซน์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในที่สุด ดังรูปที่ 2.1 (ค) การทำงานของวงจร LC ในการออสซิลเลตทำให้เกิดคลื่นไซน์จากพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจร เรียกว่า ริงกิง (Ringing) ซึ่งที่จริงแล้ว ขดลวดในวงจรใดๆ ก็ตามสามารถเกิดริงกิงได้จากค่าความจุตกค้างที่ต่อขนานอยู่ สำหรับลักษณะของคลื่นที่มีค่า I ลดลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นได้ ในขดลวดที่มีค่า Q สูงๆ วงจร LC สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่ง คือ วงจรแทงก์ (Tank Circuit) เนื่องจากสามารถเก็บสะสมพลังงาน เพื่อก่อให้เกิดการออสซิลเลตได้ คุณสมบัติของวงจรแทงก์ในการผลิตคลื่นไซน์ที่มีอินพุตเป็นไฟตรง หรือเป็นพัลส์ก็ได้เรียกว่า ฟลายวีล เอฟเฟกต์ (Flywheel Effect)

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทที่มีลักษณะที่เด่นชัด คือมีตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันสำหรับการป้อนกลับสัญญาณอยู่อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.2 C_A และ C_B ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรแบ่งแรงดันอนุกรมตกคร่อมขดลวด L_1 หรือกล่าวได้ว่าวงจรคอลพิทที่ออสซิลเลเตอร์มีลักษณะพิเศษในเรื่องการต่อแยกที่ตัวเก็บประจุแทนที่จะเป็นการต่อแยกที่ตัวเหนี่ยวนำในส่วนของวงจรคอลเลคเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C_3 จะถูกป้อนกลับแบบบวกไปยังขาเบส จุดต่อระหว่าง C_A และ C_B จะถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้นจึงเป็นเสมือนว่าวงจรตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันนั้นเป็นวงจรเทียบเท่ากับการต่อแยกขดลวด สำหรับสัญญาณของวงจรออสซิลเลเตอร์ แรงดันไฟฟ้า V_{CA} และ V_{CB} จะมีขั้วตรงข้ามกันเพื่อเทียบกับจุดกราวด์การป้อนกลับแบบบวกของ V_{CB} จะถูกเชื่อมต่อโดย C_2 ซึ่งในขณะเดียวกัน C_2 จะทำการป้องกันสัญญาณแรงดันไฟตรงจากขาคอลเลคเตอร์ไม่ให้ผ่านไปสู่ขาเบสได้



รูปที่ 2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ และภาควจรตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน

เอาต์พุตของวงจรจะถูกเชื่อมต่อโดยขดลวด L_2 ซึ่งจะนำไปสู่วงจรถัดไป วงจรดังรูปใช้การป้อนสัญญาณแบบขนานโดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคอลเลกเตอร์ถูกป้อนผ่าน L_3 ซึ่ง L_3 คือ RF โช๊ค (Radio Frequency Choke) ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ผ่านเข้าไปยังแหล่งจ่ายไฟ

จากวงจรดังรูปที่ 2.2 เนื่องจากความจุของวงจรรีโซแนนซ์ LC นั้นจะถูกแบ่งไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์ ดังนั้น การปรับแรงดันไฟฟ้าของวงจรจึงเปลี่ยนมาใช้ในการปรับแต่งโดย L_1 แทนหรือ C_A และ C_B จะต้องต่อกันแบบแก๊งค์ (Ganged Capacitance)

ความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ สามารถคำนวณได้จาก

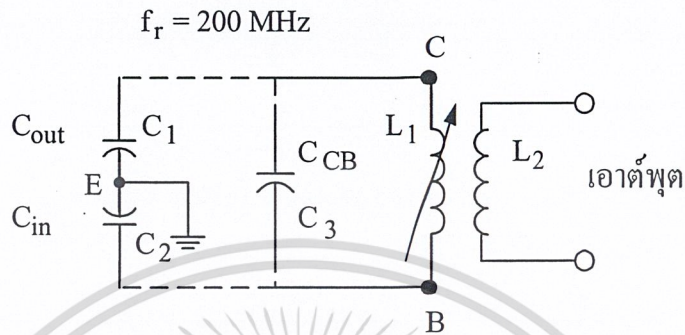
$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad (2.2)$$

เมื่อค่า C_T คือ ผลรวมของตัวเก็บประจุ C_A และ C_B

$$C_T = \frac{C_A C_B}{C_A + C_B} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคอลพิทท์ที่มีการประยุกต์ใช้งานทั้งในด้านความถี่วิทยุขนาด 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงย่านความถี่ VHF ที่มีแถบความถี่สูงถึง 300 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 2.3 วงจรเทียบเท่าของวงจรสำหรับอัลตราออสซิลเลเตอร์

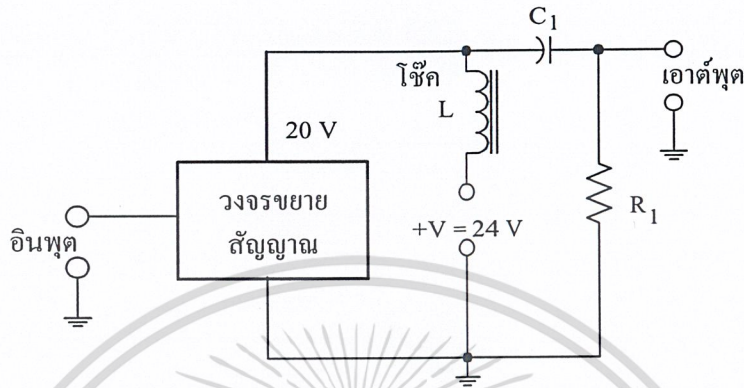
รูปที่ 2.3 จะเป็นวงจรเทียบเท่าของวงจรนั้นเอง สำหรับอัลตราออสซิลเลเตอร์ (Ultra - Audion Oscillator) ซึ่งเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่พัฒนามาจากวงจรคอลพิทท์ สังเกตว่า C_3 , C_2 และ C_1 เป็นความจุภายในของรอยต่อภายในทรานซิสเตอร์ วงจรลักษณะนี้ใช้กับงานเกี่ยวข้องกับสัญญาณความถี่ย่าน VHF ที่มีความถี่สูงกว่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นไป วงจรแบ่งแรงดัน C_1 และ C_2 ในรูปที่ 2.3 นั้นสอดคล้องกับวงจรแบ่งแรงดัน C_A และ C_B ในรูปที่ 2.3 C_1 เป็นความจุเอาต์พุต (Output - Capacitance) ขาคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์ของ Q_1 ส่วน C_2 เป็นความจุอินพุตระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ C_3 ขนานอยู่กับ L_1 เป็นความจุระหว่างขาเบสกับขาคอลเลกเตอร์ ค่าความจุภายในเหล่านี้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 พิโกฟารัด ถึง 10 พิโกฟารัด สำหรับทรานซิสเตอร์ความถี่วิทยุทั่วไป

2.3.3 หลักการขยายสัญญาณ

การขยาย หมายถึง การทำให้ค่าแอมพลิจูดของแรงดัน หรือกระแสไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นเช่น สัญญาณเสียงสำหรับวิทยุ หรือสัญญาณภาพสำหรับโทรทัศน์วงจรขยายสัญญาณมีคุณสมบัติในการขยายขนาดของสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุต ซึ่งมีขนาดเล็กให้มีขนาดสัญญาณใหญ่ขึ้น และส่งออกทางเอาต์พุตโดยที่ลักษณะของสัญญาณทางเอาต์พุตนั้นจะเหมือนกับสัญญาณทางอินพุตทุกประการ ยกเว้นมีขนาดที่ต่างกันเท่านั้น

ในวงจรขยายสัญญาณ ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยมีอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตัวต้านทานไฟฟ้า ขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเป็นส่วนประกอบที่ทำให้วงจรขยายสัญญาณ

สมบูรณ์ขึ้น วงจรทรานซิสเตอร์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุด คือ วงจรอิมิตเตอร์ร่วม เนื่องจากมีคุณสมบัติของอัตราขยายกระแสไฟฟ้าสูง และอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณหนึ่ง



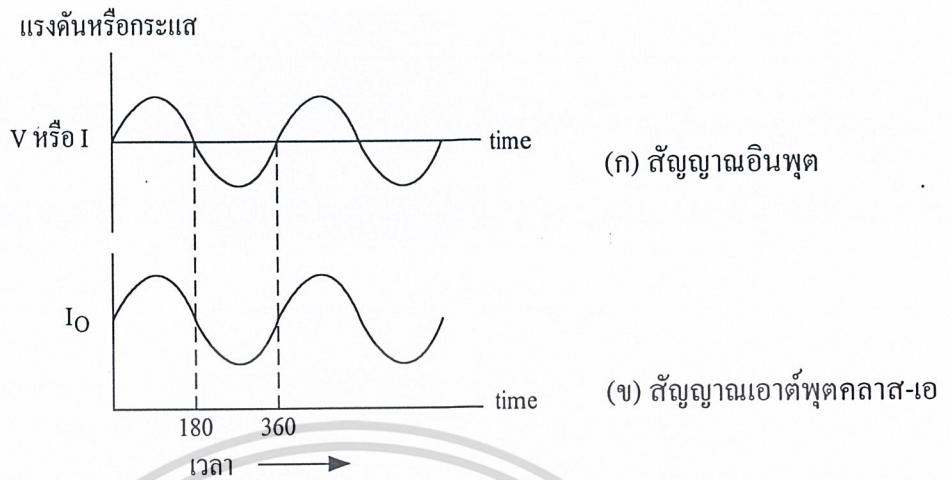
รูปที่ 2.4 วงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วม โดยใช้โช๊คเสียง (L)
เป็นอิมิตเตอร์ของตัวการะ

วงจรในรูปที่ 2.4 เป็นการนำเอาทรานซิสเตอร์เป็นอิมิตเตอร์ของตัวการะ เรียกว่า วงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วม R_1, C_1 เป็นวงจรคัปปลิงที่ใช้ป้องกันแรงดันไฟฟ้าจากวงจรในภาคถัดไป

สำหรับโช๊คเสียงชนิดแกนเหล็ก สามารถใช้ได้ทั้งวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียง และโช๊คชนิดแกนอากาศ สามารถใช้ได้เป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

ข้อดีของการใช้โช๊คเป็นอิมิตเตอร์ของตัวการะ R_L คือ มีค่าความต้านทานไฟตรงต่ำแต่มีอิมิตเตอร์สูง สำหรับสัญญาณไฟสลับมีความต้านทานต่ำ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทาน R_L เพียงเล็กน้อย ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกป้อนเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณได้สำหรับผลของค่าอิมิตเตอร์สูงจะทำให้ได้อัตราขยายสัญญาณสูง แต่ค่า Z_L จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตามความถี่ของสัญญาณ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วมจะตอบสนองต่อสัญญาณความถี่ต่างๆ ในลักษณะต่างๆ กัน

การจัดแบ่งชนิดของวงจรขยายขึ้นอยู่กับการเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั้นๆ โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของรอบของสัญญาณอินพุตที่สามารถผลิตกระแสเอาต์พุตได้ แบ่งออกเป็น คลาส-เอ (Class A), คลาส-บี (Class B), คลาส เอ-บี (Class A-B) และคลาส-ซี (Class C)



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณคลาส-เอ ที่แสดงในรูปของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

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

วงจรขยายสัญญาณแบบคลาส-เอ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต I_o จะมีรอบของสัญญาณคลื่นที่สอดคล้องกับสัญญาณอินพุตทั้ง 360 องศาหรือมีเฟสเดียวกัน (In-Phase) นั่นเองดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณเสียงที่มีการบิดเบือนของสัญญาณเพียงเล็กน้อย ในการปฏิบัติงานของวงจรขยายคลาส-เอ สัญญาณไฟตรงไบอัสจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่ายอดสัญญาณ I_o สัญญาณไฟสลับจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตแกว่งอยู่รอบๆ ค่ากลาง I_o จะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดถึงค่าที่ใกล้ค่าศูนย์แต่จะไม่ถูกตัด

2.3.4 หลักการผสมสัญญาณ

การผสมสัญญาณ หรือการมอดูเลตสัญญาณ (Modulation) คือ การเปลี่ยนแปลงคลื่นพาห้ความถี่วิทยุให้สอดคล้องกับคลื่นสัญญาณข้อมูลที่มีความถี่ต่ำกว่า ในระหว่างการมอดูเลตสัญญาณคลื่นไซน์ ซึ่งเป็นคลื่นพื้นฐานของคลื่นพาห้ โดยคลื่นพาห้จะถูกเปลี่ยนแปลงให้มีรูปคลื่นที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยสัญญาณรูปคลื่นนั้นยังคงเป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ประกอบด้วยสัญญาณคลื่นมอดูเลต

ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตเข้าด้วยกันแล้วจะถูกส่งกระจายผ่านออกไปในอากาศด้วยระยะที่ไกลขึ้น

สัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Signal) คือ สัญญาณความถี่ต่ำที่ถูกมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห้ความถี่วิทยุโดยสัญญาณเบสแบนด์มีชื่อเรียกต่างๆ กันตามลักษณะการประยุกต์ใช้งานและกระบวนการมอดูเลต ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

- 1) สัญญาณเสียง สำหรับการมอดูเลตคลื่นเสียง และคลื่นเสียงดนตรี เป็นต้น
- 2) สัญญาณภาพ สำหรับการมอดูเลตสัญญาณภาพ
- 3) ข้อมูลพัลส์ สำหรับข้อมูลในการคำนวณ

โดยทั่วไปนั้น ช่วงความถี่เสียงสำหรับสัญญาณเบสแบนด์ที่ใช้สำหรับการสื่อสารทางเสียงจะอยู่ระหว่าง 300 ถึง 3,400 เฮิรตซ์ สำหรับการกระจายเสียงวิทยุระบบเอเอ็มจะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 5,000 เฮิรตซ์หรืออยู่ระหว่าง 50 ถึง 15,000 เฮิรตซ์ สำหรับการส่งกระจายเสียงวิทยุระบบเอฟเอ็ม เป็นต้น สำหรับตัวอย่างอื่นๆ สำหรับการมอดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ ได้แก่ สัญญาณภาพสำหรับการส่งกระจายคลื่นโทรทัศน์ ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 30 เฮิรตซ์ ถึง 4 เมกะเฮิรตซ์จะสังเกตได้ว่าความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์ คือ ความถี่วิทยุ แต่ความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณภาพในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีความถี่สูงกว่าความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์มาก

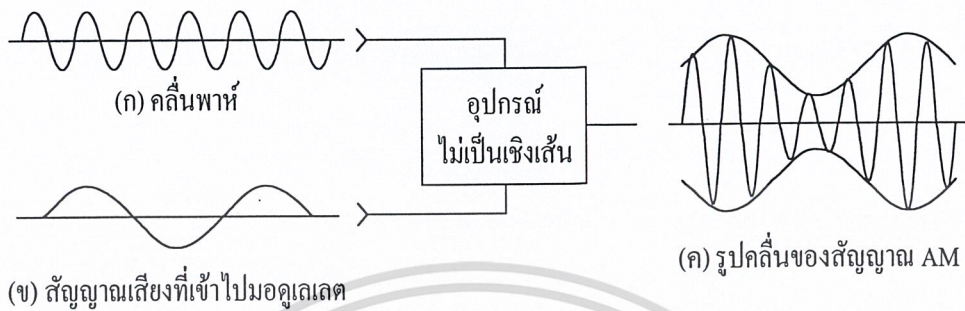
ความถี่ในสัญญาณเบสแบนด์จะต้องต่ำกว่าความถี่ของคลื่นพาห้ที่จะนำไปทำการมอดูเลตเสมอ ซึ่งเหตุผล คือ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งของสัญญาณเบสแบนด์ ช่วงเวลาของรูปคลื่นจะต้องกว้างเพียงพอสำหรับคลื่นพาห้หลายๆ รอบ ดังนั้นรอบต่างๆ ของสัญญาณคลื่นพาห้ที่เป็นอิสระต่อกันจะเกิดการผิดเพี้ยนไปได้ ทำให้เกิดการผิดพลาดของสัญญาณขึ้น

การมอดูเลตให้กับคลื่นพาห้แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

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

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

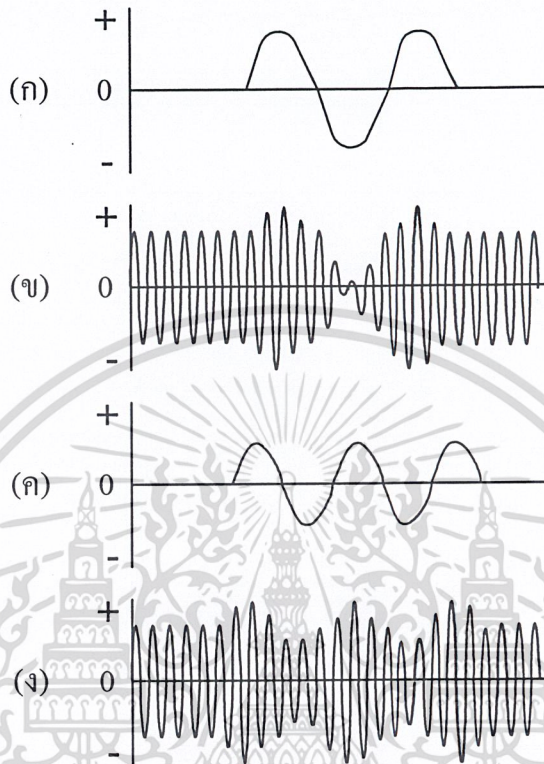
1) การมอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 2.6 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น

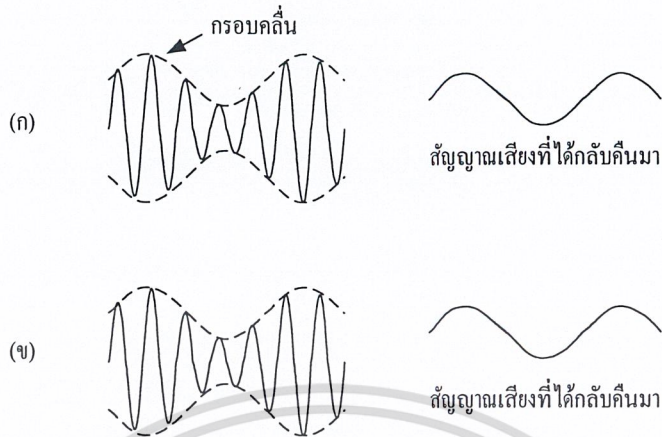
ในการมอดูเลตแบบเอเอ็มนั้น สัญญาณข่าวสารที่ได้มานั้นจะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห์เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางแอมพลิจูดของคลื่นพาห์ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 สัญญาณคลื่นพาห์ (ก) ผสมกับสัญญาณเสียง (ข) ลงในวงจรไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) เช่น ใช้ไดโอด หรือ ทรานซิสเตอร์โดยให้มีจุดทำงานอยู่ในบริเวณที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในอุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดสัญญาณเอเอ็มดังรูปที่ 2.6 (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณคลื่นพาห์ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะมีขนาดแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ผสมอยู่ในสัญญาณเอเอ็มจะปรากฏเป็นกรอบคลื่นบน และล่าง ดังรูปที่ 2.7 (ข) คือสัญญาณเสียงที่มีแอมพลิจูดขนาดหนึ่งโดยในรูปที่ 2.7 (ข) คือสัญญาณเอเอ็มที่มีสัญญาณเสียงในรูปที่ 2.7 (ก) มอดูเลต ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณเสียงมีแอมพลิจูดเล็กลงดังในรูปที่ 2.7 (ค) สัญญาณเอเอ็มที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.7 (ง)

ในการมอดูเลตต้องให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงสุด เพื่อสัญญาณเสียงที่ได้ทางเครื่องรับจะมีกำลังแรงดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากเครื่องรับเอเอ็มจะเปลี่ยนแปลงคลื่นเอเอ็มเป็นสัญญาณเสียงโดยการแยกเอาแต่เฉพาะสัญญาณเสียงที่รับได้ ซึ่งมอดูเลตลงบนคลื่นพาห์กลับคืนจากคลื่นเอเอ็ม (ดีมอดูเลต) ดังนั้น สัญญาณเสียงที่รับได้ในกรณีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงจะรับสัญญาณได้แรงกว่า ในที่นี้ รูปที่ 2.8 (ข) จะให้สัญญาณแรงกว่ารูปที่ 2.8 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ในการมอดูเลตนั้นจะต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่รับได้นั้นเกิดการผิดเพี้ยนการมอดูเลตมากเกินไปนี้ เรียกว่า การโอเวอร์มอดูเลต



รูปที่ 2.7 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมาก และน้อยในการมอดูเลต

จะเห็นว่า แอมพลิจูดของสัญญาณเอเอ็มจะลดลงไม่ต่ำกว่าศูนย์ ไม่ว่าจะมอดูเลตสูงเท่าไรก็ตาม ถ้าระดับสัญญาณที่มีมอดูเลตมีค่าสูง คลื่นพาห์ก็จะหายไปบางส่วน ดังนั้น กรอบคลื่นของสัญญาณเอเอ็มจึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต ดังในรูปที่ 2.9 (ก) เป็นสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต รูปที่ 2.9 (ข) เป็นคลื่นพาห์ที่ยังไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 2.9 (ค) เป็นคลื่นพาห์ที่มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความแรงมากเกินไป ทำให้คลื่นพาห์บางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับดีมอดูเลตสัญญาณเสียงกลับมามีลักษณะกรอบคลื่นที่เพี้ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 2.9 (ง)

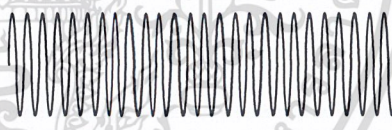


รูปที่ 2.8 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ได้จากการคีมอดูเลต

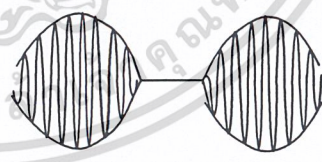
(ก) สัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต



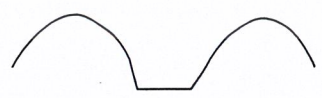
(ข) คลื่นพาห้ที่ยังไม่ได้ถูกมอดูเลต



(ค) รูปคลื่น AM ที่มอดูเลตมากเกินไป



(ง) สัญญาณที่คีมอดกลับคืนมา



รูปที่ 2.9 การโอเวอร์มอดูเลต ทำให้สัญญาณทางเครื่องรับเพี้ยน

สมการของการมอดูเลตทางแอมพลิจูด
ถ้ากำหนดให้

$$e_c = E_{c(max)} (\sin \omega_c t) \quad (2.5)$$

$$e_m = E_{m(max)} (\sin \omega_m t) \quad (2.6)$$

หลังจากการมอดูเลตจะได้

$$e = (E_{c(max)} + e_m) \sin \omega_c t \quad (2.7)$$

นำ e_m ไปแทนในสมการ e จะได้

$$e = (E_{c(max)} + E_{m(max)} \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (2.8)$$

$$e = E_{c(max)} \left[1 + (E_{m(max)} / E_{c(max)}) \sin \omega_m t \right] \sin \omega_c t \quad (2.9)$$

เรียก $\frac{E_{m(max)}}{E_{c(max)}}$ ว่า Modulation Index หรือ m

$$e = E_{c(max)} (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (2.10)$$

m เป็นค่าที่บอกว่า คลื่นเอเอ็มนี้มีการมอดูเลตมากน้อยเพียงใด

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

การส่งสัญญาณเอเอ็มไม่ใช่เป็นการส่งสัญญาณเพียงความถี่คลื่นพาห้ความถี่เดียว แต่เป็นการส่งหลายๆ ความถี่ หรือส่งเป็นแถบความถี่ และข่าวสารไม่ได้อยู่ในคลื่นพาห้ แต่ผสมอยู่ในแถบข้างทั้ง 2 ข้าง ถ้าส่งคลื่นพาห้ไปอย่างเดียว ข่าวสารจะไปถึงไม่ถึงเครื่องรับ ดังนั้น ในระบบเอเอ็ม ทั้งคลื่นพาห้ และแถบข้างจะถูกส่งไปให้เครื่องรับพร้อมๆ กัน

ช่วงความถี่ หรือแถบความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะเริ่มจากความถี่ LSB (Lower Side Band) ไปยัง USB (Upper Side Band) ดังนั้น แถบความถี่ หรือช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณมอดูเลต เช่น ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่ทำการมอดู

เลตเท่ากับ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มจะเท่ากับ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในกรณีที่มอดูเลตด้วยสัญญาณที่มีรูปคลื่นซับซ้อน เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณเอเอ็มมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่ฮาร์โมนิก (Harmonic) สูงสุดของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนั้น แต่เครื่องส่งถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ในช่วงความถี่จำกัด ดังนั้นเครื่องส่งจึงเป็นตัวจำกัดแถบความถี่ของสัญญาณเอเอ็มนั่นเอง



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบคลื่นเอเอ็มในเชิงเวลา และเชิงความถี่

2) การมอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณเอเอ็มเกิดจากสัญญาณมอดูเลตดังในรูปที่ 2.11(ก) เช่นสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณคลื่นพาห์ดังรูปที่ 2.11 (ข) สัญญาณคลื่นพาห์หลังจากการมอดูเลตแล้วดังรูปที่ 2.11 (ค) เป็นสัญญาณเอเอ็ม จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณเอเอ็มจะอยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าบวกสูงสุด ความถี่ของคลื่นพาห์จะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือ สัญญาณที่มอดูเลตถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุด) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาห้จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิม หลังจากสัญญาณมอดูเลตมีค่าต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ คลื่นพาห้จะมีความถี่ลดลงมีค่าต่ำกว่าความถี่กลาง ช่วงความถี่คลื่นพาห้เบี่ยงเบนไปจากความถี่กลาง เรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) ตัวอย่างเช่น คลื่นพาห้มีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิร์ตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเท่ากับ บวกลบ 0.1 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือ บวกลบ 100 กิโลเฮิร์ตซ์

สมการของการมอดูเลตทางความถี่

ในการมอดูเลตเชิงความถี่นั้น ความถี่ชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่นำมามอดูเลต คือ

$$\omega(t) = \omega_c + k v_m(t) \quad (2.11)$$

โดยที่ ω_c คือ ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้

v_m คือ แรงดันของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

k คือ ค่าคงที่ (มีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์ / โวลต์)

และ

$$v_m(t) = v_m \sin \omega_m t \quad (2.12)$$

จากสมการของสัญญาณ $\cos$ คือ

$$v(t) = v \cos(\omega t + \Phi) \quad (2.13)$$

ดังนั้น สมการโดยทั่วไปสำหรับสัญญาณคลื่นพาห้ $\cos$ ที่ถูกมอดูเลตเชิงความถี่ด้วยสัญญาณ $\cos$ คือ

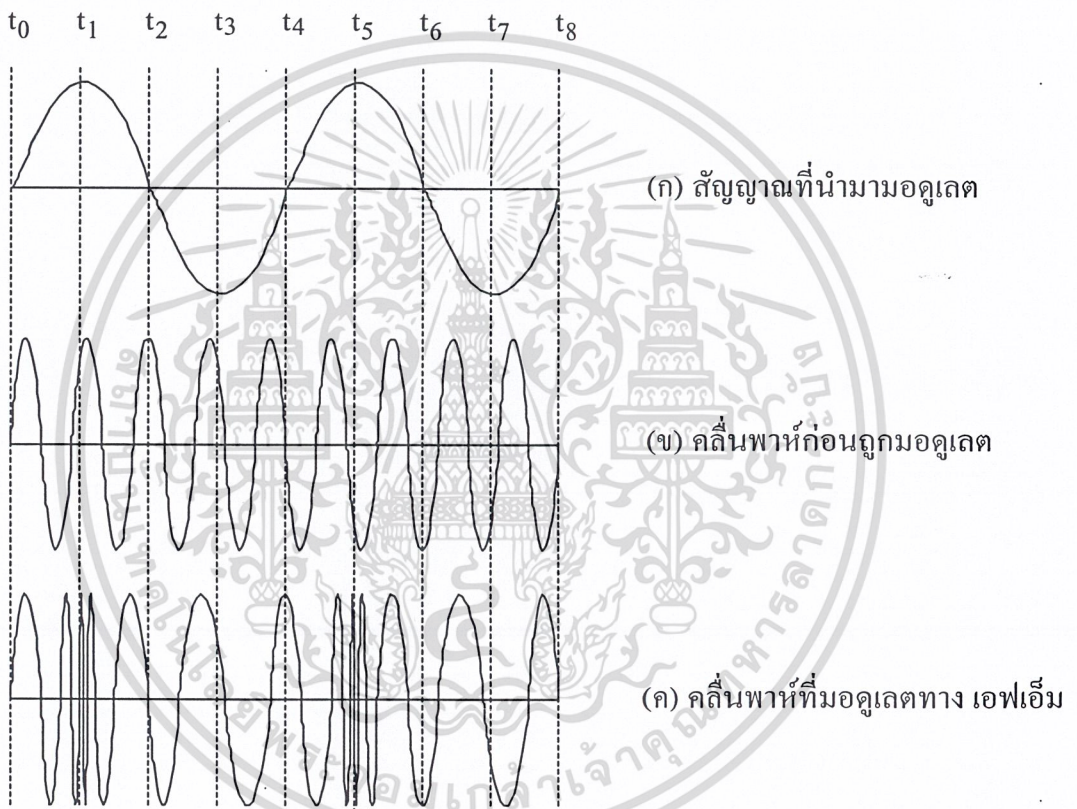
$$\begin{aligned} v(t) &= v \cos[(\omega_c + k v_m \sin \omega_m t)t + \Phi] \\ &= v \cos[\omega_c t + k v_m \sin(\omega_m t + \Phi)] \\ &= v \cos[\omega_c t + m \sin(\omega_m t + \Phi)] \end{aligned} \quad (2.14)$$

ในที่นี้ m คือ ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)

โดยทั่วไปเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้จะเป็นเฟสอ้างอิง เช่น $\Phi = 0$ จะได้

$$v(t) = v \cos(\omega_c t + m \sin \omega_m t) \quad (2.15)$$

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



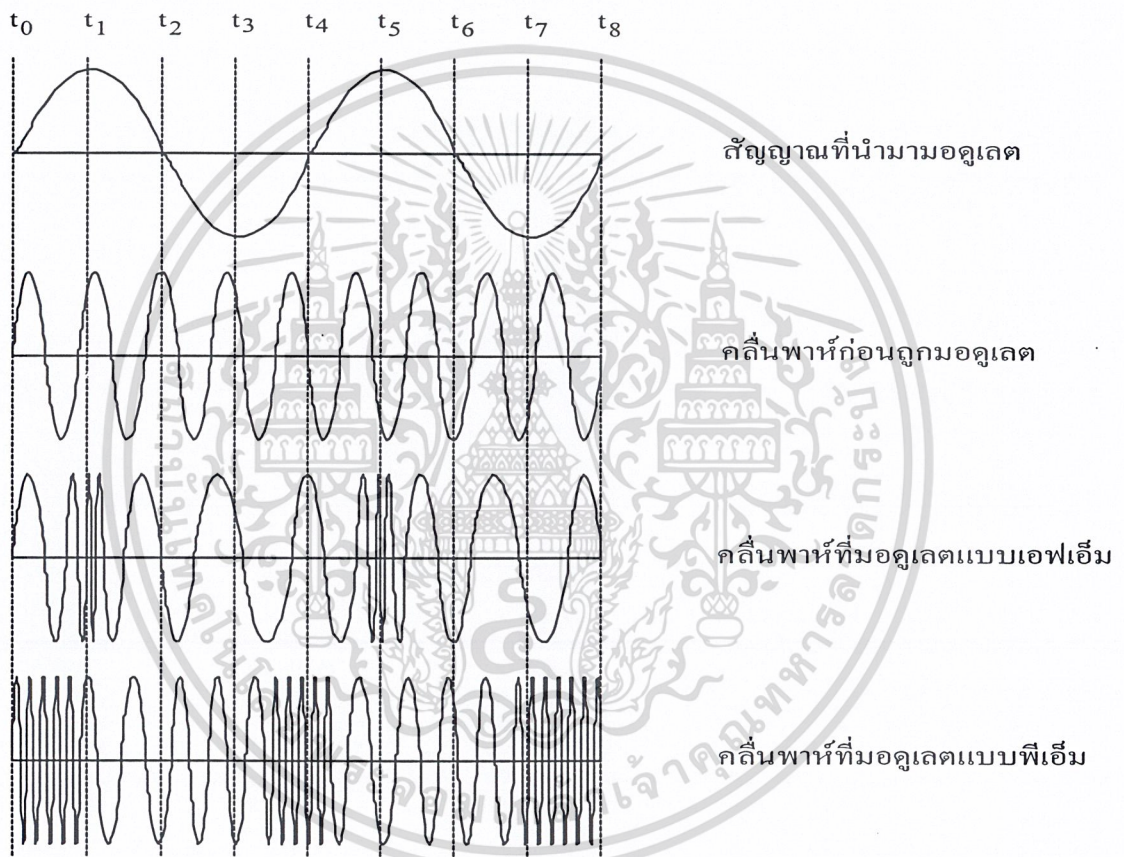
รูปที่ 2.11 การมอดูเลตทางความถี่

กล่าวโดยสรุป สัญญาณเอฟเอ็มมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- 1) มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
- 2) อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้ จะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาทำการมอดูเลต
- 3) ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามาทำการมอดูเลต

3) การมอดูเลตทางเฟส

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



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างระหว่างคลื่นเอฟเอ็มกับพีเอ็ม

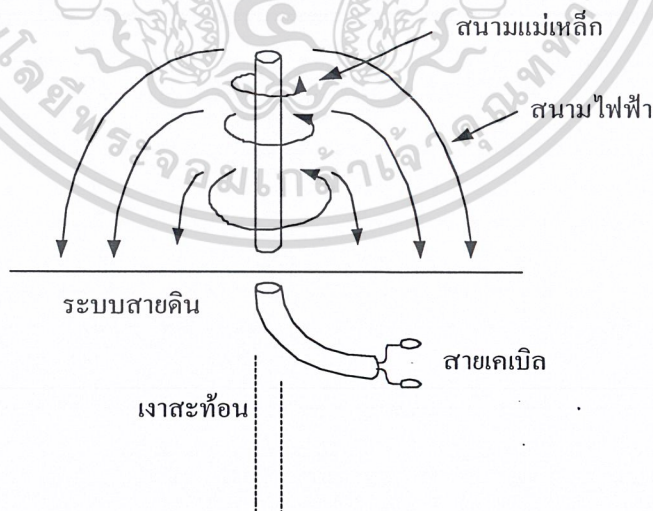
รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบคลื่นเอฟเอ็มกับคลื่นพีเอ็ม จะเห็นว่าสัญญาณทั้งสองนั้นจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เว้นแต่ในการมอดูเลตทางเฟส ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส และแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ด้วยเหตุนี้ การมอดูเลตทางเฟส ความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากที่สุด ในขณะที่สัญญาณมอดูเลตผ่านแกนศูนย์ (เฟสของคลื่นพาห์มีการเปลี่ยน

แปลงมากที่สุด) ดังนั้นการมอดูเลตทางเฟสจึงทำให้เกิดสัญญาณเอฟเอ็มพร้อมกันด้วย บางครั้งเรียกการมอดูเลตทางเฟสว่าเป็นเอฟเอ็มโดยอ้อม (Indirect Fm)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าในการมอดูเลตทางเฟสปริมาณความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ด้วยเหตุนี้ ความถี่เบี่ยงเบนมากที่สุดเมื่อมีสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตผ่านแกนศูนย์ สมมติ ว่าความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพิ่มจาก 100 เฮิร์ตซ์ เป็น 1,000 เฮิร์ตซ์ คือ เพิ่มขึ้น 10 เท่าที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 100 เฮิร์ตซ์ $\times 360$ องศา = 36,000 องศาต่อวินาที (เนื่องจาก 1 รอบเท่ากับ 360 องศา) ที่ความถี่ 1,000 เฮิร์ตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเพิ่มขึ้นเป็น 360,000 องศาต่อวินาทีเนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส ดังนั้น ความถี่คลื่นพาห้จะเบี่ยงเบนมากขึ้น เมื่อความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตสูงขึ้น

2.3.5 สายอากาศ

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

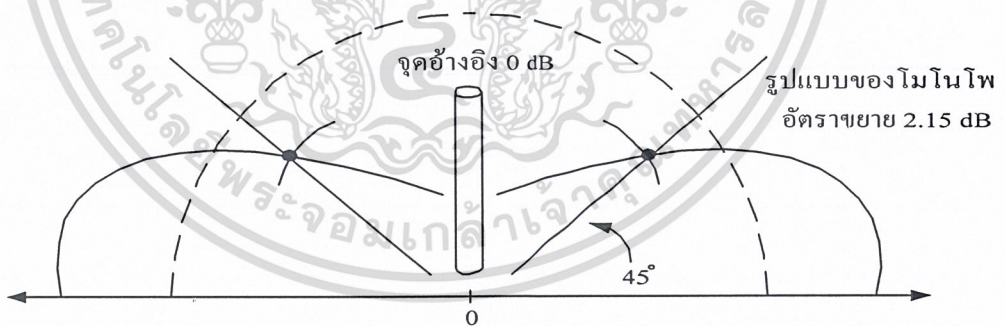


รูปที่ 2.13 สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้งที่ใช้พื้นผิวดำขนาดใหญ่

สายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง (แบบขั้วเดียว) แสดงดังรูปที่ 2.13 จะมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของไดโพล และไม่เหมือนกับไดโพล สายอากาศแบบนี้จะมีความถี่การทำงานใกล้เคียงกับผิวหน้าส่วนกว้างของโลหะ เรียกว่า ระบบสายดิน ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อความสะดวก และเหมาะสมสำหรับสายอากาศแบบเคลื่อนที่

พื้นผิวดำนำส่วนใหญ่สามารถให้ส่วนที่เป็นเงาของคลื่นไฟฟ้าผ่านไปได้ เมื่อนำมาเป็นโมโนโพล และเป็นครึ่งหนึ่งของไดโพลที่ยังคงมีอยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าปรับให้ด้านใดด้านหนึ่งทำงาน โมโนโพลนี้จะมีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของตัวเองออกมา และจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนไปตามความยาว

สายอากาศแบบโมโนโพลจะมีความเชื่อถือได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบสายดิน แต่พื้นผิวของสายอากาศจะต้องเล็ก และขนาดของความยาว $\frac{1}{4}$ เป็นขนาดที่ใช้งานได้ รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงให้เห็นทั้ง 3 มิติ ตำแหน่งทางด้านหน้าจะอยู่ติดกับแผ่นระนาบจากจุดอิมพีแดนซ์ที่มองเห็น ความยาวที่ดีที่สุดจะมีค่าประมาณ 0.25 ซึ่งจะเกิดขึ้นที่องค์ประกอบของเส้นผ่าศูนย์กลางสำหรับอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความยาวนี้จะมีค่าความต้านทาน 52 โอห์มซึ่งจะเป็นส่วนที่แตกต่างจากไดโพลเพราะไดโพลมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม



รูปที่ 2.14 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศแบบโมโนโพลชนิดแกนตั้ง

สายอากาศแบบแกนตั้งใช้กันมากสำหรับสายอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอเอ็ม และสถานีวิทยุทหารเรือ ย่าน VHF ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ พื้นดิน ในบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของสนามที่เหมือนกันจะมีปฏิกิริยาที่กระทำที่ระบบสายดินเหมือนกัน และพื้นดินจะไม่ใช่วัสดุที่ดีที่สุดในโลกเพราะฉะนั้น

ตำแหน่งในการวางสายอากาศเหล่านี้จำเป็นต้องเลือกอย่างระมัดระวัง เช่น การเลือกแหล่งน้ำ และวงจำกัดของสารประกอบที่ได้จากพื้นดิน และชนิดของดิน เป็นต้น

สายอากาศที่สมบูรณ์จะมีราคาค่อนข้างสูง และไม่ค่อยนิยมสร้างกันมากนัก จึงเป็นเหตุผลหนึ่งในการนำค่าความต้านทานมาอนุกรมด้วยค่าความต้านทานของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Resistance) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อน

สิ่งสำคัญที่ควรทราบเกี่ยวกับสายอากาศชนิดยาว $1/4$ ของความยาวคลื่น คือ

1) ในกรณีที่ไม่สามารถต่อสายดินได้ จะต้องสร้างระบบสายดินขึ้นมาแทน ระบบสายดินเป็นสาย 4 เส้น ยาวเส้นละ $1/3.9$ ของความยาวคลื่น (ยาวกว่าสายอากาศเล็กน้อย) นำปลายข้างหนึ่งของทั้ง 4 เส้นนี้มาต่อรวมกันที่ใกล้โคนสายอากาศ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งแผ่ออกไปอย่างรูปกากบาทห่างกัน 90 องศา ถ้าใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นสายส่งกำลังจากเครื่องส่ง จะต้องเอาเส้นแกนในต่อกับตัวสายอากาศ และเอาเปลือกหุ้มโลหะต่อกับจุดรวมของระบบสายดินที่โคนเสา

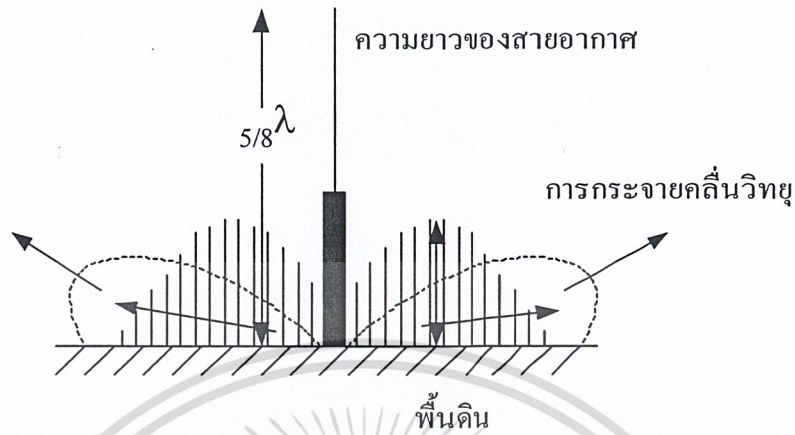
ถ้าให้เส้นระบบสายดินอยู่ในแนวตั้งฉากกับตัวสายอากาศ (ขนานกับพื้นโลก) ความต้านทานในการกระจายคลื่น หรือความผิดที่จุดต่อสายส่งกำลัง จะเท่ากับ 30 โอห์ม แต่ถ้าให้เส้นระบบสายดินเอียงปลายลงมายังพื้นดินประมาณ 45 องศา ความผิดที่จุดต่อสายส่งกำลังจะทวีขึ้นเป็น 50 โอห์มได้

2) สายอากาศแบบมีระบบสายดินสามารถเอาขึ้นไปไว้ในที่สูงๆ พื้นวัตถุตัวนำไฟฟ้าที่คอยดูดกลืนพลังงานคลื่นวิทยุได้ เช่น สายไฟฟ้า ต้นไม้ อาคาร เป็นต้น และเหมาะสำหรับการติดตั้งบนยอดยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น เพราะสายตั้งฉากแบบนี้สามารถส่งแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกไปได้รอบทิศทาง และสามารถรับคลื่นวิทยุจากทิศทางต่างๆ ได้รอบตัว

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

$$P = I^2 \times R \quad (2.16)$$

จะเห็นว่าสายอากาศชนิดยาว $1/4$ ของความยาวคลื่นจะมีกำลังส่งออกอากาศเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของกำลังส่งที่ออกจากสายอากาศไดโพลเท่านั้น ดังนั้น สายอากาศไดโพลจึงมีประสิทธิภาพเหนือกว่าสายอากาศชนิดยาว $1/4$ ความยาวคลื่น



รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบการกระจายคลื่นวิทยุจากสายอากาศยาว $1/4$ ของความยาวคลื่น และสายอากาศยาว $5/8$ ของความยาวคลื่น

รูปที่ 2.15 สายอากาศยาว $1/4$ ของความยาวคลื่นจะมีการกระจายคลื่นเป็นรูปครึ่งวงกลม (แรงด้วยเส้นแนวตั้ง) และมีทิศทางเกือบขนานกับพื้นดิน ส่วนสายอากาศยาว $5/8$ ของความยาวคลื่น มีรูปแบบการกระจายคลื่นดังรูปเส้นประ และมีทิศทางเป็นมุมสูงขึ้นจึงมีประสิทธิภาพด้านกำลังเหนือกว่าสายอากาศที่ยาว $1/4$ ของความยาวคลื่นประมาณ 3 เดซิเบล

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์

การแพร่ภาพโทรทัศน์ คือ การกระจายสัญญาณภาพ และเสียงออกไปในรูปของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเครื่องรับอย่างต่อเนื่อง ในความเป็นจริง ภาพที่เห็นว่าต่อเนื่องนั้นมาจากการส่งภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลายๆภาพต่อเนื่องกัน ในช่วงเวลาสั้นๆหากภาพนิ่งเหล่านั้นถูกนำมาแสดงกันตั้งแต่ 16 ภาพต่อวินาทีขึ้นไป และสายตาของมนุษย์จะมองเห็นเป็นภาพต่อเนื่องหรือภาพเคลื่อนไหวก็ได้ เพราะการทำงานของประสาทตามีลักษณะที่เรียกว่าการคงอยู่ของการมองเห็น (Persistence of Vision) เป็นความรู้สึกรู้สึกเห็นติดตาชั่วขณะ จึงจะจางหายไปจากระบบประสาท

2.4.1 เครื่องส่งโทรทัศน์

เครื่องส่งโทรทัศน์ต้องประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ส่งสัญญาณภาพ และส่วนที่ส่งสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอเอ็ม และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณเอฟเอ็ม

หน้าที่หลักของเครื่องส่งโทรทัศน์ คือ

- 1) สร้างคลื่นพาหภาพ เพื่อมอดูเลตกับสัญญาณภาพรวม (มอดูเลตแบบเอเอ็ม)
- 2) สร้างคลื่นพาหเสียง เพื่อมอดูเลตกับสัญญาณเสียง (มอดูเลตแบบเอฟเอ็ม)

สำหรับการส่งคลื่นที่มอดูเลตแล้วนั้นแถบข้างที่ส่งจะมีช่องกว้างประมาณครึ่งกว่าๆ เท่านั้น (Vestigial Sideband) สมมติว่าช่องสัญญาณโทรทัศน์มีช่วงกว้างคลื่น 6 เมกะเฮิร์ตซ์คลื่นพาหภาพจะอยู่ที่ 4.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ต่ำกว่าจุดกึ่งกลางคลื่นพาหเสียง

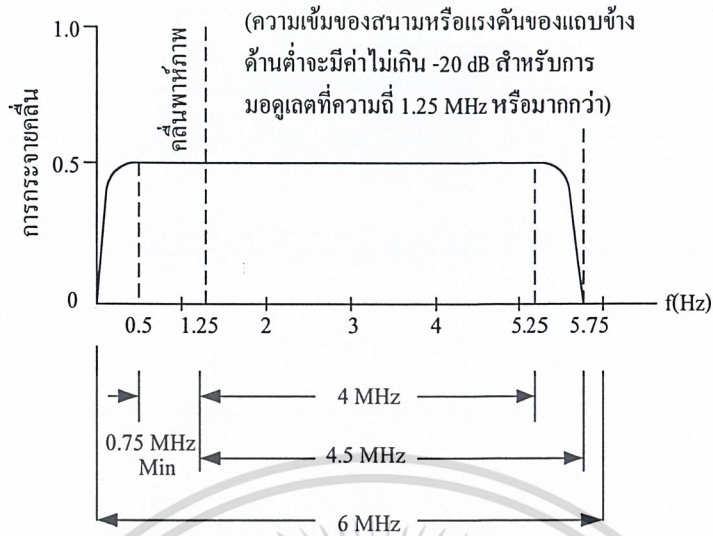
ถ้าต้องการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ระหว่าง 54 ถึง 60 เมกะเฮิร์ตซ์ จะต้องส่งคลื่นพาหเสียงที่มีความถี่อยู่ต่ำกว่าความถี่สูงสุดอยู่ 0.25 เมกะเฮิร์ตซ์ นั่นคือ 59.75 เมกะเฮิร์ตซ์ความถี่คลื่นพาหภาพอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางคลื่นพาหเสียง 4.5 เมกะเฮิร์ตซ์ นั่นคือ 55.25 เมกะเฮิร์ตซ์

เนื่องจากสัญญาณภาพต้องมีช่วงกว้างความถี่ถึง 4.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ช่วงกว้างของคลื่นพาหในการมอดูเลตต้องกว้างมากเพื่อความเหมาะสมในการส่งกล้องโทรทัศน์ และอุปกรณ์ต่างๆ ต้องมีช่วงกว้างคลื่นถึง 8 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อลดความเพี้ยนของภาพที่อาจเกิดขึ้น

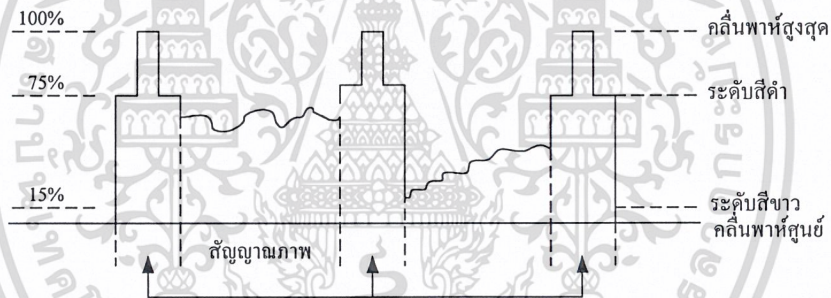
จำนวนวงจรที่ใช้ในการส่งภาพแบนด์กว้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลตสัญญาณ เมื่อภาคสุดท้ายถูกมอดูเลตจะเหลือภาคขยายกำลัง ซึ่งเป็นภาคสุดท้ายก่อนที่จะส่งเข้าสายอากาศการขยายมี 2 แบบ คือ การขยายระดับต่ำ และการขยายระดับสูง ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องส่งโทรทัศน์ คือ การป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป จากรูปที่ 2.17 (ก) แสดงถึงสัญญาณภาพ 2 เส้น ซึ่งมีสัญญาณซิงค์ และแบล็กกิ้งรวมอยู่ด้วยสัญญาณภาพสูงสุดที่จะได้ต้องไม่เกินระดับดำ (Black Level)

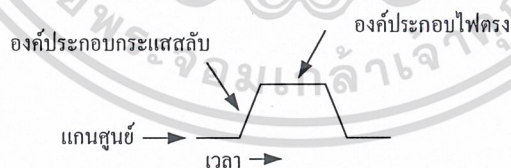
ระดับดำนี้จะใกล้เคียงกับระดับแบล็กกิ้ง คือ เท่ากับ 75 % ของการมอดูเลต ที่เหลืออีก 25 % เป็นสัญญาณซิงค์ และระดับขาวสูงสุดประมาณ 15 % ของสัญญาณคลื่นพาห



รูปที่ 2.16 ช่วงกว้างคลื่นที่ส่งโทรทัศน์ระบบ PAL หนึ่งช่อง



(ก) การสแกน 2 เส้น



(ข) องค์ประกอบพัลส์

รูปที่ 2.17 องค์ประกอบรูปคลื่น DC ของสัญญาณโทรทัศน์

รูปที่ 2.17 (ข) แสดงถึงรูปคลื่นแบล็กกิ้ง หรือซิงก์ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบทาง กระแสสลับที่อยู่ด้านข้างเนื่องจากความสูงจะเปลี่ยนตามเวลาส่วนที่มียอดเป็นแนวราบคือส่วน

ประกอบกระแสดตรง เนื่องจากมีค่าคงที่ตลอดเวลาองค์ประกอบและกระแสดตรงนี้จะหายไปเมื่อผ่านวงจรที่ใช้ RC คัปปลิ่ง ดังนั้น ในระบบโทรทัศน์จึงต้องมีการใส่ไฟกระแสดตรงเข้าไปอีกครั้งหนึ่ง โดยวงจรแคลมป์ปิ้ง (Clamping)

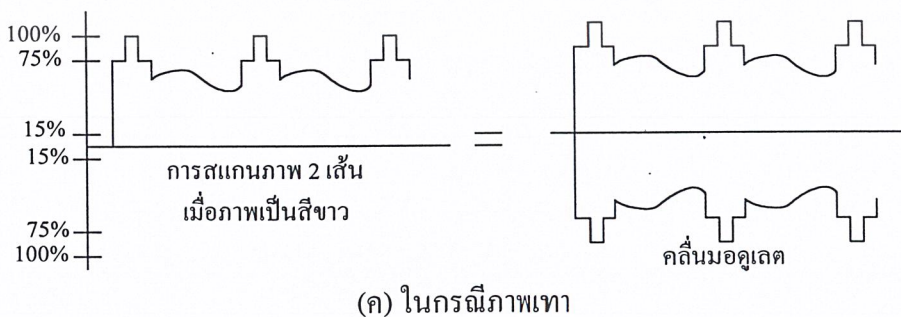
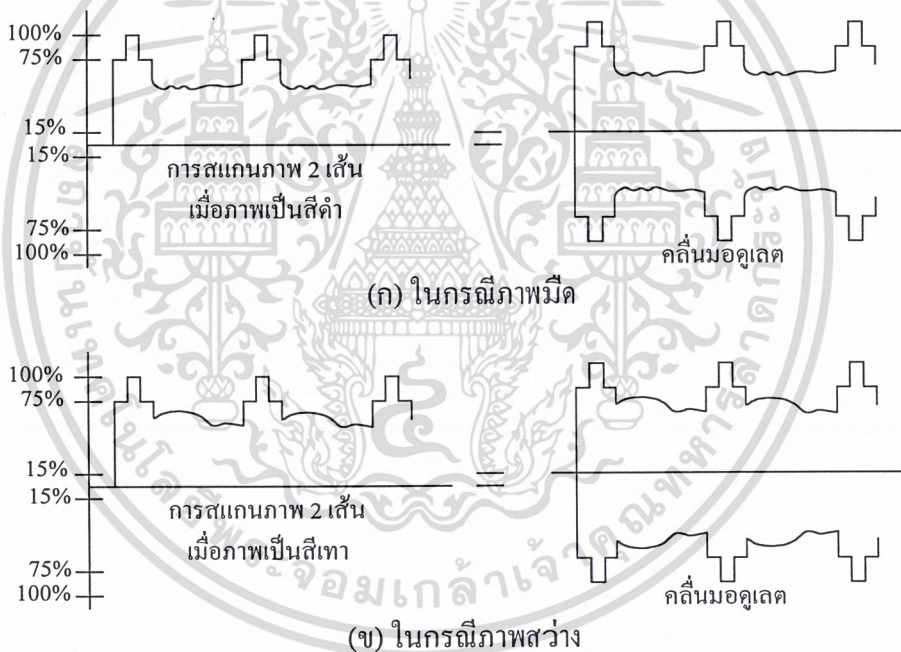
เครื่องส่งโทรทัศน์กระจายคลื่นออกอากาศดังนี้

- 1) คลื่นพาห์ความถี่วิทยุโดยใช้คริสตัลผลิตความถี่ และขยายกำลังส่งให้สูง
- 2) สัญญาณภาพจากกล้องในห้องส่ง โดยมอดูเลตกับคลื่นพาห์แบบเอเอ็ม
- 3) สัญญาณซิงค์ต่างๆ ดังนี้

ก) แบล็งกิ้งพัลส์แนวนอน

ข) ซิงค์แนวนอน

ค) แบล็งกิ้งพัลส์แนวตั้ง



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นการมอดูเลต

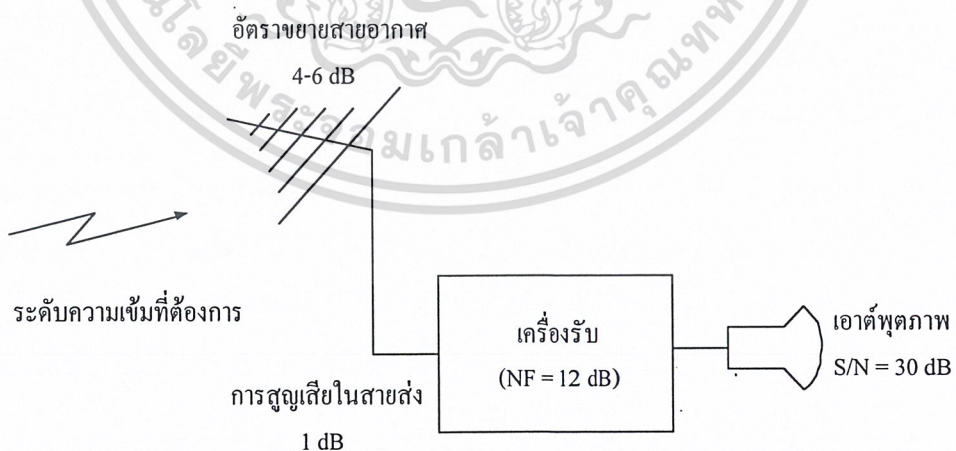
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 แสดงรูปคลื่นการมอดูเลต รูป (ก) เป็นการสแกนเส้น 2 เส้น เมื่อภาพมีรูปคลื่นพาห์อยู่สูงสุดรูป (ข) เป็นภาพที่สว่างสูงสุดและรูป(ค) คือค่าความสว่างปานกลางระบบการมอดูเลตแบบนี้ เรียกว่า การส่งแบบลบ (Negative Transmission) คือ แสงสว่างของภาพยิ่งมาก ความสูงของคลื่นพาห์ยิ่งน้อย ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ส่งในสหรัฐอเมริกา

ในการให้บริการโทรทัศน์นั้น จะต้องศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องส่ง และเครื่องรับดังนี้

- 1) ความกว้างของย่านที่ใช้ในแต่ละช่องของสถานีโทรทัศน์นั้น เมื่อได้กำหนดไปแล้วก็จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- 2) ความห่างของความถี่ระหว่างช่อง ในกรณีที่มีการส่งสัญญาณหลายๆสถานีในพื้นที่เดียวกันจะต้องใช้ความถี่ช่องเว้นช่อง
- 3) การป้องกันการรบกวนจะต้องมีอัตราส่วนในการป้องกันการรบกวนจากช่องส่งข้างเคียงในพื้นที่ข้างเคียง และการรบกวนจากการใช้ช่องส่งที่เหมือนกันในพื้นที่ห่างไกล (อัตราของความเข้มของสัญญาณที่ต้องการต่อความเข้มของสัญญาณรบกวน)
- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามของคลื่นโทรทัศน์ คุณสมบัติของเครื่องรับและคุณภาพเอาต์พุตของเครื่องรับ การออกแบบวงจรตามความต้องการต่างๆดังรูปที่ 2.19

การออกแบบวงจรตามรูปที่ 2.19 ต้องคำนึงถึงกำลังของเครื่องส่ง, อัตราการขยายของสายอากาศเครื่องส่ง และความสูงของสายอากาศ เพื่อให้ได้เอาต์พุตสัญญาณภาพในค่า S/N ตามที่กำหนดตามมาตรฐาน สำหรับป้อนเข้าหลอดภาพเพื่อให้ได้ภาพตามต้องการ



รูปที่ 2.19 สิ่งที่ต้องพิจารณาในระบบส่งโทรทัศน์

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่ของเครื่องรับนั้นกำหนดโดยกฎของคลื่นวิทยุเพื่อให้ได้ทั้งภาพ และเสียงที่มีคุณภาพภายใต้เครื่องรับโทรทัศน์คุณภาพปานกลางและสายอากาศมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.3

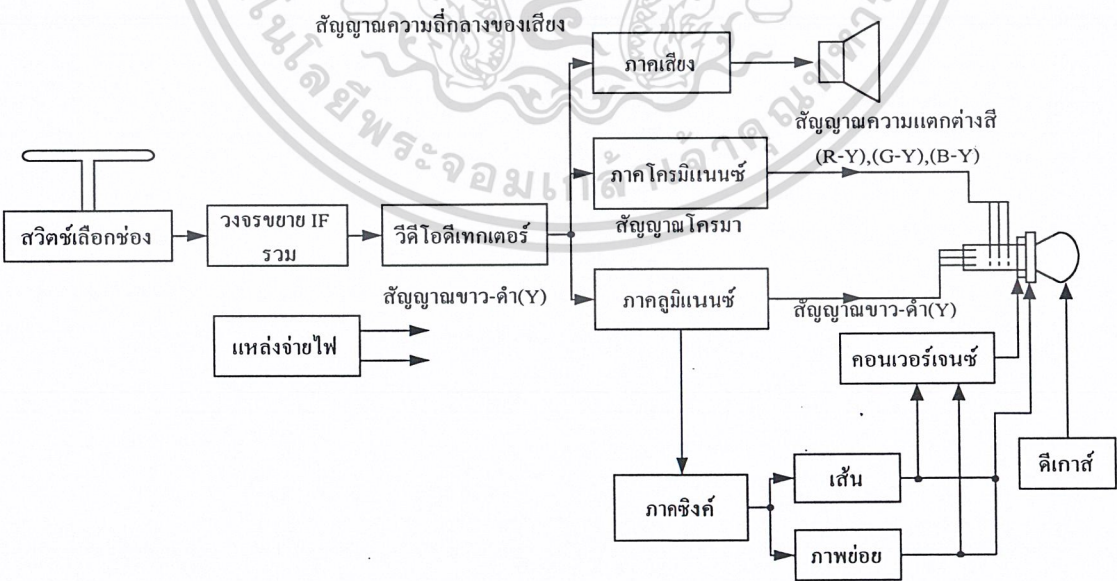
ตารางที่ 2.3 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการในพื้นที่ต่างๆ

ย่านความถี่	ลักษณะของพื้นที่	ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต้องการ
VHF	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนสูง	80-88 dB _r (10-25 mv / m)
	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนปานกลาง	70-80 dB _r (3-10 mv / m)
	พื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนน้อย	54-70 dB _r (3-10 mv / m)
UHF	ค่าคงที่ทั่วประเทศ	70 dB _r (3mv)

DBf คือ Peak ของความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่คลื่นมอดูเลตแล้วของสัญญาณโทรทัศน์

2.4.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องรับโทรทัศน์

เครื่องรับโทรทัศน์จะทำการรับสัญญาณโทรทัศน์เข้ามาทางสายอากาศ แล้วนำไปแยก และขยายสัญญาณภาพ และเสียงเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



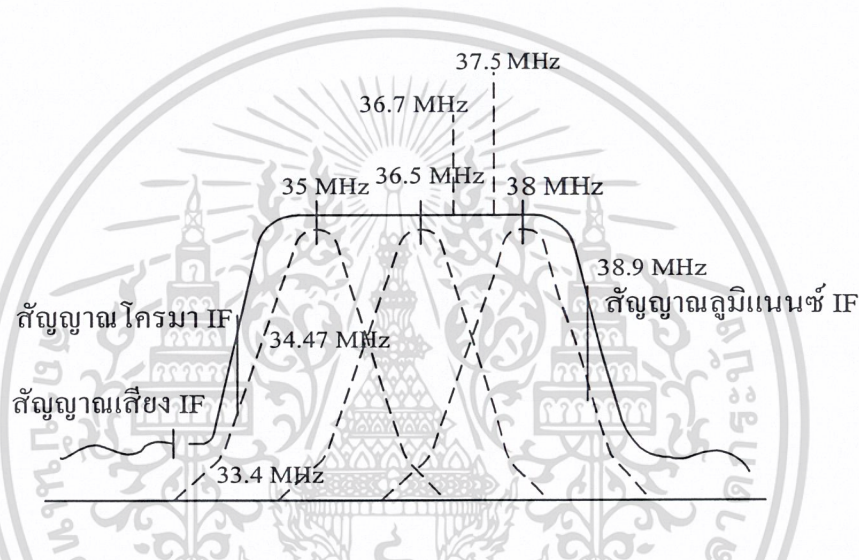
รูปที่ 2.20 แผนผังการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

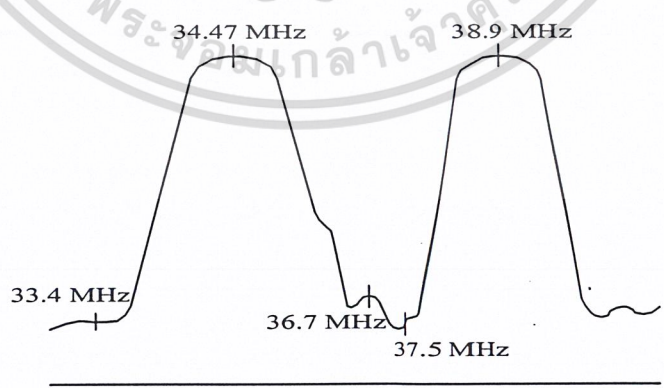
เครื่องรับโทรทัศน์ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1) ภาคสวิตช์เลือกช่อง

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



รูปที่ 2.21 เส้นโค้งตอบสนองความถี่ของภาคความถี่กลาง



รูปที่ 2.22 เส้นโค้งแสดงการแยกความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์ และความถี่กลางของสัญญาณโครมิแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

สัญญาณที่ได้จากการผสมกันนี้มีความถี่กลางของสัญญาณลูมิแนนซ์อยู่ที่ 38.9 เมกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณโครมิแนนซ์อยู่ที่ 34.47 เมกะเฮิร์ตซ์ และความถี่กลางของสัญญาณ เสียงอยู่ที่ 33.4 เมกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณทั้งสามจะถูกส่งไปยังภาคความถี่กลางรวมมีแถบความถี่ ดังรูปที่ 2.21

2) ภาคความถี่กลางรวม

ภาคความถี่กลางรวม (Common IF) จะรับสัญญาณความถี่กลางซึ่งได้จากการผสมในภาค จูนเนอร์มาขยาย โดยทั่วไปภาคความถี่กลางรวมจะมีวงจรขยายความถี่กลางอยู่ 3 ช่วงคุณสมบัติทาง ความถี่ของภาคความถี่กลางรวมมีผลต่อคุณภาพของภาพที่ปรากฏบนจอ ในเครื่องรับโทรทัศน์สี ภาคความถี่กลางรวมนี้จะต้องพีดิฟิกันกว่าภาคความถี่กลางรวมในเครื่องรับขาวดำ เนื่องจากต้องให้อัตราขยายของสัญญาณ โครมิแนนซ์ และลูมิแนนซ์ที่เพียงพอ ดังรูปที่ 2.21 และ 2.22

เครื่องส่งโทรทัศน์ส่งสัญญาณมา 5 ชนิด คือ

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

สัญญาณทั้ง 5 นี้ป้อนอยู่ในสัญญาณความถี่กลางรวม ซึ่งแต่ละสัญญาณจะต้องแยกไปตาม วงจรภาคต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ สัญญาณขาวดำ หรือสัญญาณ Y จะต้องแยกไปสู่ภาคลูมิแนนซ์ สัญญาณซิงค์จะต้องแยกไปภาคซิงค์ทางแนวนอนและแนวตั้ง สัญญาณสี และสัญญาณเบิสต์จะต้อง แยกไปยังภาคสี หรือโครมิแนนซ์ ส่วนสัญญาณเสียงถูกแยกไปให้ภาคเสียง

3) ภาคลูมิแนนซ์ และดีเท็กเตอร์

สัญญาณที่ออกจากภาคความถี่กลางรวมจะมีขนาดราว 2 โวลต์ ซึ่งจะถูกดีเท็กเป็นสัญญาณ คอมโพสิตวิดีโอ (Composite Video) โดยทั่วไปสัญญาณขาวดำ, สัญญาณสี และสัญญาณเสียง จะ ถูกแยกออกไปยังภาคที่เกี่ยวข้องที่วงจรดีเท็กเตอร์นี้

สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ขาวดำจะนำเฉพาะสัญญาณ Y (ขาวดำ) ไปใช้ในการสร้างภาพ โดยนำสัญญาณ Y ที่ได้จากการดีเท็กกรอบ มีขนาดประมาณ 1 โวลต์ จะถูกขยายให้มีขนาดเพิ่มเป็น ประมาณ 150 โวลต์ ในเครื่องรับขาวดำ วงจรขยายที่ทำหน้าที่นี้ คือวงจรวิดีโอเอมพลีฟายเออร์ ส่วนใน เครื่องรับโทรทัศน์สี เรียกเป็น วงจรขยายลูมิแนนซ์

4) ภาควงจักร

สัญญาณเชิงกลต่างๆ ที่ถูกแยกออกจากสัญญาณภาพจะถูกส่งไปใช้ในการควบคุมการสแกน ภาพบนจอของเครื่องรับโทรทัศน์ ความถี่ของสวิตเตอร์ควบคุมด้วยซิงค์พัลส์ 2 ความถี่ คือความถี่ เส้น (Line) 15,625 เฮิร์ตซ์ กับความถี่ภาพย่อย (Field) 50 เฮิร์ตซ์ สัญญาณเหล่านี้ถูกขยายด้วย วงจร เอาต์พุตแนวนอน และเอาต์พุตแนวตั้งและป้อนไปยังโยกแนวนอน และแนวตั้งตามลำดับ นอกจากนี้ ภาควงจักรเอาต์พุตแนวนอนยังทำหน้าที่อื่นๆ อีก เช่น สร้างแรงดันไฟสูงให้แก่หลอดภาพ สร้างฟลายแบ็กพัลส์ไปใช้ในวงจรอื่นๆ บางวงจรอีกด้วย

5) ภาควงเสียง

ความถี่กลางของสัญญาณเสียง เกิดจากการผสมกันของความถี่กลางของสัญญาณลูนีแนลซ์ กับความถี่กลางของสัญญาณเสียง 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ และถูกแยกไปยังภาควงเสียงแล้วตีเท็กเป็นสัญญาณ เสียง และขยายกำลังป้อนสู่ออกลำโพง ภาควงเสียงในเครื่องรับ โทรทัศน์สี และขาวดำทำหน้าที่เหมือนกันทุกประการ

6) ภาควงโครมิแนนซ์

ภาควงนี้บางครั้งเรียกว่าภาควงดีโคเดอร์สี (Colour Decoder) ทำหน้าที่หลัก คือ แยกสัญญาณ ความแตกต่างสีออกจากสัญญาณคอมโพสิต (Colour Composite) ซึ่งส่งมาโดยปราศจากคลื่นพาห้ ร่อง ภาควงดีโคเดอร์สีนี้ทำงานตรงข้ามกับภาควงเอนโคเดอร์ (Encoder) ที่เครื่องส่ง กล่าว คือ ผลิตคลื่น พาห้ร่องขึ้นเอง เพื่อนำไปใช้ในกรรมวิธีมอดูเลชั่น

สัญญาณโครมาที่เข้ามายังภาควงนี้จะผ่านวงจรขยายหลายวงจรซึ่งจนไว้ที่ความถี่ 4.43 เมกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณโครมาที่มีขนาดเพียงไม่กี่สิบมิลลิโวลต์จะเพิ่มขึ้นเป็นหลายโวลต์เพื่อนำไปใช้ ในวงจรภาคถัดไป

7) หลอดภาพ

หลอดภาพทำหน้าที่แสดงภาพที่ส่งจากเครื่องส่ง ที่ผิวจอแก้วข้างหน้าเคลือบฉาบฟลูออเรส เซนต์ไว้ ภายในหลอดจะมีปืนอิเล็กตรอนที่สามารถบังคับการบีบลำให้ไปยังหน้าจอ ทำให้สารฟอส เฟอร์เกิดการเรืองแสงขึ้นที่จอภาพได้

8) ภาควงแหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง

วงจรโทรทัศน์ต้องอาศัยไฟกระแสตรงหลายระดับขึ้นอยู่กับหน้าที่ของวงจรว่าเกี่ยวข้องกับ สัญญาณที่มีขนาดเล็ก หรือใหญ่ เช่น ภาควงจูนเนอร์ หรือภาควงความถี่กลางใช้แรงดันต่ำ ส่วนภาควงเอาต์ พุตใช้ค่าแรงดันสูงขึ้น สำหรับโทรทัศน์สีต้องใช้ตัวรักษาระดับแรงดันกระแสตรงให้คงที่ นอกจากนี้ ยังมีระบบป้องกันอัตโนมัติต่างๆ อีก เช่น ป้องกันแรงดันสูงเกินป้องกันกระแสเกิน เป็นต้น

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ประกอบด้วยคลื่นพาห์ 3 ชนิด คือ

1) ข้อมูลข่าวสารภาพ ซึ่งได้มาจากกล้องวิดีโอ หรือแหล่งผลิตภาพอื่นๆ จะใช้หลักการของมอดูเลตแบบเอเอ็ม ซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการส่งโทรทัศน์ขาวดำ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามภาพที่ปรากฏ

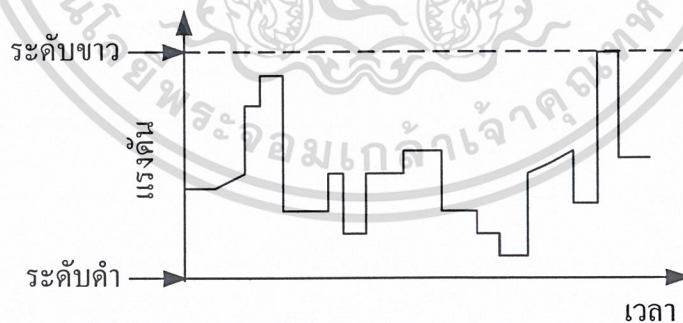
2) คลื่นพาห์รองจะมีขอบเขตอยู่ภายในช่องกว้างความถี่ของคลื่นพาห์ภาพ โดยจะมอดูเลตกับข้อมูลสีของภาพที่ปรากฏ

3) คลื่นพาห์ของเสียงมีความถี่ใกล้เคียงกับคลื่นพาห์ภาพ

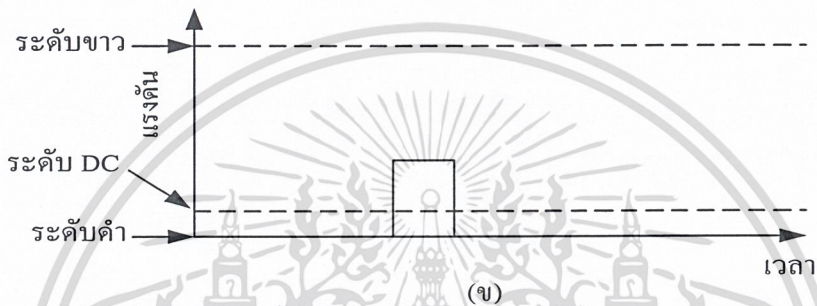
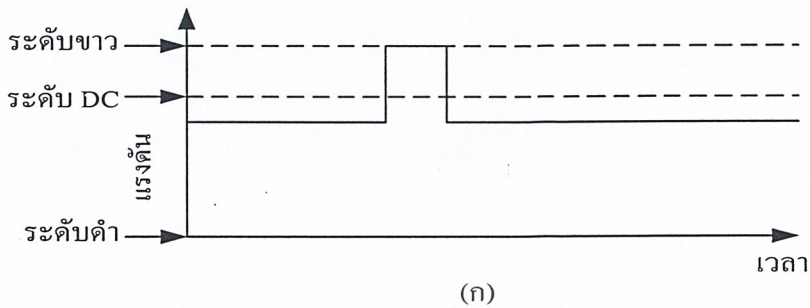
การส่งสัญญาณภาพด้วยระบบสื่อสารแบบอิเล็กทรอนิกส์ถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของระบบสามารถประมวลผลได้เพียงครั้งละ 1 ภาพเท่านั้น ดังนั้น การส่งภาพเคลื่อนไหว คือ การทำภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องมาแยกเป็นภาพนิ่ง ที่มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเล็กน้อยทยอยส่งไปยังจอรับภาพที่ปลายทางต่อไป

2.5.1 สัญญาณภาพ

สัญญาณภาพได้มาจากกล้อง หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่สามารถสแกนภาพ และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ระบบพื้นฐาน คือ ระบบขาวดำซึ่งประกอบด้วยระดับแรงดันต่างๆ ที่แทนสีดำ สีขาว และสีเทาปรากฏบนเส้นสแกน ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 สัญญาณภาพเอาต์พุตจากกล้องในการสแกนหนึ่งเส้น



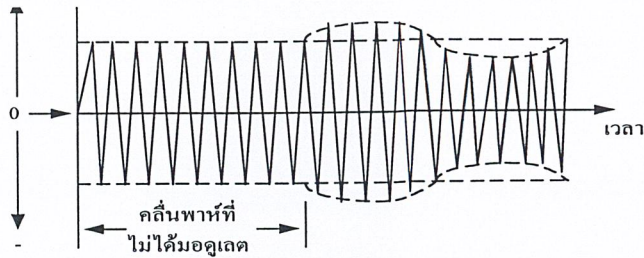
รูปที่ 2.24 สัญญาณภาพเอาต์พุตในระดับ DC ที่แตกต่างกัน

ข้อสรุปพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการ เกี่ยวกับรูปคลื่นที่ได้จากการสแกนภาพ คือ

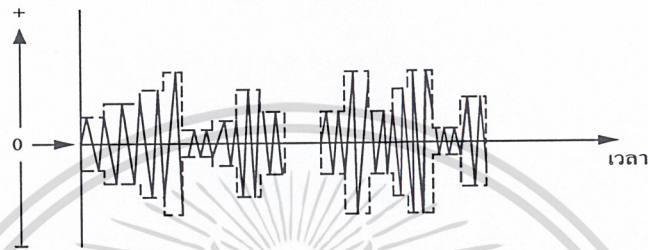
- 1) การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน โดยปกติจะเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได การเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นที่ราบเรียบ (Smooth) จากระดับขาวไปดำ หรือดำไปขาวจะเกิดขึ้นได้ยากมาก
- 2) ระดับไฟกระเด้งจะเกิดขึ้นได้น้อยมาก และจะไม่เกิดขึ้นเมื่อสแกนผ่านแถบสี เช่น แถบสีขาว-ดำบนแผ่นทดสอบ เป็นต้น

รูปที่ 2.24 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆ ของรูปคลื่นชนิดนี้ เส้นสแกน 2 เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เหมือนกัน โดยในรูป (ก) คือสัญญาณที่เกิดจากการวางแถบสีขาวบนฉากหลังสีดำ และในรูป (ข) มีลักษณะของเส้นสแกนที่เหมือนกัน แต่เป็นการวางแถบสีดำบนฉากหลังสีขาว ความแตกต่างของรูป (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าระดับของไฟตรงที่ปรากฏจะเป็นตัวกำหนดความสว่างของภาพ

สัญญาณที่ได้จากการสแกนจะถูกนำมาประมวลผล และมอดูเลตแบบเอเอ็ม แต่มีกรรมวิธีการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มที่ใช้กับระบบสื่อสารดาวเทียม



(ก) สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณเสียง



(ข) สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณภาพ

รูปที่ 2.25 คลื่นพาห้ที่มอดูเลตแบบเอเอ็ม

พื้นฐานการมอดูเลตแบบเอเอ็มมีข้อแตกต่างที่สำคัญบางประการ ระหว่างมอดูเลตสัญญาณเสียงกับการมอดูเลตสัญญาณภาพ รูปที่ 2.25 (ก) แสดงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดจากระบบสายอากาศกระจายเสียง โดยประกอบด้วยคลื่นที่ยังไม่ได้มอดูเลต และคลื่นที่มอดูเลตด้วยเสียง 1 ลูกคลื่น จะปรากฏกระบวนการส่งดังนี้

- 1) ช่วงที่ยังไม่มีการมอดูเลต ระดับค่าเฉลี่ยของคลื่นมีค่าคงที่ และคลื่นที่ยังไม่ได้ทำการมอดูเลตจะถูกส่งออกอากาศ
- 2) ในช่วงที่มีสัญญาณเข้ามามอดูเลตระดับสูงสุดของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของคลื่นที่นำมามอดูเลต เรียกลักษณะของยอดคลื่นที่ปรากฏว่า กรอบคลื่น
- 3) ระดับของสัญญาณที่นำมามอดูเลตจะต้องมีระดับไม่เกิน 2 เท่าของคลื่นพาห้มิฉะนั้นจะเกิดการขลิบของสัญญาณ

รูปที่ 2.25 (ข) แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณภาพ ซึ่งสัญญาณที่นำมามอดูเลตจะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณในรูปที่ 2.23 ขอบของคลื่นจะมีค่าไม่คงที่ และไม่ต่อเนื่อง ไม่มีค่าปกติในระหว่างการมอดูเลต และที่สำคัญ เมื่อไม่มีสัญญาณภาพเข้ามาทำการมอดูเลตจะไม่มีคลื่นแพร่่ออกอากาศ

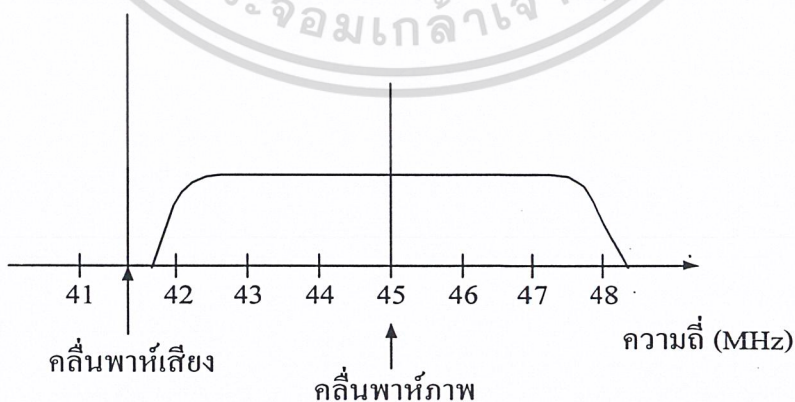
2.5.2 ความกว้างของช่องคลื่น

สมมติว่านำคลื่นพาห้มามอดูเลตกับคลื่นเสียงความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเกิดสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต 3 ความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นพาห้, ความถี่ต่ำกว่าคลื่นพาห้อยู่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์และความถี่ที่สูงกว่าคลื่นพาห้อยู่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ หากสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีความถี่ช่วงกว้างเช่น เสียงพูด, เสียงดนตรี หรือภาพ ย่านความถี่ที่นำมาผสม หรือจะทำให้เกิดความถี่ที่แต่ละด้านของคลื่นพาห้เรียกว่า แถบข้าง การขยายออกของแถบข้างในแต่ละด้านจะเป็นตัวกำหนดความถี่สูงสุดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต

ค่าช่วงกว้างความถี่มาตรฐานที่ทำให้ได้คุณภาพของภาพที่ดีจะต้องพิจารณาระหว่างความชัดเจนของภาพที่ยอมรับได้ และค่าช่วงกว้างความถี่โดยรวมของช่องสัญญาณ

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

ระบบที่สองเป็นระบบที่มีความชัดเจนสูง เริ่มต้นใช้เมื่อปี ค.ศ. 1936 ในอังกฤษ มีจำนวนภาพ 25 ภาพต่อวินาที ทำการสแกนสลับเส้น (Interlaced Scanning) อัตราส่วนภาพ 4:3 มีจำนวนเส้นสแกน 405 เส้น เพื่อให้ครอบคลุมภาพได้ทั้งหน้าจอ และมีคุณภาพที่ยอมรับได้ความถี่สูงสุดของสัญญาณภาพ คือ $405 \times 405 \times 4/3 \times 25/2 = 2.7$ เมกะเฮิร์ตซ์ แต่เมื่อนำมาคิดกับช่วงกว้างความถี่มีค่าความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ที่ -3 เดซิเบล ต้องใช้ความถี่วิทยุ ที่มีช่วงกว้างความถี่มีช่วงกว้างความถี่เป็น 3.4 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีความถี่ต่ำสุด คือ 0 เฮิร์ตซ์ หรือ DC มีแถบความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.30 มีชื่อเรียกว่า ระบบ A



รูปที่ 2.26 ช่วงกว้างความถี่ของช่องสัญญาณระบบ A

2.5.3 ช่องสัญญาณ

การแบ่งความถี่ที่เป็นสากลและบางย่านความถี่ถูกนำมาใช้ในการแพร่กระจายคลื่นออกอากาศเช่น คลื่น MF ในแต่ละย่านจะมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นและสายอากาศที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 2.4 ย่านความถี่ของสัญญาณ โทรทัศน์ในยุโรป

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

หมายเหตุ

- 1) ประเทศอังกฤษใช้ย่านความถี่ I และ II สำหรับแพร่ภาพโทรทัศน์ในมาตรฐาน A แต่ปัจจุบันได้เลิกใช้แล้ว แต่ในบางส่วนของยุโรปยังคงใช้ย่านนี้อยู่
 - 2) ย่านความถี่ II ไม่ได้ใช้สำหรับวิทยุกระจายเสียงเท่านั้น
 - 3) ความถี่ย่าน SHF ถูกจองไว้สำหรับโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม
- ย่านความถี่ที่ใช้สำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ คือ VHF และ UHF ทั่วโลกได้แบ่งเขตพื้นที่ออกเป็น 3 เขต ซึ่งมีความถี่ออกอากาศที่แตกต่างกันออกไป ตารางที่ 2.4 แสดงเฉพาะในทวีปยุโรป

2.6 หลักการเบื้องต้นของกล้องวิดีโอแบบซีซีดี

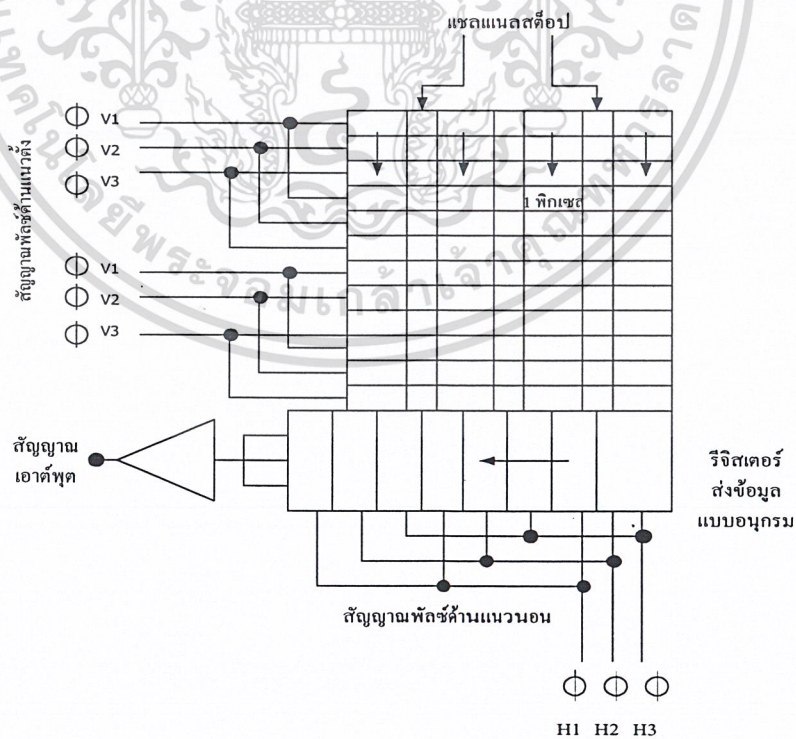
CCD เป็นชื่อย่อมาจากคำว่า (Charge Coupled Device) หรืออุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทำงานด้วยการถ่ายเทของประจุไฟฟ้า ปัจจุบันกล้องวิดีโอแบบซีซีดีถูกนำมาสร้างในลักษณะกล้องถ่ายภาพขนาดเล็กที่มีขนาดเพียง 5.5×4 ตารางเซนติเมตรซึ่งสามารถให้สัญญาณภาพเอาต์พุตได้ทันที นั่นคือ สามารถต่อเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ หรือเครื่องเล่นวิดีโอเทปได้โดยตรง

ผลิตภัณฑ์ที่มีอุปกรณ์ซีซีดี เป็นส่วนประกอบหลัก เช่น กล้องวิดีโอ ไม่ว่าจะเป็นกล้องสำหรับงานด้านรักษาความปลอดภัย งานถ่ายทำรายการโทรทัศน์ หรืองานตรวจสอบชิ้นส่วนในงานในอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นบ่อยครั้งคงจะเป็นกล้องวิดีโอมือถือรุ่นใหม่ ๆ ที่มีอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

การใช้งานกล้องวิดีโอแบบซีซีดี ยุคเริ่มต้นได้นำมาใช้ทางด้านการทหาร และการวิจัยในทางด้านดาราศาสตร์เพราะว่าในขณะนั้นซีซีดี มีราคาสูงมาก และยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเท่าใดนักเนื่องจากต้องใช้ระบบควบคุมที่มีความซับซ้อน และราคาสูงต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปอุปกรณ์ซีซีดี ถูกนำมาใช้ในการผลิตกล้องวิดีโอขนาดเล็กมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกล้องสำหรับใช้ในงานรักษาความปลอดภัย, กล้องวิดีโอในการผลิตรายการโทรทัศน์ จนกระทั่งกล้องวิดีโอแบบมือถือที่ใช้กันทั่วไป ทำให้ราคาของซีซีดี ถูกลง และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน

2.6.1 โครงสร้างของซีซีดี

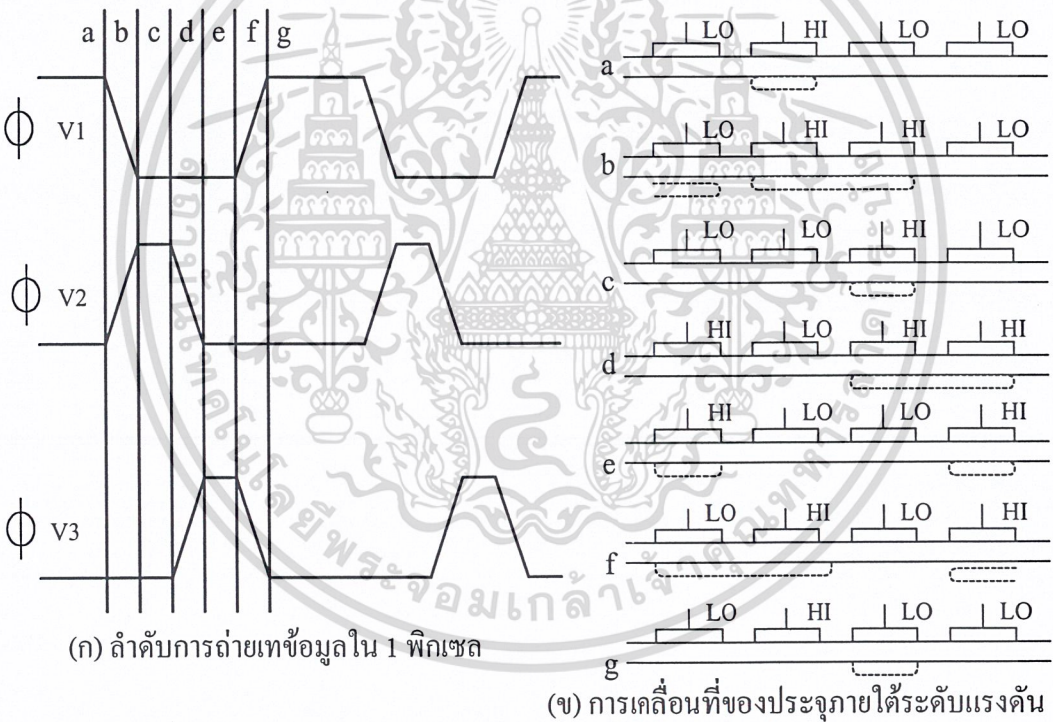
โครงสร้างทั่วไปของอุปกรณ์ ซีซีดี จากรูปที่ 2.27 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายใน และทิศทางการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าภายในอุปกรณ์โครงสร้างภายในของซีซีดี ถูกแบ่งออกเป็นเซลล์หรือพื้นที่เล็กๆ มากมาย ซึ่งแต่ละเซลล์เล็กๆ นี้เรียกว่าพิกเซล (Pixel) นั่นคือ ยังมีการแบ่งพิกเซลมากเท่าใดก็จะทำให้ภาพที่ได้จากการตรวจจับนั้นมีความละเอียดมากขึ้น



รูปที่ 2.27 โครงสร้างพื้นฐานทั่วไปของซีซีดี

ในแต่ละพิกเซลถูกแบ่งการควบคุมการทำงานเป็นแบบด้านแนวนอน และแนวตั้งโดยที่มีส่วนคั่นกลางที่เรียกว่า ช่องหยุดสัญญาณ (Channal Stop) เป็นตัวคั่นกลางระหว่างแต่ละแนวตั้ง ในแต่ละพิกเซลมีประจุไฟฟ้าสำหรับการถ่ายเทอยู่ ซึ่งจะมีการถ่ายเทเมื่อในพิกเซลนั้นได้รับพลังงานจากภายนอก คือแสงที่มาตกกระทบนั่นเอง

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นโดยใช้หลักการหมุนเฟส (Phase Clock Voltage) ซึ่งดูจากรูปที่ 2.27 จะเห็นได้ว่าในแต่ละพิกเซลนั้นจะถูกเชื่อมต่อกับขาสัญญาณ $\phi V1 - \phi V3$ สัญญาณที่ปรากฏที่ขาสัญญาณทั้งสามนี้จะมีเฟสที่สัมพันธ์กันตลอดเวลา ทั้งระดับแรงดันและช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.28 ค่าแรงดันที่ปรากฏทั้ง 3 เฟสนี้ จะทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นจากแห่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้

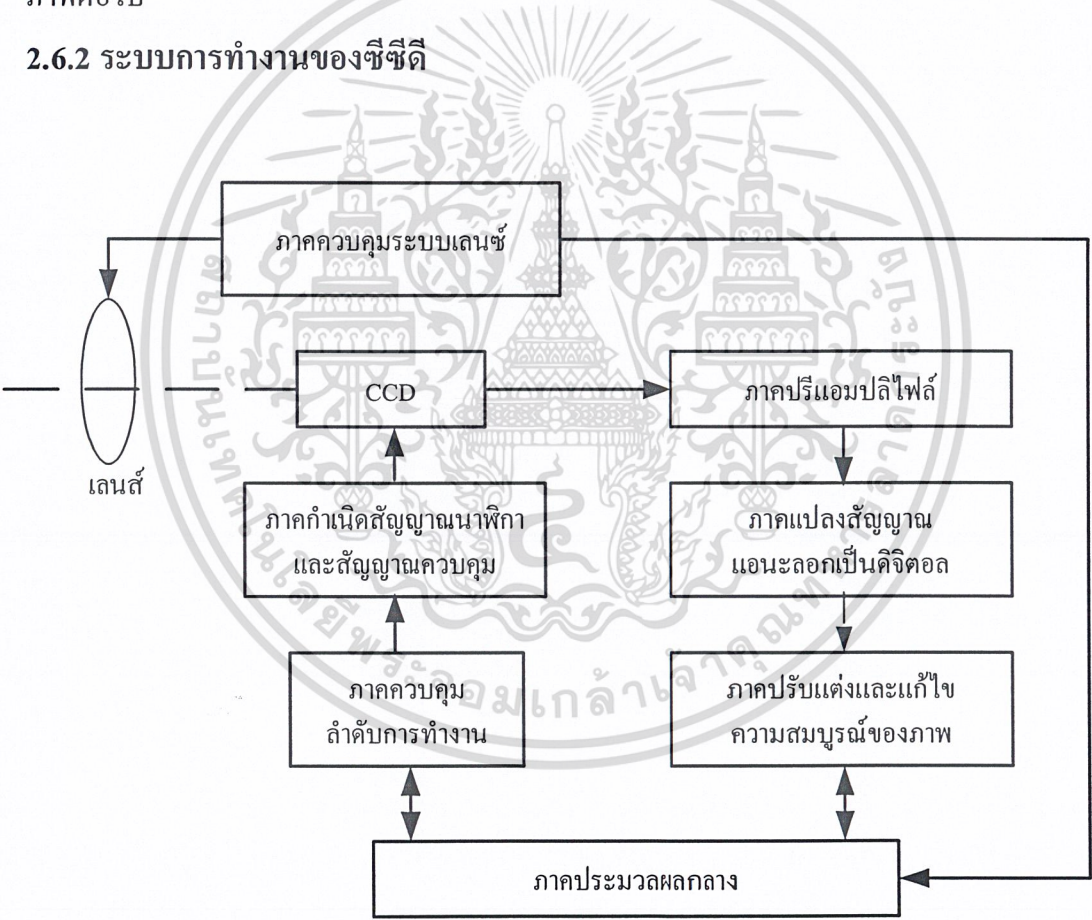


รูปที่ 2.28 รูปคลื่นของการหมุนเฟสที่ปรากฏด้านแนวตั้งและการถ่ายเทประจุที่สัมพันธ์กัน

เมื่อมีประจุไฟฟ้าถูกถ่ายเทมาจนถึงปลายสุดของพิกเซล ค่าประจุเหล่านั้นถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์รับข้อมูลต่อไป เมื่อรีจิสเตอร์รับข้อมูลเป็นที่เรียบร้อย ก็จะทำการเลื่อนข้อมูลออกไปในลักษณะอนุกรมสู่เอาต์พุต จังหวะการเลื่อนข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์นี้ถูกควบคุมจากสัญญาณพัลส์ด้านแนวนอนหรือแถวที่ขาสัญญาณ ด้วยหลักการหมุนเฟสเช่นเดียวกัน การหมุนเฟสทั้งด้านแนวนอนและแนวตั้งนี้ จะมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลาแต่ในซีซีดี บางรุ่นนี้ อาจใช้ในจำนวนเฟสในการควบคุมมากกว่าหรือน้อยกว่า 3 เฟสก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และโครงสร้างภายใน

การใช้งานอุปกรณ์กล้อง ซีซีดี นั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่อรวมอื่นๆ ด้วย เป็นระบบที่สร้างสัญญาณควบคุมให้กับซีซีดี และกระบวนการในการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากซีซีดี มากำเนิดภาพต่อไป

2.6.2 ระบบการทำงานของซีซีดี



รูปที่ 2.29 ระบบการทำงานพื้นฐานของซีซีดี

รูปที่ 2.29 แสดงระบบการทำงานพื้นฐานของซีซีดี จะเห็นว่ามียังองค์ประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วน เริ่มต้นจากภาคการขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier) ซึ่งในส่วนนี้จำเป็นต้องออก

แบบให้มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก เพราะสัญญาณที่ได้จากซีซีดี นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ และเกิดการสูญเสียหรือรบกวนได้ง่ายมาก ปกติแล้วจากโครงสร้างของซีซีดี ซึ่งผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ เช่นเดียวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ทำให้ภายในตัวมันเองขณะที่ทำงานในอุณหภูมิปกติก็เกิดความสูญเสียบ้างอยู่แล้ว ระบบทั้งหมดของซีซีดี จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุด โดยเฉพาะภาคแรกที่เชื่อมต่อกับซีซีดี

หลังจากขยายสัญญาณด้วยภาคปรีแอมพลิไฟร์แล้ว สัญญาณจะถูกส่งต่อไปเข้าภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อไปเข้าสู่กระบวนการกำเนิดภาพหลังจากภาพที่ถ่ายได้จากซีซีดี ถูกแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลแล้ว จะถูกส่งไปยังภาคปรับแต่งและแก้ไขเพื่อให้ภาพที่สมบูรณ์ที่สุดมาใช้งาน

นอกจากระบบประมวลสัญญาณภาพแล้ว อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ ภาคควบคุมการทำงานของซีซีดี ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณนาฬิกาสำหรับการหมุนเฟส และสัญญาณควบคุมต่างๆ ให้กับซีซีดี ซึ่งในส่วนนี้ ต้องเป็นวงจรที่มีเสถียรภาพในการทำงานที่ดีมาก และมีระบบควบคุมที่ดี ส่วนสุดท้ายคือ ภาคควบคุมระบบเลนส์ที่ช่วยปรับระยะใกล้ไกลของภาพให้เหมาะสม

2.7 การสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัลสามารถแบ่งการสื่อสารส่งผ่านสัญญาณอย่างง่าย ๆ เป็น 2 ลักษณะ คือการส่งสัญญาณดิจิทัลไปโดยตรงผ่านตัวกลางต่างๆ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมก่อน หรือการส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบเบสแบนด์ และการส่งในอีกลักษณะคือ การปรับเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลให้เหมาะสมก่อนแล้วจึงส่งผ่านตัวกลางออกไปเช่นการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลแบบแบนด์พาส

การส่งสัญญาณดิจิทัลแบบเบสแบนด์นั้น เป็นวิธีที่ใช้ในระบบ PCM ทั่วไปนอกจากนั้นยังใช้ระบบข่ายวงจรท้องถิ่น (Local Area Network) และในงานสื่อสารข้อมูลระยะใกล้แบบอื่นๆ ซึ่งในระบบ PCM ที่ส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลไปตามสายนำสัญญาณที่ทำด้วยโลหะ เช่น สายคู่ตีเกลียว และสายโคแอกเชียล เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลที่ถูกส่งออกไปนั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบเบสแบนด์โดยไม่ทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่ง่ายเพราะไม่ต้องใช้อุปกรณ์มอดูเลเตอร์ และดีมอดูเลเตอร์ อย่างไรก็ตามสายนำสัญญาณนั้นมักจะมีการตอบสนองต่อความถี่จำกัด ทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ส่งผ่านไปค่อยๆ ผิดเพี้ยนไปทั้งเชิงขนาด และเชิงเวลาหน่วง ผลที่เกิดขึ้นก็คือ เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมออกไปสัญญาณนั้นก็ค่อยๆ ผิดเพี้ยน โดยลู่กว้างออก ดังนั้นการส่งสัญญาณ PCM จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องทวนสัญญาณไว้จึงไม่สะดวกนักในการสื่อสารที่ต้องใช้ระยะทางไกลๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณดิจิทัลแบบแบนด์พาสนั้นเป็นการส่งสัญญาณดิจิทัลโดยการมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห์ หรือก็คือการนำเอาสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการส่ง ไปเปลี่ยนแปลงข่าวสารในสัญญาณคลื่นพาห์อาจจะเปลี่ยนขนาด เปลี่ยนความถี่ หรือเปลี่ยนเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ให้เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามามอดูเลต การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลเท่ากับคลื่นพาห์นี้เราสามารถใช้นัยยะ 1 สัญญาณ หรือ 1 สัญลักษณ์ แทนการใช้สัญญาณดิจิทัล 1 บิต หรือมากกว่า 1 บิตได้ ดังนั้นถ้าเป็นสัญญาณไบนารี ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 บิต สัญญาณคลื่นพาห์ที่มอดูเลตก็จะมีรูปร่าง 2 แบบเท่านั้น แต่ถ้าเป็นสัญญาณแบบ N บิต รูปร่างของสัญญาณคลื่นพาห์ที่ถูกมอดูเลตแล้ว ก็จะมีอย่างน้อย 2^N แบบด้วยกัน เมื่อกล่าวโดยสรุปก็คือ เราจะสามารถมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลที่ละ 1 บิต หรือที่ละหลายๆ บิต เข้าไปกับสัญญาณคลื่นพาห์ได้

2.7.1 ลักษณะของการส่งข้อมูล

โดยทั่วไป หลักใหญ่ๆ ของการส่งข้อมูลมี 2 รูปแบบ คือ การส่งแบบขนาน และการส่งแบบอนุกรม

1) การส่งข้อมูลแบบขนาน คือ ข้อมูลหลายๆ บิตจะถูกส่งไปพร้อมๆ กันในครั้งเดียวเช่น ถ้าข้อมูลเป็น 1010 ทั้งสี่บิตนี้ จะถูกส่งออกไปพร้อมกันโดยจะผ่านสายส่งข้อมูลที่มี 4 เส้น โดยที่แต่ละบิตนั้น จะส่งในสายส่งคนละเส้น

2) การส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือ ข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งเรียงกันออกไปเป็นลำดับต่อเนื่องกันทีละบิต เช่น ถ้าข้อมูลเป็น 1010 เลข 0 ทางขวามือสุดซึ่งเป็น LSB (Last Significant Bit) ส่งออกไปก่อน ตามด้วยบิตที่สอง คือ เลข 1 และ บิตที่ 3 คือ เลข 0 และ บิตสุดท้ายคือ เลข 1 ซึ่ง เป็น MSB (Most Significant Bit) ตามลำดับ โดยสายนำสัญญาณข้อมูลที่มีอยู่เพียงเส้นเดียวเท่านั้น

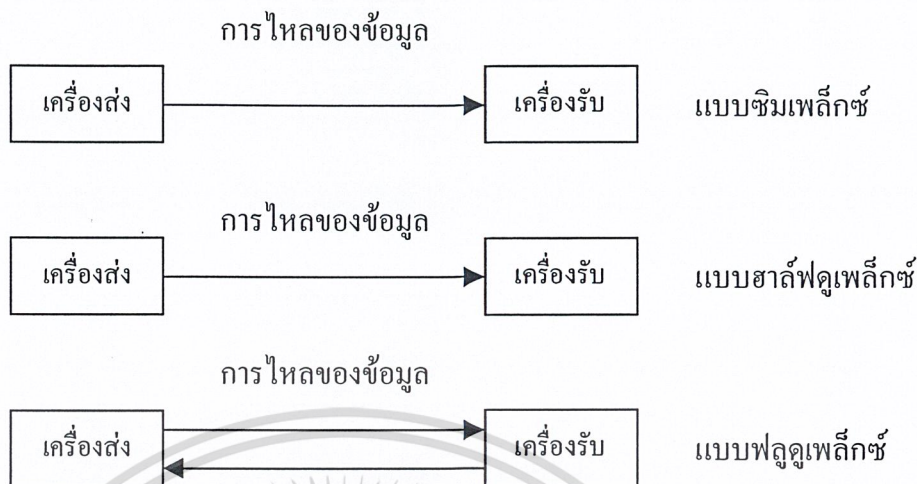
2.7.2 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การติดต่อแบบอนุกรม อาจแบ่งได้ 3 แบบ ดังรูปที่ 2.30

1) แบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ในข้อมูลส่งได้ทิศทางเดียวเท่านั้นบางครั้งเราก็เรียกว่า การส่งทิศทางเดียว (Unidirection Data Bus) เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียงหรือโทรทัศน์ การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปให้เครื่องพิมพ์

2) แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้ง 2 สถานะ แต่จะต้องพลัดกันส่ง และพลัดกันรับ จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้ เช่น ระบบวิทยุติดต่อ ระบบ ATM

3) แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ทั้ง 2 สถานะ สามารถรับ และส่งได้ในเวลาเดียวกัน เช่น การสื่อสารทางโทรศัพท์ และการสื่อสารคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.30 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

2.7.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม หน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที และหน่วยที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่า บอดเรท (Baud Rate) หรืออัตราบอด หลายคนยังเข้าใจสับสนระหว่างอัตราบอด และอัตราบิต (Bit Rate) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจจะแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิต

อัตราบิต (Bit Rate) = อัตราบอด (Baud Rate) * บิต ใน 1 บอด

โมเด็มย่อมาจาก มอดูเลต – ดีมอดูเลต (Modulate Demodulate) อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เหมาะสมก่อนส่งผ่านตัวกลาง ซึ่งโดยมากแล้วคือ สายโทรศัพท์และการมอดูเลต และการดีมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล โดยเมื่อสัญญาณดิจิทัล 2 ระดับ คือ “ 0 ” และ “1” ซึ่งเทคนิคพื้นฐานที่ใช้อยู่มีหลายแบบด้วยกัน เช่น

1) การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Shift Keying : ASK)

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณลอจิกให้เหมาะสมกับการส่งผ่านไปในสายโทรศัพท์โดยวิธีง่ายที่สุดเรียกว่า Amplitude Shift Keying: (ASK) หรือในอีกรูปแบบหนึ่งว่า On Off Keying ซึ่งมีวิธีการคือ กำหนดให้สัญญาณลอจิก “0” ถูกแทนที่ด้วยความถี่เท่ากับ 0 คือ การปิด (Off) สัญญาณ และจะแทนสัญญาณลอจิก “1” ด้วยความถี่ค่าๆ หนึ่งคือ การเปิด (On) สัญญาณนั่นเอง และสัญญาณที่ป้อนให้จะเป็นสัญญาณโพลาร์ (Polar)

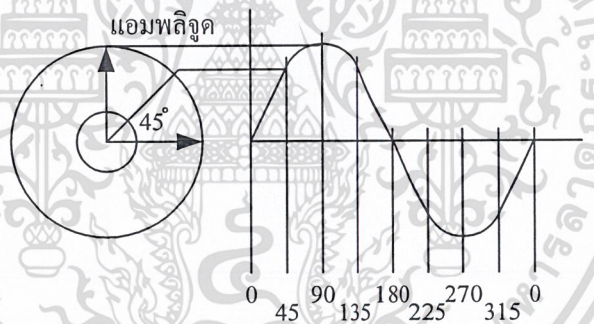
2) การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Shift Keying : FSK)

แรกเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณลอจิกให้เหมาะสมกับการส่งผ่านไปทางสายโทรศัพท์ใช้วิธีที่เรียกว่า Frequency Shift Keying (FSK) คือ ด้านส่งจะกำหนดใช้ความถี่ของเสียงสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ด้านรับก็จะพยายามจับเอาสองความถี่ สำหรับที่ว่ามันมาแปลงสัญญาณลอจิกกลับคืน ความถี่ของเสียงทั้งสองต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และก็ต้องไม่ห่างกันเกินจนตกขอบของความสามารถของสายโทรศัพท์ที่จะนำพาไปได้

3) การมอดูเลตทางเฟส (Phase Shift Keying : PSK)

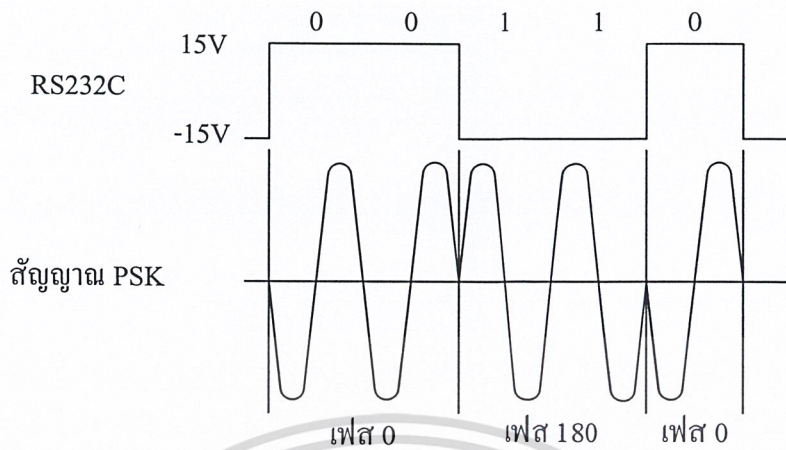
ในการถ่ายโอนที่ต้องใช้ความเร็วสูงๆ การมอดูเลตโดยวิธี FSK คงจะเป็นไปได้ยากจึงเปลี่ยนมาใช้วิธีที่เรียกว่าการมอดูเลตทางเฟส (PSK) และแทนที่จะใช้ความถี่ในการแทนสัญญาณที่เป็นลอจิกกลับใช้สัญญาณเสียงความถี่เดียว แต่ใช้เฟสต่างกันออกไปสำหรับแทนสัญญาณลอจิก

การใช้เฟสในการมอดูเลตสามารถดูรูปร่างของสัญญาณอย่างง่าย ๆ ตามรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 การกำหนดคลื่นรูปไซน์และเฟสต่างๆ

การกำหนดของคลื่นไซน์ก็เหมือนกับการหมุนของเข็มนาฬิกาไปเป็นเส้นรอบวง ถ้าเราวัดความสูงของเข็มนาฬิกา เทียบกับแนวนอนขณะใดขณะหนึ่ง แล้วนำมาวัดเทียบกับแกนเวลาเราจะได้รูปร่างของคลื่นไซน์ เข็มที่เราใช้หมุนเรียกว่า “เวกเตอร์” มุมที่หมุนไปเรียกว่า “เฟส” ฉะนั้นเฟสของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา และหากเราจะเลือกใช้เฟสในการมอดูเลตของสัญญาณลอจิก เราก็แบ่งเฟสที่เราจะใช้ออกเป็น 2 เฟส หรือเราอาจจะเรียกการมอดูเลตแบบนี้ว่า Binary Phase Shift Keying (BPSK) ในการมอดูเลตสัญญาณลอจิก “0” และ “1” คือใช้เฟส “0” แทน “0” และเฟสที่ 180 องศา แทน “1” ลักษณะของสัญญาณจากโมเด็มก็จะเป็นดังรูปที่ 2.32 ซึ่งจะเป็นรูปแบบของ BPSK



รูปที่ 2.32 สัญญาณ BPSK

การคิ่มอดูเลตสัญญาณดิจิทัลแบบไบนารี แบ่งเป็น 2 แบบคือ

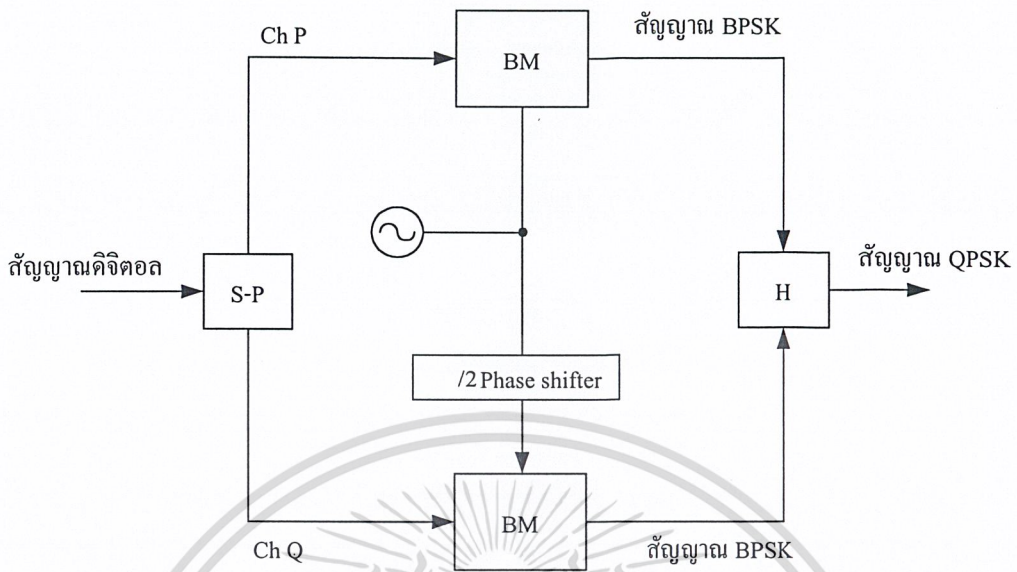
- 1) การคิ่มอดูเลตแบบซิงโครนัสดีเทกชัน หรือแบบ โคฮีเรนต์ดีเทกชัน
- 2) การคิ่มอดูเลตแบบเอนเวโลปดีเทกชัน หรือแบบนอนโคฮีเรนต์ดีเทกชัน

ข้อแตกต่างระหว่าง 2 แบบ ก็คือ ระบบโคฮีเรนต์ดีเทกชันจะสามารถกำจััดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และในการตรวจสอบ (Detect) จะใช้วิธีการนำสัญญาณคลื่นพาห์ ที่ถูกสร้างขึ้นอีกครั้ง กลับคืนมาคูณกับสัญญาณที่รับเข้ามา สัญญาณที่ได้ก็คือข้อมูล

ส่วนวิธีเอนเวโลปดีเทกชันจะสกัดเอาเอนเวโลปของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วกลับคืนมา แต่จะไม่ได้เมื่อใช้ในวงจรที่มีส่วนประกอบความถี่ต่ำซึ่งมีความสำคัญ เพราะวงจรดีเทกชันนี้จะกรองส่วนประกอบกระแสตรงออก และมักจะสกัดเอาความถี่ต่ำออกไปด้วย

2.7.4 ทฤษฎีพื้นฐานของ QPSK

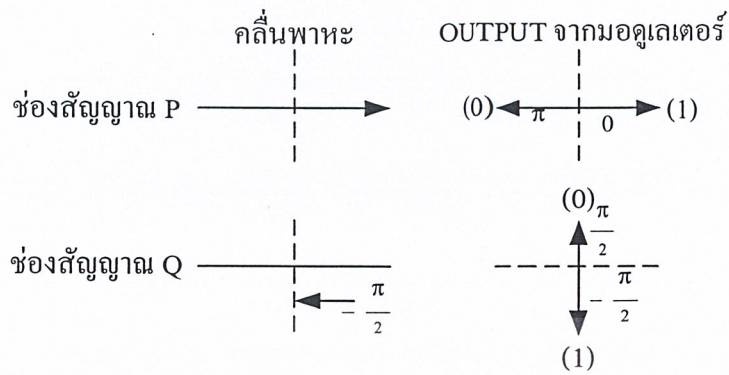
วงจร QPSK มอดูเลต วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรมอดูเลต 2 Binary PSK คู่กัน สัญญาณดิจิทัลที่จะส่งถูกแยกออกทางช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q ด้วยตัวเปลี่ยนอนุกรมเป็นขนาน (S/P converter) แต่ละด้านถูกมอดูเลตแบบ BPSK โดย Balance Modulator คลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตของช่องสัญญาณ P จะใช้จาก Output ของออกซิเจนโดยตรง ส่วนคลื่นพาห์ที่ใช้สำหรับช่องสัญญาณ Q เฟสจะถูก Shift ไป $\pi/2$ หลังจาก $\pi/2$ Phase Shifter ดังในรูป สัญญาณมอดูเลต BPSK ทั้งสองนี้ได้รับโดยการ ใช้คลื่นพาห์ที่ต่างเฟสกัน $\pi/2$ และถูกรวมกันไว้ในวงจรใหม่ก็จะได้สัญญาณ QPSK ออกมา



รูปที่ 2.33 วงจรคีมอดูเลต QPSK

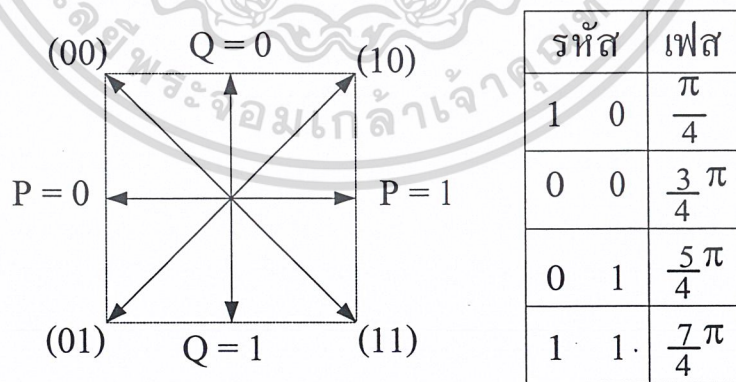
เราลองมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นพาห์ที่ใช้ในช่องสัญญาณ P และ Q และสัญญาณ BPSK สำหรับรหัส 0 และ 1 โดยใช้เวกเตอร์ไคอะแกรม ถ้าเฟสเริ่มแรกของสัญญาณ output จากออสซิลเลเตอร์กำหนดเป็นตัวอ้างอิง คลื่นพาห์ที่ใช้ในช่องสัญญาณ P จะอยู่ในเฟสเดียวกันกับสัญญาณอ้างอิง ส่วนคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณ Q ได้จากการ Shift เฟส $\frac{\pi}{2}$ จากสัญญาณ output ของออสซิลเลเตอร์สัญญาณที่โมดูเลตแบบ BPSK ในช่องสัญญาณ P และ Q จะอยู่ในเฟสเดียวกันกับคลื่นพาห์ สำหรับรหัส 1 แต่จะต่างเฟสกับคลื่นพาห์เท่ากับ π สำหรับรหัส 0

โดยการรวมสัญญาณ BPSK ที่ได้รับการมอดูเลตในช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q เราจะได้สัญญาณ QPSK เมื่อรหัสในช่องสัญญาณ P เป็น “1” และรหัสในช่องสัญญาณ Q เป็น “0” เวกเตอร์ผลลัพธ์จะแสดงดังในรูปที่ 2.34 เวกเตอร์ผลลัพธ์นี้แสดงสัญญาณ QPSK สำหรับรหัส 10 ซึ่งสัญญาณ QPSK นี้ จะต่างเฟส $\frac{\pi}{4}$ กับคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณ P สัญญาณ QPSK สำหรับรหัส 00 จะต่างเฟสเท่ากับ $\frac{3\pi}{4}$ สัญญาณสำหรับรหัส 01 จะต่างเฟส $\frac{5\pi}{4}$ และสัญญาณสำหรับรหัส 11 จะต่างเฟส $\frac{7\pi}{4}$ กับคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณ P รหัสสัญญาณเหล่านี้เรียกว่า “Gray Code”

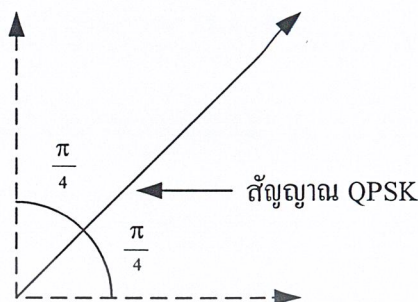


รูปที่ 2.34 เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณในช่องสัญญาณ P และ Q

เมื่อเปรียบเทียบรหัสของ 2 เฟสที่อยู่ใกล้เคียงกัน จะเห็นว่า หนึ่งในสองบิตจะเหมือนกัน การดีมอดูเลตสัญญาณ QPSK โดย Coherent Detection เวกเตอร์ที่แสดงโดยเส้นทึบเป็นสัญญาณ QPSK ที่รับได้ ซึ่งสัญญาณ QPSK นี้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นสัญญาณผลัดพริ้มมาได้โดยการรวมสัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกันคู่หนึ่ง ซึ่งแสดงด้วยเส้นประ นั่นคือ การดีมอดูเลตสัญญาณ QPSK ก็เท่ากับการดีมอดูเลตสัญญาณ BPSK สองสัญญาณตั้งฉากข้างต้น ดังนั้นสัญญาณ QPSK ที่ได้รับคือการดีเทคแบบ Coherent โดยการใช้คลื่นพาหะอ้างอิงที่ตั้งฉากกันคู่หนึ่ง ซึ่งได้โดยการเลื่อนเฟสของสัญญาณที่รับไปเท่ากับ $\frac{\pi}{4}$ นั่นคือ สัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกันแต่ละสัญญาณถูกการดีเทคแบบ Coherent แยกกัน

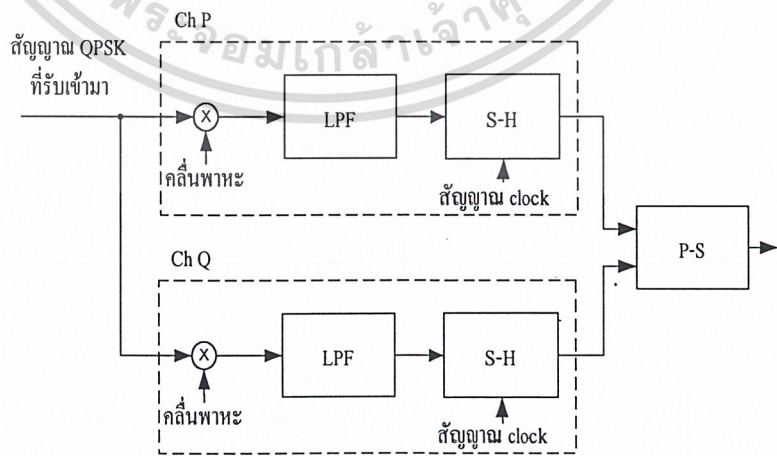


รูปที่ 2.35 เวกเตอร์ผลัดพริ้มของสัญญาณ QPSK



รูปที่ 2.36 สัญญาณ QPSK ถูก Shift Phase $\frac{\pi}{4}$

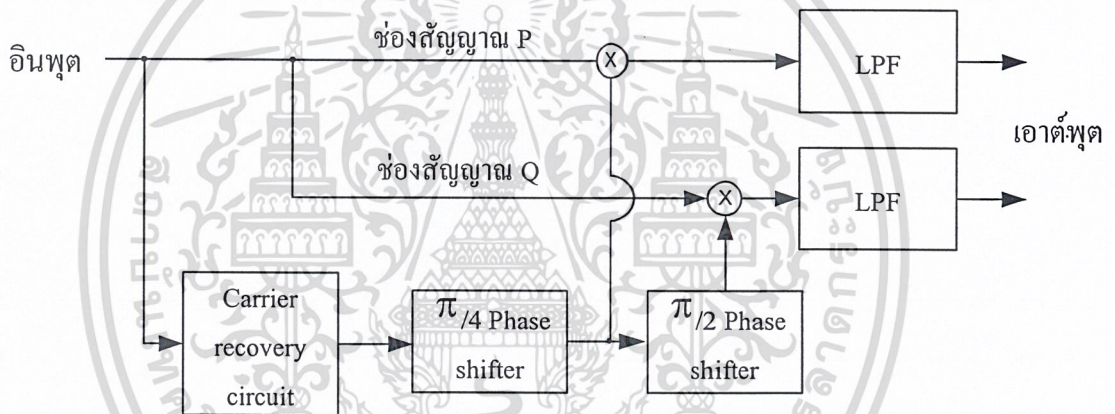
รูปต่อไปนี้เป็นวงจรดีมอดูเลตสำหรับสัญญาณ QPSK โดยการใช้เทคนิควงจร Coherent ซึ่งวงจรประกอบด้วยวงจรแบบดีมอดูเลตแบบ Coherent คู่หนึ่งสำหรับสัญญาณ BPSK ที่ตั้งฉากกัน สัญญาณ QPSK ที่รับได้ถูกแบ่งออกเป็นขบวนสัญญาณ 2 ขบวน ซึ่งถูกใช้เทคนิควงจร Coherent แยกกัน คู่ของคลื่นพาหะอ้างอิงที่ตั้งฉากกันถูกป้อนเข้า Multiplier ของช่องสัญญาณ P และช่องสัญญาณ Q แต่ละช่องสัญญาณซึ่ง Output จะผ่าน Low Pass Filter เพื่อตัดฮาร์โมนิกสูงๆ ออก หลังจากนั้นก็ผ่านไปยังวงจร Sample Holler พร้อมด้วย Clock Pulse ดังนั้นสัญญาณจะถูกดีมอดูเลตแยกกันในช่องสัญญาณ P และ Q ขบวนสัญญาณที่ขนานกันนี้ถูกรวมเข้าด้วยกันที่ P/S Converter เพื่อจัดรูปแบบเรียงเป็นสัญญาณอนุกรมตามเดิม



รูปที่ 2.37 วงจรมอดูเลตสัญญาณ QPSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการดีเทคสัญญาณ QPSK แบบ Coherent จำเป็นที่จะต้อง Shift เฟสของคลื่นพาหะอ้างอิงทั้งคู่ไป $\frac{\pi}{4}$ เมื่อเทียบกับเฟสของสัญญาณที่รับได้ เพื่อจุดประสงค์นี้ จำเป็นต้องใช้วงจร Carrier Recovery $\frac{\pi}{4}$ Phase Shifter และวงจร $\frac{\pi}{2}$ Phase Shifter ในวงจร Multiplier ของช่องสัญญาณ P เพื่อพาหะอ้างอิงได้ จากการเลื่อนเฟสของสัญญาณ ซึ่งเป็น Out Put ของวงจร Carrier Recovery แล้วเลื่อนเฟสไปโดยใช้ $\frac{\pi}{4}$ Phase Shifter ส่วนวงจร Multiplier ของช่องสัญญาณ Q คลื่นพาหะอ้างอิงนี้ก็ได้จาก ให้ Output ของ $\frac{\pi}{4}$ Phase ผ่านวงจร $\frac{\pi}{2}$ Phase Shifter อีกครั้งหนึ่ง คลื่นพาหะอ้างอิงนี้จะตั้งฉากกับคลื่นพาหะอ้างอิงในช่องสัญญาณ P โดยการผ่านการดีเทคแบบ Coherent ของสัญญาณ QPSK ซึ่งใช้คลื่นพาหะอ้างอิงคู่หนึ่งนี้ เราก็จะได้สัญญาณ BPSK 2 สัญญาณ ซึ่งรวมกันมาจากทางตอนมอดูเลต สามารถดีเทคแยกออกมาได้ โดยวิธี Coherent ดังในรูป 2.38



รูปที่ 2.38 การดีเทคสัญญาณ QPSK ออกมาเป็น BPSK 2 สัญญาณ

หลักการพื้นฐานของ Carrier Recovery จากสัญญาณ QPSK ก็เหมือนกันกับกรณีของสัญญาณ BPSK เฟสของคลื่นพาหะอ้างอิงที่ได้กลับคืนมาจะตรงกันกับหนึ่งในสี่เฟสของสัญญาณ QPSK ที่รับได้ แต่เป็นไปได้ที่จะกำหนดว่าเฟสไหนในสี่เฟสเหล่านี้ตรงกันกับเฟสของคลื่นพาหะอ้างอิงที่แท้จริง โดยลักษณะนี้ปัญหาของ $\frac{\pi}{2}$ Phase Ambiguity ก็จะเกิดขึ้นใน QPSK ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ Differential Coding Technique หรือโดยใช้ Unique Word เข้าช่วย เหมือนในกรณีของ BPSK

2.7.5 ลักษณะของ QPSK

สมมติว่าจำนวนบิตที่จะต้องส่งในหนึ่งหน่วยเวลา คือ Bit Rate ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทั้งในกรณีของ BPSK และ QPSK สำหรับ QPSK บิตจะถูกส่ง 2 บิต ในแต่ละครั้ง ดังนั้นความถี่ของการเปลี่ยนเฟสคลื่นพาหะจะขึ้นอยู่กับรหัส นั่นคือ Keying Speed จะเป็นครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับกรณี BPSK เมื่อช่วงระยะเวลาของบิตแต่ละตัวเป็น T ดังนั้น Keying Speed ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $1/T$ สำหรับ BPSK และจะมีค่าเท่ากับ $1/2 T$ สำหรับกรณีของ QPSK

โดยทั่วไปแล้วแถบกว้างความถี่ที่ถูกครอบครองของสัญญาณ PSK จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับ Keying Speed ฉะนั้นเมื่ออัตราการส่งบิตที่ Keying Speed ในกรณีของ QPSK จะเป็นครึ่งหนึ่งของ BPSK และแถบกว้างความถี่ที่ถูกครอบครองสัญญาณ QPSK จะเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณ BPSK ในทางตรงกันข้ามเมื่อให้แถบกว้างความถี่เท่ากัน จำนวนบิตซึ่งสามารถส่งได้ในกรณีของ QPSK จะเป็น 2 เท่าของ BPSK



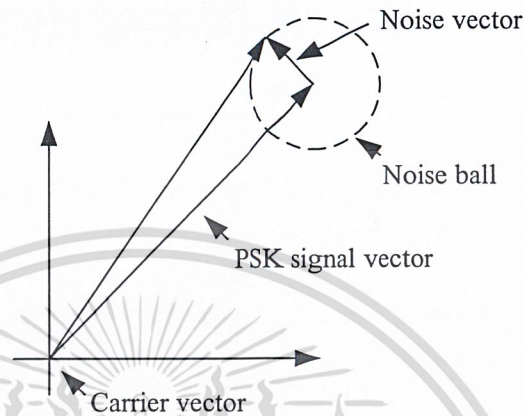
รูปที่ 2.39 Keying Speed ในการส่งสัญญาณ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า QPSK นั้นจะมีข้อดีกว่าแบบ BPSK ถ้ามองจากผลในการใช้แถบความถี่คลื่น

รูปที่ 2.40 จะแสดงเวกเตอร์โคออร์ดิเนตของสัญญาณ PSK เมื่อมีเสียงรบกวนเข้ามา ทำให้แอมพลิจูดและเฟสเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะเห็นว่าทิศทางของเวกเตอร์เสียงรบกวนนั้นจะเปลี่ยนได้ทุกทิศทางเวกเตอร์ ดังนั้นเสียงรบกวนที่มีขนาดคงที่ และหมุนไปในทุกทิศทางเป็นวงกลมนี้เรียกว่า “ Noise Ball ” เมื่อเวกเตอร์ผลรวมระหว่าง PSK เวกเตอร์ และเวกเตอร์เสียงรบกวนข้าม Carrier

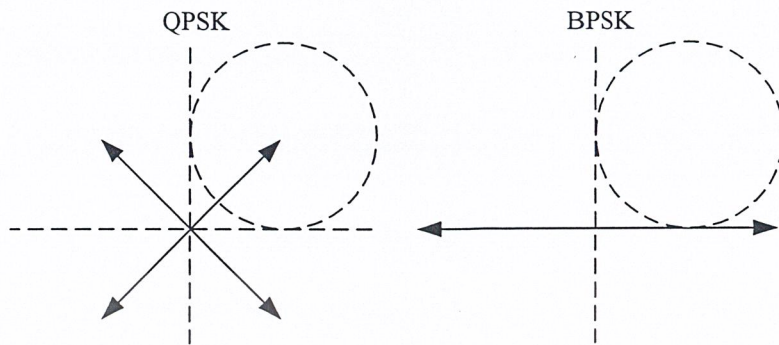
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vector ไปทางใดทางหนึ่ง (ดูรูปที่ 2.40 ประกอบ) เฟสที่ส่งก็จะถูกคีมอดูเลตผิดไปเป็นเฟสข้างเคียง เพราะฉะนั้นเมื่อ Noise Ball มีค่ามาก การผิดพลาดของบิตก็จะเกิดขึ้น



รูปที่ 2.40 PSK เวกเตอร์ และ Noise เวกเตอร์

ลองเปรียบเทียบขนาดของ Noise Ball สูงสุดที่ไม่ทำให้เกิด Bit Error ขึ้นใน BPSK และ QPSK โดยที่ความยาวของเวกเตอร์สัญญาณมีขนาดเท่ากัน ซึ่งหมายความว่ากำลังส่งสัญญาณทั้ง QPSK และ BPSK มีกำลังส่งเท่ากัน เราจะเห็นระยะระหว่างสองเวกเตอร์สัญญาณในกรณี QPSK จะสั้นกว่าในกรณี BPSK และช่วงขนาดของ Noise Ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิต กรณี QPSK จะแคบกว่า ดังในรูป 2.41 ดังนั้น ถ้ากำลังในการส่งสัญญาณเท่ากัน และย่านความถี่เท่ากัน อัตราการผิดพลาดของบิตในกรณี QPSK จะสูงกว่ากรณี BPSK แต่จำนวนข้อมูลข่าวสารที่ส่ง QPSK จะมากกว่าเป็น 2 เท่าของ BPSK โดยลักษณะเช่นนี้ถ้าต้องการใช้ย่านความถี่ให้ผลมากที่สุด จึงควรใช้ QPSK มากกว่า BPSK แต่ถ้าจะให้อัตราการผิดพลาดของบิตเกิดขึ้นเท่ากัน ก็จำเป็นที่จะต้องให้กำลังการส่งสัญญาณในกรณี QPSK มากกว่ากรณี BPSK เพราะฉะนั้น QPSK จึงเหมาะสำหรับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งมีย่านกว้างความถี่จำกัดเข้มงวดกว่าข้อจำกัดทางกำลังในการส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.41 เปรียบเทียบขนาดของ Noise Ball ที่ไม่ทำให้เกิดการผิดพลาดของบิต

2.8 การรับส่งข้อมูลดิจิทัล FSK และแนวทางออกแบบการใช้งาน

การรับ - ส่งข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิทัล สามารถทำได้ 2 วิธี คือวิธีการทางไบนารี คือ สัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งไปยังปลายทางได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณอย่างใด ดังรูปที่ 2.42 (ก) และวิธีการทางแอนะล็อก คือ สัญญาณดิจิทัลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อกก่อนแล้วจึงส่งออกไปยังปลายทางดังรูปที่ 2.42 (ข)

วิธีการในลักษณะแรกจะกระทำในลักษณะที่มีการติดต่อในระยะทางสั้นๆ และให้ความรวดเร็วมากกว่า ส่วนวิธีการในลักษณะหลังจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะการเชื่อมโยง สัญญาณเข้ากับระบบสื่อสารต่างๆ ไป ลักษณะทั้ง 2 วิธีแสดงในรูปที่ 2.42

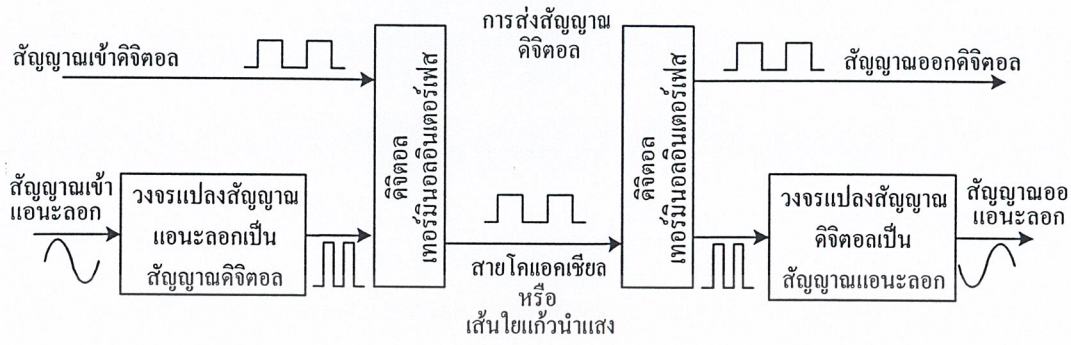
การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ในการสร้างสัญญาณแอนะล็อกที่มีผลมาจากสัญญาณดิจิทัล หรือสัญญาณข่าวสารในรูปอื่นจะได้มาจากหลักการพื้นฐานของวิธีการ 3 แบบ คือ

- 1) หลักการของการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude Modulation)
- 2) หลักการของการมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation)
- 3) หลักการของการมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation)

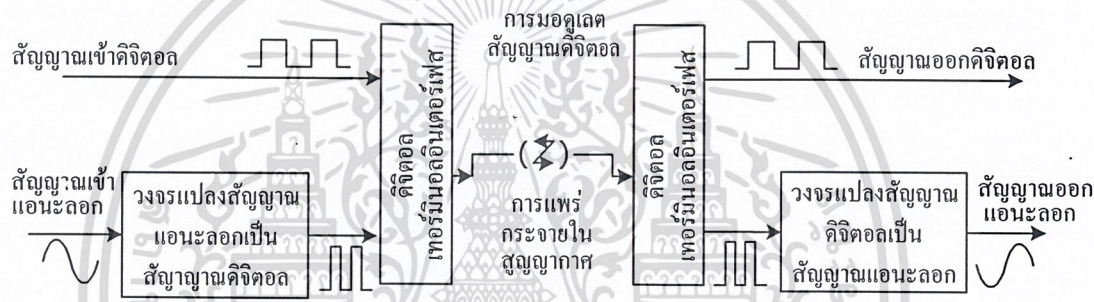
โดยสัญญาณที่ส่งออกไป (สัญญาณดิจิทัล หรือสัญญาณข่าวสารต่างๆ) จะถูกมอดูเลตทางด้านส่ง และดีมอดูเลตทางด้านรับ เพื่อแยกสัญญาณข่าวสารเดิมที่ส่งออกมาจากสัญญาณพาห้ เทคนิคการรวมสัญญาณทางดิจิทัล ที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางคือ

- 1) การมอดูเลตโดยการเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาห้ (FSK)
- 2) การมอดูเลตแบบเปลี่ยนเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้ (PSK)

3) การมอดูเลตเชิงขนาดที่ใช้สัญญาณคลื่นพาห่ออินเฟส (QAM)



(ก) วิธีการทางไบนารี



(ข) วิธีการทางแอนะล็อก

รูปที่ 2.42 การส่งสัญญาณดิจิทัล

2.8.1 ตัวกำเนิดสัญญาณ FSK

ตัวกำเนิดสัญญาณ FSK มีหลักการคือ เมื่อข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลเลขฐานสอง ทำให้ความถี่เลื่อนหรือเบี่ยงเบนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเลขฐานสองที่เข้ามา ดังนั้น สัญญาณเอาต์พุตของตัวกำเนิด FSK จะอยู่ในรูปของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงจากสถานะลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 (หรือในทางกลับกัน คือ ลอจิก 0 เป็นลอจิก 1) สัญญาณเอาต์พุตจาก FSK จะเลื่อนความถี่ระหว่าง 2 ความถี่ด้วยกัน คือ ความถี่ที่ลอจิก 1 Mark Frequency (F_m) และความถี่ที่ลอจิก 0 Space Frequency

การเปลี่ยนแปลง (หรือการเลื่อน) ของความถี่แต่ละครั้งจะเกิดขึ้นเมื่อสถานะของลอจิกด้านสัญญาณเข้าเปลี่ยนแปลง นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออกจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณขาเข้า ซึ่งในการมอดูเลตแบบดิจิทัลนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านอินพุตของตัวกำเนิดสัญญาณ FSK เรียกว่า อัตราบิต (Bit Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

(Bit Per Second : Bps) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านเอาต์พุตของตัวกำเนิดสัญญาณ FSK เรียกว่า อัตราบอर्ड (Baud Rate) ดังนั้นในการส่งข้อมูลด้วยเทคนิค FSK อัตราบอर्डจะเท่ากับอัตราบอर्डเสมอ

2.8.2 ความกว้างของสัญญาณ FSK

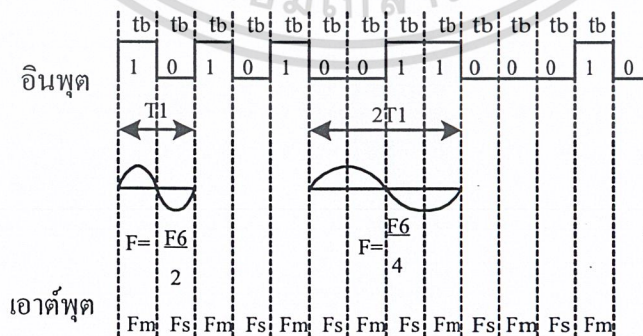
ในระบบการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณแอนะล็อก หรือสัญญาณความถี่นั้น แบนด์วิดท์ เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เนื่องจากวิธีการของ FSK อยู่บนพื้นฐานเดียวกันกับวิธีการของ FM ดังนั้นการอธิบายถึงสูตรต่างๆ จะใช้หลักการของ FM ทุกอย่าง

จากรูปที่ 2.43 แสดงถึงตัวมอดูเลตแบบ FSK ซึ่งใช้หลักการเดียวกับเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์ คือ จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุดของสัญญาณอินพุตจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลเลขฐานสองมีลักษณะเป็น 1 และ 0 สลับกัน ซึ่งคือ สัญญาณสี่เหลี่ยมนั่นเอง ตามตัวอย่างในรูปที่ 2.43 เป็นสัญญาณในช่วง T_1

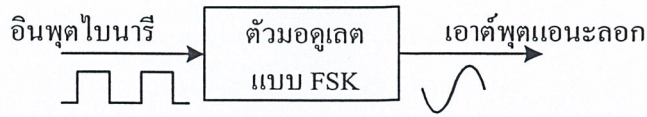
ความถี่หลักของคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบอर्ड ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะความถี่หลักเพียงอย่างเดียวแล้วความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการนำมอดูเลตแบบ FSK จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบอर्डคือ

$$F_{a_{max}} = \frac{\text{Bitrate}}{2} \quad (2.17)$$

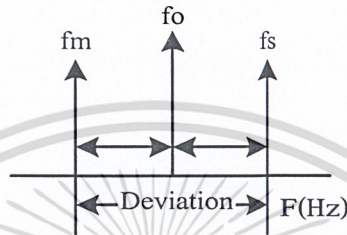
เมื่อกำหนดให้ $F_{a_{max}}$ คือ ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิทัลที่จะนำมอดูเลต ความถี่กลางของ VCO จะอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่าง f_m กับ f_s ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 มอดูเลตแบบ FSK



รูปที่ 2.43 (ต่อ) มอดูเลตแบบ FSK



รูปที่ 2.44 การเบี่ยงเบนความถี่

ลอจิก 1 ด้านอินพุตจะเลื่อนความถี่ของ VCO จาก f_o ไปเป็น f_s จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุตจาก 1 ไป 0 หรือ 0 ไป 1 จะทำให้ความถี่เอาต์พุตของ VCO เลื่อนหรือเบี่ยงเบนกลับไปมาระหว่าง f_m กับ f_s เนื่องจากได้กล่าวมาแล้วว่า FSK นั้นคือการมอดูเลตแบบ FM ดังนั้นดัชนีการมอดูเลต (Modulate Index : MI) ใน FSK ได้จาก FM คือ

$$MI = \frac{\Delta F}{F_a} \quad (2.18)$$

โดยที่ ΔF คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ใดๆ จากความถี่กลาง (Hz)

F_a คือ ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Hz)

ค่า MI ที่ยอมให้มีได้สูงสุดคือ MI ที่ทำให้แบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการเบี่ยงเบนของความถี่ถูกมอดูเลตแล้วความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าสูงสุด

ในการมอดูเลตแบบ FSK ค่า ΔF เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่าง f_m กับ f_s นั่นคือ

$$\Delta F = \frac{f_s - f_m}{2} \quad (2.19)$$

การเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณที่นำเข้ามาโมดูเลต (สัญญาณดิจิทัล) เมื่อสถานะทางลอจิกเป็น 1 จะทำให้แรงดันออกมามีค่าคงที่ตามสถานะ (เช่น 5 โวลต์) หรือถ้าเป็นลอจิก 0 แรงดันออกมาคงที่ในระดับลอจิก 0 เช่นกัน เช่น 0 โวลต์ ดังนั้นความถี่เบี่ยงเบนของ FSK โมดูเลตเบี่ยงเบนคงที่ และอยู่ในระดับการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดเสมอ

F_a เป็นความถี่หลักของข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุต ซึ่งทำให้แบนด์วิดท์กว้างที่สุดเมื่อ

$$F_a = \frac{\text{BitRate}}{2} \quad (2.20)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่า MI ได้จาก

$$MI = \frac{\left(\frac{f_s - f_m}{2} \right)}{\left(\frac{f_b}{2} \right)} \quad (2.21)$$

$$MI = \frac{f_s - f_m}{f_b} \quad (2.22)$$

เมื่อกำหนดให้ $f_s - f_m$ คือ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

f_b คือ อัตราบิตของเลขฐานสองอินพุต

ในการส่งสัญญาณ FM โดยทั่วไป ความกว้างของแบนด์วิดท์จะแปรผันตรงกับค่า MI เช่นเดียวกับ FSK ที่ค่า MI โดยทั่วไปจะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้เป็นเอฟเอ็มแบบแคบ ค่าแบนด์วิดท์ที่แคบที่สุดเรียกว่า Minimum Nyquist Bandwidth (F_n)

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

รถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ใช้หลักการควบคุมโดยสามารถที่จะดูได้จากเครื่องรับโทรทัศน์โดยที่ตัวรถจะใช้เครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แพร่กระจายสัญญาณภาพ และเสียงจากกล้องวิดีโอไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยคลื่นความถี่ที่ใช้ส่งนั้นจะมีความถี่เดียวกับสถานีโทรทัศน์ทั่วไป เพียงแต่มีขนาด และรัศมีการแพร่กระจายน้อยกว่า และความถี่ที่ใช้อยู่ในย่าน VHF ซึ่งสามารถปรับแต่งความถี่ได้

กล้องวิดีโอที่จะนำมาใช้กับเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ นั้นจะต้องมีช่องต่อเอาต์พุตสำหรับสัญญาณภาพ และเสียงออกมาต่างหาก ส่วนเครื่องรับโทรทัศน์จะต้องเป็นระบบ PAL และจูนคลื่นความถี่ได้

ส่วนควบคุมการทำงานของรถสำรวจระยะไกลนั้นจะควบคุมการทำงานด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยการมอดูเลตสัญญาณควบคุมการทำงานส่งไปพร้อมกับความถี่พาหะแล้วให้ทางด้านรับที่ติดอยู่กับตัวรถทำการถอดรหัสสัญญาณแล้วนำมาควบคุมการทำงานของรถ

3.2 การออกแบบ

รถสำรวจควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ การทำงานจะสามารถแบ่งออกได้เป็นภาคต่างๆ ได้ 3 ภาคดังนี้คือ

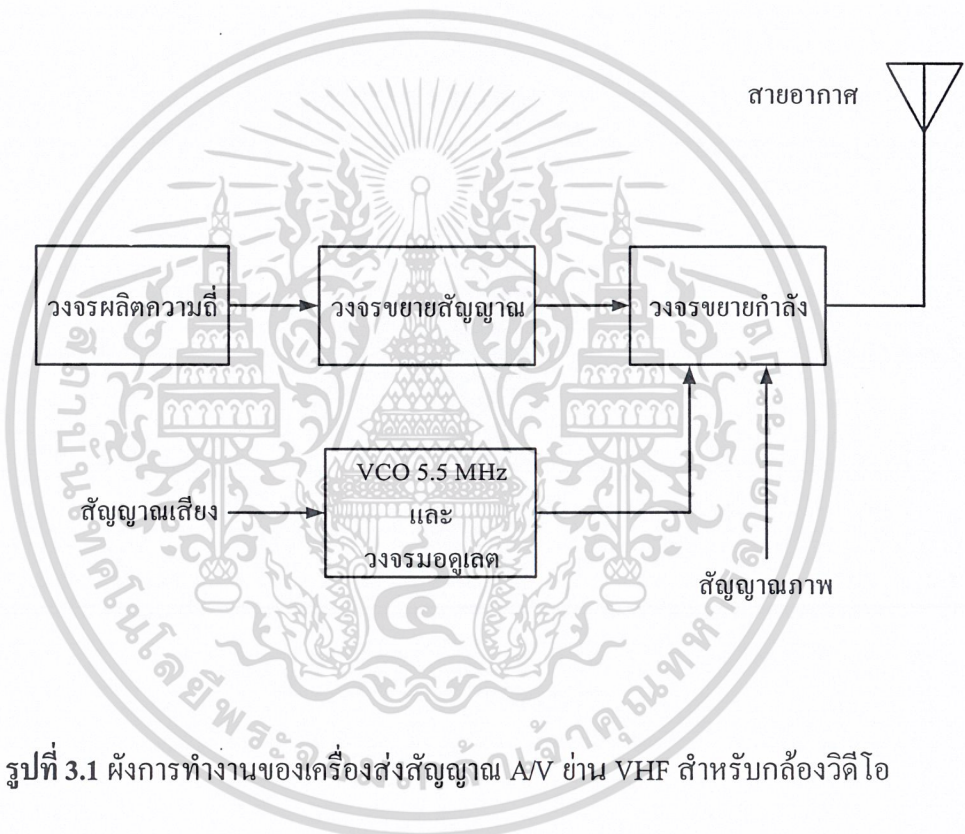
- 1) ภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF
- 2) ภาคควบคุมการทำงานระยะไกล
- 3) ภาคควบคุมการแพนกล้องวิดีโอ

3.2.1 ภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF

เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอได้นำแนวความคิดของการส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางคลื่นวิทยุความถี่ย่าน VHF มาออกแบบ และพัฒนาในส่วนต่างๆ เช่น วงจรผลิตความถี่ วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาหะ และวงจรขยายกำลัง เป็นต้น โดยมีการออกแบบและประกอบลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

ส่วนประกอบ และการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอจะเป็นส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ทั้งหมด ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

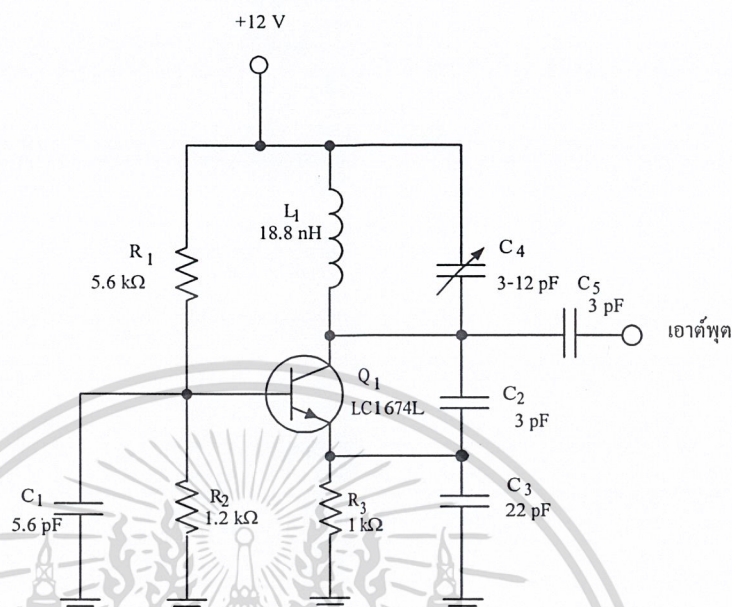
- 1) วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์
- 2) วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์
- 3) วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม
- 4) วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ

1) วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ จะทำหน้าที่ในการผลิตความถี่ที่ใช้เป็นความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ และเป็นความถี่หลักของเครื่องส่ง ซึ่งวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์นั้นก็มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายวงจร แต่ส่วนมากที่นิยมนำมาใช้กันนั้นมีอยู่ไม่กี่แบบ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างของวงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวด์ – เบส คอลพิทท์ ดังรูปที่ 3.2

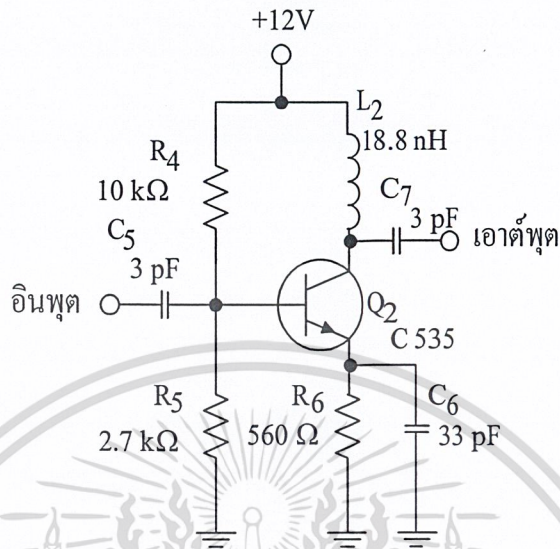


รูปที่ 3.2 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

การผลิตความถี่ของระบบนี้จะใช้วงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวด์ – เบสคอลพิทท์ โดยใช้ Q_1 มี L_1 กับ C_4 ประกอบกันเป็นวงจรอนุทางเสาอากาศ สำหรับปรับความถี่คลื่นพาห์ภาพในช่วง 80 ถึง 108 เมกะเฮิร์ตซ์ มี R_1 , R_2 และ R_3 เป็นตัวไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ โดยมี C_1 ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_2 กับ C_3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจากคอลเลกเตอร์มายังอิมิตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

2) วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์จะนำสัญญาณจากวงจรผลิตความถี่มาทำการขยายให้มีความแรงมากขึ้นพอที่จะนำไปขับวงจรขยายกำลังได้ โดยใช้ Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ โดยมี R_4 , R_5 และ R_6 เป็นตัวความต้านทานไบอัส C_6 เป็นตัวเก็บประจุบายพาสความถี่ถึงกราวด์เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่ R_6 สำหรับ L_2 จะเป็นตัวส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจรให้กับทรานซิสเตอร์ ในขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็น RF โช๊ค ป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟด้วย



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

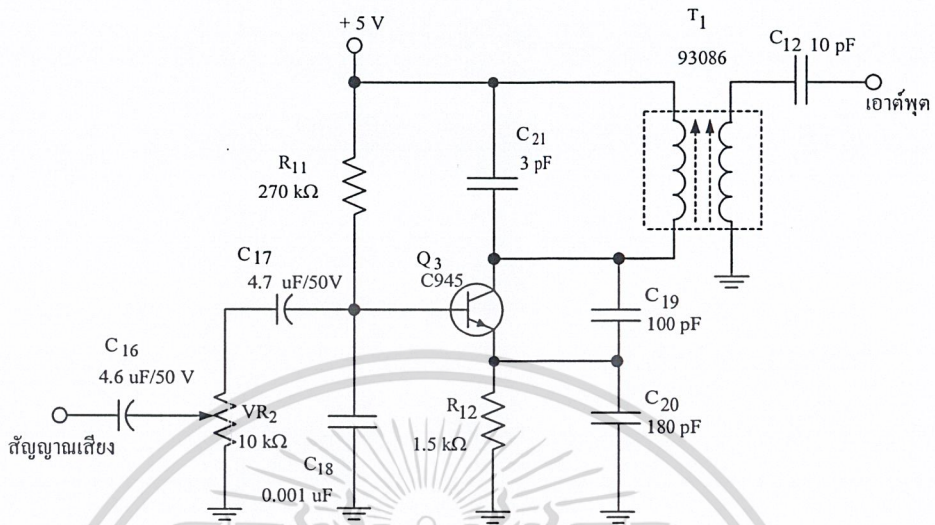
3) วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

วงจรผลิตความถี่แบบ VCO ทำหน้าที่ผลิตความถี่กลาง 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยที่ความถี่นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงทางอินพุตก่อให้เกิดการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มตามระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณเสียงจะทำการคัปปลิงผ่าน C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 โดยจะมีตัว VR_2 ซึ่งจะเป็นตัวทำการปรับช่วงความถี่เบี่ยงเบน

วงจรผลิตความถี่แบบ VCO นี้ ใช้วงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์ – เบสคอลพิทท์ เช่นเดียวกับวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ โดยมี R_{11} และ R_{12} เป็นตัวความต้านทานไบอัส C_{18} ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_{19} และ C_{20} เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้แบ่งแรงดัน แต่จะมีการจัดความถี่กลางไว้ที่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยกำหนดขึ้นจากค่าของ T_1 กับ T_{12} ดังแสดงในรูป 3.4

สัญญาณเสียงที่ได้ทำการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม แล้วจะถูกส่งผ่านไปยังวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็มต่อไป



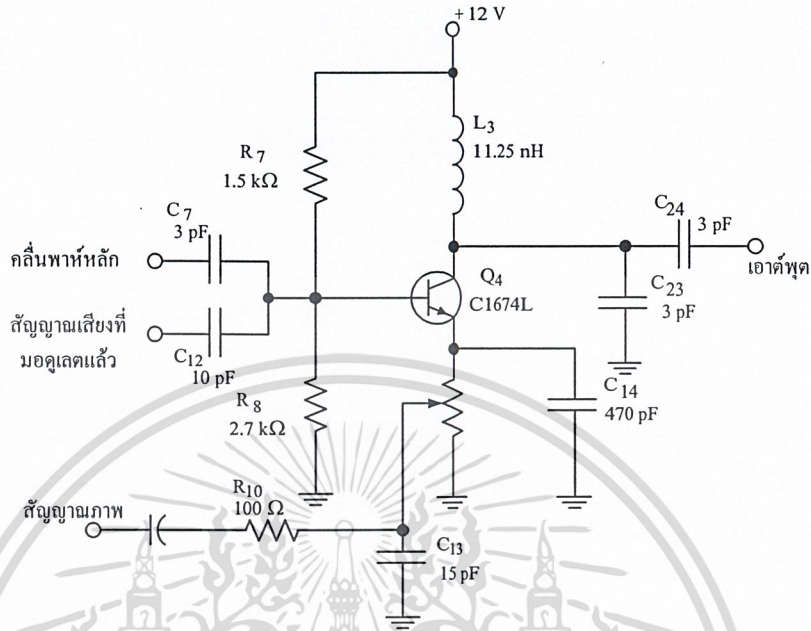
รูปที่ 3.4 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

4) วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มนี้จะทำการขยายสัญญาณให้มีความถี่สูงขึ้นเป็นครั้งสุดท้าย ก่อนส่งออกอากาศ และทำหน้าที่เป็นตัวมอดูเลตสัญญาณภาพ และเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอเอ็มแล้ว เข้ากับความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณภาพในแบบเอเอ็มอีกด้วย

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

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



รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

การเชื่อมต่อวงจร วงจรสมบรูณ์ของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยมีซีเนอร์ไดโอด ZD_1 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรผลิตความถี่ และวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้ เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพทางความถี่มากขึ้น R_7 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วย C_8 และ C_9

ความถี่ที่ผลิตขึ้นจากวงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวนด์ – เบสคอลพิทท์ จะถูกส่งไปขยายให้มีความแรงสูงขึ้นโดยผ่าน C_5 ไปยัง Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายกำลังและเป็นวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มด้วย

สัญญาณเสียงที่รับเข้ามาจะถูกคัปปลิ่งโดย C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 เพื่อทำการมอดูเลตแบบเอเอ็มกับคลื่นพาห้ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งสร้างขึ้นโดยวงจรผลิตความถี่แบบ VCD แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรภาคนี้จะถูกควบคุมให้เป็น 5 โวลต์ โดยซีเนอร์ไดโอด ZD_2 มี R_3 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองให้เรียบไม่ให้มีสัญญาณความถี่สูงปะปนด้วย C_{22}

สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอเอ็มแล้วจะถูกคัปปลิ่งผ่าน T_1 และ C_{12} ไปยังขาเบสของ Q_4 สัญญาณที่ได้รับเข้ามาจะถูกคัปปลิ่งโดย C_{13} , C_{14} และ C_{15} เพื่อทำการขยายกำลัง และ มอดูเลตแบบเอเอ็ม สัญญาณโทรทัศน์ที่สมบรูณ์จะถูกส่งออกอากาศผ่าน C_2 และ C_{12} ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับความสมดุล (Matching) สำหรับสถานะการทำงานของเครื่องจะแสดงด้วย LED_1 โดยมี R_{14} เป็นตัวจำกัดกระแส

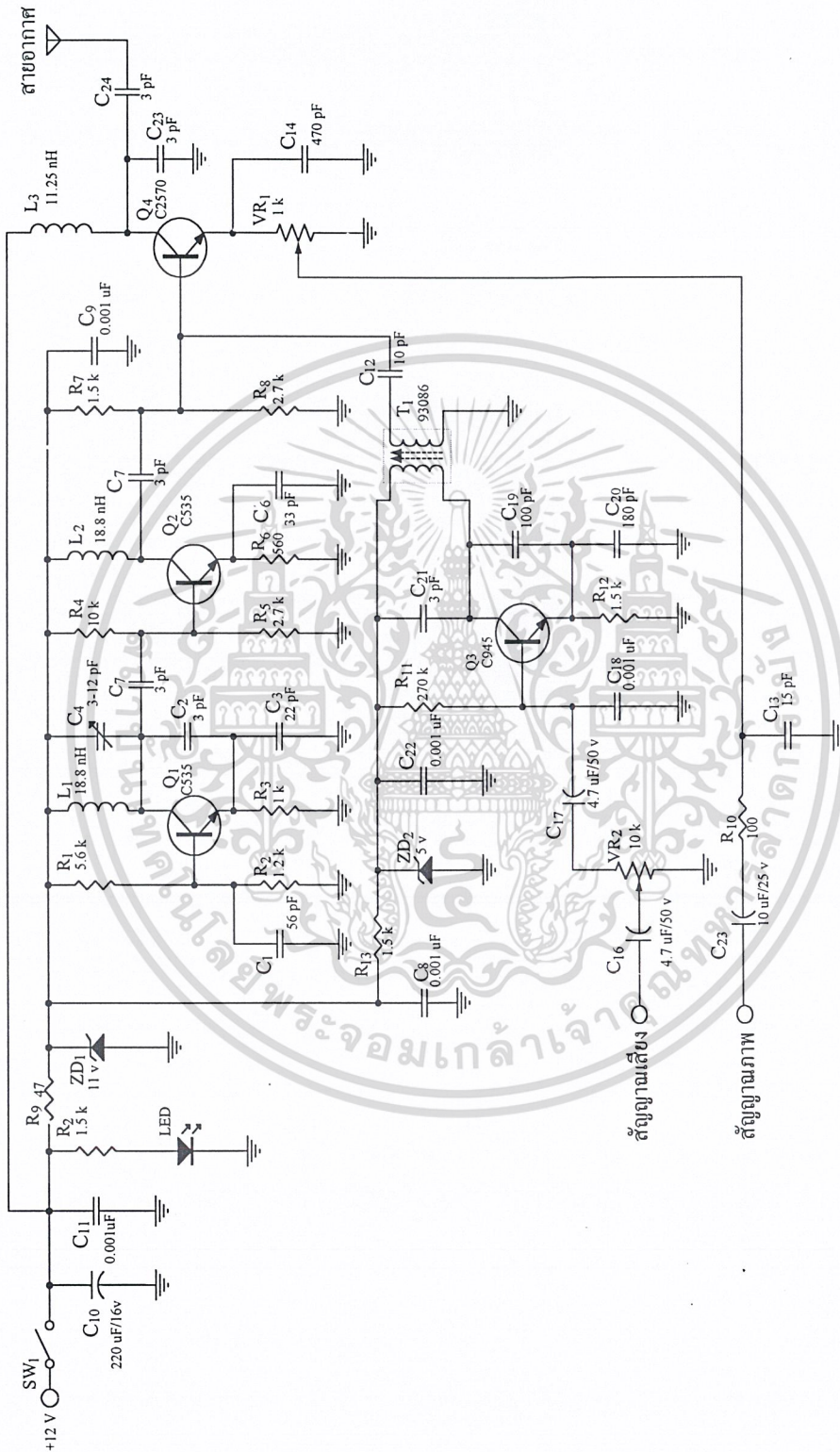
การทำงาน จากวงจรสมบูร์ณของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอตั้งรูปที่ 3.6 ในส่วนของวงจรผลิตความถี่แบบ LC ชนิดกราวด์ – เบสคอลพิทท์ มี L_1 กับทริมเมอร์ C_4 ประกอบกันเป็นวงจรจูนทางเอาต์พุต สำหรับปรับความถี่คลื่นพาห์ภาพให้ได้ตามความต้องการในช่วงความถี่ 90 ถึง 108 เมกะเฮิรตซ์ R_1 , R_2 และ R_3 เป็นตัวไบอัสให้กับ Q_1 โดยมี C_1 ทำหน้าที่ตัดความถี่ที่ขาเบส และ C_2 กับ C_3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน กำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจากคอลเลกเตอร์มายังอิมิตเตอร์ C_3 จึงไม่ใช่ตัวเก็บประจุบายพาสสัญญาณ ดังกรณีทั่วไป

ความถี่ที่ผลิตได้นี้จะถูกส่งไปขยายให้มีความแรงมากขึ้น โดยผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิง C_5 ไปยัง Q_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ R_4 , R_5 และ R_6 เป็นวงจรจัดไบอัสให้กับ Q_2 , C_6 เป็นตัวเก็บประจุบายพาสความถี่ที่ไม่ต้องการลงกราวด์ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่ R_6 สำหรับ L_2 จะเป็นตัวส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจรให้กับ Q_2 ในขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็น RF โช๊คป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟด้วย

สำหรับ ZD_1 เป็นตัวรักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรผลิตความถี่และวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพทางความถี่มากขึ้น โดยมี R_9 เป็นตัวจำกัดกระแส และกรองแรงดันให้เรียบขึ้นด้วย C_8 และ C_9 สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกคัปปลิงผ่าน C_7 ไปยัง Q_4 ที่ต่อเป็นวงจรขยายกำลัง และเป็นวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็มด้วยในขณะเดียวกัน โดยจะถูกลดทอนความแรงด้วยความต้านทาน R_8 เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับสัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามายังขาเบสของ Q_4 เช่นเดียวกัน R_7 และ R_8 เป็นตัวต้านทานไบอัสให้กับ Q_4 , L_3 ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ L_2 และเนื่องจากภาคนี้ต้องการกำลังงานที่สูงกว่าภาคอื่น ๆ แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับภาคนี้ จึงมาจากแหล่งจ่ายไฟหลักโดยตรง โดยมี C_{10} และ C_{11} เป็นตัวกรองกระแส สำหรับสัญญาณภาพที่เข้ามาทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ภาพพร้อมกับสัญญาณเสียงแบบเอเอ็มนั้นจะถูกคัปปลิงและปรับขนาดความแรงของสัญญาณให้เหมาะสมด้วย C_{13} , C_{14} , C_{15} และ R_{10} โดยมี VR_2 เป็นตัวปรับช่วงความถี่เบี่ยงเบน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวีดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มแล้ว จะถูกขับปลั๊งผ่าน T_1 และ C_{12} ไปยังขาเบสของ Q_4 แหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรภาคนี้จะถูกควบคุมให้เป็น 5 โวลต์ โดยซีเนอร์ไดโอด ZD_2 มี R_3 ซึ่งเป็นตัวจำกัดกระแส และกรองให้เรียบไม่ให้มีสัญญาณความถี่สูงปะปนด้วย C_{22} สัญญาณโทรทัศน์สมบูรณ์จากเอาต์พุต Q_4 จะถูกส่งแพร่กระจายออกอากาศทางสายอากาศโดยมี C_{23} และ C_{24} ทำหน้าที่เป็นวงจรปรับความสมดุล ในการส่งสัญญาณกำลังสูงส่วนการส่งสัญญาณกำลังต่ำมี SW_2 เป็นตัวปรับเลือกกำลังเพื่อเชื่อมต่อ C_{25} ให้งานกับ C_{24} เป็นการลดกำลังของสัญญาณเอาต์พุต สำหรับสถานะการทำงานของเครื่องจะแสดงด้วย LED₁ โดยมี R_{14} เป็นตัวจำกัดกระแส

3.2.2 ภาคควบคุมการทำงานระยะไกล

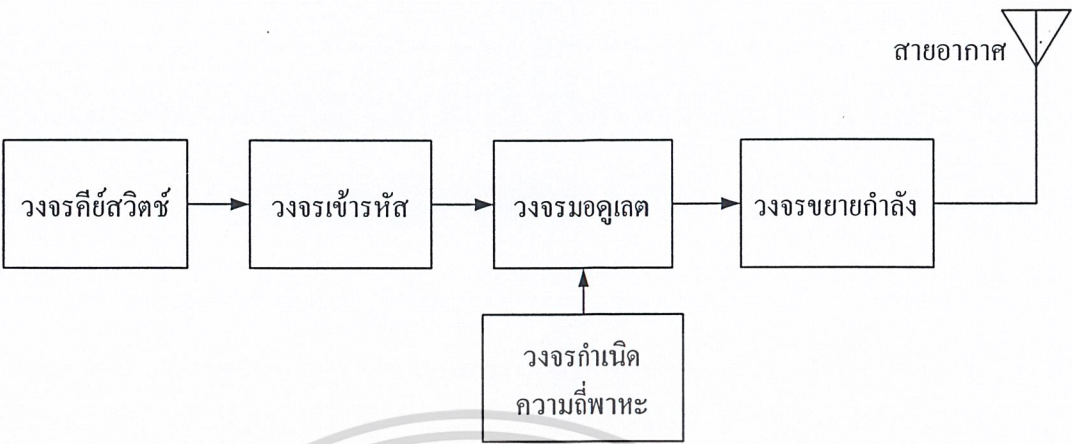
ในส่วนของการควบคุมการทำงานระยะไกลจะใช้วิธีการส่งสัญญาณควบคุมไปพร้อมกับคลื่นพาหะโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์ทั้งสองสัญญาณเข้าด้วยกันแล้วทำการส่งออกให้ทางด้านรับทำการถอดรหัสสัญญาณควบคุมออกมาใช้งาน โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วยวงจรเข้ารหัส วงจรถอดรหัส วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรรับสัญญาณวิทยุ

1) การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานส่วนต่าง ๆ

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ จะประกอบด้วย วงจรเข้ารหัสสัญญาณ ทำหน้าที่ในการเข้ารหัส โดยการแปลงสัญญาณที่ทำการกดจากสวิตช์โดยจะเป็นสัญญาณเลขฐานสิบมีทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ โดยใช้วงจรทำการแปลงสัญญาณเลขฐานสิบ ออกมาให้อยู่ในรูปของรหัสเลขฐานสองและวงจรถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสจากวงจรเข้ารหัสสัญญาณกลับมาอยู่ในรูปรหัสเลขฐานสิบ

การออกแบบวงจรควบคุมแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

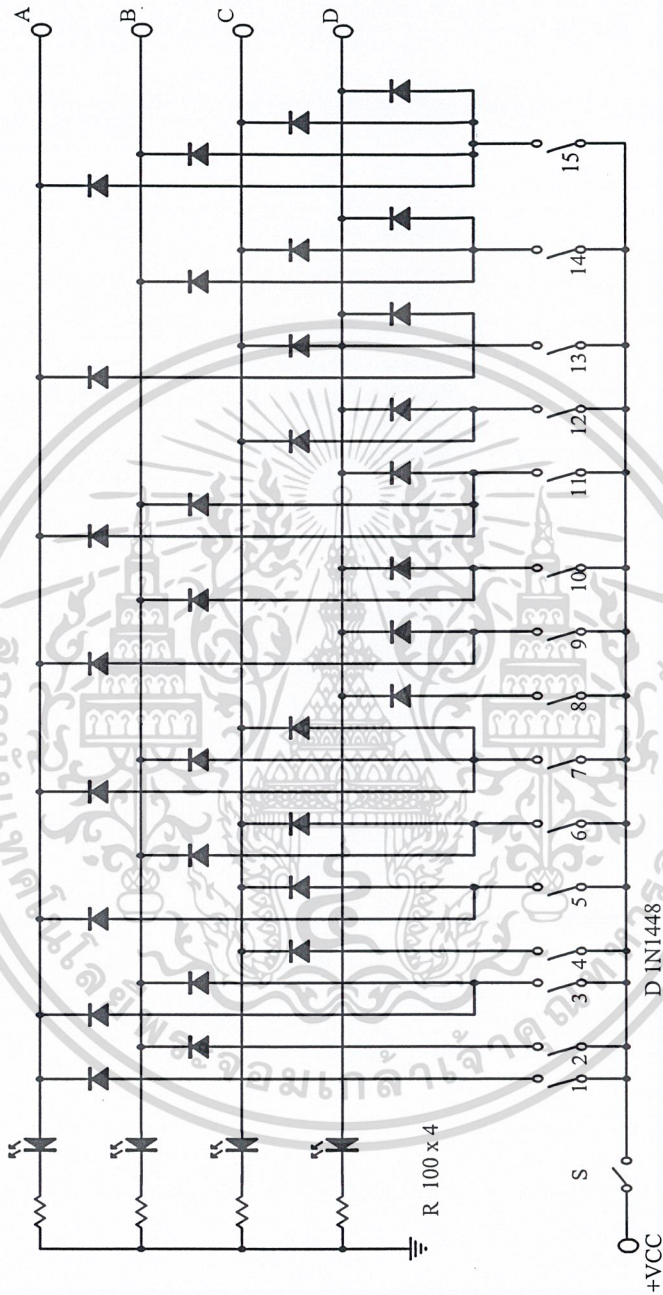
1.1) วงจรควบคุมภาคส่ง วงจรควบคุมภาคส่งจะประกอบไปด้วย วงจรคีย์สวิตช์ วงจรเข้ารหัส วงจรมอดูเลต วงจรขยายกำลัง และวงจรกำเนิดความถี่พาหะ ซึ่งเราสามารถที่จะแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังการทำงานของวงจรควบคุมการส่ง

1.1.1) วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD วงจรคีย์สวิตช์นี้ จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ของแต่ละช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการกดควบคุม เป็นรหัส BCD เพื่อเป็นรหัสในการเข้ารหัสสัญญาณที่วงจรเข้ารหัส ให้เป็นสัญญาณพัลส์ต่อไป

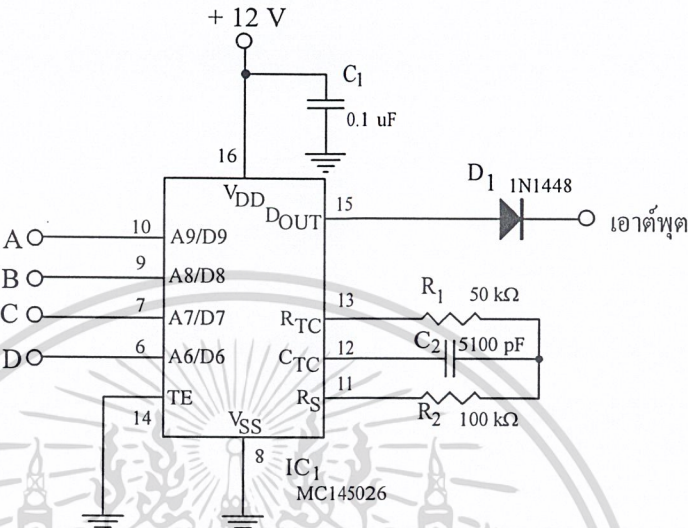
การทำงานของวงจรเมื่อกดสวิตช์ S_1 จากรูปที่ 3.8 ทำให้ที่เอาต์พุต A มีแรงดันไฟ + 12V และที่ LED₁ ก็จะติดสว่าง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นรหัส BCD 0001 และเมื่อกดสวิตช์ S_2 ทำให้ที่เอาต์พุต B มีแรงดันไฟ + 12V ทำให้ LED₂ สว่าง เป็นรหัส BCD 0010 เมื่อกดสวิตช์ S_3 ทำให้ที่เอาต์พุต A และ B มีแรงดันไฟ + 12V และที่ LED₁ กับ LED₂ ก็จะติดสว่าง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นรหัส BCD 0011 และเมื่อกดสวิตช์ S_4 ทำให้เอาต์พุต C มีแรงดันไฟ +12 V และที่ LED₃ ก็จะติดสว่าง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นรหัส BCD 0100 เมื่อทำการกดสวิตช์ S_5 ทำให้ที่เอาต์พุต A และ C มีแรงดันไฟ +12 V ทำให้ LED₁ กับ 3 ติดสว่าง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นรหัส BCD 0101 เมื่อทำการกดสวิตช์ S_6 ทำให้เอาต์พุต B กับ D มีแรงดันไฟ +12 V ทำให้ LED₁ กับ LED₃ ติดสว่าง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นรหัส BCD 0101 เมื่อทำการกดสวิตช์ S_7 ทำให้มีแรงดันไฟ +12 V ที่เอาต์พุต A,B,C และที่ LED 1,2,3 จะติดสว่าง ทำให้ได้รหัส BCD 0111 ในทำนองเดียวกันนั้นเมื่อกดสวิตช์ S_8 ถึง S_{15} ก็จะมีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน กับที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น



รูปที่ 3.8 วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2) วงจรเข้ารหัส วงจรเข้ารหัสนี้ ทำหน้าที่เปลี่ยนจากรหัส BCD เป็นสัญญาณผลลัพธ์ที่เข้ารหัสแล้ว เพื่อส่งไปยังวงจรมอดูเลต



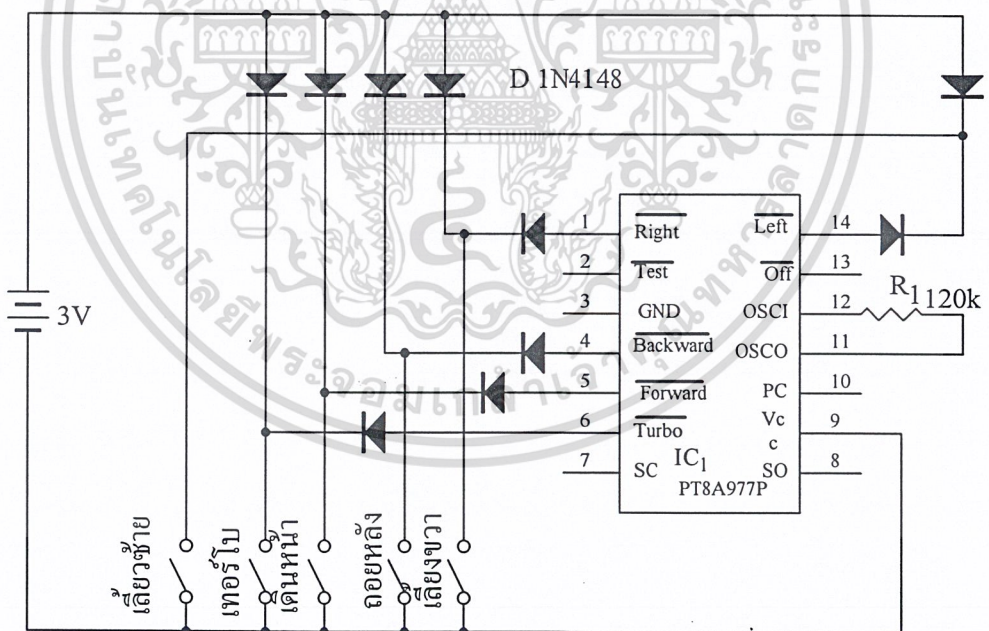
รูปที่ 3.9 วงจรเข้ารหัส

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการเลือกค่าความต้านทานและค่าคาปาซิเตอร์

$f_{osc}(kHz)$	$R_{TC}(k\Omega)$	$C_{TC}(pF)$	$R_S(k\Omega)$	$R_1(k\Omega)$	$C_1(pF)$	$R_2(k\Omega)$	$C_2(pF)$
362	10	120	20	10	470	100	910
181	10	240	20	10	910	100	1800
88.7	10	490	20	10	2000	100	3900
42.6	10	1020	20	10	3900	100	7500
21.5	10	2020	20	10	8200	100	0.015
8.53	10	5100	20	10	0.02	200	0.02
1.71	50	5100	100	50	0.02	200	0.1

การทำงานของวงจรใช้ไอซีเบอร์ MC 145026 เป็นไอซีเข้ารหัสจะรับมาจากวงจรเข้ารหัสฐานสิบรหัส BCD เข้าที่ขา 6, 7, 9, 10 ความต้านทานที่ต่ออยู่กับขา 13, 11 และตัวเก็บประจุที่ติดอยู่กับขา 12 เป็นอุปกรณ์กำหนดอัตราคาบเวลาของรหัสไอซีที่สร้างขึ้น ซึ่งกำหนดจากตารางที่ 3.1 ให้มีความสัมพันธ์กับอัตราคาบเวลาของรหัสทางด้านเครื่องรับ ส่วนขา 14 (TE) เป็นขาที่ใช้ในการกำหนดการส่งข้อมูลที่เอาต์พุต ที่ขา 15 โดยการกำหนด ถ้าลอจิก “1” เป็นการกำหนดการส่งข้อมูลที่ออกเอาต์พุต ถ้าเป็นลอจิก “0” เป็นการส่งข้อมูลออก สัญญาณที่ออกทางขา 15 (D_{out}) เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีควมเวลา

1.1.3) วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรเข้ารหัสนี้ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของรถ ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของไอซีจะมีการออกแบบมาเพื่อการใช้งาน โดยเฉพาะซึ่งจะมีการเข้ารหัสที่เหมือนกับวงจรเข้ารหัสวงจรแรก แต่ที่พิเศษกว่า คือ สามารถยังขับให้การทำงานได้พร้อมกัน เช่น การเดินหน้า พร้อมกับการเลี้ยวซ้ายหรือขวาได้ การทำงานจะใช้ไอซี เบอร์ PT8A977P ในการเข้ารหัส



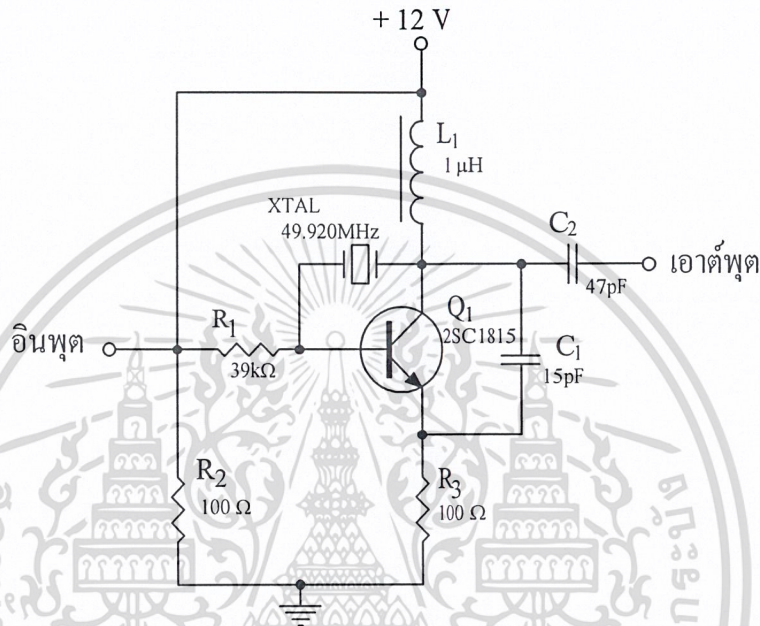
รูปที่ 3.10 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์

ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันการทำงานภายในของไอซี TX-2 (PT8A977P)

ขา	ชื่อขา	การทำงาน
1	Right	ตั้งงานเลี้ยวขวา และจะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
2	Test	ใช้งานในโหมดทดสอบ
3	GND	กราวด์ และไฟเลี้ยง (-)
4	Backward	ตั้งงานถอยหลัง และจะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
5	Forward	ตั้งงานเดินหน้า และจะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
6	Turbo	ตั้งงานเทอร์โบ และจะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
7	SC	เอาต์พุตของสัญญาณที่เอน โก๊ดแล้วพร้อมความถี่พาเกะ
8	SO	เอาต์พุตของสัญญาณที่เอน โก๊ดแล้ว
9	Vcc	ไฟเลี้ยง (+)
10	PC	เพาเวอร์คอนโทรล
11	OSCO	ออสซิสเอาต์พุตเอาต์พุต
12	OSCI	ออสซิสเลเตอร์อินพุต
13	OFF	หยุดการทำงานเพาเวอร์ซัพพลายภายนอก
14	Lef	ตั้งทำงานเลี้ยวซ้าย และจะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์

การทำงานในการบังคับของแต่ละช่องสัญญาณจะต้องป้อน ไฟลบให้กับขาแต่ละขาที่ใช้ในการบังคับ (ขา 1, 4, 5, 14) ส่วนขา 12 และขา 11 เป็นสัญญาณที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณอ้างอิงภายในของไอซีซึ่งขา 11 (OSCO) เป็นขาที่กำเนิดสัญญาณออสซิสเอาต์พุตส่วนขา 12 (OSCI) เป็นขาที่กำเนิดสัญญาณออสซิสเลเตอร์อินพุต ซึ่งภายในวงจรจะต่อความต้านทาน 120 k Ω ต่อเพื่อกำหนดคาบเวลาคงที่ให้กับสัญญาณอ้างอิง ส่วนไดโอดที่ต่ออยู่ที่ขา 1, 4, 5 และขา 14 เป็นการต่อเพื่อป้องกันการไหลของกระแสย้อนกลับไปที่ไอซี เมื่อมีการกดสวิตช์ S_1 (เดินหน้า) หรือสวิตช์ใดก็ตาม สัญญาณที่ขา 8 (SO) เป็นขาเอาต์พุตของสัญญาณที่เข้ารหัสแล้ว สัญญาณที่เกิดจากการกดสวิตช์จะถูกเข้ารหัสกับสัญญาณอ้างอิงโดยจะมีคาบเวลาเป็นช่วง ๆ ต่างกัน ออกที่ขา 8 (SO) ซึ่งเป็นขาเอาต์พุต เพื่อไปทำการมอดูเลตกับวงจรมอดูเลตต่อไป

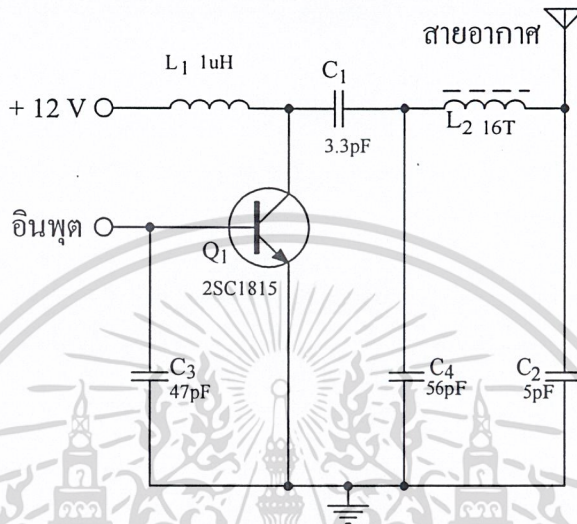
1.1.4) วงจรกำเนิดความถี่พาหะ (Oscillator) เนื่องจากในการส่งสัญญาณที่ทำการเข้ารหัสแล้วไปเพียงสัญญาณเดียวไม่ได้ เนื่องจากจะทำให้การส่งผิดเพี้ยนและส่งได้ไม่ไกล ดังนั้นจะต้องทำการมอดูเลตไปพร้อมกับความถี่พาหะเพื่อให้สามารถส่งไปได้ไกลขึ้น และความผิดเพี้ยนน้อยลง ดังนั้นจึงจะต้องมีวงจรในการกำเนิดความถี่พาหะขึ้นมา



รูปที่ 3.11 วงจรกำเนิดความถี่พาหะ

การทำงานของวงจร จะใช้ XTAL 49.920 MHz เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพที่ดีและความถี่คงที่ไม่ผิดเพี้ยน จากวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1815 ในการขยายสัญญาณ เมื่อป้อนไปให้กับวงจร ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานขยายสัญญาณ 49.920 MHz ที่ต่ออยู่กับขา B และ C และถูกเหนี่ยวนำด้วย L_1 ที่มีค่าเท่ากับ $1\mu\text{H}$ สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกคัปปลิงเพื่อนำไปใช้โดย C_2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตไปยังวงจรมอดูเลตสัญญาณ สัญญาณนี้เป็นความถี่พาหะ 49.920 MHz เพื่อนำไปมอดูเลตเลตกับสัญญาณที่เข้ารหัสจากวงจรเข้ารหัส ส่วน R_3 และ C_1 ต่อไว้เพื่อทำให้วงจรมีการรักษาเสถียรภาพ

1.1.5) วงจรมอดูเลต และวงจรขยายกำลัง วงจรมอดูเลตเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณความถี่พาหะเข้ากับสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วเพื่อขยายแล้วส่งออกอากาศ

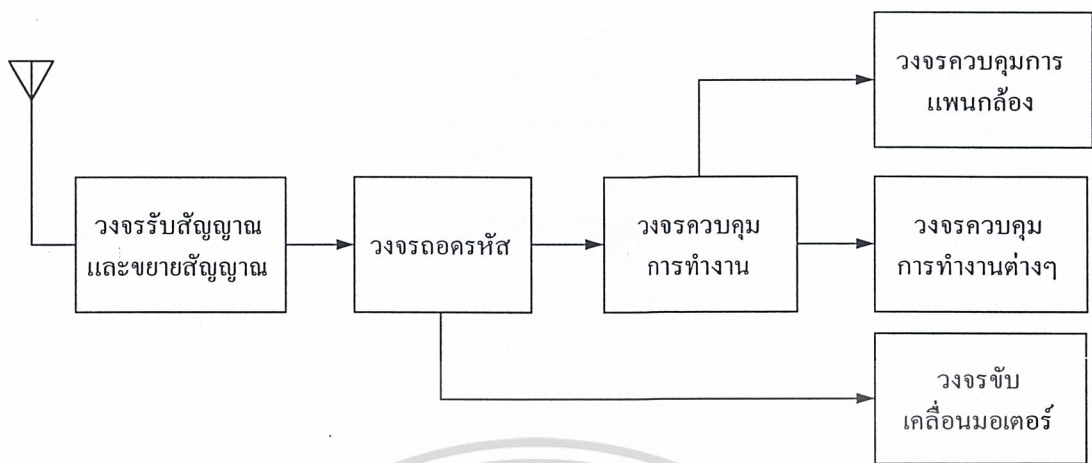


รูปที่ 3.12 วงจรมอดูเลต และวงจรขยายกำลัง

การทำงานของวงจร เนื่องจากวงจรใช้ทรานซิสเตอร์ในการมอดูเลตทำให้สามารถขยายสัญญาณที่นำมอดูเลตไว้ด้วยกัน เมื่อมีสัญญาณจาก C_3 ที่คัปปลิงสัญญาณความถี่พาหะเข้ามาที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ Q_2 จะทำให้ Q_2 ทำงานตามคาบเวลาของความถี่พาหะ เหนี่ยวนำแพร่กระจายออกอากาศโดย L_2 และ L_3 เมื่อมีสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วเข้าทำให้เกิดการรวมกันของสัญญาณความถี่พาหะกับสัญญาณที่เข้ารหัส ทำให้คาบเวลาเปลี่ยนไป ดังนั้นการทำงานของ Q_2 ก็จะเปลี่ยนไปตามคาบเวลาที่เปลี่ยนไป ทำให้สัญญาณที่แพร่ออกอากาศเปลี่ยนแปลงด้วย ตามการมอดูเลตนั่นเอง

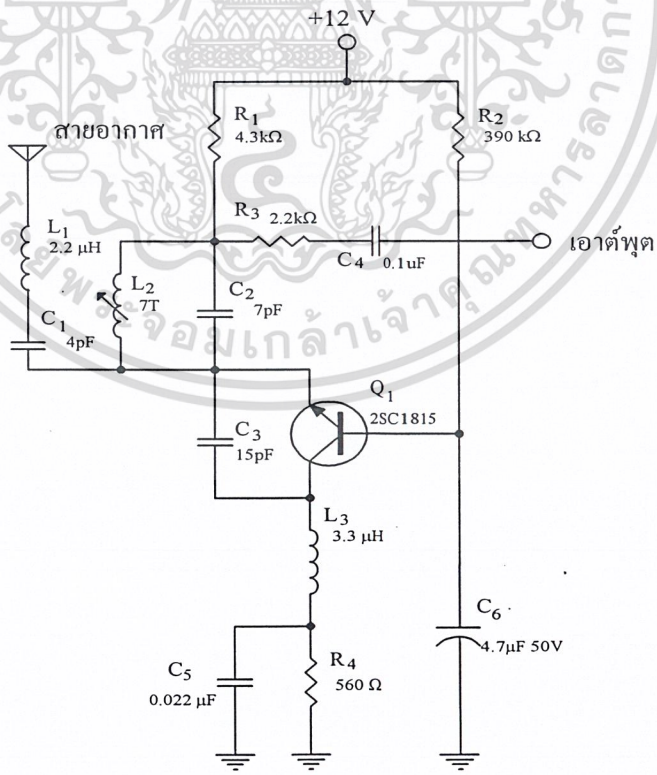
1.2) วงจรส่วนควบคุมภาครับ

วงจรส่วนควบคุมภาครับจะประกอบด้วยวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ เช่น วงจรถอดรหัส วงจรควบคุมการแพนกล้อง วงจรที่ใช้ขับมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ของตัวรถ และวงจรควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันการทำงานของวงจรภาครับ

1.2.1) วงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ (Demodulator) ในการรับสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วมอดูเลตส่งมาด้วยความถี่พาหะจะต้องรับสัญญาณเข้ามาถอดให้เป็นสัญญาณเดิมกลับคืนมาซึ่งเรียกว่าการดีมอดูเลต

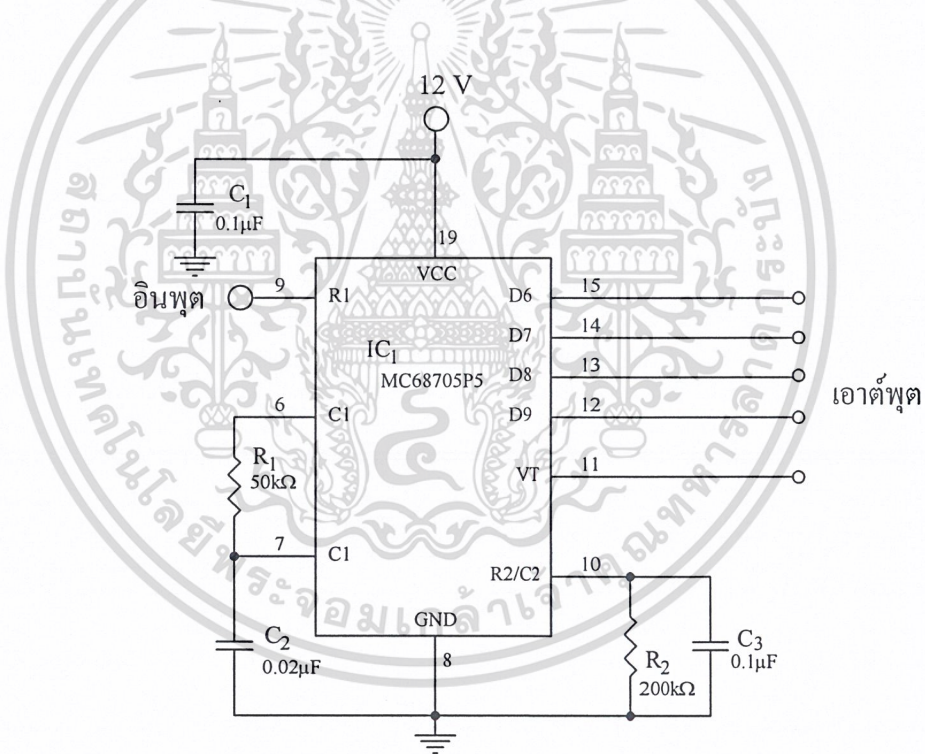


รูปที่ 3.14 วงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร สัญญาณที่แพร่กระจายออกอากาศมา จะรับได้โดยสายอากาศ และถูกเหนี่ยวนำกลับคืนมาโดย L_1 และคัปปลิงสัญญาณกลับคืนมาโดย C_1 เข้ามา โดยสัญญาณที่รับเข้ามาอาจจะไม่ตรง ดังนั้นจะต้องทำการปรับจูน L_2 จนกระทั่งรับสัญญาณได้ชัดเจน สัญญาณที่รับได้จะถูกขยายรวมไปกับแรงดันและถูกขยายโดย Q_1 จะเห็นว่า Q_1 จะถูกส่งไปออสซิลเลตตลอดเวลา ดังนั้นสัญญาณจะถูกขยายอยู่ตลอดเวลาแต่จะเป็นสัญญาณที่ถูกคิมอูลูเลตกลับคืนมาได้จะต้องมีการส่งสัญญาณจากภาคส่งเข้ามา ถ้าไม่มีการส่งสัญญาณ ภาครับก็จะไม่ทำงาน ส่วน L_3, C_3, C_4, R_1 เป็นการต่อเพื่อป้องกันการรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ

1.2.2) วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่าง ๆ วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ เช่นควบคุมการแพนกล้องการทำงานในส่วนต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการขับเคลื่อน ซึ่งจะใช้ควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ โดยจะแยกกับการขับเคลื่อน



รูปที่ 3.15 วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

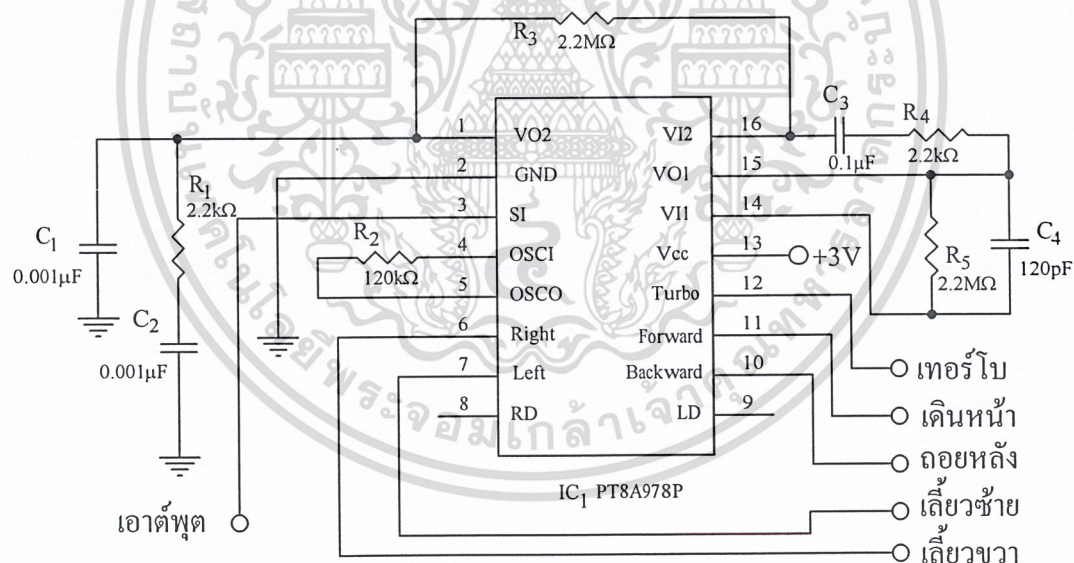
การทำงานจะสอดคล้องกับการเข้ารหัสของวจาในภาคส่งโดยจะใช้ไอซีเบอร์ MC145027 ในการถอดรหัส จากภาคส่งที่ใช้ไอซีเบอร์ MC14502 การทำงานในจะต้องกำหนดคาบเวลาให้สอดคล้องกับไอซี MC145026 โดยกำหนดค่าตามตารางที่ 3.1

โดยการเลือกให้ค่า R_1 และ R_2 , C_1 และ C_2 ให้ตรงกับช่องความถี่ในการเข้ารหัสของไอซีแบบ MC 145026 ที่ 1.71 kHz ดังนั้นค่า $R_1 : 50 \text{ k}$, $R_2 : 200 \text{ kHz}$, $C_1 : 0.02 \text{ } \mu\text{F}$, $C_2 : 0.1 \text{ } \mu\text{F}$ ซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาด

จากวงจรจะเห็นว่าการทำงานต่อจะต่อ R_1 , C_1 ที่ขา 6 กับ ขา 7 และ R_2 , C_2 ที่ขา 10 กับขา 8 เมื่อกำหนดคาบเวลาให้ตรงกับคาบเวลาของภาคส่ง โดยอินพุตจะเข้าที่ขา 9 และถอดรหัสออกมาเป็นรหัส BCD ที่ขา 15, 14, 13, 12 และมาแรงดันป้อนออกที่ขา 11 (VT) เพื่อกระตุ้นให้กับวงจรที่ใช้ถอดรหัส BCD กลับคืนเป็นฐานสิบเหมือนเดิม

เมื่อสัญญาณเข้ามาที่ขา 9 ที่มีคาบและรหัสที่ตรงกันไอซี จะสามารถถอดรหัสได้ออกมาตั้งแต่ 0000-1111 เช่นเดียวกับการเข้ารหัส

1.2.3) วงจรถอดรหัสขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรถอดรหัสขับเคลื่อนมอเตอร์มีไว้ในการบังคับการเคลื่อนที่ของรถ และจะสอดคล้องกับการเข้ารหัสของภาคส่ง ซึ่งจะใช้ไอซีที่มีลักษณะพิเศษในการใช้งานเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ



รูปที่ 3.16 วงจรถอดรหัสขับเคลื่อนมอเตอร์

การทำงานของวงจรจะใช้ไอซี เบอร์ PT8A978P ในการถอดรหัส เมื่อรับสัญญาณที่ขยายเข้ามา โดยแยกไปถอดรหัสของวงจรถอดรหัสควบคุมส่วนต่างๆ ด้วย และส่วนวงจรถอดรหัสนี้ด้วยซึ่งการเข้ารหัสจะต่างกัน สัญญาณจะเข้ามาที่ขา 3 ซึ่งเป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณที่เข้ารหัส และมีสัญญาณอีกส่วนเข้าที่ ขา 16, ขา 15, ขา 14, และขา 1 ซึ่งเป็นขาของอินพุตและเอาต์พุตใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

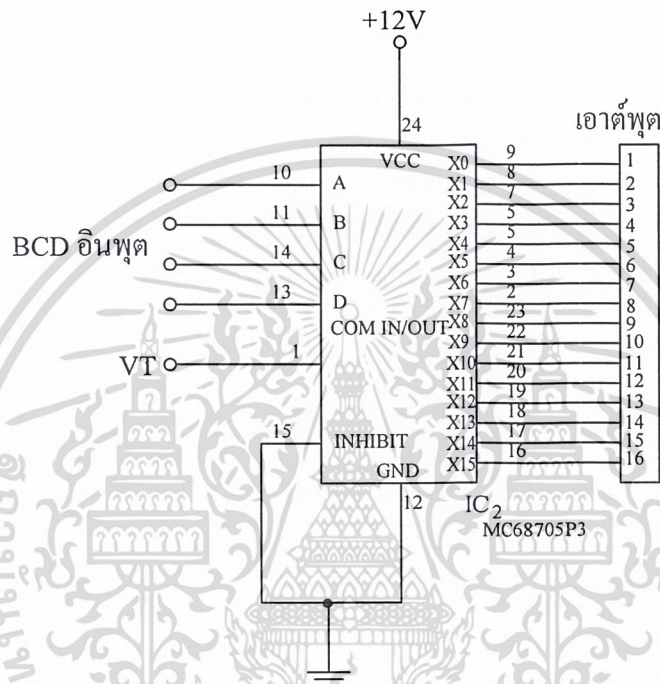
เปรียบเทียบแรงดันและลำดับสัญญาณตามที่ไอซีต้องการ เพื่อให้สามารถถอดรหัสได้ โดยมีสัญญาณอ้างอิงเพื่อตรวจสอบที่กำเนิดขึ้นที่ขา 4 และขา 5 ใช้ในวงจรถอดรหัสด้วย

เมื่อสัญญาณที่รับได้ ตรงกันก็จะทำให้ ไอซีทำงานตามคำสั่งที่รับมาจากภาคส่ง และสั่งให้ทำงานในฟังก์ชันการทำงานส่วนต่างๆ เช่น การเดินหน้า การถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา โดยการป้อนสัญญาณจากเอาต์พุตที่ ขา11 (เดินหน้า), ขา10 (ถอยหลัง), ขา6 (เลี้ยวขวา),ขา7 (เลี้ยวซ้าย) ตามการสั่งงานที่ภาคส่งที่ส่งสัญญาณมา

ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันการทำงานของ PT8A978P

ขา	ชื่อขา	การทำงาน
1	VO 1	เอาต์พุตแอมป์ 2
2	GND	ไฟเลี้ยง (-)
3	SI	ขาอินพุตสำหรับสัญญาณเอนโค้ด
4	OSCI	ออสซิลเลเตอร์อินพุต
5	OSCO	ออสซิลเลเตอร์เอาต์พุต
6	Right	เอาต์พุตเลี้ยวขวา
7	Left	เอาต์พุตเลี้ยวซ้าย
8	RD	คิสเอเบิลการเลี้ยวขวา, จะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
9	LD	คิสเอเบิลการเลี้ยวซ้าย, จะทำงานเมื่อขาถูกต่อลงกราวด์
10	Backward	เอาต์พุตถอยหลัง
11	Forward	เอาต์พุตเดินหน้า
12	Turbo	เอาต์พุตเทอร์โบ
13	Vcc	ไฟเลี้ยง (+)
14	VI 1	อินพุตแอมป์
15	VO 1	เอาต์พุตแอมป์ 1
16	VI 2	อินพุตแอมป์ 2

1.2.4) วงจรควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ วงจรควบคุมการทำงานจะเป็นการรับรหัส BCD จากวงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ แล้วทำการแปลงจากรหัส BCD เป็นฐานสิบ เช่น เพื่อจะนำไปใช้เป็นสวิทช์ในการใช้ควบคุมการทำงานของวงจรแพนกล้องวงจรควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ



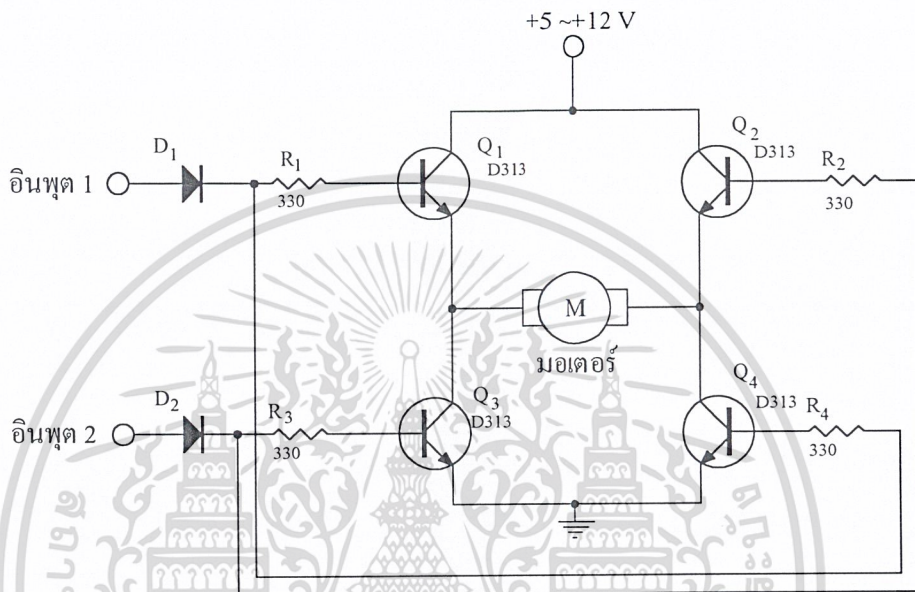
รูปที่ 3.17 วงจรควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

การทำงานของวงจรควบคุมจะใช้ไอซี เบอร์ MC14067B เป็นไอซี 16 Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer ใช้ถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบจำนวน 16 ช่องสัญญาณโดยรับรหัส BCD เข้าที่อินพุต ขา 10, ขา 11, ขา 13 และ ขา 14 จากวงจรถอดรหัส และแรงดันในการกระตุ้นการทำงานจากขา 11 (VT) เข้าที่ขา 1 (COM) คือขาคอมมอนของไอซี ใช้ในการเปลี่ยนช่องสัญญาณของไอซีเมื่อสัญญาณใหม่เข้ามา ส่วนขา 15 เป็นขา INHIBIT เป็นขาอินพุตใช้ในการกำหนดการทำงานของช่องสัญญาณ ถ้าเป็น “0” เมื่อมีรหัส BCD เข้ามาเช่น 0001 เข้ามามีแรงดันกระตุ้นที่ขา 1 ไอซี จะทำการเลือกช่องสัญญาณที่ 1 ที่ ขา 8 มีแรงดันเอาต์พุตประมาณ 8 V ออกมา แต่ถ้าต่อขา 15 เป็น “1” จะไม่มีการทำงาน ดังนั้นในวงจรจึงต่อขา 15 ลงกราวด์อยู่ตลอดเวลา เมื่อมีรหัส BCD เข้ามาตั้งแต่ 0000-1111 ตามลำดับ ไอซีก็จะเลือกช่องสัญญาณตามรหัส BCD ที่เข้ามาตามลำดับ โดยเอาต์พุตก็จะแสดงออกโดย LED จะแสดงผลที่ละช่องสัญญาณ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ภาควงการควบคุมการแพนกลิ้ง VDO

วงจรควบคุมการแพนกลิ้งที่ใช้ในการแพนกลิ้งจาก ช้าย-ขวา, บน-ล่าง ซึ่งจะใช้มอเตอร์ กระแสตรงในการแพนกลิ้ง ดังนั้นวงจรควบคุมการแพนกลิ้งนี้จะใช้วงจรทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขับ มอเตอร์ ช้าย-ขวา จำนวน 2 ชุด



รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมการแพนกลิ้ง

การทำงานของวงจร จะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ D₃₁₃ ในการขับมอเตอร์ซึ่งต่อไว้ดังรูป โดยมี การป้อนไบอัสจากวงจรควบคุมการทำงานป้อนเข้าที่ D₁ และ D₂ ซึ่งการป้อนไบอัสที่ D₂ ผ่านความ ด้านทาน R₃, R₄ เข้าที่ Q₂ และ Q₃ พร้อมกัน เป็นการทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา (หมุนทาง ขวา) และป้อนไบอัสเข้าที่ D₁ ผ่านความต้านทาน R₁, R₂ เข้า Q₁, Q₄ ทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา (หมุนทางซ้าย)

เมื่อมีการป้อนไบอัสเข้าที่ D₁ ทำให้ Q₁, Q₃ ทำงาน พร้อมกันโดย Q₁จะนำกระแสผ่าน ขาคอลเล็กเตอร์มาขาอิมิตเตอร์ ไหลผ่านมอเตอร์เข้าสู่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q₃ ไหลผ่านขาอิมิตเตอร์ ลงกราวด์ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา (หมุนทางขวา) ส่วน การหมุนทางซ้ายก็ให้ป้อนไบอัสให้กับ Q₂, Q₄ ที่ขั้ว D₂ นั้นเอง ก็จะทำงานเช่นเดียวกับการทำงาน ของ Q₁, Q₃

3.3 การสร้าง และการทำงาน

ในส่วนของการสร้างตัวรถนั้น เราจะนำส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ตัวรถตามที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ นั้น จะมีดังนี้

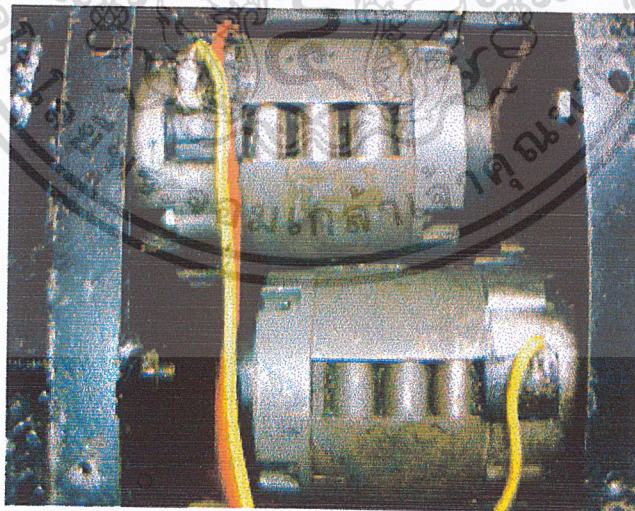
3.3.1 ภาคตัวรถ

ระบบตัวรถได้ถูกออกแบบ และสร้างขึ้นมาโดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญๆ อยู่ทั้งหมด 5 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนของระบบขับเคลื่อนตัวรถ ชุดล้อรถใช้ในการปั่นปายทางต่างระดับ ระบบโซ่คลม และกล่องเก็บลม ระบบชุดแพนกลิ้ง ส่วนสุดท้ายคือ กล่องเก็บของ และกล่องเก็บวงจร

1) ระบบขับเคลื่อนตัวรถ

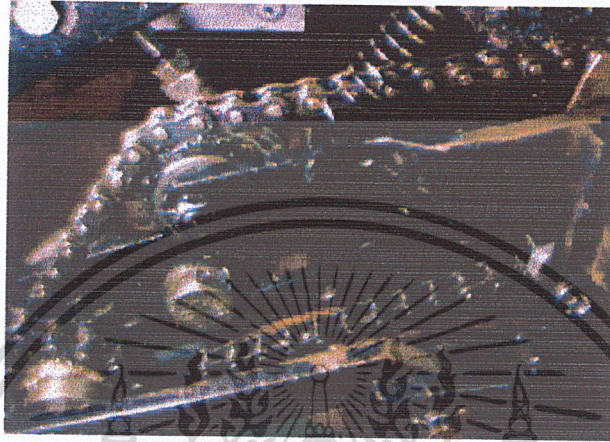
ระบบขับเคลื่อนตัวรถจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, ชุดตึงโซ่, โซ่, ชุดเฟือง, และล้อรถ

1.1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถจะใช้จำนวน 2 ตัว ซึ่งจะต้องมีความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใกล้เคียงกัน และมีความเร็วรอบที่สูง และใช้กับกระแสสูงๆ ได้ เพื่อให้ตัวรถสามารถขับเคลื่อนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.2) ชุดtringโซ่ การtringโซ่สามารถทำได้โดยการใช้เฟืองโซ่เบอร์ 13 จำนวน 2 ตัว มาทำเป็นชุดtringโซ่ทั้ง 2 ข้างโดย ใช้เฟืองโซ่เบอร์ 13 จำนวนข้างละ 1 ตัว โดยที่ใช้สปริงเป็นตัวคึงชุดเฟืองโซ่ให้tringอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าชุดล้อปีนจะเคลื่อนที่ขึ้นลงก็ตาม จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ชุดtring

1.3) โซ โซ่ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถจะใช้โซ่ที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้เข้ากับฟันของเฟืองได้ จะใช้โซ่ที่มีขนาดเล็กให้เข้ากับฟันเฟืองได้ โดยจะใช้โซ่จำนวนข้างละ 3 เส้น ในการขับเคลื่อนแต่ละข้าง รวมสองข้างเป็นจำนวน 6 เส้น ในการขับเคลื่อนตัวรถ ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 โซ่ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4) ชุดเฟือง ชุดเฟืองที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถนั้นจะประกอบไปด้วย ชุดเฟืองที่ติดตั้งกับมอเตอร์และชุดเฟืองที่ติดตั้งกับโซ่ โดยที่ชุดเฟืองที่ติดตั้งกับมอเตอร์แต่ละข้างจะประกอบไปด้วยเฟืองทั้งหมด 6 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ทดรอบของมอเตอร์ที่มีจำนวนรอบ/นาทิจึงสูงสุดประมาณ 4,000 รอบ/นาทิจึงให้มีอัตราทดเฟืองเหลือประมาณ 1,500 รอบ/นาทิจึงอัตราทดเฟืองจะอยู่ที่ 3:1 โดยประมาณ และจากการคำนวณโดยให้มอเตอร์หมุน โดยอิสระไม่มีการรับน้ำหนัก โดยใช้ล้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตรจะถึงความเร็วรอบประมาณ 34 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการทำชุดเฟืองขึ้นมาเพื่อทดรอบมอเตอร์เพื่อต้องการทดรอบมอเตอร์ให้น้อยลง เพื่อให้ได้ความเร็วที่เหมาะสมตามที่เรำต้องการ และเป็นการเพิ่มแรงบิดให้สูงมากขึ้นไปอีกด้วย ส่วนชุดเฟืองที่ติดกับโซ่ในระบบขับเคลื่อนที่ไม่รวมกับระบบดึงโซ่จะใช้งานเฟืองข้างละ 6 ตัว รวมสองข้าง 12 ตัว ในการยึดติดกับโซ่นั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ชุดเฟือง

1.5) ล้อรถ ล้อรถที่จะใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถโดยที่ยังไม่รวมชุดล้อปีนจะใช้ทั้งหมดเป็นจำนวน 4 ล้อ โดยใช้ข้างละ 2 ล้อ ซึ่งล้อจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.23

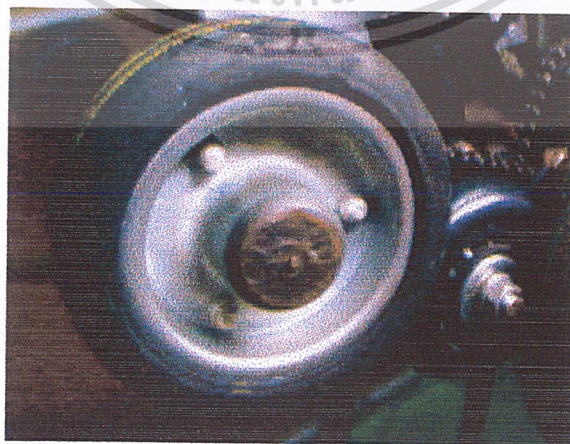


รูปที่ 3.23 ล้อรถที่ใช้ในการขับเคลื่อน

2) ชุดล้อรถใช้ในการป็นทางต่างระดับ

ชุดล้อป็นจะประกอบไปด้วยล้อที่สำคัญ 2 ล้อ คือ ล้อที่ใช้ในการช่วยป็น และล้อหมุนอิสระ ซึ่งจะทำหน้าที่ลดช่องว่างระหว่างล้อหน้ากับล้อป็น เพื่อให้การทำงานขณะป็นเป็นไปด้วยความราบรื่น ไม่สะดุดกับพื้นที่ป็น ล้อป็นและล้ออิสระสามารถปรับระยะความห่างให้เหมาะสมได้ โดยการเลื่อนแกนยึดของล้อได้ตามที่เราต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับการป็น

ชุดป็นยังสามารถปรับมุมในการป็นได้โดยสามารถปรับให้เหมาะสมกับความสูงของสิ่งกีดขวางที่จะป็น และยึดให้แน่นด้วยน็อต สำหรับระบบการส่งกำลังของชุดป็นจะใช้โซ่และเฟืองเบอร์ 13 ซึ่งต่อมาจากล้อหน้า ทำหน้าที่ส่งกำลังมายังล้อป็น ทำให้การหมุนมีความสัมพันธ์กับล้อหน้าโดยจะหมุนไปพร้อมๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ชุดล้อรถใช้ในการป็นทางต่างระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ระบบไช้กลม และกล่องเก็บลม

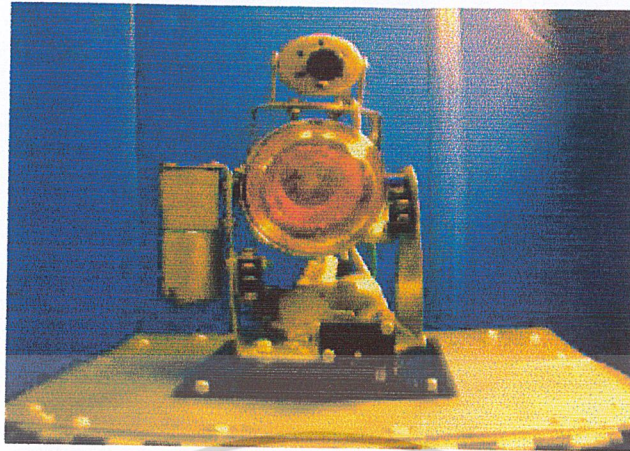
ไช้กลมที่ใช้จะติดตั้งที่ชุดล้อป็นข้างละ 1 อัน เพื่อทำหน้าที่แทนไช้คสปริงในการรับน้ำหนัก และปรับความยืดหยุ่นของล้อหน้าขณะที่ตัวรถทำการป็น โดยลมที่ใช้ในการดันไช้จะถูกเก็บอยู่ในกล่องลมซึ่งเป็นกล่องเหล็ก 4 เหลี่ยมมีที่จ่ายลม 2 ช่องทาง ให้ไช้แต่ละตัว ซึ่งสามารถเติมลมหรือปล่อยลมออกเพื่อให้ไช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยขณะที่ตัวรถทำการป็นไม่ควรจะให้ไช้แข็งหรืออ่อนเกินไป เพราะจะทำให้การป็นทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งระยะ ไช้และกล่องเก็บลมจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ระบบ ไช้กลม และ กล่องเก็บลม

4) ระบบชุดแพนกล้อง

ระบบชุดแพนกล้องจะประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ทำการทอรอบแล้วจำนวน 2 ตัว ซึ่งจะใช้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์และกล้องวงจรปิดจำนวน 1 ตัว โดยที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละตัวจะทำหน้าที่แพนกล้องต่างกัน โดยที่ตัวที่ 1 จะทำการแพนกล้องในลักษณะหมุนรอบทิศทาง 360 องศาในแนวนอน ส่วนตัวที่ 2 จะทำการแพนกล้องในลักษณะขึ้นลง 180 องศาในแนวตั้ง ซึ่งจะมีลักษณะดังรูป 3.26

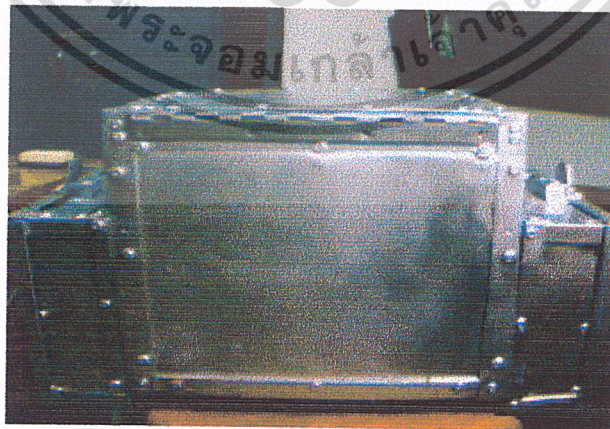


รูปที่ 3.26 ระบบชุดเพนกล้อง

5) ก่อตั้งเก็บของ และก่อตั้งเก็บวงจร

5.1) ก่อตั้งเก็บวงจร เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บวงจรที่ใช้ในการควบคุมการขับเคลื่อนตัวรถ วงจรควบคุมการเพนกล้อง และวงจรรับ-ส่งสัญญาณภาพ และเสียง เป็นส่วนที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก จึงสร้างจากอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการวางตำแหน่งจะวางไว้รอบๆ ก่อตั้งเก็บของ

5.2) ก่อตั้งเก็บของ ก่อตั้งเก็บของเป็นกล่องที่ออกแบบให้เก็บของที่มีขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร และมีความสูง 25 เซนติเมตร ซึ่งทำจากอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรง และวางอยู่บนฐานที่มั่นคงแข็งแรง เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัมได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ก่อตั้งเก็บของ และก่อตั้งเก็บวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลของการทดลองของวงจรในภาคต่างๆ ของปริยญา นิพนธ์นี้ว่า วงจรทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยการใช้เครื่องมือทำการทดสอบผลการ ทำงานในแต่ละภาคของวงจรที่ได้สร้างขึ้น

4.2 การทดลองวงจร

การทดสอบการทำงานของรศำรจควคุมด้วยควมถึวญจะทำการทดสอบวงจรของแต่ ละภาคแต่ละวงจร ดังนี้

4.2.1 การทดลองภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF

การทดสอบการทำงานของวงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

- 1) สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงที่ได้จากกล้องวิดีโอ
- 2) วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณโทรทัศน์
- 3) วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้
- 4) วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม
- 5) วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม

- 1) สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงที่ได้จากกล้องวิดีโอ

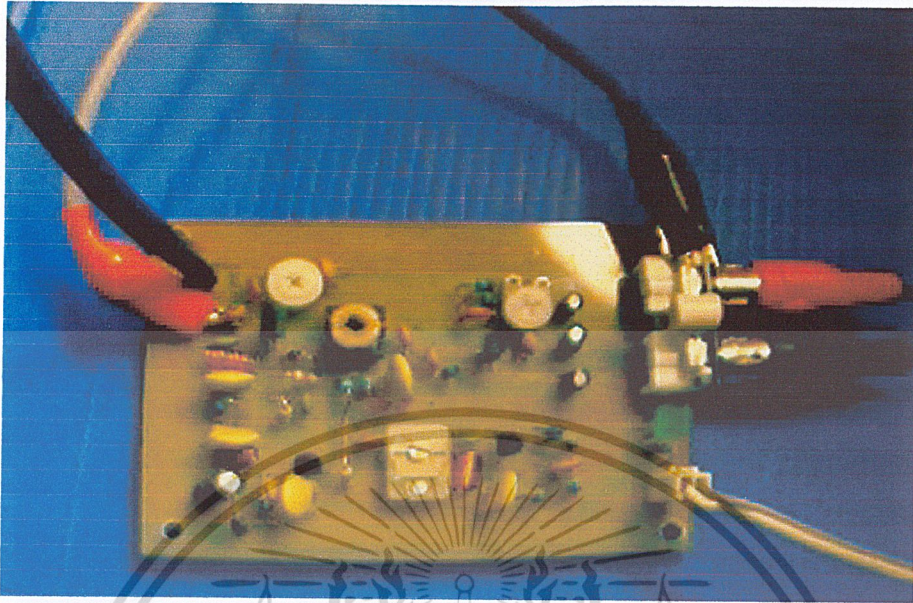
ขั้นตอนการทดสอบ

- 1.1) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับกล้องวิดีโอดังรูปที่ 4.1

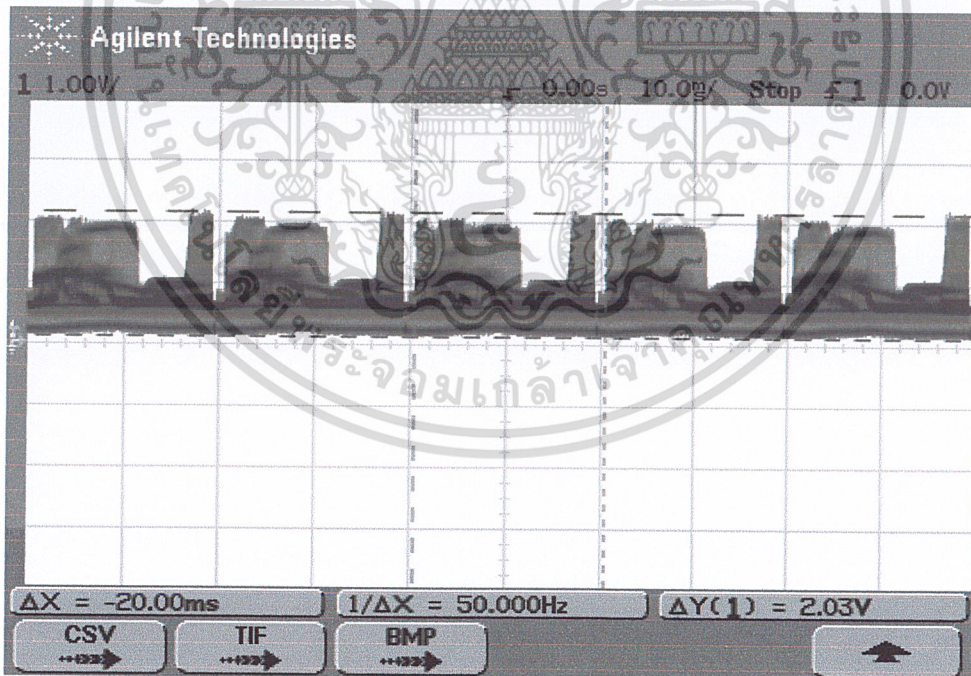
- 1.2) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณภาพ และเสียงที่ออกมาจากกล้องวิดีโอ

ผลการทดลอง

จากการทดสอบสามารถวัดสัญญาณที่ออกมาจากกล้องวิดีโอ ได้สัญญาณภาพดังรูปที่ 4.2 และได้สัญญาณเสียงดังรูปที่ 4.3

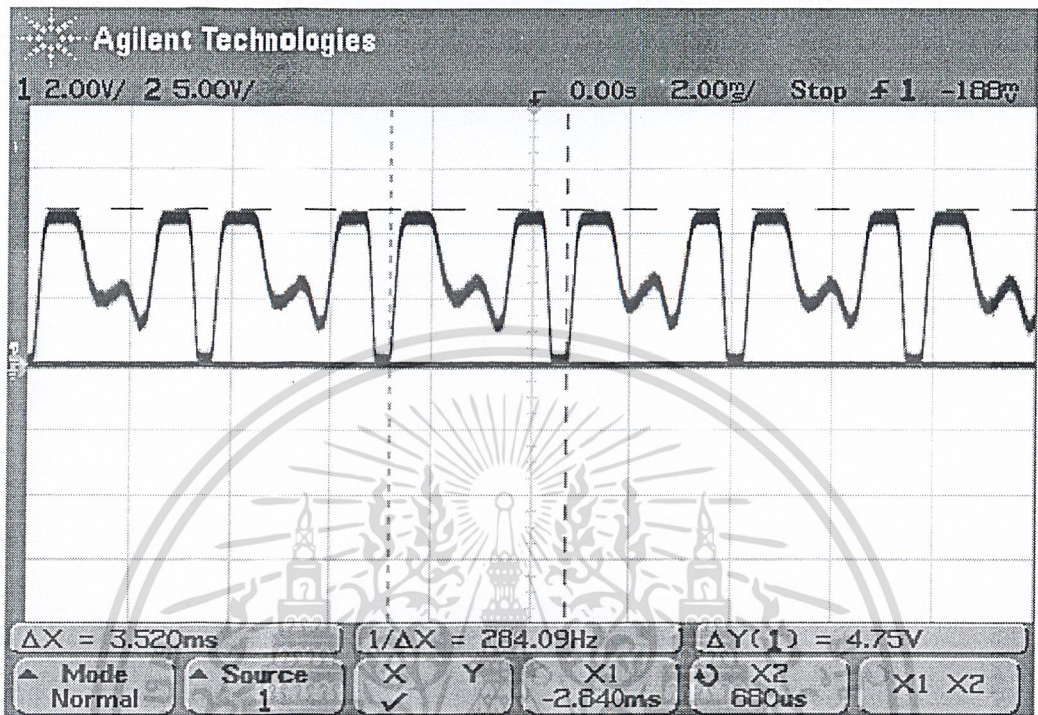


รูปที่ 4.1 การต่อแรงดันไฟฟ้า และจุดวัดสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.2 สัญญาณภาพที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



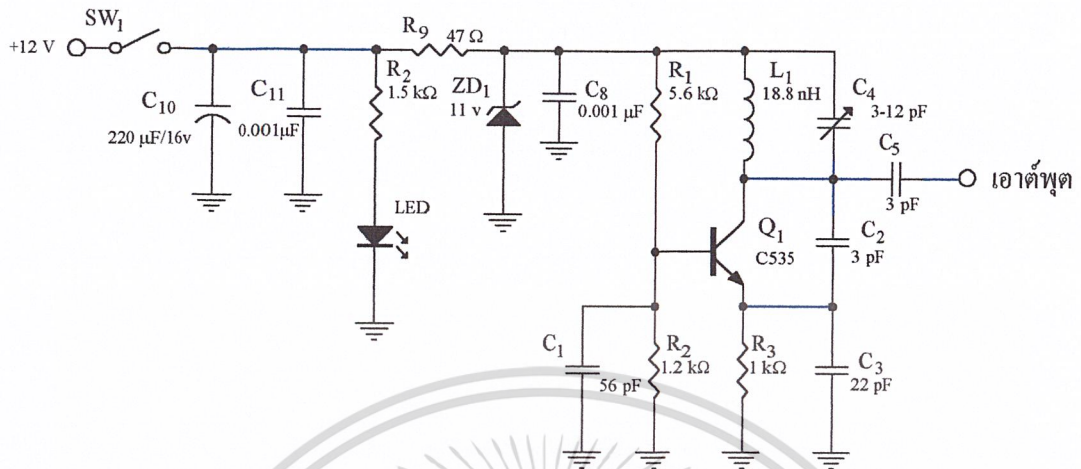
รูปที่ 4.3 สัญญาณเสียงที่วัดได้

2) วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณโทรทัศน์

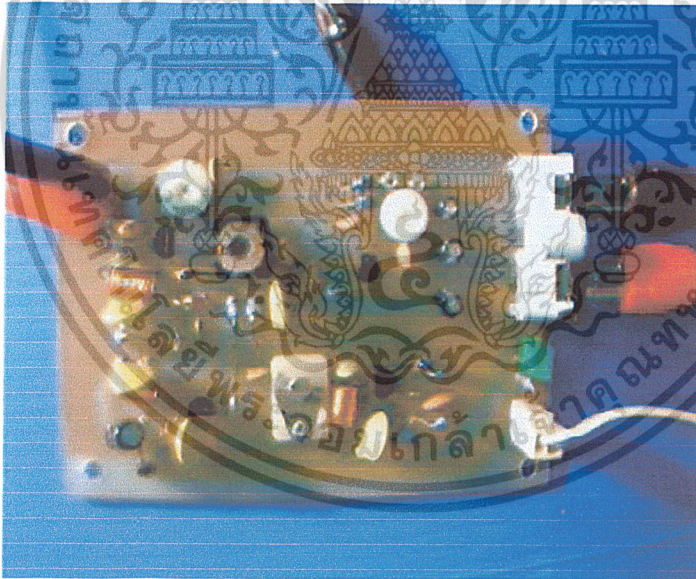
ขั้นตอนการทดลอง

- 2.1) ปลดขาของ C_3 ออกจากวงจรจากรูปที่ 4.4 เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนทางความถี่ของวงจรอื่น
- 2.2) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจรดังรูปที่ 4.4
- 2.3) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุตของวงจร
- 2.4) ปรับค่าความจุของทรินเมอร์ C_4 และขดลวด L_1 เพื่อเลือกจูนความถี่ให้สัญญาณสูงสุดและอยู่ในช่วงความถี่ใช้งาน
- 2.5) ต่อขา C_3 เข้าตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

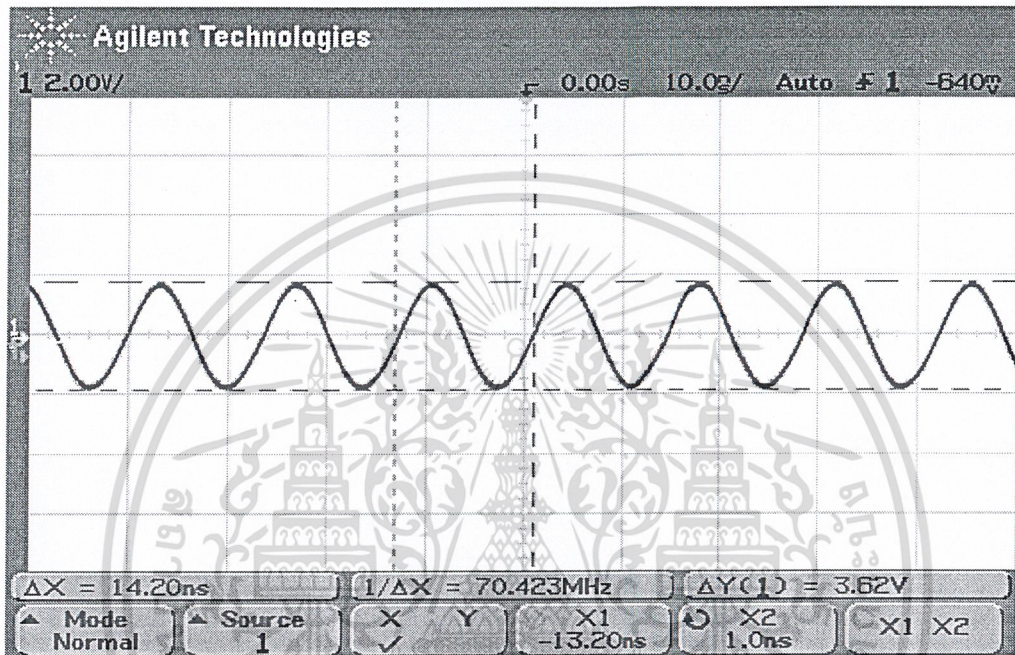


รูปที่ 4.5 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดสอบวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ที่ปรากฏ สัญญาณที่ถูกผลิตออกมาหลายๆ ความถี่ ซึ่งมีความถี่ที่มีขนาดของสัญญาณสูงสุดค่าหนึ่ง คือ ดังรูปที่ 4.6

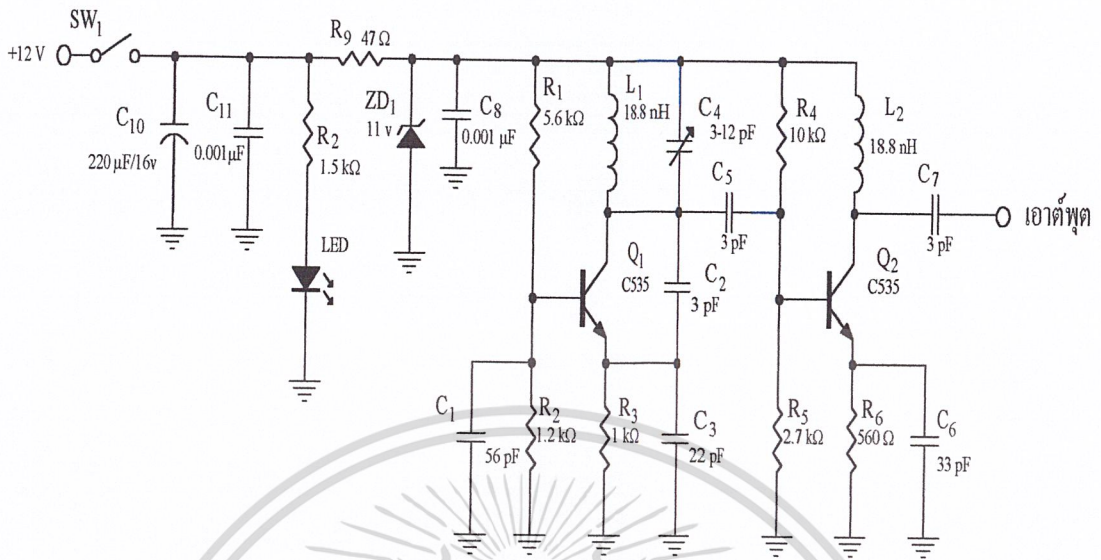


รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์

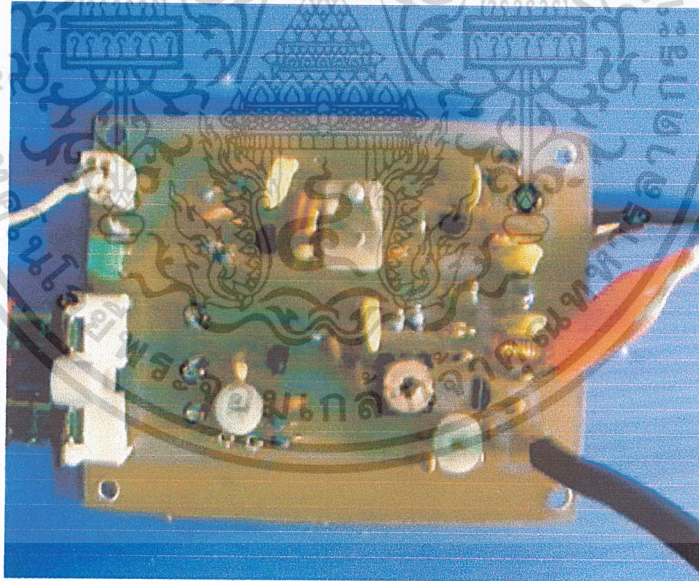
3) วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 ปลดขา C_7 ออกเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนทางความถี่ของวงจรอื่น
- 2) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับวงจร
- 3) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต จะได้สัญญาณที่ขยายสูงสุดเป็นความถี่ใช้งาน (ต้องปรับ L_2 ช่วย)
- 4) ทำการต่อ C_2 เข้าตำแหน่งเดิม



รูปที่ 4.7 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

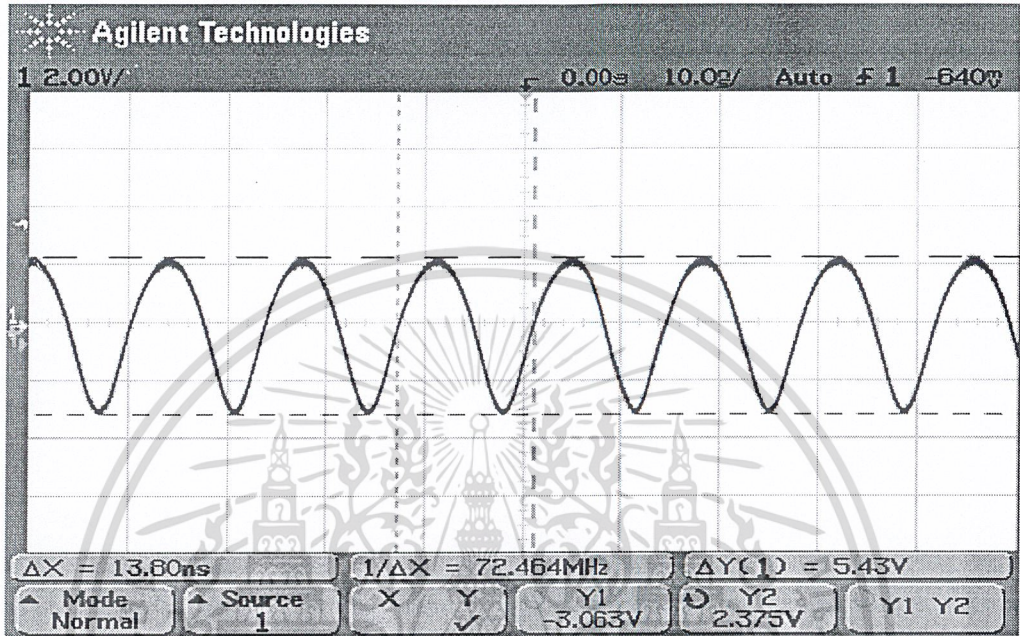


รูปที่ 4.8 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

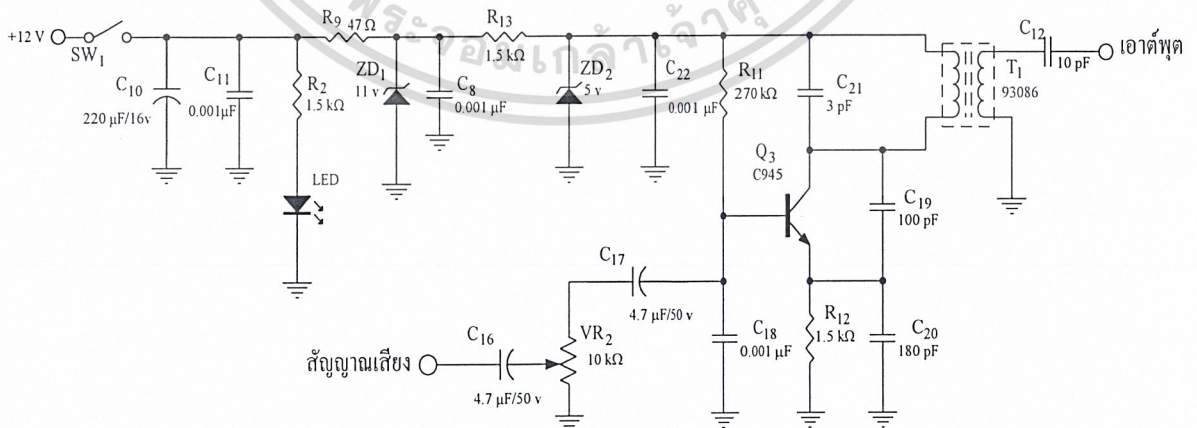
ผลการทดลอง

จากการทดสอบสัญญาณคลื่นพาห้จะถูกนำมาขยายให้มีขนาดของกำลังสูงสุดดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้

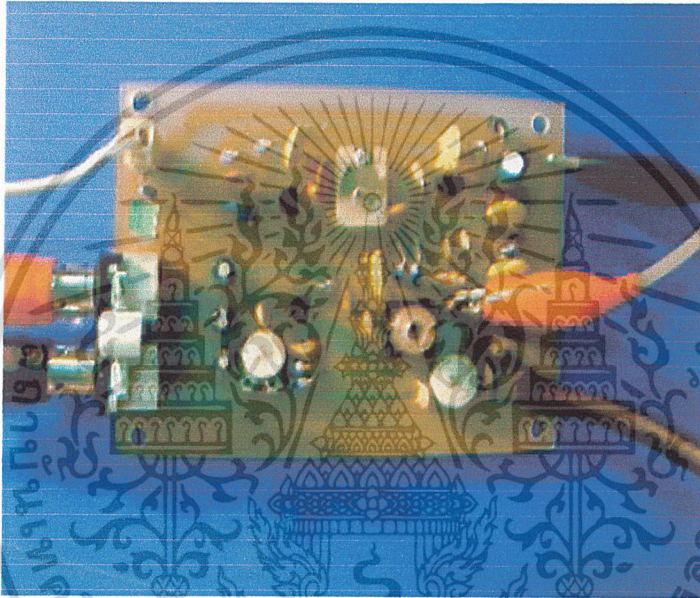
4) วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม
ขั้นการทดลอง



รูปที่ 4.10 วงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

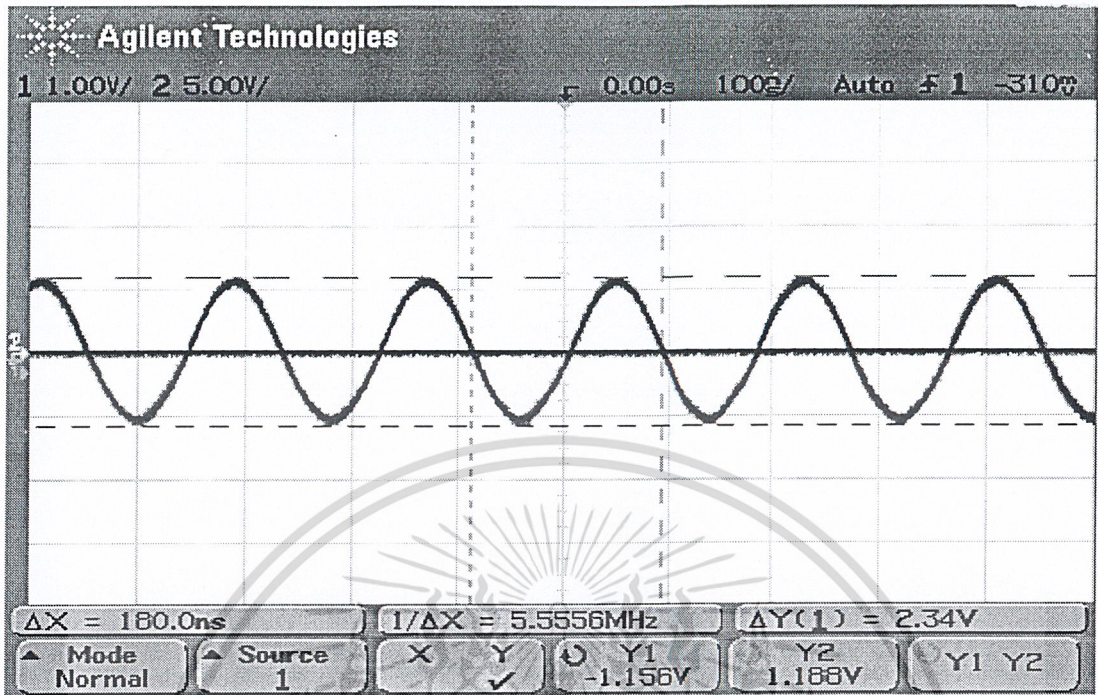
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) จากรูปที่ 4.10 ปลดขา C_{12} เพื่อไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์เข้ามารบกวนสัญญาณเสียง
- 2) ใช้ตัวกำเนิดความถี่ที่ 1 kHz ป้อนที่จุดสัญญาณเสียง
- 3) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุดเอาต์พุต
- 4) ปรับ T_1 ให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณความถี่วิทยุแบบเอฟเอ็ม คือ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์
- 5) ต่อ C_{12} เข้าตำแหน่งเดิม

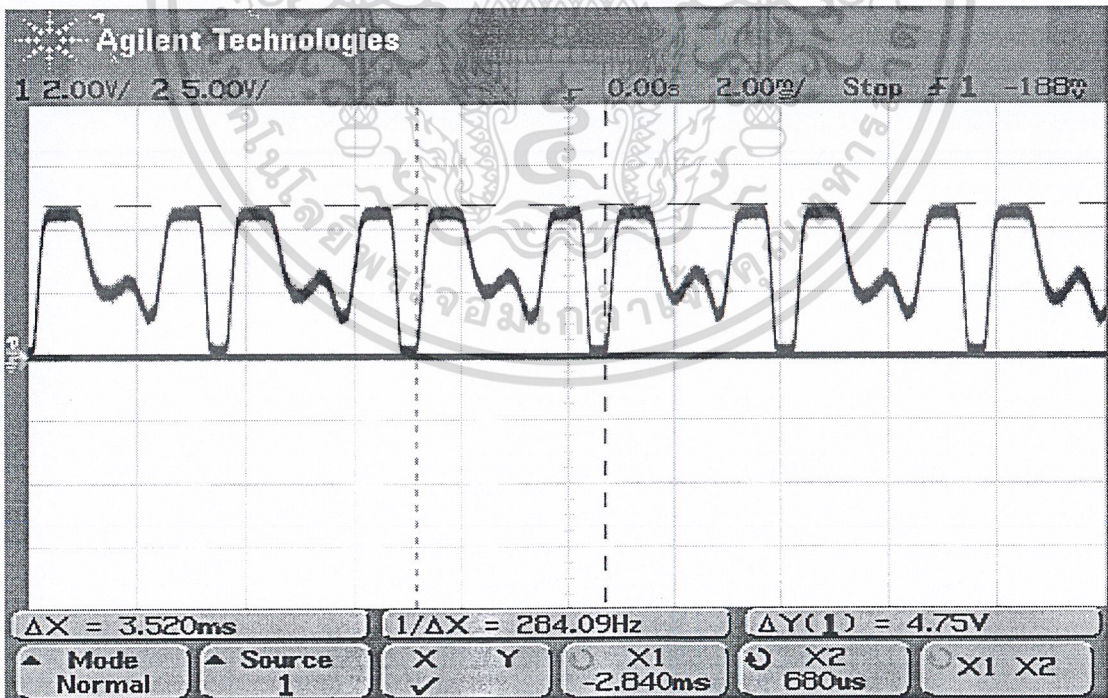


รูปที่ 4.11 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

ผลการทดลอง จากการทดสอบวงจรผลิตความถี่แบบ VCO และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ซึ่งวงจรผลิตความถี่แบบ VCO จะผลิตความถี่คลื่นพาห์ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อมามอดูเลตกับสัญญาณอินพุตโดยรูปที่ 4.12 ปรับ Time/div = 0.5 ms และรูปที่ 4.13 ปรับ Time/Div = 0.5 μ s เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณอินพุต และสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 4.12 สัญญาณอินพุต



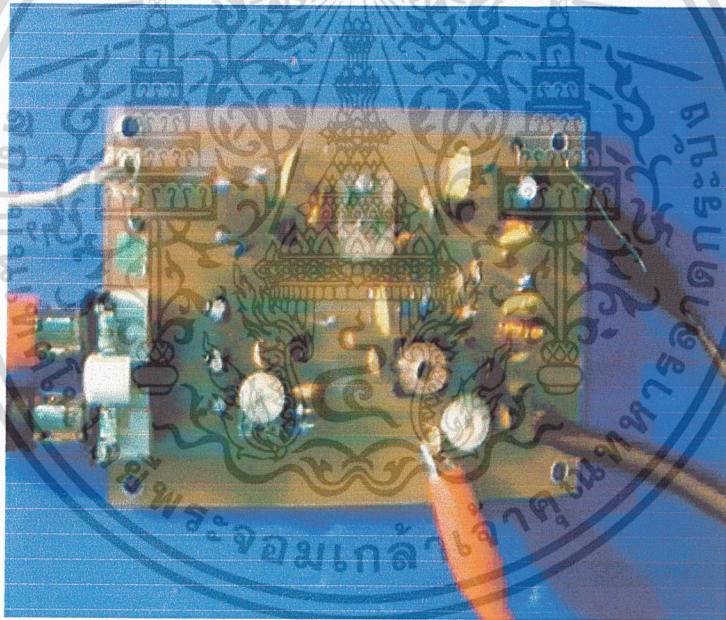
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

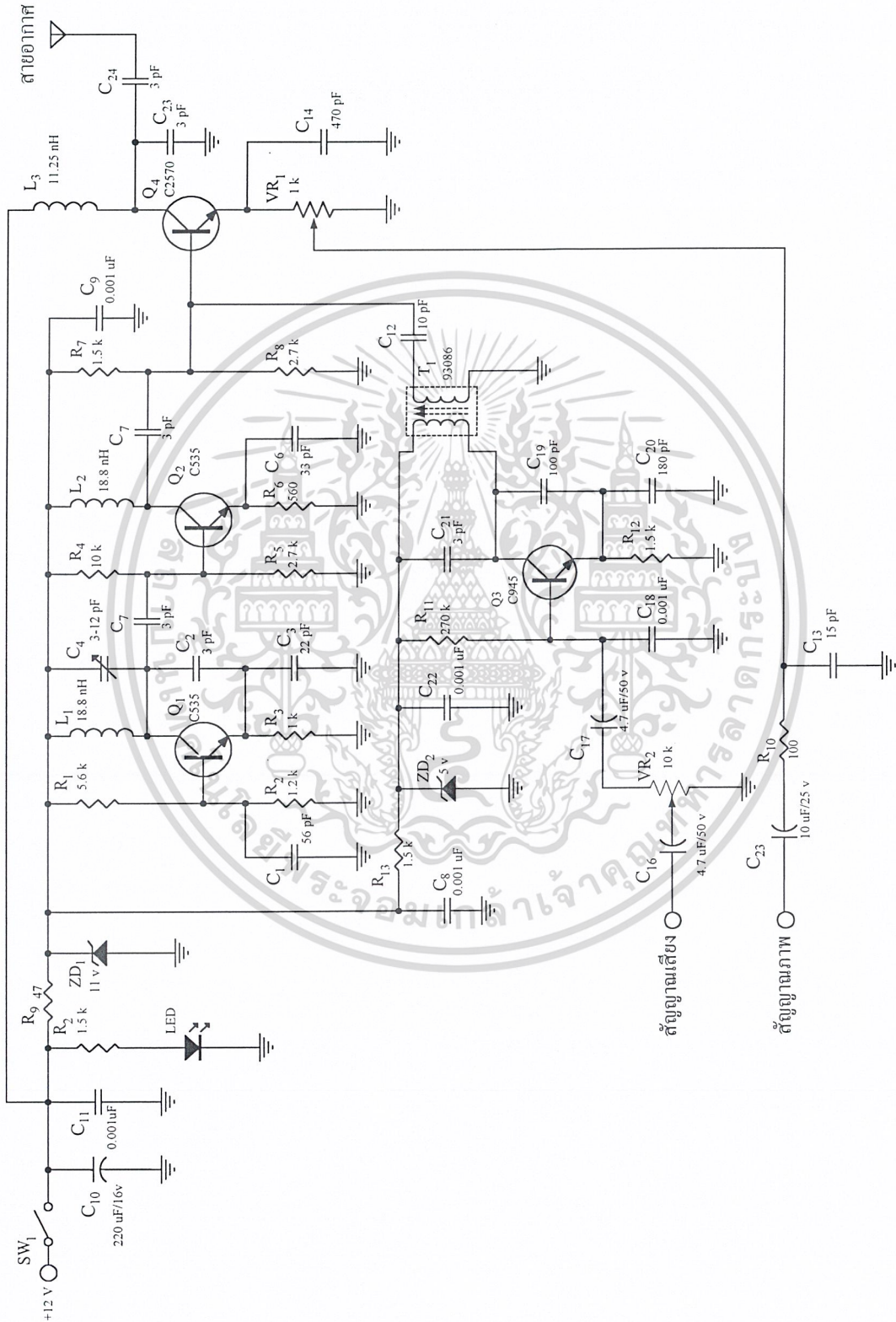
5) วงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) จากรูปที่ 4.15 ป้อนสัญญาณภาพเข้าที่จุดอินพุตของภาพ และสัญญาณเสียงเข้าที่จุดอินพุตของเสียง
- 2) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับวงจร
- 3) ปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ทั้งสองตัวให้ได้สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงชัดเจนที่สุด
- 4) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ C_{24} ก่อนส่งออกสายอากาศจะได้สัญญาณที่มีความแรงสูงสุดและเป็นความถี่ที่ใช้งานอยู่ในย่าน VHF (ปรับ L_3 ช่วย)



รูปที่ 4.14 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

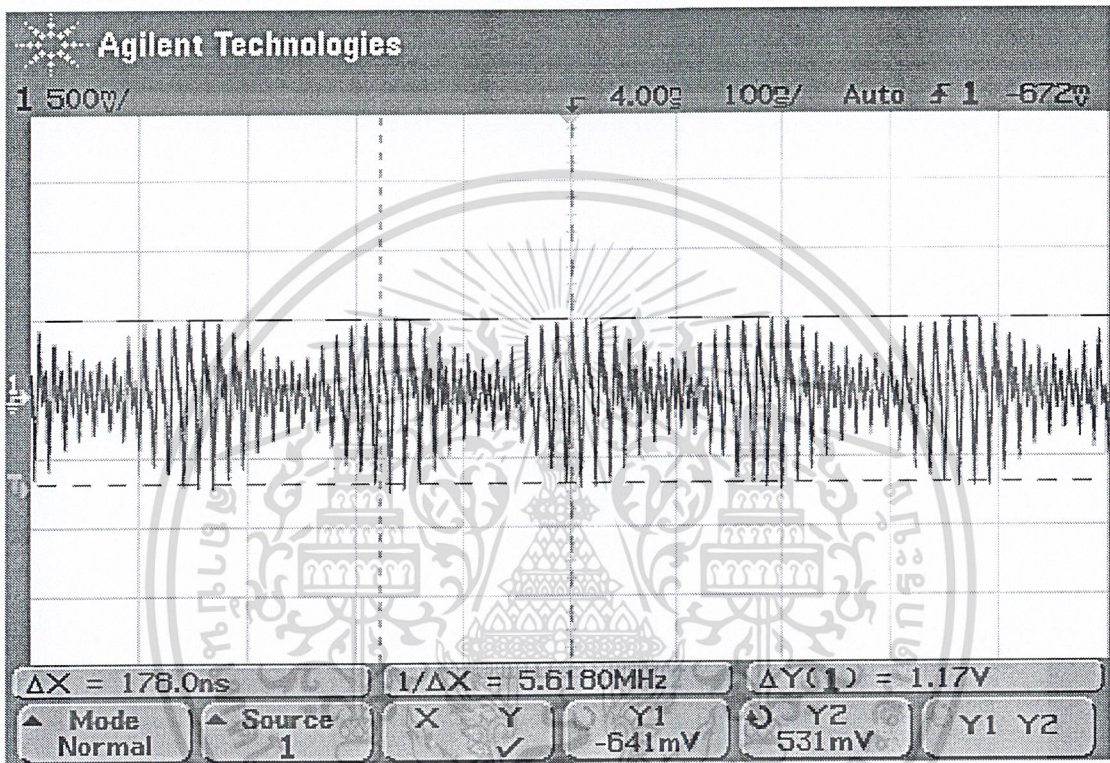


รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณคลื่นพาห้ที่ความถี่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซึ่งถูกขยายให้มีความแรงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายกำลัง และวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

6) ระยะเวลาของการส่งสัญญาณ A/V

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) จากรูปที่ 4.15 ต่อสัญญาณภาพเขาที่อินพุตภาพ สัญญาณเสียงเข้าอินพุตเสียง
- 2) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ ให้กับเครื่องส่งสัญญาณ A/V
- 3) เปิดสวิตช์วงจรเครื่องส่งสัญญาณ A/V และเครื่องรับโทรทัศน์
- 4) จูนความถี่ของเครื่องรับโทรทัศน์ให้รับสัญญาณได้ชัดเจนที่สุด
- 5) สังเกตภาพ และเสียงที่ได้จากเครื่องรับโทรทัศน์ โดยจะเพิ่มระยะทางในการส่งขึ้นตาม

ตารางที่ 4.1

ผลการทดลอง

จากการทดสอบโดยทำการเพิ่มระยะทางในการส่งสัญญาณตามตารางที่ 4.1 โดยทำการสังเกตภาพ และเสียงที่รับได้จากเครื่องรับโทรทัศน์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ระยะทางในการส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียง

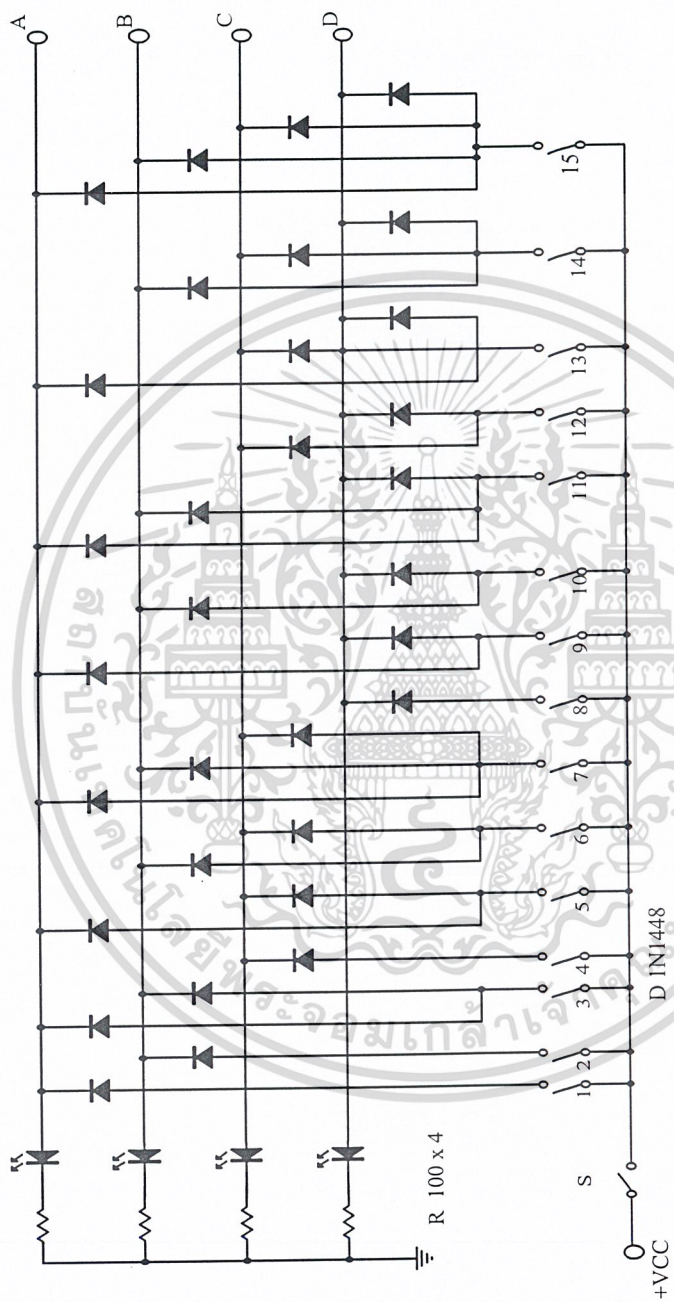
ระยะทาง (เมตร)	สัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงที่รับได้
0	-
10	ชัดเจน และมีเสียง
20	ชัดเจน และมีเสียง
30	ชัดเจน และมีเสียง
40	ชัดเจน และมีเสียง
50	ชัดเจน และมีเสียง
60	ชัดเจน และมีเสียง
70	ชัดเจน และมีเสียง
80	ชัดเจน และมีเสียง
90	ชัดเจน และมีเสียง
100	ชัดเจน และมีเสียง

4.2.2 การทดลองภาคควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

1) วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจรในรูปที่ 4.17
- 2) สวิตช์ 1 –15 ครั้งละสวิตช์
- 3) สังเกต LED ที่ต่อกับ A, B, C, D บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 4.2

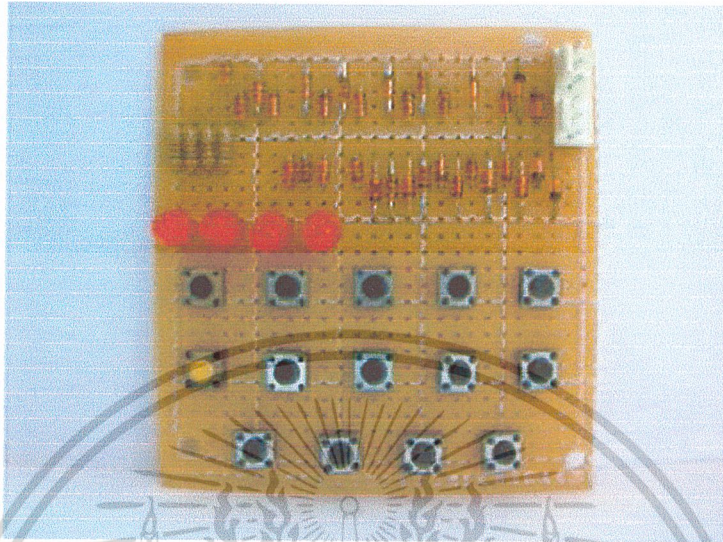


รูปที่ 4.17 วงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD

ตารางที่ 4.2 การเข้ารหัสของสวิตช์

สวิตช์	LED ที่สว่าง				รหัส BCD			
	LED1	LED2	LED3	LED4	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	1	0	0
5	0	1	1	1	0	1	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1	0
7	0	1	1	1	0	1	1	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0
9	1	0	0	1	1	0	0	1
10	1	0	1	0	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	1	1
12	1	1	0	0	1	1	0	0
13	1	1	0	1	1	1	0	1
14	1	1	1	0	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1

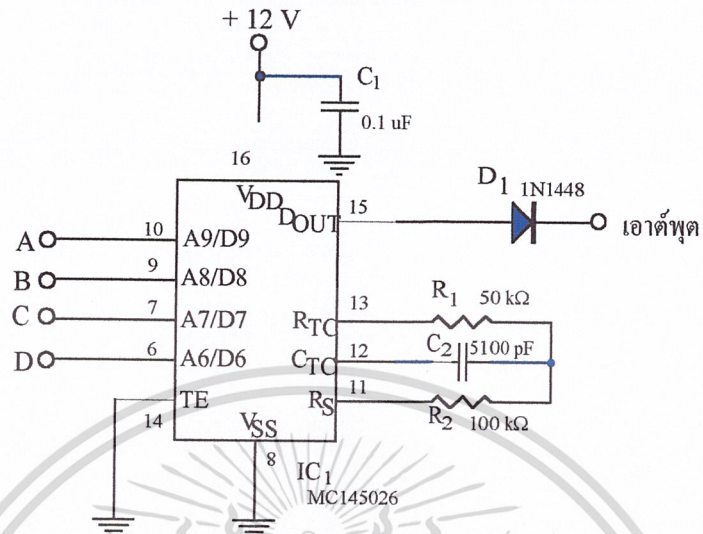
ผลการทดลองจากการทดสอบวงจรเข้ารหัสฐานสิบรหัส BCD จะปรากฏตามตารางที่ 4.2 ซึ่งผลที่ได้สามารถเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD ได้ตามตารางแสดงผล โดยการกดสวิตช์แต่ละตัว และสังเกตที่ LED ซึ่งสามารถเข้ารหัสเป็น BCD ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2



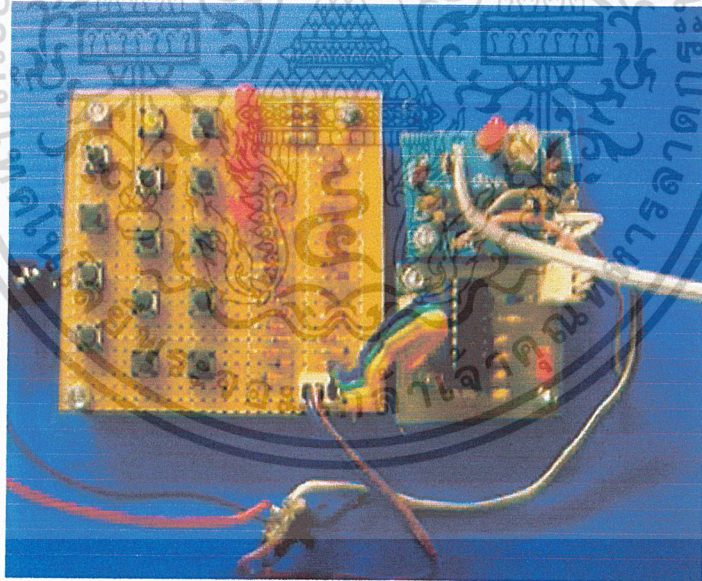
รูปที่ 4.18 รูปวงจรคีย์สวิตช์ของจริง

2) วงจรเข้ารหัสควบคุมการทำงานส่วนต่าง ๆ
ขั้นตอนทดลอง

- 1) ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.19
- 2) ป้อนแรงดัน +12 V ให้กับวงจรตามรูปที่ 4.19
- 3) นำวงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD ต่อเข้ากับอินพุตของสัญญาณ
- 4) ทำการปรับตั้งค่าการวัดของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสม
- 5) นำออสซิลโลสโคปวัดที่เอาต์พุตขา 15 ในขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์
- 6) กดสวิตช์ 1 ของวงจรเข้ารหัสฐานสิบเป็นรหัส BCD
- 7) วัดสัญญาณที่เอาต์พุต ขา 15 ในขณะที่กดสวิตช์

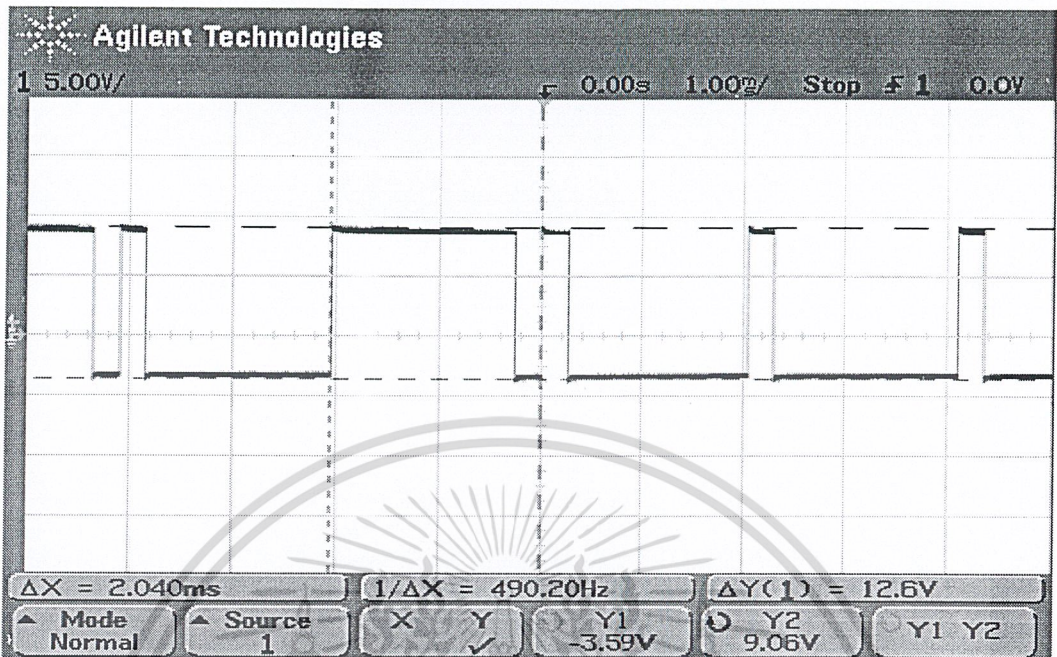


รูปที่ 4.19 วงจรเข้ารหัสควบคุมการทำงานส่วนต่าง ๆ

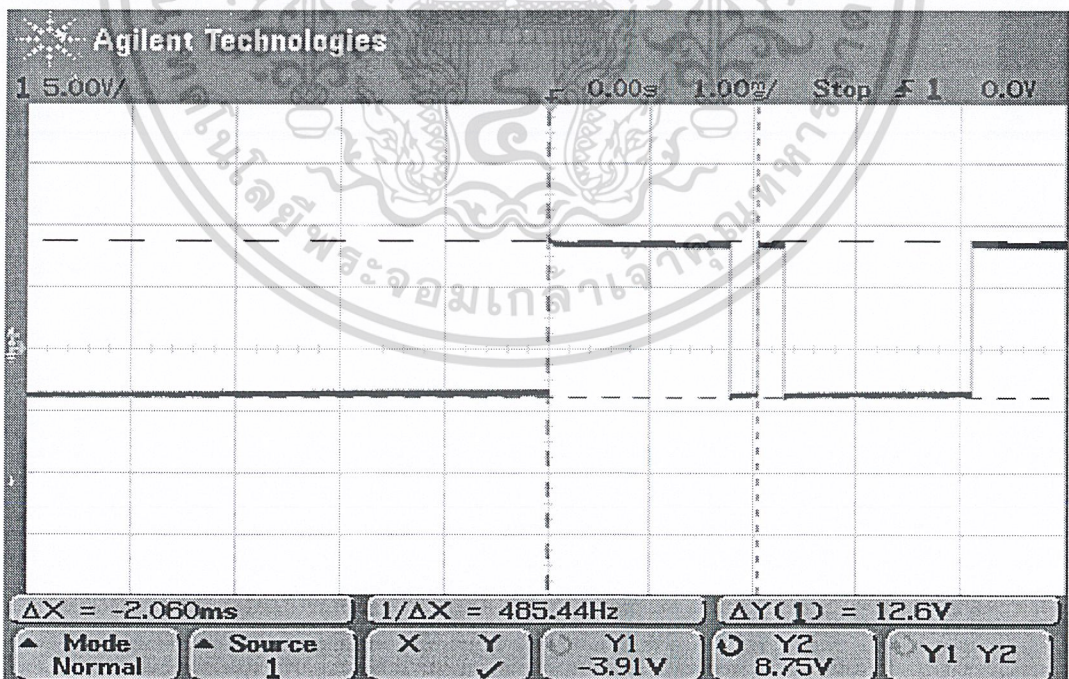


รูปที่ 4.20 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 15 ของวงจรเข้ารหัสควบคุมการทำงานส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

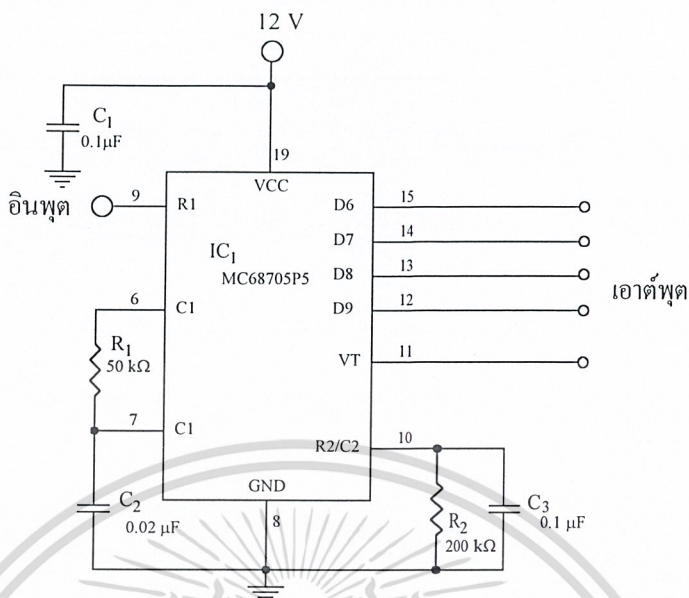


รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตในกรณีที่ไม่มีกรกกดสวิทช์



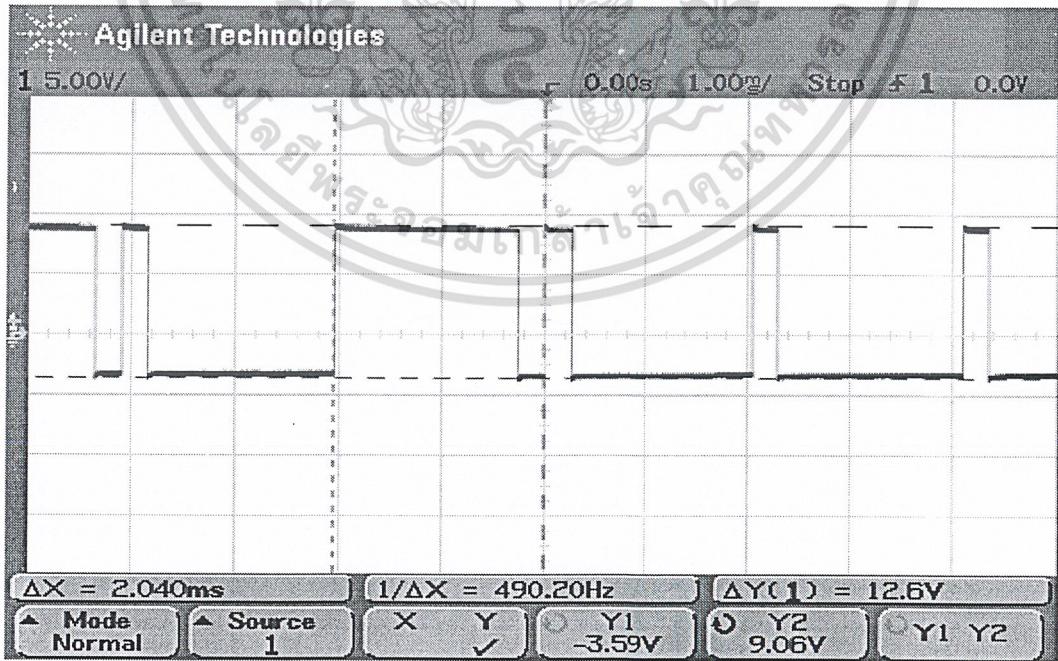
รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาต์พุตในกรณีที่มีการกดสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



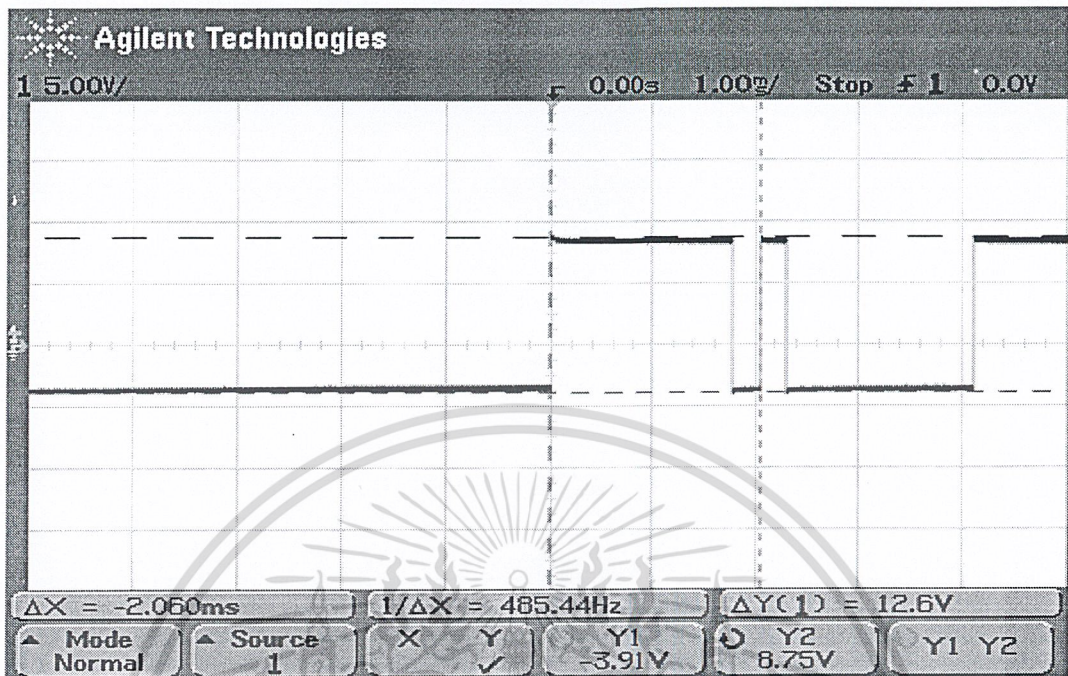
รูปที่ 4.23 วงจรลอกรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

จากผลการทดลองวงจรลอกรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ เราสามารถที่จะวัดได้สัญญาณเหมือนกันกับสัญญาณของวงจรเข้ารหัสทุกประการ



รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาต์พุตขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์

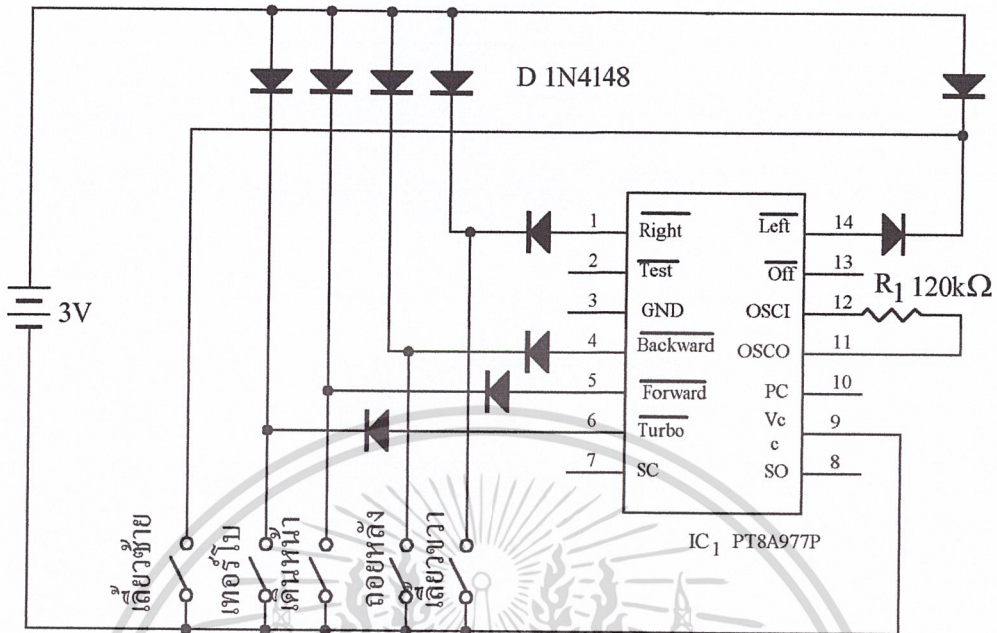
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



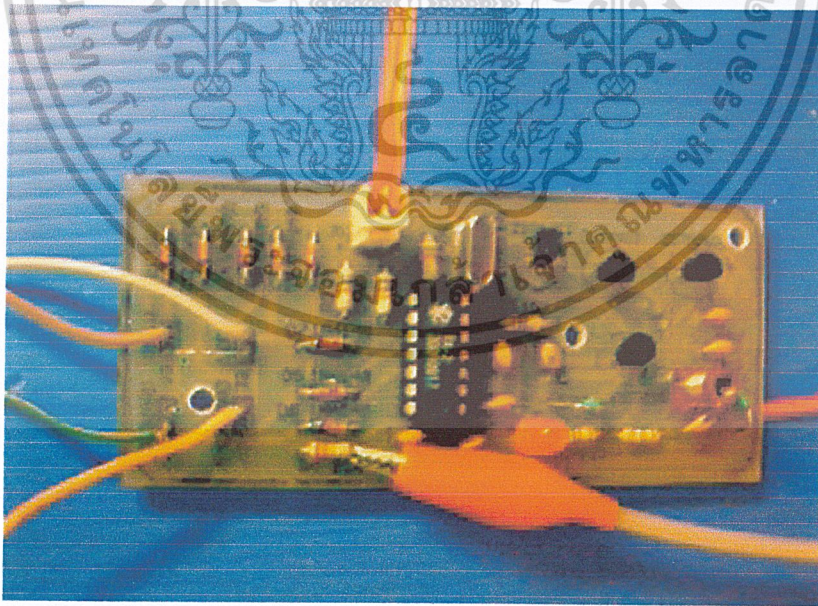
รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุตในขณะที่มีการกดสวิตช์

3) วงจรเข้ารหัสเคลื่อนมอเตอร์ ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ได้ + 5 โวลต์
- 2) ป้อนแรงดัน +5 โวลต์ให้กับวงจรตามรูปที่ 4.23
- 3) ทำการตั้งค่าต่างๆ ของออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการวัด
- 4) นำออสซิลโลสโคป วัดที่ เอาต์พุตที่ ขา 8 ในขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์
- 5) กดสวิตช์ S_1 (เดินหน้า)
- 6) ทำการวัดสัญญาณที่ได้
- 7) กดสวิตช์ S_2 (ถอยหลัง)
- 8) วัดสัญญาณที่จุดเดิม

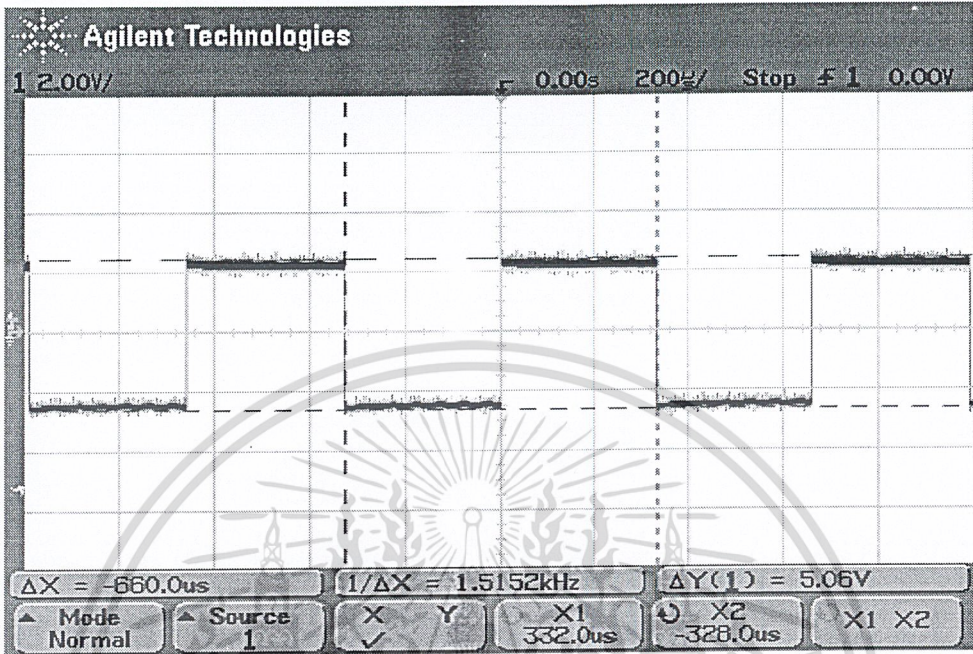


รูปที่ 4.26 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์

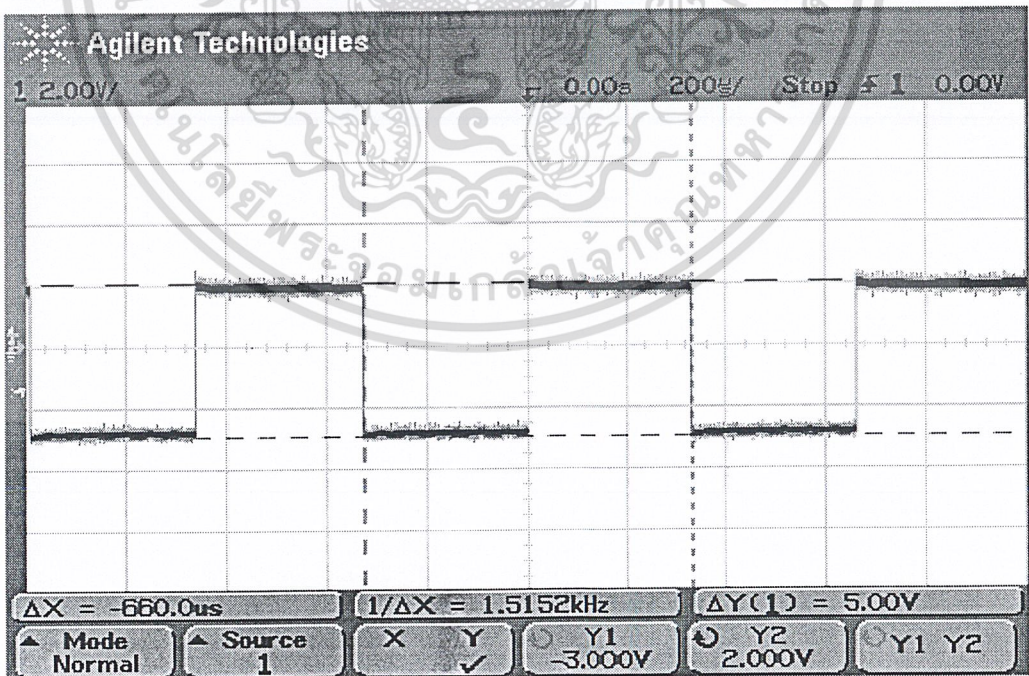


รูปที่ 4.27 จุดวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

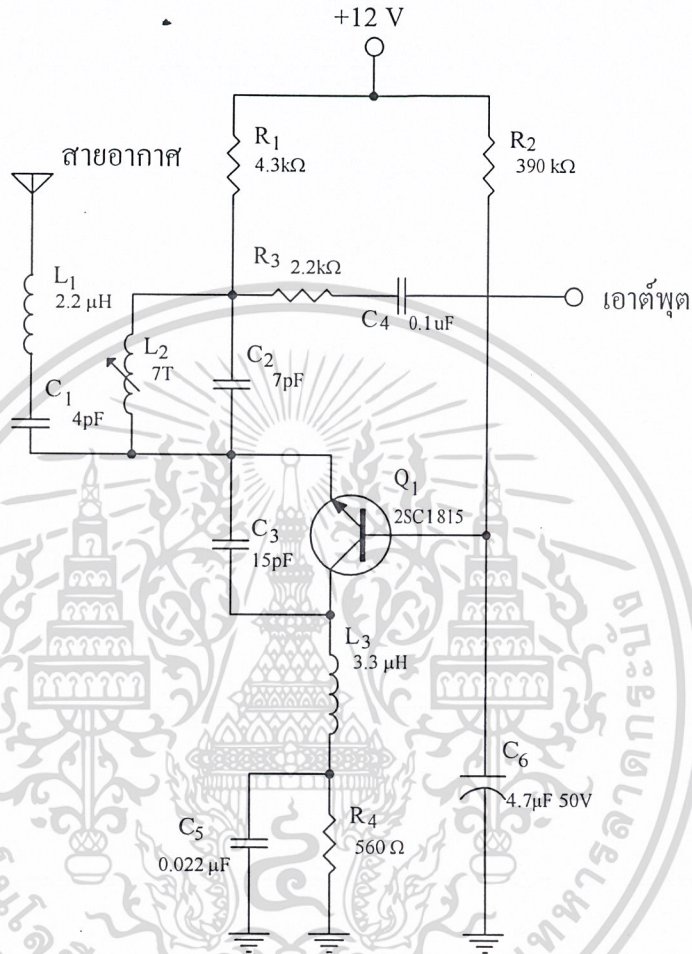


รูปที่ 4.28 สัญญาณเอาต์พุตในขณะกดสวิตช์

รูปที่ 4.29 สัญญาณเอาต์พุตในขณะกดสวิตช์ S_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ (Demodulator)

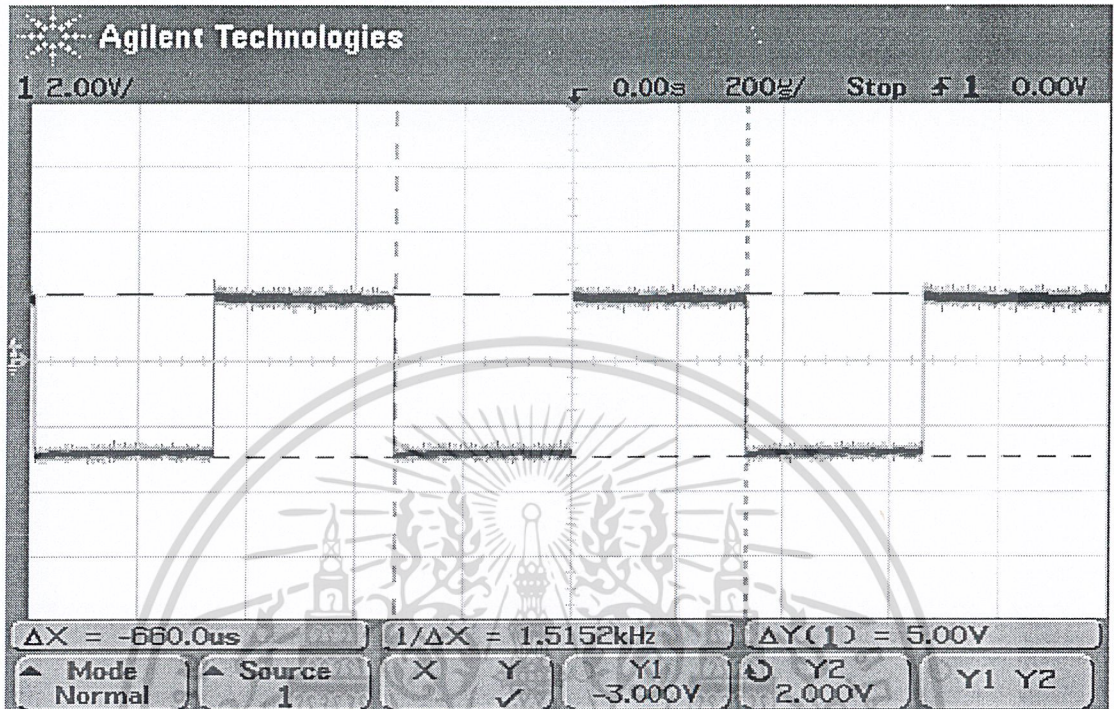


รูปที่ 4.30 วงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ได้ + 12 โวลต์
- 2) ป้อนแรงดัน +12 โวลต์ให้กับวงจรตามรูปที่ 4.27
- 3) ทำการตั้งค่าต่างๆ ของออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการวัด
- 4) นำออสซิลโลสโคปวัดที่เอาต์พุต
- 6) ทำการวัดสัญญาณที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 รูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรับสัญญาณ และขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอตรวจสอบควบคุมด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้กล้องวงจรปิดแบบไร้สาย ติดกับส่วนของรถ เพื่อส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงจากกล้องวีดีโอมายังเครื่องรับโทรทัศน์

ส่วนสำคัญของรถตรวจสอบควบคุมด้วยความถี่วิทยุได้แก่ ตัวรถที่ใช้ในการขับเคลื่อนวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ระยะไกลของรถ วงจรควบคุมการแพนกล้อง และวงจรเครื่องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงกล่าวคือ ตัวรถที่ใช้ในการขับเคลื่อนต้องมีความรวดเร็ว และคล่องตัวในส่วนของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ ของตัวรถต้องสามารถควบคุมให้รถเดินหน้า ถอยหลัง และเลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาได้ ส่วนของวงจรควบคุมการแพนกล้องขึ้นลงได้ 180 องศาในแนวตั้ง และ 360 องศาในแนวนอน และส่วนสุดท้ายคือ วงจรเครื่องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงจะต้องส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงมายังเครื่องรับโทรทัศน์

จากการทำงานของวงจรต่างๆ เหล่านี้ทำให้รถตรวจสอบควบคุมด้วยความถี่วิทยุสามารถทำการสำรวจพื้นที่ต่างๆ ด้วยการเคลื่อนที่ของรถ และส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงมายังเครื่องรับโทรทัศน์ และยังสามารถเข้าไปสำรวจบริเวณพื้นที่ที่มีความอันตราย และความสูง โดยใช้ในการควบคุมรถสำรวจให้เข้าไปในพื้นที่นั้นแทน และส่งสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงกลับมาที่เครื่องรับโทรทัศน์ทำให้ทราบสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น

5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

จากการสร้าง และการทดลองรถตรวจสอบควบคุมด้วยความถี่วิทยุทำให้ทราบถึงอุปสรรคและปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งสรุปปัญหา และแนวทางในการแก้ไขได้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1) ปัญหา ล้อรถที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถนั้นจะไม่สามารถที่จะเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาได้ เนื่องจากมีระยะพื้นที่หน้าตัดในการเลี้ยวมากจนเกินไป

แนวทางแก้ไข ตัดล้อรถที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนตัวรถออก 2 ล้อ ให้เหลือเพียง 4 ล้อเท่านั้น

2) ปัญหา ระบบของโซ่หย่อนเกินไป และตัดต่อโซ่ให้ตึงได้ลำบากขณะที่ทำการติดตั้ง อาจจะหลุดจากเฟืองได้ ขณะที่ล้อรถกำลังปั่นในทางต่างระดับ

แนวทางแก้ไข ใช้ระบบดึงโซ่เข้ามาช่วย โดยใช้เฟืองยึดติดกับโซ่อีกตัว และใช้สปริงเป็นตัวยึดติดเพื่อทำการดึงให้โซ่ตึงนั่นเอง

3) ปัญหา พื้นใต้ระดับของท้องรถมีระดับต่ำ และใกล้พื้นดินมากจนเกินไป เวลาปีนทางต่างระดับจะไม่สามารถทำได้

แนวทางแก้ไข ออกแบบใหม่ โดยการต่อเหล็กให้ยาวขึ้น และยึดติดกับล้อขับเคลื่อนทั้ง 2 ข้าง

4) ปัญหา ตัวรถอาจเกิดความไม่สมดุลในขณะที่วิ่ง และเกิดการกระแทกได้

แนวทางแก้ไข ใช้ระบบโช้คหลุมเข้ามาช่วย โดยการออกแบบกลองลมเพื่อเก็บลมไว้และจ่ายลมให้กับโช้คโดยผ่านสายยางขนาดเล็ก โดยโช้คลมจะติดตั้งที่ด้านหน้าของแต่ละข้าง ข้างละ 1 อัน

5) ปัญหา รถอาจจะวิ่งไม่สมดุลย์กันอาจจะมีอาการเอียงไปทางด้านซ้าย หรือด้านขวา เนื่องมาจากมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการขับเคลื่อนมีความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อนาที ที่แตกต่างกันมากจนเกินไป

แนวทางแก้ไข เลือกใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วรอบต่อนาที ที่ใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันมากจนเกินไปนั่นเอง

6) ปัญหา แบตเตอรี่ยึดติดกับเพลารถ อาจจะหลุดได้ขณะที่ตัวรถวิ่งด้วยความเร็วสูง

แนวทางแก้ไข ทำการเข้าเชื่อมแบตเตอรี่ยึดติดกับเหล็กอย่างถาวร

7) ปัญหา ชุดเฟืองที่ใช้ขับเคลื่อนตัวรถที่ยึดติดกับมอเตอร์อาจจะหลุดได้ ในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนด้วยความเร็วสูง

แนวทางแก้ไข ทำการเชื่อมเฟืองยึดติดกับเพลารถของมอเตอร์ให้แน่น

8) ปัญหา ไม่สามารถที่จะหาค่าอินดักเตอร์ตามที่ต้องการได้ ทำให้การรีโซแนนซ์ของวงจรไม่ตรงกับความถี่ที่ต้องการ

แนวทางแก้ไข ใช้หลอดทองแดงอาบน้ำยาฆ่าแมลงเป็นขดลวดตามที่ผู้มอบอกไว้

9) ปัญหา ไม่มีเครื่องวัดค่าอินดักเตนซ์ ทำให้การพันหาค่าไม่สามารถที่จะทำได้

แนวทางแก้ไข ใช้อินดักเตอร์ที่สามารถปรับจูนได้

10) ปัญหา ย่านความถี่ ที่ใช้ในการส่งสัญญาณภาพ และเสียง เป็นย่านความถี่ที่กว้างมาก จึงเกิดสัญญาณรบกวนข้ามช่องได้ง่าย ทำให้ได้กำลังส่งอากาศลดลง

แนวทางแก้ไข จำกัดย่านความถี่ให้แคบที่สุด โดยการออกแบบวงจรผลิตความถี่คลื่นพาห์ให้มีย่านความถี่แคบๆ เพื่อป้องกันการรบกวนข้ามช่อง

11) ปัญหา กำลังส่งของสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงที่ส่งออกอากาศไม่เพียงพอ ทำให้เมื่อระยะทางไกลมากขึ้นไม่สามารถรับสัญญาณได้ เนื่องจากวงจรขยายมีกำลังส่งไม่เพียงพอ และมีสัญญาณรบกวนมาก

แนวทางแก้ไข เพิ่มกำลังขยายสัญญาณภาคสุดท้ายให้สูงขึ้น โดยการเปลี่ยนทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณ และทำการวัดของวงจรให้มีขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

12) ปัญหา การที่อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไม่สามารถใช้งานร่วมกัน และไม่มีเสถียรภาพร่วมกัน ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ

แนวทางแก้ไข พยายามทดลอง และหาอุปกรณ์ที่มีเสถียรภาพเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

13) ปัญหา กำลังส่งของวงจรควบคุมการทำงานที่ส่งออกอากาศไม่เพียงพอ ทำให้เมื่อเพิ่มระยะทางไกลมากขึ้นแล้วจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ และไม่สามารถนำสัญญาณที่เข้ารหัสมาทำการถอดรหัสเพื่อนำมาใช้งาน เนื่องจากวงจรขยายมีกำลังส่งไม่พอ และมีสัญญาณรบกวนมาก

แนวทางแก้ไข เพิ่มกำลังขยายสัญญาณภาคสุดท้ายให้มีกำลังสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณ และทำการวัดของวงจรให้มีขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

14) ปัญหา อุปกรณ์บางตัวไม่สามารถหาซื้อได้ ทำให้วงจรทำงานผิดพลาด

แนวทางแก้ไข ใช้อุปกรณ์อื่นแทนหรือใช้เบอร์แทน และทำการทดลองเพื่อแก้ไขจุดบกพร่อง

15) ปัญหา เกิดสัญญาณรบกวนของวงจรต่างๆ เมื่อนำมาต่อรวมกัน

แนวทางแก้ไข ทำการต่อวงจรต่างๆ ลงกราวด์ และใช้สายชิลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการ

โครงการนรดสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ สามารถทำงานได้ตามขีดความสามารถที่กำหนดไว้ แต่สามารถที่จะพัฒนาให้รดสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุมีขีดความสามารถได้อีก ดังต่อไปนี้คือ

1) พัฒนาโดยการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณของวงจรควบคุมตัวรถให้มากขึ้น จะได้ระยะทางในการควบคุมที่ไกลขึ้น เป็นผลให้สามารถทำการสำรวจพื้นที่ได้ไกลยิ่งขึ้น

2) พัฒนาให้ขนาดวงจรมีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกในการติดตั้ง และลดพื้นที่ในการติดตั้งได้น้อยลง

3) พัฒนาให้วงจรใช้กระแสไฟฟ้าที่น้อยลง เพื่อให้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้เป็นเวลานานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

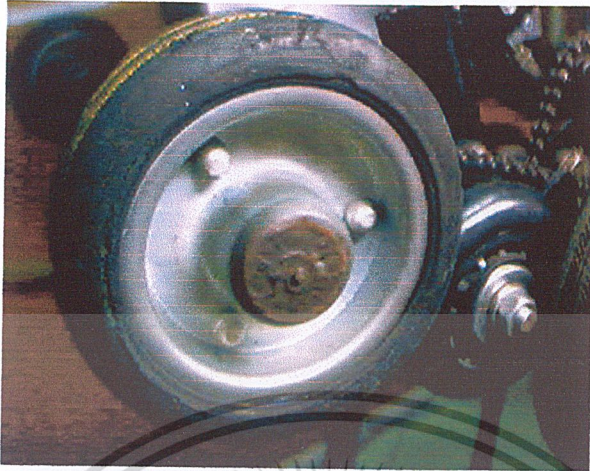
- 4) พัฒนาให้สามารถใช้งานร่วมกับแขนกลได้
- 5) พัฒนาให้รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ ให้สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วกว่าเดิม และมีความคล่องตัวมากขึ้น
- 6) พัฒนาให้สามารถใช้กับคำสั่งของระบบ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้
- 7) พัฒนาให้ขนาดของตัวรถมีขนาดเล็กลง เพื่อให้สะดวกในการสำรวจพื้นที่ๆ มีพื้นที่แคบจากแนวทางในการพัฒนานี้ หากมีผู้สนใจ และต้องการที่จะศึกษาระบบการทำงาน และพัฒนาโครงการนี้ต่อไป โครงการนี้จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

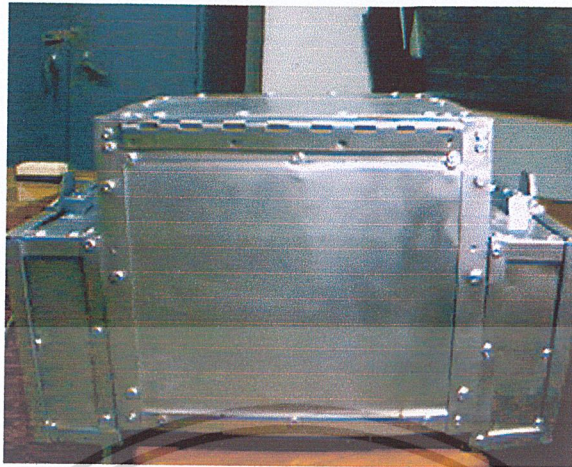


รูปที่ ก.1 ชุดล้อปีนพื้นต่างระดับ



รูปที่ ก.2 ระบบโซ่คตม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

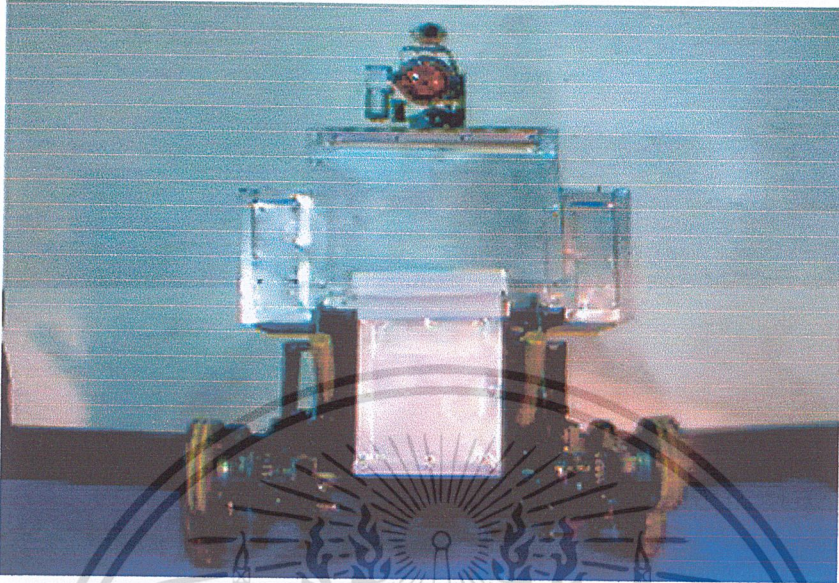


รูปที่ ก.3 กล่องเก็บของ และกล่องเก็บวงจร

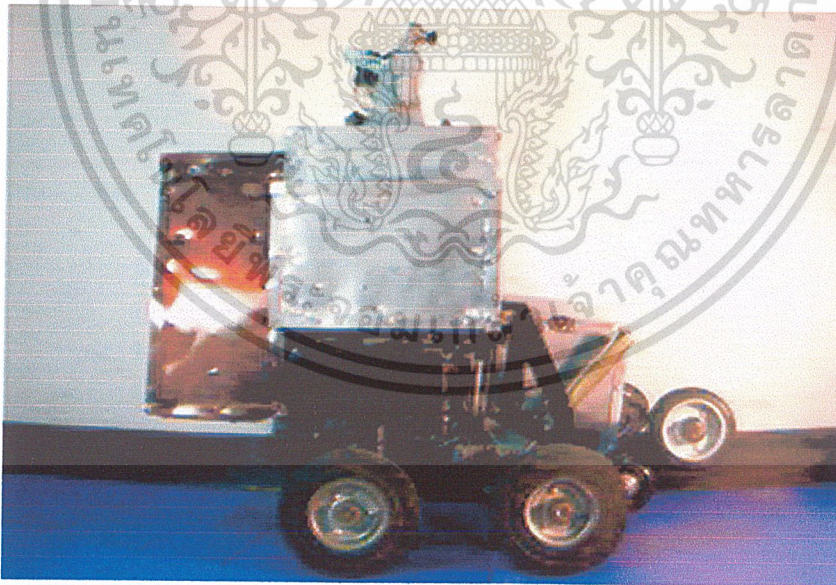


รูปที่ ก.4 ระบบชุดแพนกลื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

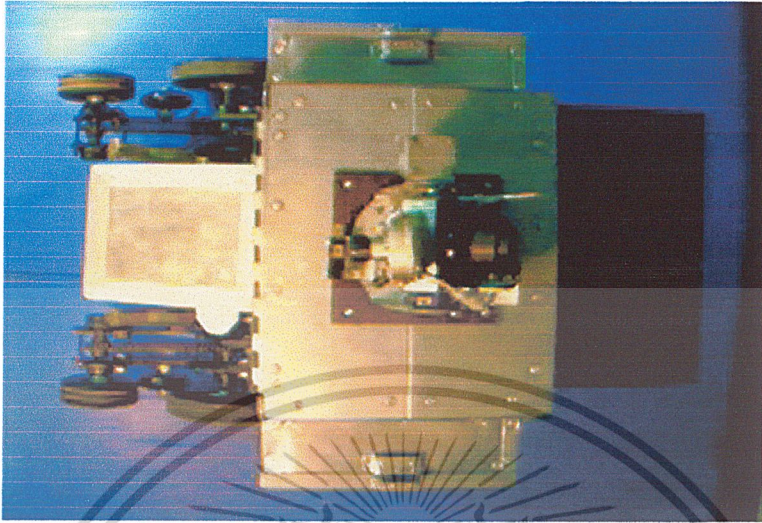


รูปที่ ก.5 ลักษณะของตัวรถด้านหน้า

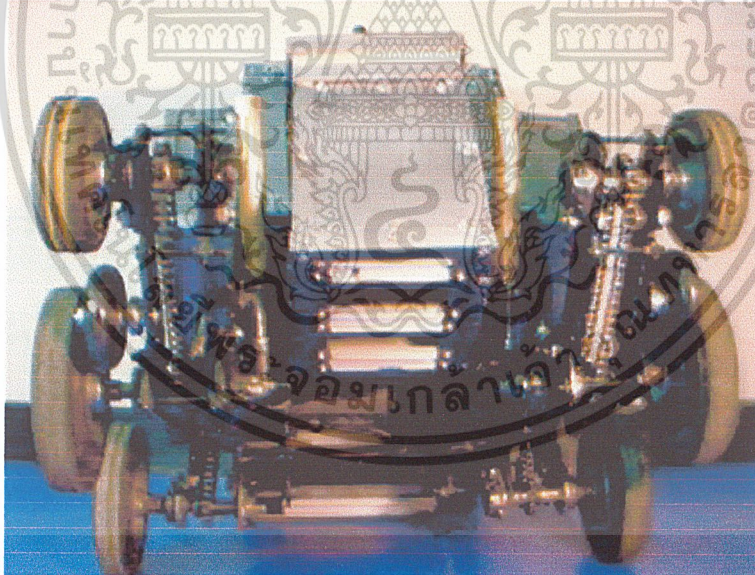


รูปที่ ก.6 ลักษณะของตัวรถด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 ลักษณะของตัวรถด้านบน



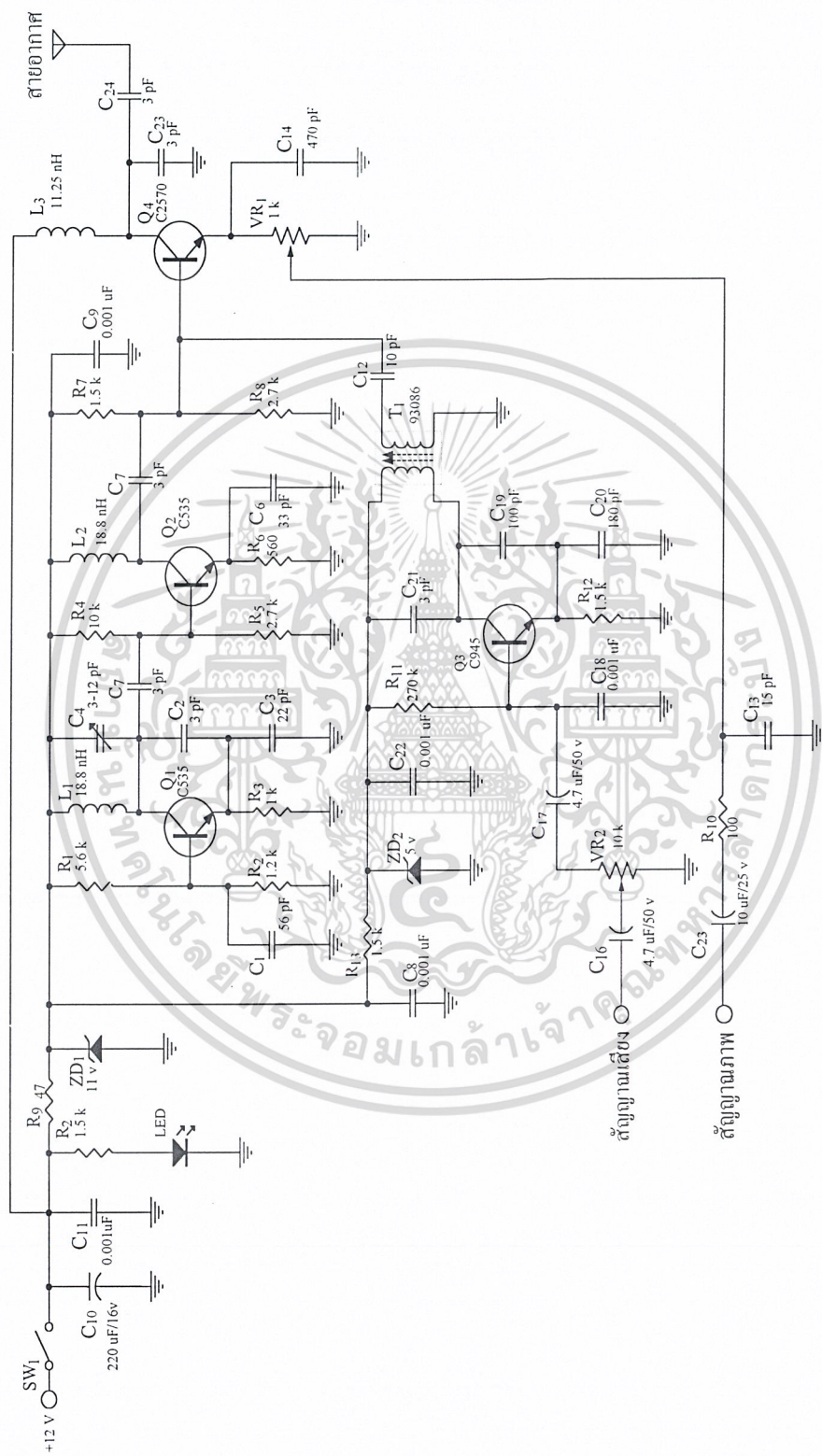
รูปที่ ก.8 ลักษณะของตัวรถด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



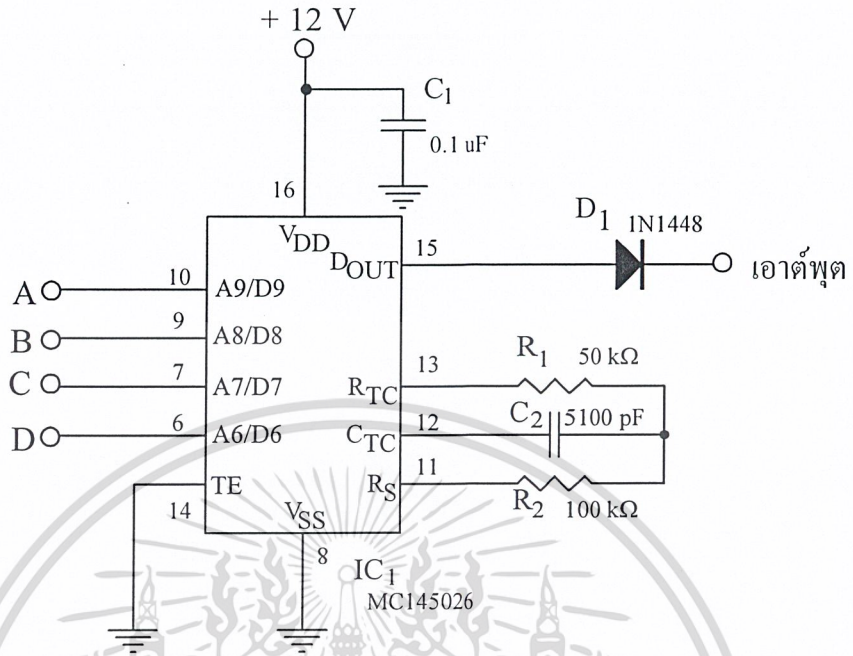
ภาคผนวก ข
วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

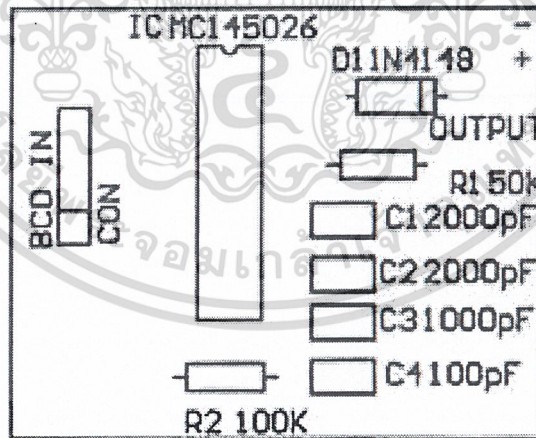


รูปที่ ข.1 วงจรสมมูลของเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล่องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

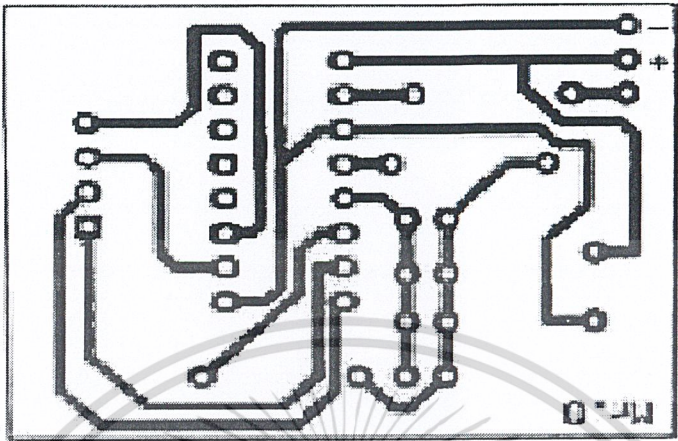


รูปที่ ข.4 วงจรเข้ารหัส

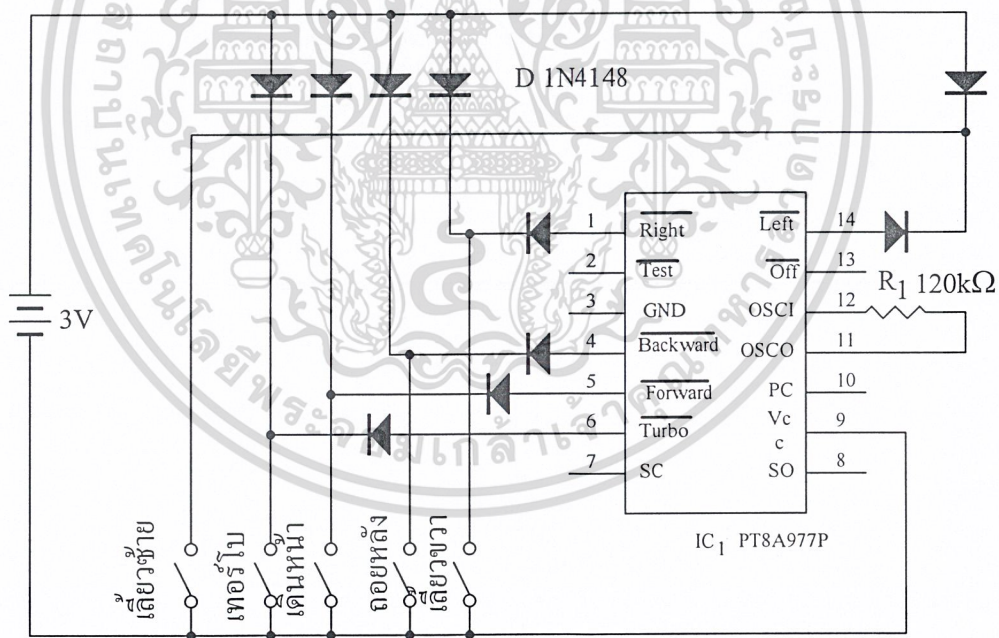


รูปที่ ข.5 การวางอุปกรณ์วงจรเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

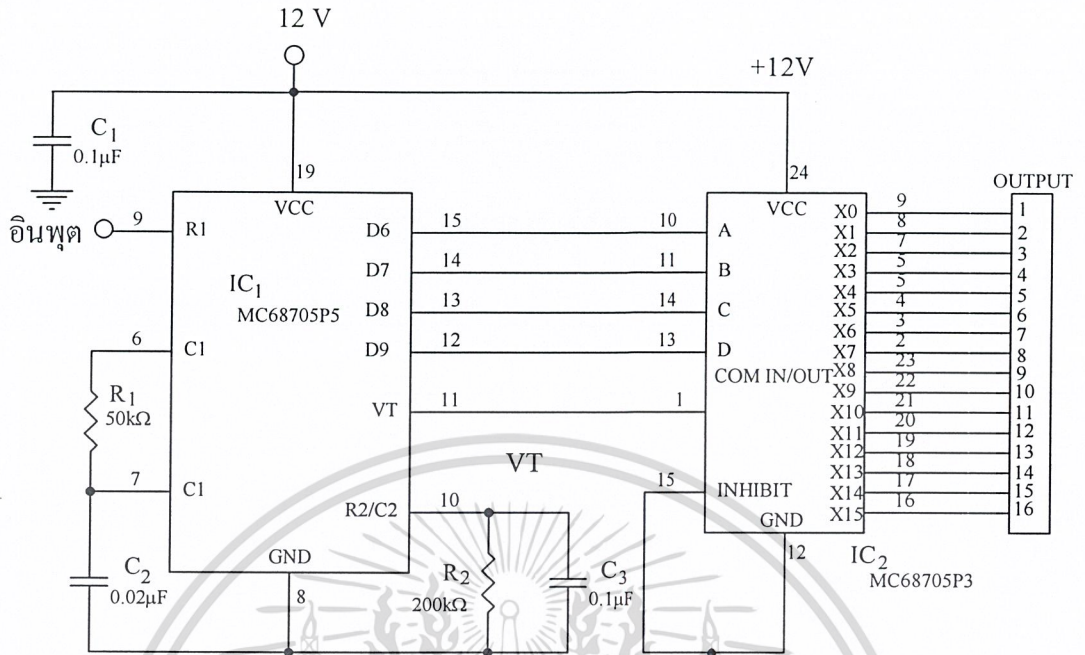


รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเข้ารหัส

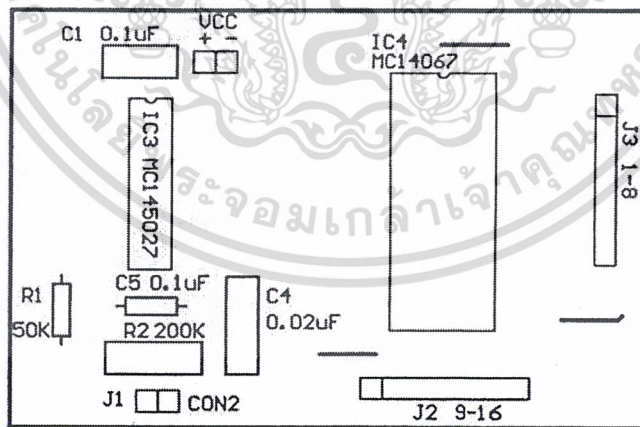


รูปที่ ข.7 วงจรเข้ารหัสขับเคลื่อนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

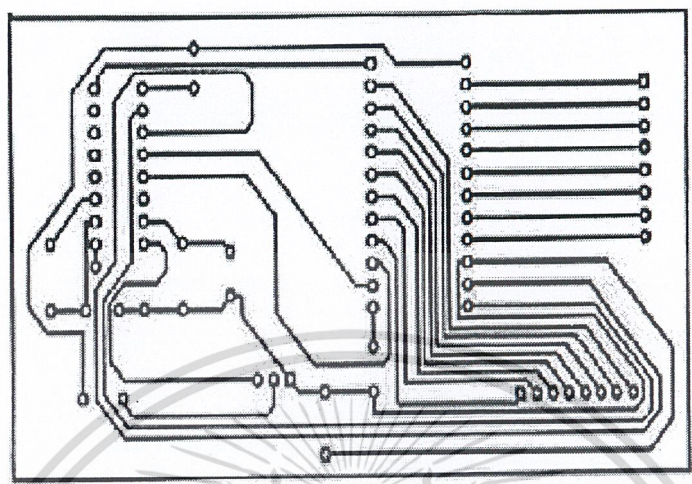


รูปที่ ข.10 วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

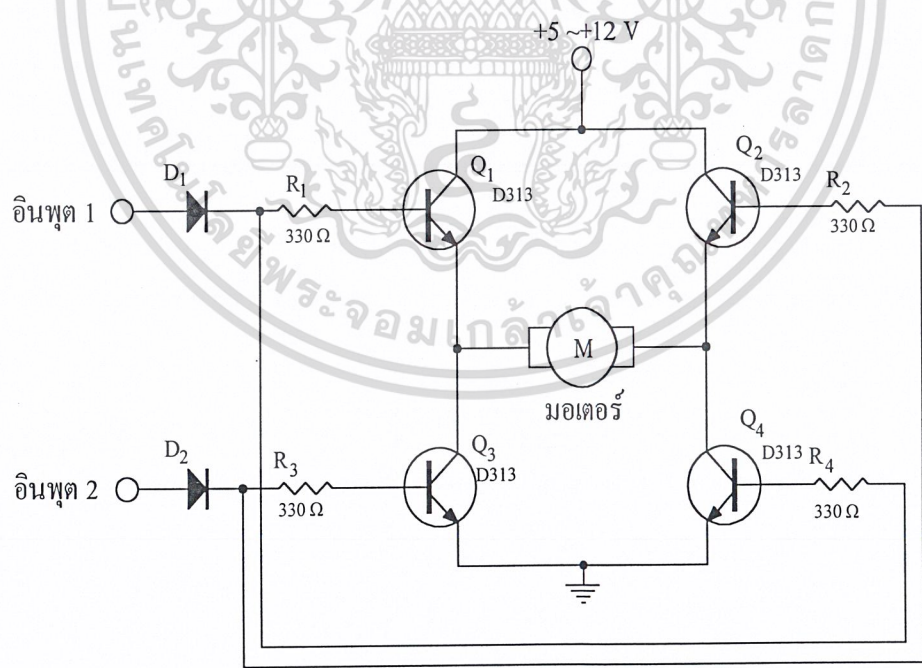


รูปที่ ข.11 การวางอุปกรณ์วงจรถอดรหัสควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

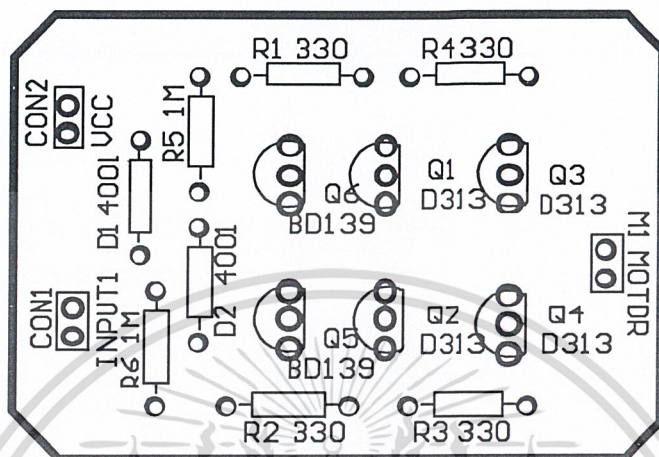


รูปที่ ข.12 แผงวงจรพิมพ์วงจรถดถอยห้ควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ

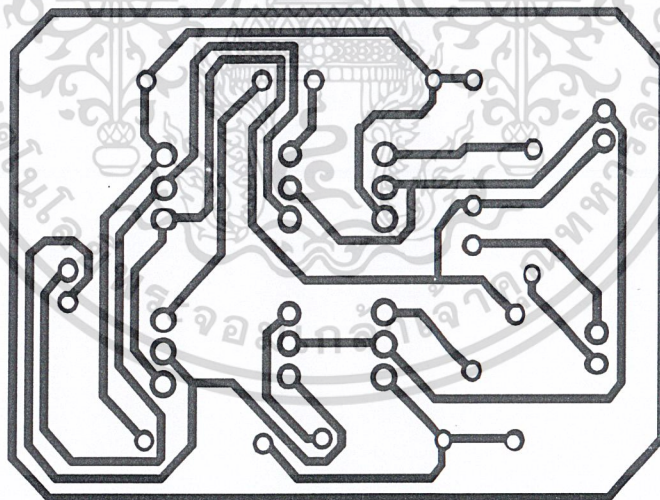


รูปที่ ข.13 วงจรควบคุมการแพนกลีอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.14 การวางอุปกรณ์วงจรควบคุมการแพนกลิ้ง



รูปที่ ข.15 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรควบคุมการแพนกลิ้ง



ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาคเครื่องส่งสัญญาณ A/V ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ

ตัวความต้านทาน

5.6 kΩ 1/4 w ± 1%	1 ตัว
100 kΩ 1/4 w ± 1%	1 ตัว
1 kΩ 1/4 w ± 1%	1 ตัว
220 kΩ 1/4 w ± 1%	1 ตัว
2.2 kΩ 1/4 w ± 1%	3 ตัว
8.2 kΩ 1/4 w ± 1%	1 ตัว
560 Ω 1/4 w ± 1%	1 ตัว
1.5 kΩ 1/4 w ± 1%	4 ตัว
2.2 kΩ 1/4 w ± 1% เกือกม้าแบบแนวนอน	1 ตัว
2.2 kΩ 1/4 w ± 1% เกือกม้าแบบแนวนอน	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

68 pF ไมลาร์	1 ตัว
3 pF ไมลาร์	5 ตัว
22 pF ไมลาร์	1 ตัว
100 pF ไมลาร์	1 ตัว
18 pF ไมลาร์	1 ตัว
122 pF ไมลาร์	1 ตัว
1 μF อิเล็กโทรไลต์	5 ตัว
33 pF ไมลาร์	2 ตัว
10 μF อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
100 μF อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
150 pF ไมลาร์	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

470 pF ไมลาร์	1 ตัว
20 pF ทริมเมอร์	1 ตัว
10 pF ไมลาร์	1 ตัว
38 pF ไมลาร์	1 ตัว
15 pF ไมลาร์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอด 1N 4148	1 ตัว
ไดโอด 1N 4001	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ LC 1874L	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์ LC 945P	1 ตัว
แอลอีดี C710	1 ดวง

อุปกรณ์อื่นๆ

สายอากาศ	1 ต้น
แจ็ก RCA	1 คู่
คอยล์ฟอรัม 6 มิลลิเมตร แบบกระป๋อง	1 ตัว
ลวดอาบนํ้าเบอร์ 23	1 ตัว

2. ภาคส่งย่าน UHF

ความต้านทาน

100 kΩ 1/4 w ± 5%	3 ตัว
27 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว
30 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว
2 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.01 μ F ไมลาร์	1 ตัว
3 pF ไมลาร์	2 ตัว
1 pF ไมลาร์	1 ตัว
0.1 μ F ไมลาร์	1 ตัว
20 pF ทริมเมอร์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ทรานซิสเตอร์ MPSH10	1 ตัว
ไอซี CD4093BCN	1 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

ขดลวด 1.5 μ H	1 ตัว
-------------------	-------

3. ภาครับย่าน UHF

ความต้านทาน

20 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
100 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	2 ตัว
68 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	2 ตัว
2 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
10 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
82 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	2 ตัว
5 M Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
270 Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
56 Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
1.8 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
3 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
33 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทาน

2.7 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว
33 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว
6.8 kΩ 1/4 w ± 5%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

3 pF ไมลาร์	3 ตัว
22 μF อิเล็กโทรไลต์ 25 V	1 ตัว
180 pF ไมลาร์	1 ตัว
330 pF ไมลาร์	1 ตัว
680 pF ไมลาร์	1 ตัว
10 μF อิเล็กโทรไลต์ 25 V	1 ตัว
80 pF ไมลาร์	1 ตัว
20 pF ไมลาร์	1 ตัว
1 μF อิเล็กโทรไลต์ 16V	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี LM 324N	1 ตัว
--------------	-------

อุปกรณ์อื่นๆ

ขดลวด 1.5 μH	1 ตัว
--------------	-------

4. วงจรขับมอเตอร์ช้าๆ

ความต้านทาน

330 Ω 1/4 w ± 5%	4 ตัว
1 MΩ 1/4 w ± 5%	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ทรานซิสเตอร์ C458	4 ตัว
ไอซี 555	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วงจรปรับระดับความเร็วมอเตอร์

ความต้านทาน

1 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	4 ตัว
10 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
5 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
100 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
10 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
10 k Ω เกือกม้าแบบนอน	4 ตัว

ตัวเก็บประจุ

100 μ F อิเล็กโทรไลต์ 25 V	1 ตัว
0.1 μ F โพลีเอสเตอร์ 50 V	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ทรานซิสเตอร์ C458	4 ตัว
ไอซี 555	1 ตัว

6. วงจรภาคส่งเข้ารหัส 16 ช่อง

ความต้านทาน

100 Ω 1/4 w $\pm$ 5%	4 ตัว
1 M Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

100 pF ไมลาร์	1 ตัว
0.1 pF ไมลาร์	1 ตัว
20 pF ไมลาร์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอด 1N 4148	32 ตัว
ไอซี MC 140526 P	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

แอลอีดี	4 ดวง
---------	-------

อุปกรณ์อื่นๆ

สวิทช์กดติดปล่อยดับ	14 ตัว
---------------------	--------

7. วงจรภาครับถอดรหัส 16 ช่อง

ความต้านทาน

50 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
500 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
33 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
220 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	4 ตัว
4.7 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
22 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
39 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
5.6 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
2.2 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
470 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
47 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	2 ตัว
2.2 M Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
100 k Ω 1/4 w $\pm$ 5%	1 ตัว
10 k Ω 1/4 w $\pm$ 5% ไมลาร์	1 ตัว
1 M Ω 1/4 w $\pm$ 5% ไมลาร์	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

10 pF ไมลาร์	1 ตัว
2 pF ไมลาร์	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

10 μ F อิเล็กโทรไลต์ 16 V	1 ตัว
15 pF ไมลาร์	1 ตัว
0.1 μ F อิเล็กโทรไลต์ 50 V	1 ตัว
4.7 pF โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
33 pF โพลีเอสเตอร์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี MC 14067BCP	1 ตัว
ไอซี MC 145027P	1 ตัว
ไอซี CA 3401E	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
 SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Analog Multiplexers/Demultiplexers

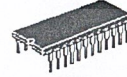
The MC14067 and MC14097 multiplexers/demultiplexers are digitally controlled analog switches featuring low ON resistance and very low leakage current. These devices can be used in either digital or analog applications.

The MC14067 is a 16-channel multiplexer/demultiplexer with an inhibit and four binary control inputs A, B, C, and D. These control inputs select 1-of-16 channels by turning ON the appropriate analog switch (see MC14067 truth table.)

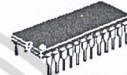
The MC14097 is a differential 8-channel multiplexer/demultiplexer with an inhibit and three binary control inputs A, B, and C. These control inputs select 1 of 8 pairs of channels by turning ON the appropriate analog switches (see MC14097 truth table).

- Low OFF Leakage Current
- Matched Channel Resistance
- Low Quiescent Power Consumption
- Low Crosstalk Between Channels
- Wide Operating Voltage Range: 3 to 18 V
- Low Noise
- Pin for Pin Replacement for CD4067B and CD4097B

MC14067B MC14097B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 623



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 709

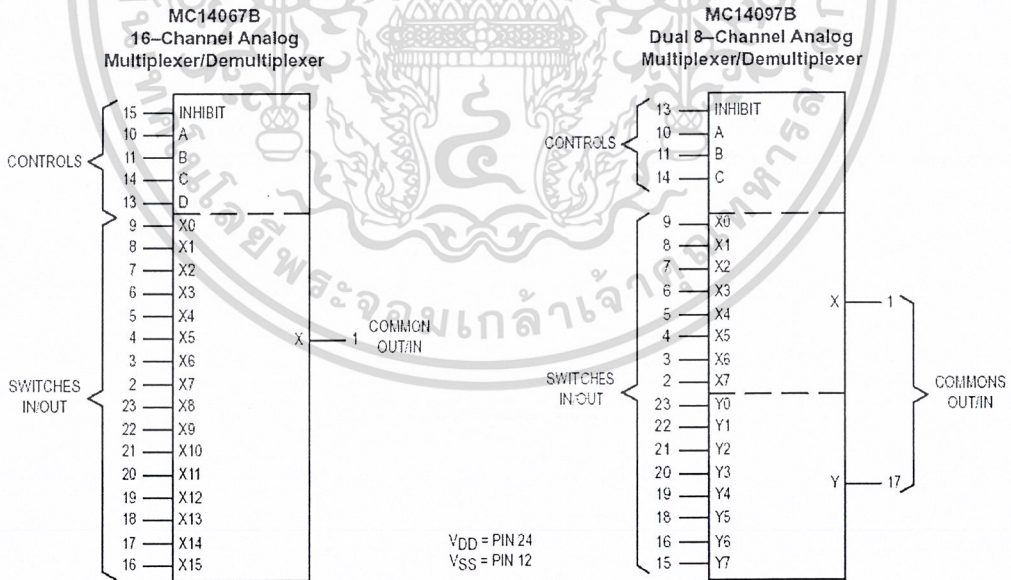


DW SUFFIX
SOIC
CASE 751E

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBDW SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.



REV 3
1/94

© Motorola, Inc. 1995



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DD}	DC Supply Voltage	− 0.5 to + 18.0	V
V _{in} , V _{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	− 0.5 to V _{DD} + 0.5	V
I _{in}	Input Current (DC or Transient), per Control Pin	± 10	mA
I _{sw}	Switch Through Current	± 25	mA
P _D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T _{stg}	Storage Temperature	− 65 to + 150	°C
T _L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

† Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: − 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: − 12 mW/°C From 100°C To 125°C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range V_{SS} ≤ (V_{in} or V_{out}) ≤ V_{DD}. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

MC14067 TRUTH TABLE

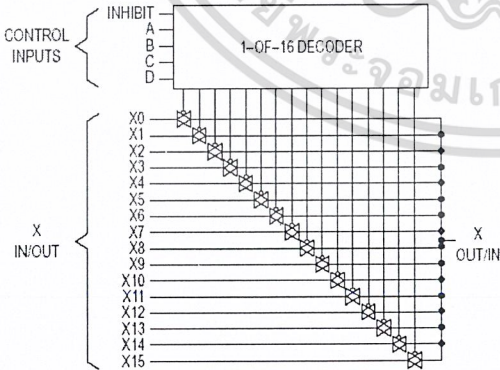
Control Inputs					Selected Channel
A	B	C	D	Inh	
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	X0
1	0	0	0	0	X1
0	1	0	0	0	X2
1	1	0	0	0	X3
0	0	1	0	0	X4
1	0	1	0	0	X5
0	1	1	0	0	X6
1	1	1	0	0	X7
0	0	0	1	0	X8
1	0	0	1	0	X9
0	1	0	1	0	X10
1	1	0	1	0	X11
0	0	1	1	0	X12
1	0	1	1	0	X13
0	1	1	1	0	X14
1	1	1	1	0	X15

MC14097 TRUTH TABLE

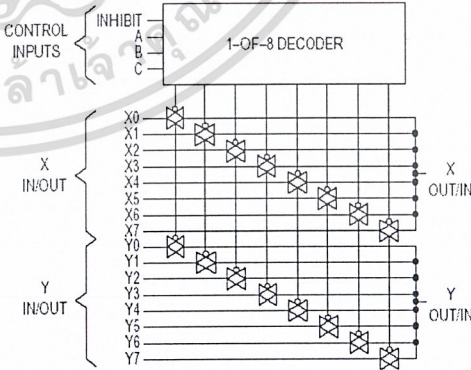
Control Inputs				Selected Channels
A	B	C	Inh	
X	X	X	1	None
0	0	0	0	X0 Y0
1	0	0	0	X1 Y1
0	1	0	0	X2 Y2
1	1	0	0	X3 Y3
0	0	1	0	X4 Y4
1	0	1	0	X5 Y5
0	1	1	0	X6 Y6
1	1	1	0	X7 Y7

X = Don't Care

MC14067 FUNCTIONAL DIAGRAM



MC14097 FUNCTIONAL DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V _{DD}	Test Conditions	- 55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V _{SS})											
Power Supply Voltage Range	V _{DD}	—		3.0	18	3.0	—	18	3.0	18	V
Quiescent Current Per Package	I _{DD}	5.0 10 15	Control Inputs: V _{in} = V _{SS} or V _{DD} . Switch I/O: V _{SS} ≤ V _{I/O} ≤ V _{DD} , and ΔV _{switch} ≤ 500 mV**	— — —	5.0 10 20	— — —	0.005 0.010 0.015	5.0 10 20	— — —	150 300 600	μA
Total Supply Current (Dynamic Plus Quiescent, Per Package)	I _{D(AV)}	5.0 10 15	T _A = 25°C only (The channel component, (V _{in} - V _{out})/R _{on} , is not included.)	Typical (0.07 μA/kHz) f + I _{DD} (0.20 μA/kHz) f + I _{DD} (0.36 μA/kHz) f + I _{DD}							μA
CONTROL INPUTS — INHIBIT, A, B, C, D (Voltages Referenced to V _{SS})											
Low-Level Input Voltage	V _{IL}	5.0 10 15	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	— — —	1.5 3.0 4.0	— — —	2.25 4.50 6.75	1.5 3.0 4.0	— — —	1.5 3.0 4.0	V
High-Level Input Voltage	V _{IH}	5.0 10 15	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	3.5 7.0 11	— — —	3.5 7.0 11	2.75 5.50 8.25	— — —	3.5 7.0 11	— — —	V
Input Leakage Current	I _{in}	15	V _{in} = 0 or V _{DD}	—	± 0.1	—	± 0.00001	± 0.1	—	1.0	μA
Input Capacitance	C _{in}	—		—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
SWITCHES IN/OUT AND COMMONS OUT/IN — X, Y (Voltages Referenced to V _{SS})											
Recommended Peak-to-Peak Voltage Into or Out of the Switch	V _{I/O}	—	Channel On or Off	0	V _{DD}	0	—	V _{DD}	0	V _{DD}	V _{p-p}
Recommended Static or Dynamic Voltage Across the Switch** (Figure 1)	ΔV _{switch}	—	Channel On	0	600	0	—	600	0	300	mV
Output Offset Voltage	V _{OO}	—	V _{in} = 0 V, No Load	—	—	—	10	—	—	—	μV
ON Resistance	R _{on}	5.0 10 15	ΔV _{switch} ≤ 500 mV**, V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control), and V _{Iin} 0 to V _{DD} (Switch)	— — —	800 400 220	— — —	250 120 80	1050 500 280	— — —	1300 550 320	Ω
ΔON Resistance Between Any Two Channels in the Same Package	ΔR _{on}	5.0 10 15		— — —	70 50 45	— — —	25 10 10	70 50 45	— — —	135 95 65	Ω
Off-Channel Leakage Current (Figure 2)	I _{off}	15	V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control) Channel to Channel or Any One Channel	—	± 100	—	± 0.05	± 100	—	± 1000	nA
Capacitance, Switch I/O	C _{I/O}	—	Inhibit = V _{DD}	—	—	—	10	—	—	—	pF
Capacitance, Common O/I	C _{O/I}	—	Inhibit = V _{DD} (MC14067B) (MC14097B)	— — —	— — —	— — —	100 60	— — —	— — —	— — —	pF
Capacitance, Feedthrough (Channel Off)	C _{I/O}	—	Pins Not Adjacent Pins Adjacent	— —	— —	— —	0.47	— —	— —	— —	pF

Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes, but is intended as an indication of the IC's potential performance.
** For voltage drops across the switch (ΔV_{switch}) > 600 mV (> 300 mV at high temperature) excessive V_{DD} current may be drawn; i.e. the current out of the switch may contain both V_{DD} and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Characteristic	Symbol	V _{DD} – V _{SS} V _{dc}	Typ #	Max	Unit
Propagation Delay Times Channel Input-to-Channel Output (R _L = 200 kΩ) MC14067B	t _{PLH} , t _{PHL} (Figure 3)	5.0 10 15	35 15 12	90 40 30	ns
		5.0 10 15	25 10 7	65 25 18	ns
Control Input-to-Channel Output Channel Turn-On Time (R _L = 10 kΩ) MC14067B/097B	t _{PZH} , t _{PZL} (Figure 4)	5.0 10 15	240 115 75	600 290 190	ns
Channel Turn-Off Time (R _L = 300 kΩ) MC14067B/097B	t _{PHZ} , t _{PLZ} (Figure 4)	5.0 10 15	250 120 75	625 300 190	ns
Any Pair of Address Inputs to Output MC14067B	t _{PLH} , t _{PHL} (Figure 10)	5.0 10 15	280 115 85	700 290 215	ns
		5.0 10 15	250 100 75	625 250 190	ns
Second Harmonic Distortion (R _L = 10 kΩ, f = 1 kHz, V _{in} = 5 V _{p-p})	—	10	0.3	—	%
ON Channel Bandwidth [R _L = 1 kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} – V _{SS}) p-p (sine-wave)] 20 Log ₁₀ (V _{out} /V _{in}) = –3 dB	BW (Figure 5)	10 10	15 25	— —	MHz
Off Channel Feedthrough Attenuation [R _L = 1 kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} – V _{SS}) p-p (sine-wave)] f _{in} = 20 MHz – MC14067B f _{in} = 12 MHz – MC14097B	— (Figure 5)	10	–40	—	dB
Channel Separation [R _L = 1 kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} – V _{SS}) p-p (sine-wave)] f _{in} = 20 MHz	— (Figure 6)	10	–40	—	dB
Crosstalk, Control Inputs-to-Common O/I (R ₁ = 1 kΩ, R _L = 10 kΩ, Control t _r = t _f = 20 ns, Inhibit = V _{SS})	— (Figure 7)	10	30	—	mV

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

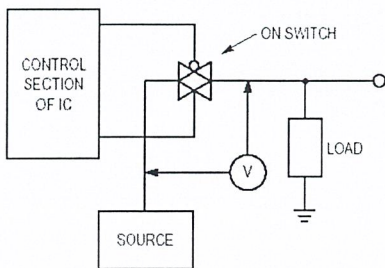


Figure 1. ΔV Across Switch

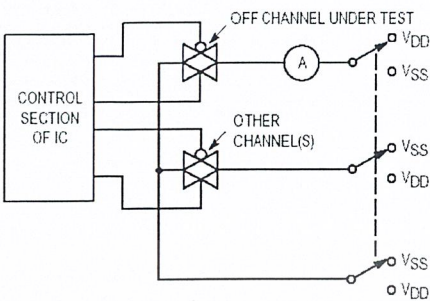


Figure 2. Off Channel Leakage

MC14067B			
PIN ASSIGNMENT			
X	1	24	VDD
X7	2	23	X8
X6	3	22	X9
X5	4	21	X10
X4	5	20	X11
X3	6	19	X12
X2	7	18	X13
X1	8	17	X14
X0	9	16	X15
A	10	15	INHIBIT
B	11	14	C
VSS	12	13	D

MC14097B			
PIN ASSIGNMENT			
X	1	24	VDD
X7	2	23	Y0
X6	3	22	Y1
X5	4	21	Y2
X4	5	20	Y3
X3	6	19	Y4
X2	7	18	Y5
X1	8	17	Y
X0	9	16	Y6
A	10	15	Y7
B	11	14	C
VSS	12	13	INHIBIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

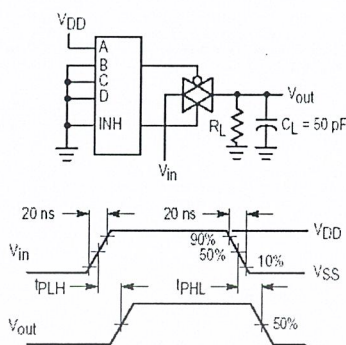


Figure 3. Propagation Delay Test Circuit and Waveforms V_{in} to V_{out}

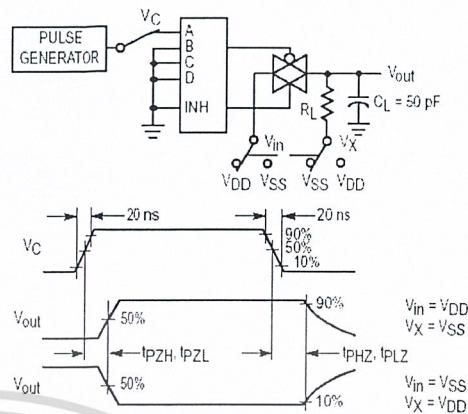


Figure 4. Turn-On and Delay Turn-Off Test Circuit and Waveforms

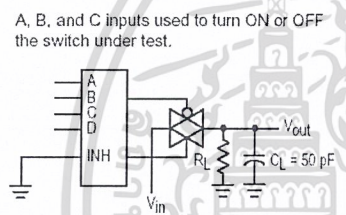


Figure 5. Bandwidth and Off-Channel Feedthrough Attenuation

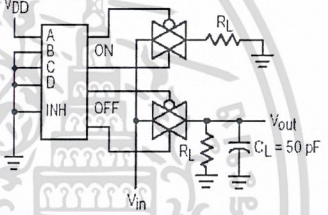


Figure 6. Channel Separation (Adjacent Channels Used for Setup)

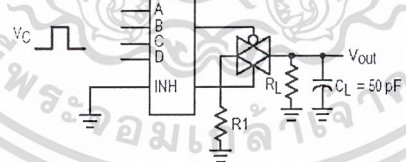


Figure 7. Crosstalk, Control to Common O/I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

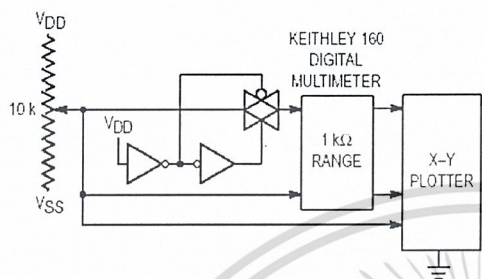


Figure 8. Channel Resistance (R_{ON}) Test Circuit

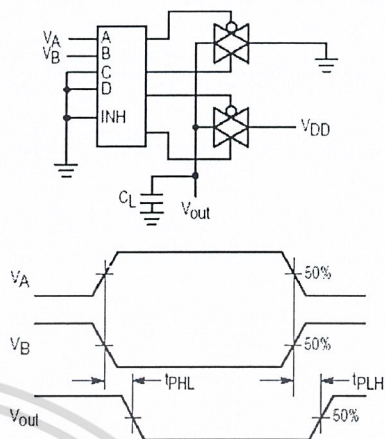


Figure 9. Propagation Delay, Any Pair of Address Inputs to Output

TYPICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS

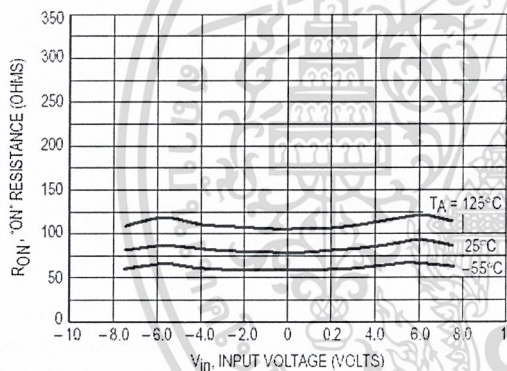


Figure 10. $V_{DD} = 7.5 \text{ V}$, $V_{SS} = -7.5 \text{ V}$

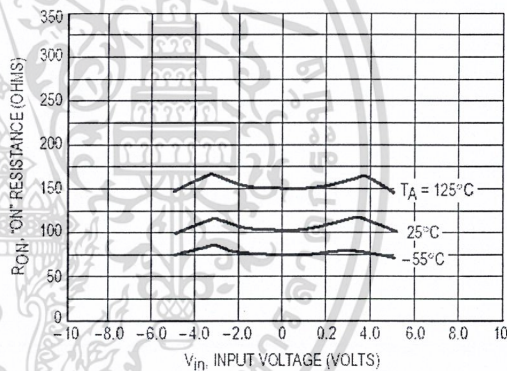


Figure 11. $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$, $V_{SS} = -5.0 \text{ V}$

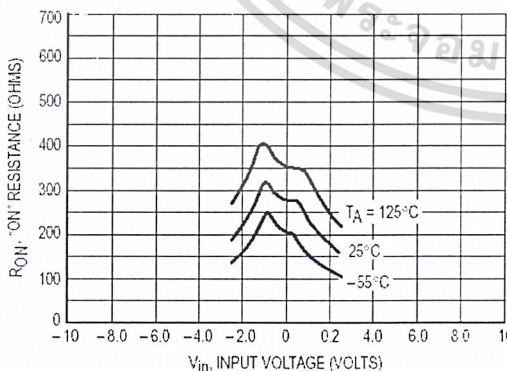


Figure 12. $V_{DD} = 2.5 \text{ V}$, $V_{SS} = -2.5 \text{ V}$

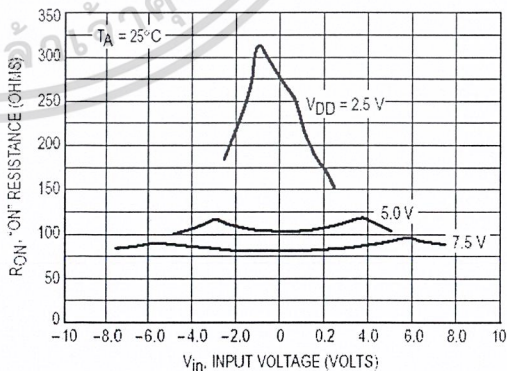


Figure 13. Comparison at 25°C , $V_{DD} = -V_{SS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Figure A illustrates use of the Analog Multiplexer/Demultiplexer. The 0-to-5 volt Digital Control signal is used to directly control a 5 V_{p-p} analog signal.

The digital control logic levels are determined by V_{DD} and V_{SS}. The V_{DD} voltage is the logic high voltage; the V_{SS} voltage is logic low. For the example, V_{DD} = +5 V = logic high at the control inputs; V_{SS} = GND = 0 V = logic low.

The maximum analog signal level is determined by V_{DD} and V_{SS}. The analog voltage must swing neither higher than V_{DD} nor lower than V_{SS}. The example shows a 5 V_{p-p} signal

which allows no margin at either peak. If voltage transients above V_{DD} and/or below V_{SS} are anticipated on the analog channels, external diodes (D_x) are recommended as shown in Figure B. These diodes should be small signal types able to absorb the maximum anticipated current surges during clipping.

The absolute maximum potential difference between V_{DD} and V_{SS} is 18.0 volts. Most parameters are specified up to 15 V which is the recommended maximum difference between V_{DD} and V_{SS}.

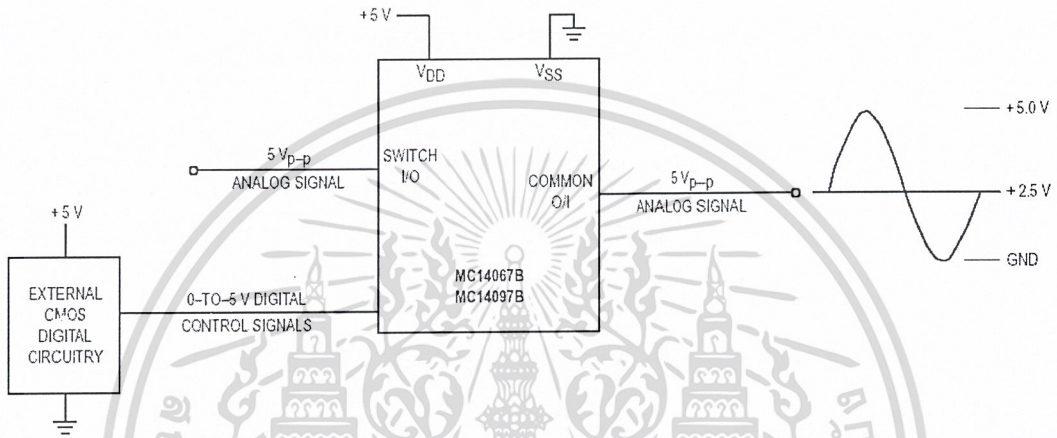


Figure A. Application Example

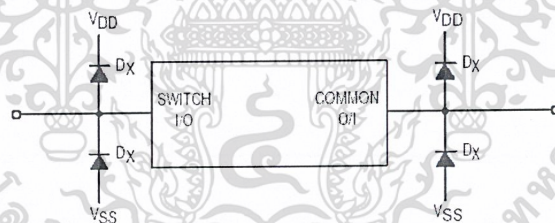
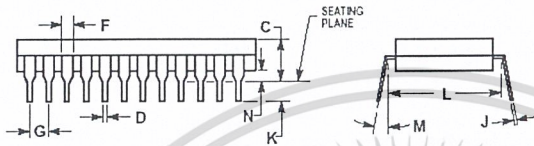
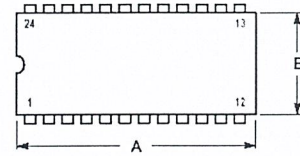


Figure B. External Germanium or Schottky Clipping Diodes

OUTLINE DIMENSIONS

L SUFFIX
CERAMIC DIP PACKAGE
CASE 623-05
ISSUE M

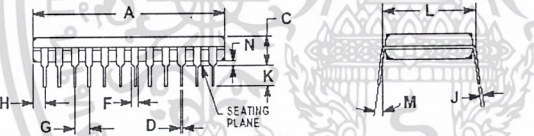


NOTES:

1. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
2. LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION (WHEN FORMED PARALLEL).

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	31.24	32.77	1.230	1.290
B	12.70	15.49	0.500	0.610
C	4.06	5.50	0.160	0.220
D	0.41	0.51	0.016	0.020
F	1.27	1.52	0.050	0.060
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	3.18	4.06	0.125	0.160
L	15.24 BSC		0.600 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
H	0.51	1.27	0.020	0.050

P SUFFIX
PLASTIC DIP PACKAGE
CASE 709-02
ISSUE C



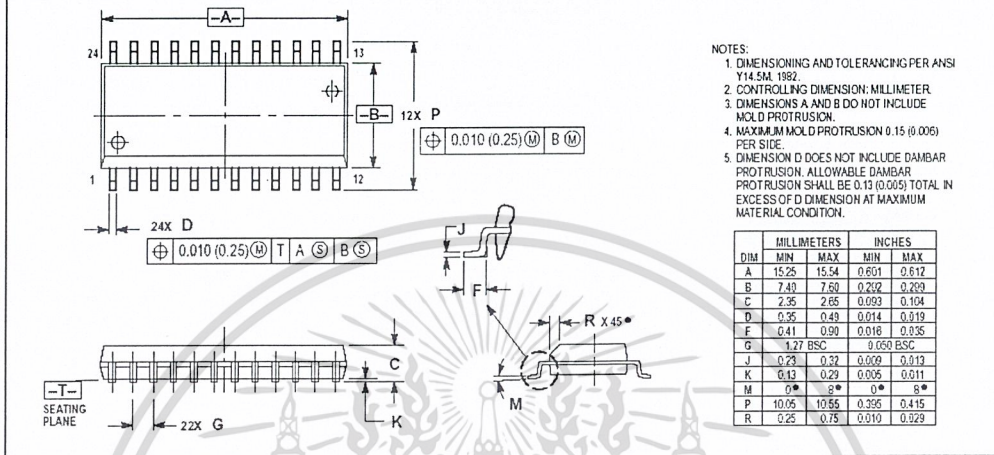
NOTES:

1. POSITIONAL TOLERANCE OF LEADS (D), SHALL BE WITHIN 0.25 (0.010) AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION IN RELATION TO SEATING PLANE AND EACH OTHER.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	31.37	32.13	1.235	1.265
B	13.72	14.22	0.540	0.560
C	3.34	5.08	0.155	0.200
D	0.36	0.56	0.014	0.022
F	1.02	1.52	0.040	0.060
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.45	2.03	0.055	0.080
J	0.20	0.38	0.008	0.015
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	15.24 BSC		0.600 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.51	1.02	0.020	0.040

OUTLINE DIMENSIONS

DW SUFFIX
PLASTIC SCIC PACKAGE
CASE 751E-04
ISSUE E



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

MFAX: RMFA00@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6699
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC. 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

MC14067B/D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document
 by MC145026/D

Encoder and Decoder Pairs

CMOS

These devices are designed to be used as encoder/decoder pairs in remote control applications.

The MC145026 encodes nine lines of information and serially sends this information upon receipt of a transmit enable (TE) signal. The nine lines may be encoded with trinary data (low, high, or open) or binary data (low or high). The words are transmitted twice per encoding sequence to increase security.

The MC145027 decoder receives the serial stream and interprets five of the trinary digits as an address code. Thus, 243 addresses are possible. If binary data is used at the encoder, 32 addresses are possible. The remaining serial information is interpreted as four bits of binary data. The valid transmission (VT) output goes high on the MC145027 when two conditions are met. First, two addresses must be consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address. Second, the 4 bits of data must match the last valid data received. The active VT indicates that the information at the Data output pins has been updated.

The MC145028 decoder treats all nine trinary digits as an address which allows 19,683 codes. If binary data is encoded, 512 codes are possible. The VT output goes high on the MC145028 when two addresses are consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address.

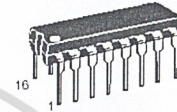
- Operating Temperature Range: -40 to $+85^{\circ}\text{C}$
- Very-Low Standby Current for the Encoder: 300 nA Maximum @ 25°C
- Interfaces with RF, Ultrasonic, or Infrared Modulators and Demodulators
- RC Oscillator, No Crystal Required
- High External Component Tolerance; Can Use $\pm 5\%$ Components
- Internal Power-On Reset Forces All Decoder Outputs Low
- Operating Voltage Range: MC145026 = 2.5 to 18 V*
- For Infrared Applications, See Application Note AN1016/D

MC145027, MC145028 = 4.5 to 18 V

PIN ASSIGNMENTS

MC145026 ENCODER				MC145027 DECODERS				MC145028 DECODERS			
A1	1	16	V _{DD}	A1	1	16	V _{DD}	A1	1	16	V _{DD}
A2	2	15	D _{out}	A2	2	15	D6	A2	2	15	A6
A3	3	14	TE	A3	3	14	D7	A3	3	14	A7
A4	4	13	R _{TC}	A4	4	13	D8	A4	4	13	A8
A5	5	12	C _{TC}	A5	5	12	D9	A5	5	12	A9
A6/D6	6	11	R _S	R ₁	6	11	VT	R ₁	6	11	VT
A7/D7	7	10	A9/D9	C ₁	7	10	R ₂ /C ₂	C ₁	7	10	R ₂ /C ₂
V _{SS}	8	9	A8/D8	V _{SS}	8	9	D _{in}	V _{SS}	8	9	D _{in}

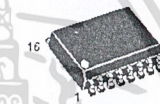
MC145026 MC145027 MC145028



P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648



D SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751B



DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

MC145026P	Plastic DIP
MC145026D	SOG Package
MC145027P	Plastic DIP
MC145027DW	SOG Package
MC145028P	Plastic DIP
MC145028DW	SOG Package

REV 3
1/98

© Motorola, Inc. 1998



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

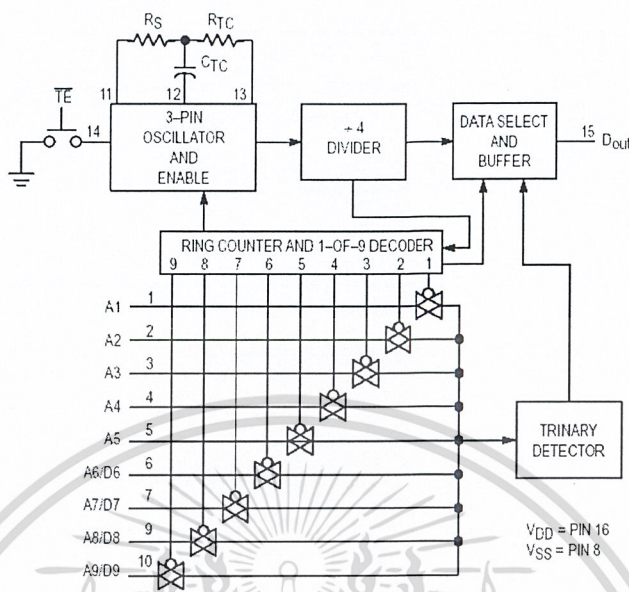


Figure 1. MC145026 Encoder Block Diagram

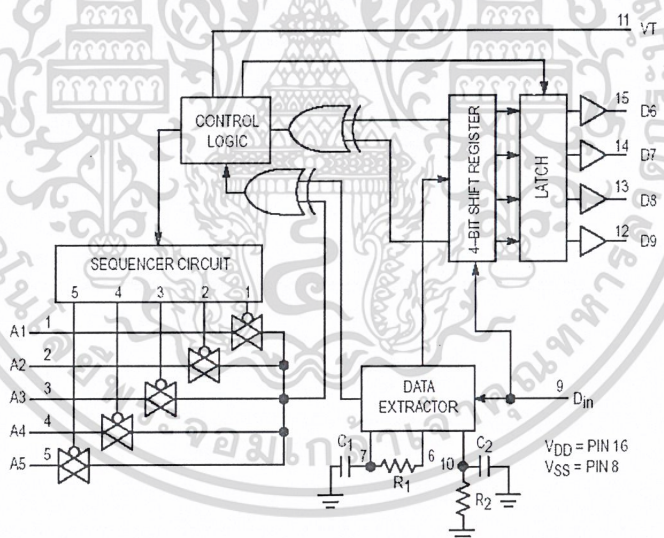


Figure 2. MC145027 Decoder Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V _{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			- 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{OL}	Low-Level Output Voltage (V _{in} = V _{DD} or 0)	5.0 10 15	— — —	0.05 0.05 0.05	— — —	0.05 0.05 0.05	— — —	0.05 0.05 0.05	V
V _{OH}	High-Level Output Voltage (V _{in} = 0 or V _{DD})	5.0 10 15	4.95 9.95 14.95	— — —	4.95 9.95 14.95	— — —	4.95 9.95 14.95	— — —	V
V _{IL}	Low-Level Input Voltage (V _{out} = 4.5 or 0.5 V) (V _{out} = 9.0 or 1.0 V) (V _{out} = 13.5 or 1.5 V)	5.0 10 15	— — —	1.5 3.0 4.0	— — —	1.5 3.0 4.0	— — —	1.5 3.0 4.0	V
V _{IH}	High-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 or 4.5 V) (V _{out} = 1.0 or 9.0 V) (V _{out} = 1.5 or 13.5 V)	5.0 10 15	3.5 7.0 11	— — —	3.5 7.0 11	— — —	3.5 7.0 11	— — —	V
I _{OH}	High-Level Output Current (V _{out} = 2.5 V) (V _{out} = 4.6 V) (V _{out} = 9.5 V) (V _{out} = 13.5 V)	5.0 5.0 10 15	-2.5 -0.52 -1.3 -3.6	— — — —	-2.1 -0.44 -1.1 -3.0	— — — —	-1.7 -0.36 -0.9 -2.4	— — — —	mA
I _{OL}	Low-Level Output Current (V _{out} = 0.4 V) (V _{out} = 0.5 V) (V _{out} = 1.5 V)	5.0 10 15	0.52 1.3 3.6	— — —	0.44 1.1 3.0	— — —	0.36 0.9 2.4	— — —	mA
I _{in}	Input Current — TE (MC145026, Pull-Up Device)	5.0 10 15	— — —	— — —	3.0 16 35	11 60 120	— — —	— — —	μA
I _{in}	Input Current R _S (MC145026), D _{in} (MC145027, MC145028)	15	—	± 0.3	—	± 0.3	—	± 1.0	μA
I _{in}	Input Current A1 – A5, A6/D6 – A9/D9 (MC145026), A1 – A5 (MC145027), A1 – A9 (MC145028)	5.0 10 15	— — —	— — —	— — —	± 110 ± 500 ± 1000	— — —	— — —	μA
C _{in}	Input Capacitance (V _{in} = 0)	—	—	—	—	7.5	—	—	pF
I _{DD}	Quiescent Current — MC145026	5.0 10 15	— — —	— — —	— — —	0.1 0.2 0.3	— — —	— — —	μA
I _{DD}	Quiescent Current — MC145027, MC145028	5.0 10 15	— — —	— — —	— — —	50 100 150	— — —	— — —	μA
I _{dd}	Dynamic Supply Current — MC145026 (f _C = 20 kHz)	5.0 10 15	— — —	— — —	— — —	200 400 600	— — —	— — —	μA
I _{dd}	Dynamic Supply Current — MC145027, MC145028 (f _C = 20 kHz)	5.0 10 15	— — —	— — —	— — —	400 800 1200	— — —	— — —	μA

* Also see next Electrical Characteristics table for 2.5 V specifications.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V _{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			− 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{OL}	Low-Level Output Voltage (V _{in} = 0 V or V _{DD})	2.5	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
V _{OH}	High-Level Output Voltage (V _{in} = 0 V or V _{DD})	2.5	2.45	—	2.45	—	2.45	—	V
V _{IL}	Low-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	—	0.3	—	0.3	—	0.3	V
V _{IH}	High-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	2.2	—	2.2	—	2.2	—	V
I _{OH}	High-Level Output Current (V _{out} = 1.25 V)	2.5	0.28	—	0.25	—	0.2	—	mA
I _{OL}	Low-Level Output Current (V _{out} = 0.4 V)	2.5	0.22	—	0.2	—	0.16	—	mA
I _{in}	Input Current (TE — Pull-Up Device)	2.5	—	—	0.09	1.8	—	—	μA
I _{in}	Input Current (A1–A5, A6/D6–A9/D9)	2.5	—	—	—	± 25	—	—	μA
I _{DD}	Quiescent Current	2.5	—	—	—	0.05	—	—	μA
I _{dd}	Dynamic Supply Current (f _c = 20 kHz)	2.5	—	—	—	40	—	—	μA

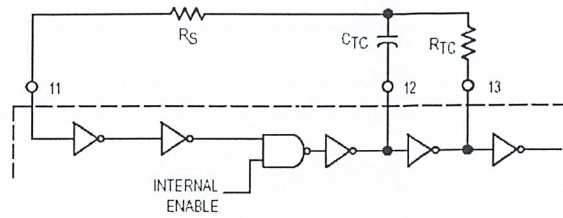
SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V _{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t _{TLH} , t _{THL}	Output Transition Time	4, 8	5.0 10 15	— — —	200 100 80	ns
t _r	D _{in} Rise Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 15 15	μs
t _f	D _{in} Fall Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 5.0 4.0	μs
f _{osc}	Encoder Clock Frequency	6	5.0 10 15	0.001 0.001 0.001	2.0 5.0 10	MHz
f	Decoder Frequency — Referenced to Encoder Clock	12	5.0 10 15	1.0 1.0 1.0	240 410 450	kHz
t _w	TE Pulse Width — Encoders	7	5.0 10 15	65 30 20	— — —	ns

* Also see next Switching Characteristics table for 2.5 V specifications.

SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V _{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t _{TLH} , t _{THL}	Output Transition Time	4, 8	2.5	—	450	ns
f _{osc}	Encoder Clock Frequency	6	2.5	1.0	250	kHz
t _w	TE Pulse Width	7	2.5	1.5	—	μs



This oscillator operates at a frequency determined by the external RC network; i.e.,

$$f \approx \frac{1}{2.3 R_{TC} C_{TC}'} \text{ (Hz)}$$

$$\text{for } 1 \text{ kHz} \leq f \leq 400 \text{ kHz}$$

$$\text{where: } C_{TC}' = C_{TC} + C_{\text{layout}} + 12 \text{ pF}$$

$$R_S \approx 2 R_{TC}$$

$$R_S \geq 20 \text{ k}$$

$$R_{TC} \geq 10 \text{ k}$$

$$400 \text{ pF} < C_{TC} < 15 \text{ }\mu\text{F}$$

The value for R_S should be chosen to be ≥ 2 times R_{TC} . This range ensures that current through R_S is insignificant compared to current through R_{TC} . The upper limit for R_S must ensure that $R_S \times 5 \text{ pF}$ (input capacitance) is small compared to $R_{TC} \times C_{TC}$.

For frequencies outside the indicated range, the formula is less accurate. The minimum recommended oscillation frequency of this circuit is 1 kHz. Susceptibility to externally induced noise signals may occur for frequencies below 1 kHz and/or when resistors utilized are greater than 1 M Ω .

Figure 9. Encoder Oscillator Information

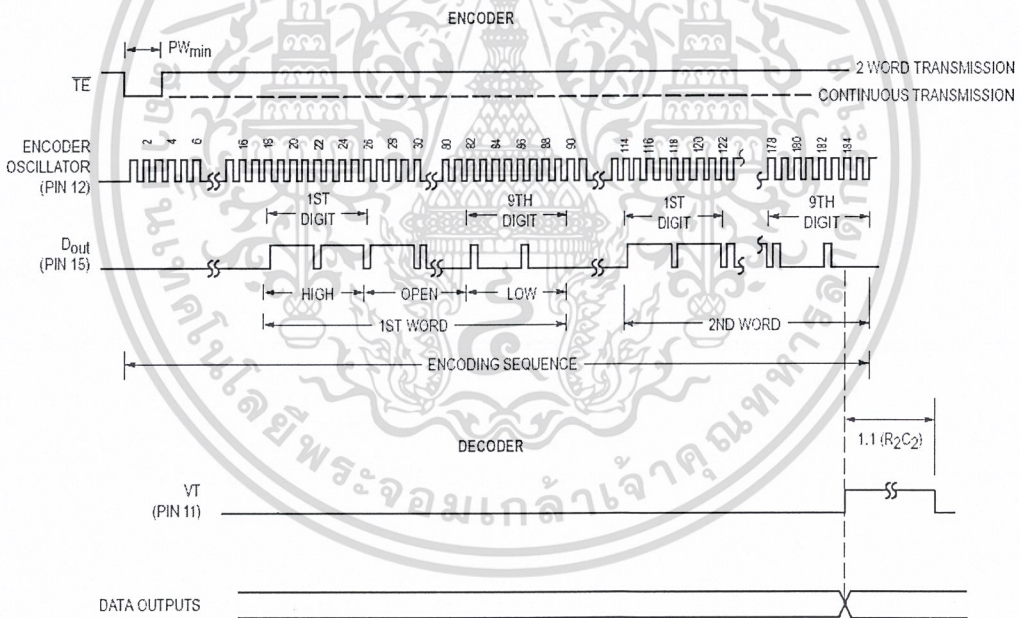


Figure 10. Timing Diagram

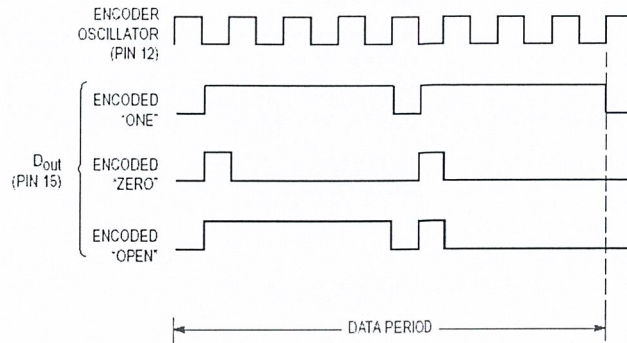
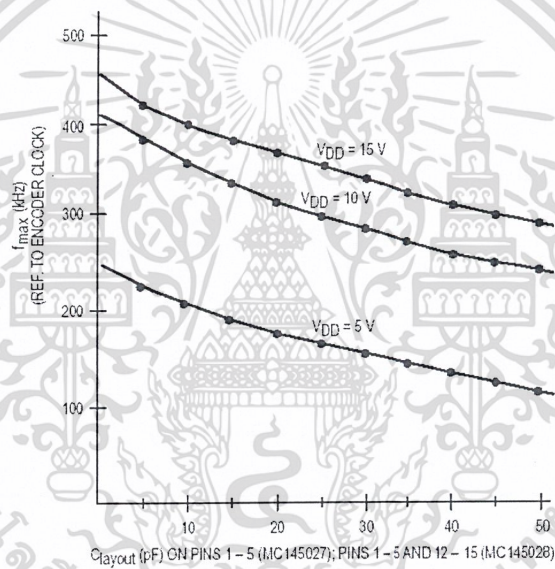


Figure 11. Encoder Data Waveforms

Figure 12. f_{max} vs Clayout — Decoders Only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

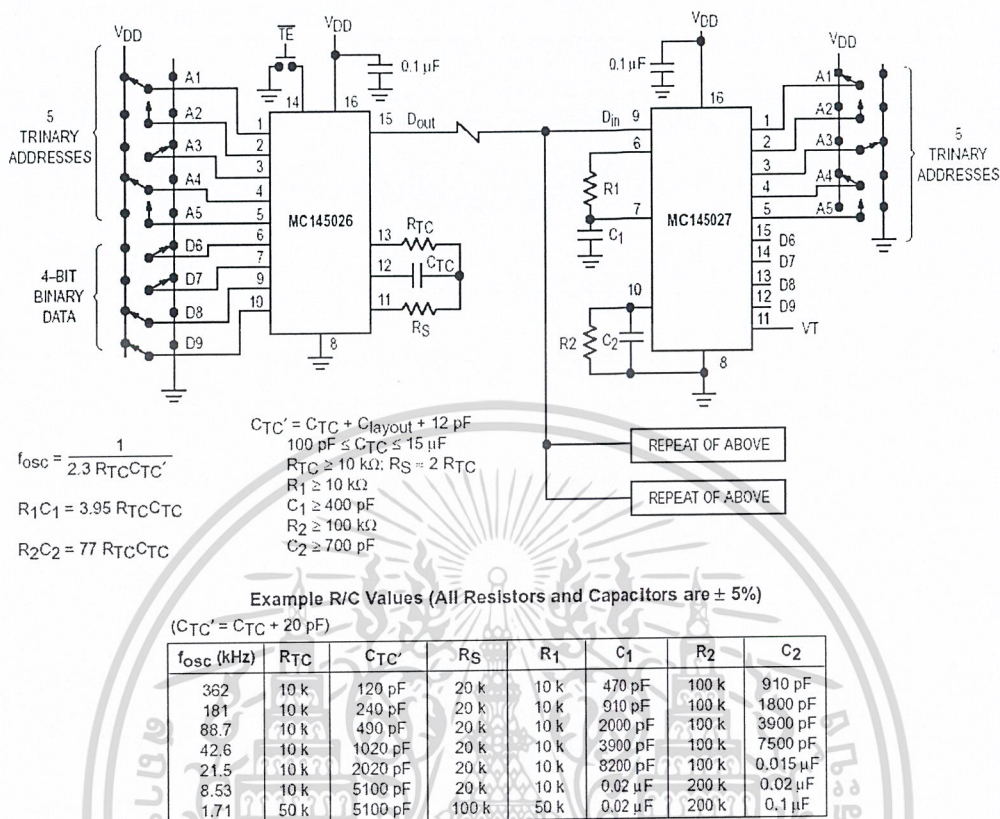


Figure 17. Typical Application

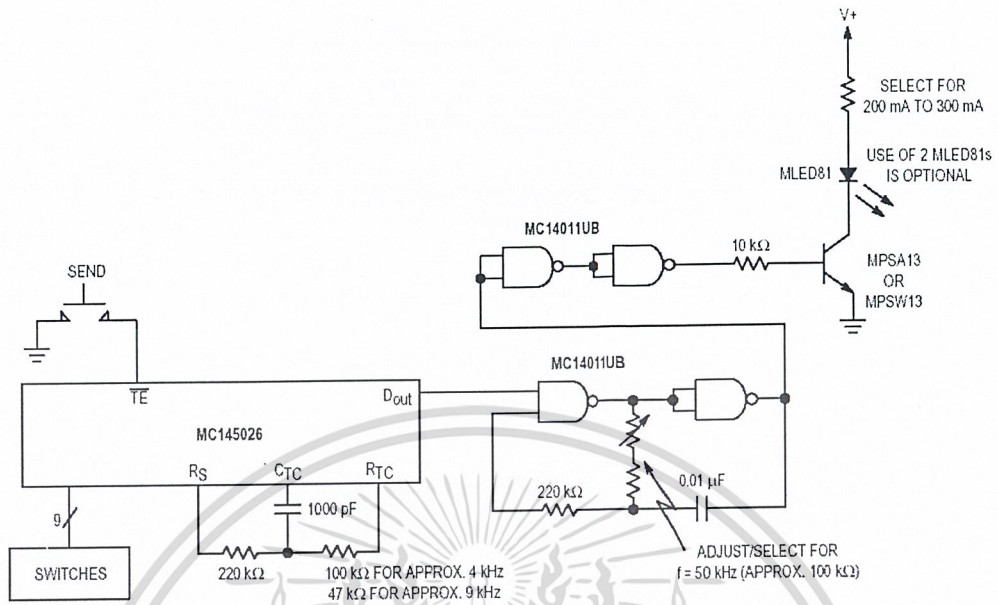


Figure 18. IRED Transmitter Using RC Oscillator to Generate Carrier Frequency

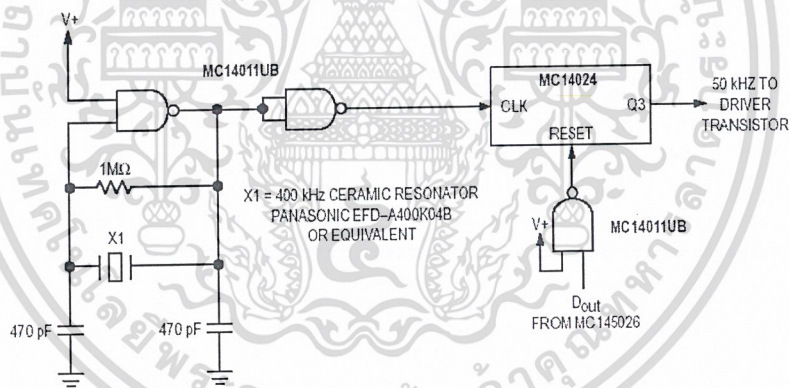
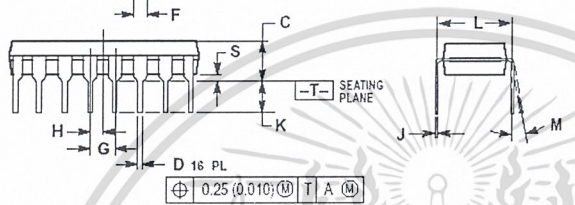
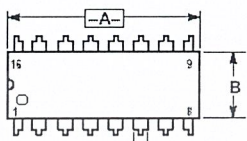


Figure 19. Using a Ceramic Resonator to Generate Carrier Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

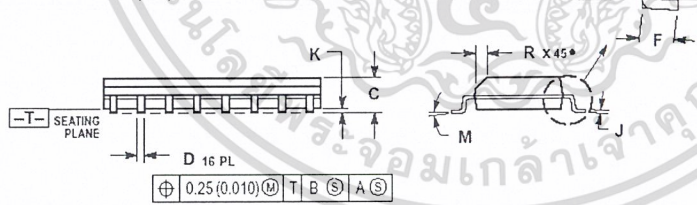
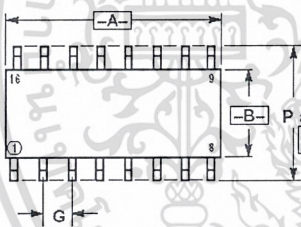
P SUFFIX
PLASTIC DIP (DUAL IN-LINE PACKAGE)
CASE 648-08



- NOTES:
- 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
 - 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH
 - 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL
 - 4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH
 - 5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL

DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.060 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.235	0.305	7.50	7.74
M	0*	10*	0*	10*
S	0.020	0.040	0.51	1.01

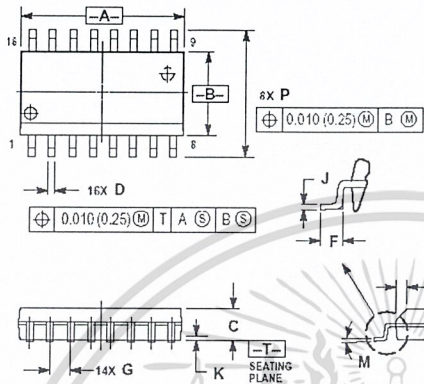
D SUFFIX
SOG (SMALL OUTLINE GULL-WING) PACKAGE
CASE 751B-05



- NOTES:
- 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
 - 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
 - 3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION
 - 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE
 - 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.395	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0*	7*	0*	7*
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

DW SUFFIX
SOG (SMALL OUTLINE GULL-WING) PACKAGE
CASE 751G-02



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
 3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.13 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	10.15	10.45	0.400	0.411
B	7.40	7.60	0.292	0.299
C	2.35	2.65	0.093	0.104
D	0.35	0.42	0.014	0.019
E	0.50	0.50	0.020	0.020
F	1.27 BSC	0.050 BSC		
G	0.25	0.32	0.010	0.012
H	0.10	0.25	0.004	0.009
I	0*	7*	0*	7*
J	10.05	10.55	0.395	0.415
K	0.25	0.75	0.010	0.029

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447
JAPAN: Motorola Japan Ltd.; SPD, Strategic Planning Office, 141,
4-32-1 Nishi-Golanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan. 81-3-5487-8488
Customer Focus Center: 1-800-521-6274

MfaxSM: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 1-602-244-6609
Motorola Fax Back System - US & Canada ONLY 1-800-774-1848
- http://sps.motorola.com/mfax/ ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298
HOME PAGE: http://motorola.com/sps/



MOTOROLA

MC145026/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



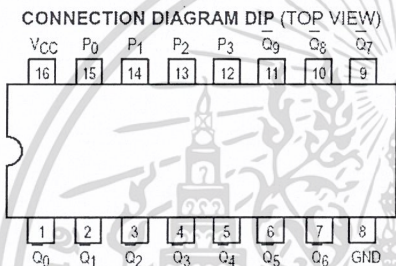
1-OF-10 DECODER/DRIVER OPEN-COLLECTOR

The SN54/74LS145, 1-of-10 Decoder/Driver, is designed to accept BCD inputs and provide appropriate outputs to drive 10-digit incandescent displays. All outputs remain off for all invalid binary input conditions. It is designed for use as indicator/relay drivers or as an open-collector logic circuit driver. Each of the high breakdown output transistors will sink up to 80 mA of current. Typical power dissipation is 35 mW. This device is fully compatible with all TTL families.

- Low Power Version of 54/74145
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

SN54/74LS145

1-OF-10 DECODER/DRIVER
OPEN-COLLECTOR
LOW POWER SCHOTTKY



PIN NAMES

P₀, P₁, P₂, P₃ BCD Inputs
Q₀ to Q₉ Outputs (Note b)

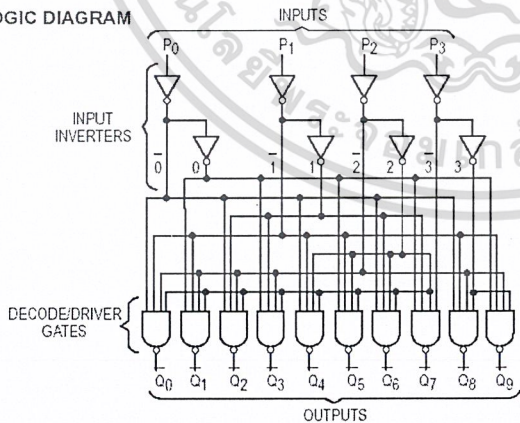
LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
0.5 U.L.	0.25 U.L.	15 (7.5) U.L.
Open Collector		

NOTES:

- a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 15 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

LOGIC DIAGRAM



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

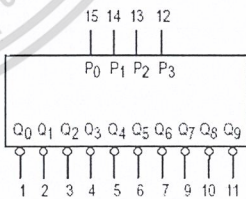


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS145

TRUTH TABLE

INPUTS				OUTPUTS									
P ₃	P ₂	P ₁	P ₀	Q ₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉
L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
V _{OH}	Output Voltage — High	54, 74			15	V
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS145

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
V_{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V_{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74			0.8		
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
I_{OH}	Output HIGH Current	54, 74			250	μA	$V_{CC} = \text{MIN}$, $V_{OH} = \text{MAX}$
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	$V_{CC} = V_{CC} \text{ MIN}$, $V_{IN} = V_{IL} \text{ or } V_{IH}$ per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	
		54, 74		2.3	3.0	V	
I_{IH}	Input HIGH Current				20	μA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
					0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
I_{IL}	Input LOW Current				-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
I_{CC}	Power Supply Current				13	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = \text{GND}$

AC CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t_{PHL}	Propagation Delay			50	ns	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ $C_L = 45 \text{ pF}$
t_{PLH}	P_n Input to Q_n Output			50		

AC WAVEFORMS

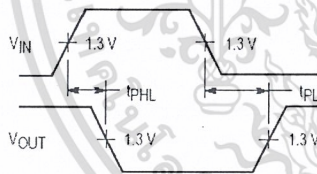


Figure 1

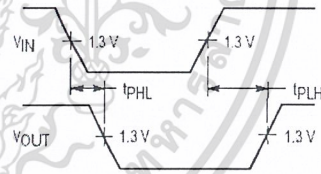


Figure 2

FAST AND LS TTL DATA

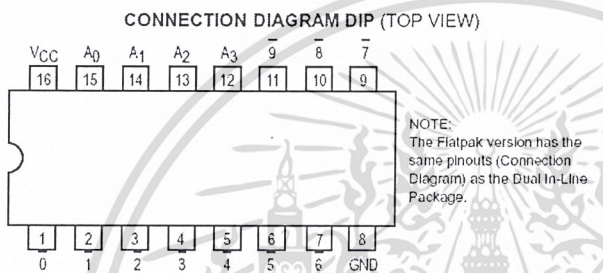
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ONE-OF-TEN DECODER

The LSTTL/MSI SN54/74LS42 is a Multipurpose Decoder designed to accept four BCD inputs and provide ten mutually exclusive outputs. The LS42 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all Motorola TTL families.

- Multifunction Capability
- Mutually Exclusive Outputs
- Demultiplexing Capability
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects



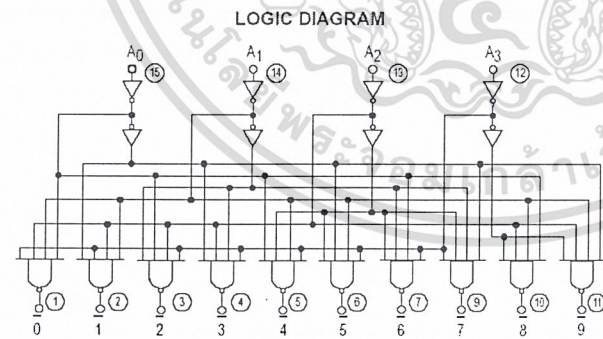
PIN NAMES

A₀ - A₃ Address Inputs
0 to 9 Outputs, Active LOW (Note b)

LOADING (Note a)

HIGH	LOW
0.5 U.L.	0.25 U.L.
10 U.L.	5(2.5) U.L.

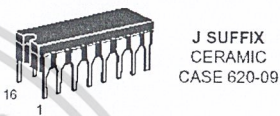
NOTES:
a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Millitary (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.



V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8
○ = PIN NUMBERS

SN54/74LS42

ONE-OF-TEN DECODER LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

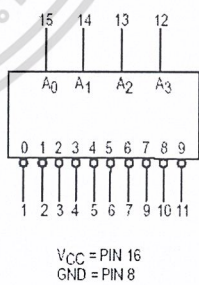


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

LOGIC SYMBOL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS42

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS42 decoder accepts four active HIGH BCD inputs and provides ten mutually exclusive active LOW outputs, as shown by logic symbol or diagram. The active LOW outputs facilitate addressing other MSI units with LOW input enables. The logic design of the LS42 ensures that all outputs are HIGH when binary codes greater than nine are applied

to the inputs. The most significant input A₃ produces a useful inhibit function when the LS42 is used as a one-of-eight decoder. The A₃ input can also be used as the Data input in an 8-output demultiplexer application.

TRUTH TABLE

A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
H	H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS42

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions	
			Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA	V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA	
I _{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current				-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		-20		-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current				13	mA	V _{CC} = MAX	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions	
			Min	Typ	Max			
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay (2 Levels)			15 15	25 25	ns	Figure 2	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay (3 Levels)			20 20	30 30	ns	Figure 1	

AC WAVEFORMS



Figure 1

Figure 2

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- PT8A977P/977W works as encoder and PT8A978P/978LW works as decoder
- Five pins for five control functions
- Operating power-supply voltage: 2.5V to 5.0V (977P, 977W, 978P), 2.0V to 5.0V (978LW)
- Auto-power-off if no press on any button in 8s or continuously press on any button over 4 minutes
- Press on any button as wake up (977P, 977W)
- Manual-power-off with OFF button
- One output pin used for external power control (977P, 977W)
- On-chip oscillator with an external resistor
- On-chip reversing amplifiers (978P, 978LW)
- Low operating current
- Few external components needed
- Package: 14-pin DIP, 14-pin SOIC, 16-pin DIP and 16-pin SOIC

Ordering Information

Part No.	Package
PT8A977P	14-pin DIP
PT8A977W	14-pin SOIC
PT8A978P	16-pin DIP
PT8A978LW	16-pin SOIC

General Description

The PT8A977P (or 977W) and PT8A978P (or 978LW) provide a complete control functions to the remote-controlled toy. The PT8A977P/977W has five input pins corresponding with the five function buttons i.e., forward, backward, rightward, leftward and turbo. The encoding circuit in the PT8A977P/977W sends digital codes to the two output pins SO and SC. The digital codes correspond to the definite function buttons or their combinations. The SO and SC outputs are used in wireless and infra-red applications respectively.

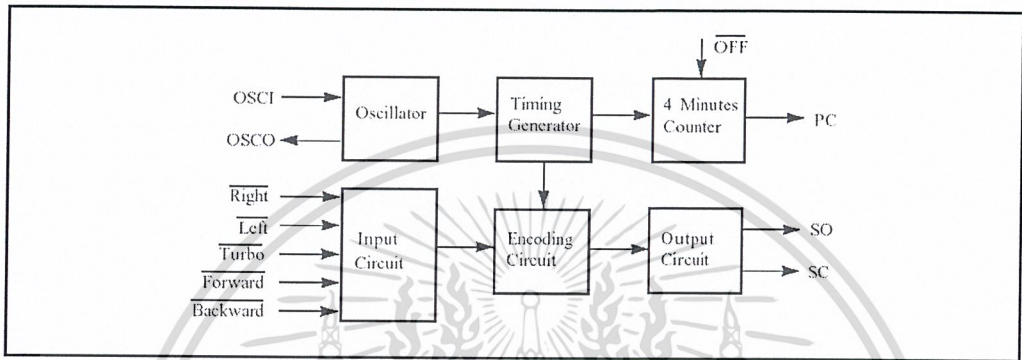
The PT8A978P (or 978LW) has five output pins corresponding with the five actions. The received signals are amplified by the three-stage amplifier, and then the appropriate amplified signals are sampled, fault-tolerantly checked and decoded to control the actions of the remote-controlled toy.

There is an internal oscillator in the PT8A977P/977W and 978P/978LW respectively. By adding an external resistor conveniently, the oscillator will be constructed. The oscillator frequency can be adjusted by the external resistor. The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P/977W and PT8A978P/978LW must be less than $\pm 25\%$.

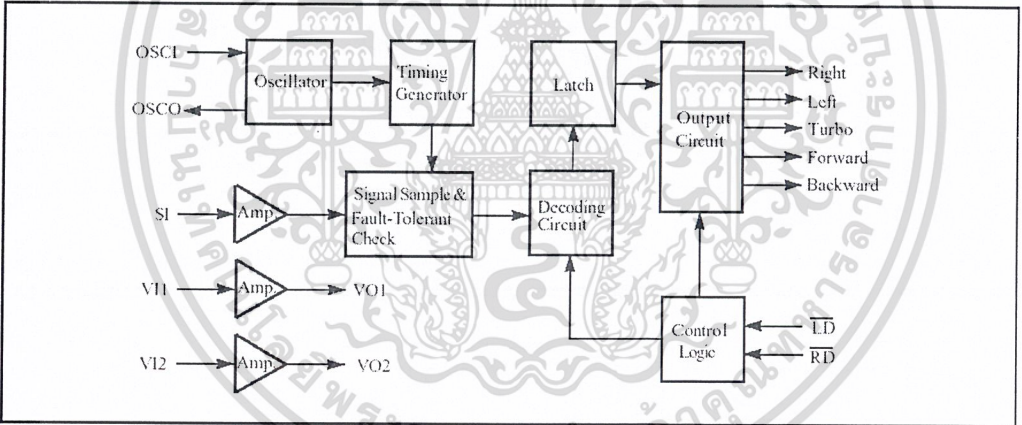
The auto-power-off function is achieved by an internal counter. The PC output is used to control on/off state of the external power supply. Pressing OFF button can also shut down the power supply. Press on any function button will wake up the chip promptly.

Block Diagram

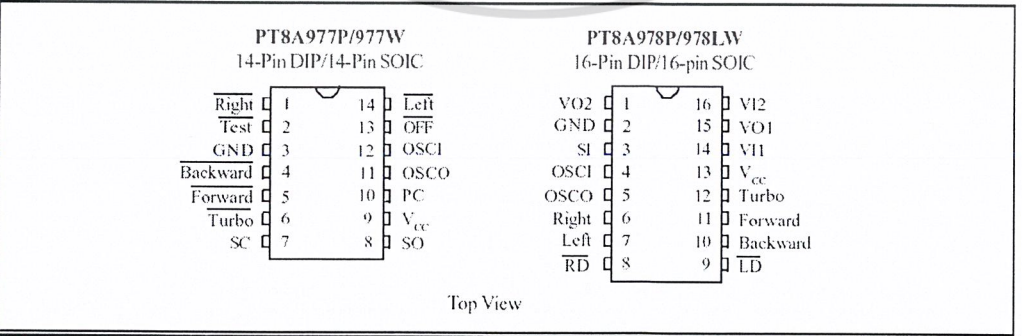
Block Diagram of 977P/977W



Block Diagram of 978P/978LW



Pin Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PT Pericom Technology Inc.

Data Sheet
PT8A977P/977W/978P/978LW
5-Function Remote Controller

Pin Description

Pin Description of 977P/977W

Pin No.	Pin Name	Description
1	Right	With Pull-up resistor, rightward function selected if this pin connected to GND.
2	Test	With Pull-up resistor, this pin is used for testing mode.
3	GND	Negative power supply
4	Backward	With Pull-up resistor, backward function selected if this pin connected to GND.
5	Forward	With Pull-up resistor, forward function selected if this pin connected to GND.
6	Turbo	With Pull-up resistor, turbo function selected if this pin connected to GND.
7	SC	Output pin of the encoding signal with carrier frequency
8	SO	Output pin of the encoding signal without carrier frequency
9	V _{cc}	Positive power supply
10	PC	Power control output pin
11	OSCO	Oscillator output pin
12	OSCI	Oscillator input pin
13	OFF	With Pull-up resistor, this pin is used to shut down the external power supply.
14	Left	With Pull-up resistor, leftward function selected if this pin connected to GND.

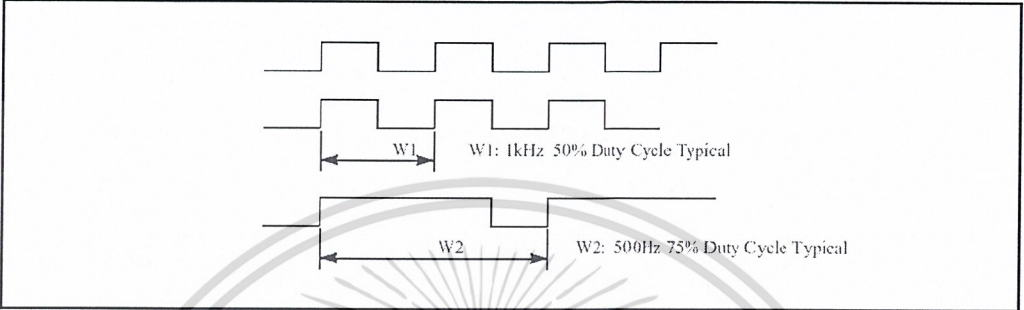
Pin Description of 978P/978LW

Pin No.	Pin Name	Description
1	VO2	Output pin for the amplifier 2
2	GND	Negative power supply
3	SI	Input pin of the encoding signal
4	OSCI	Oscillator input pin
5	OSCO	Oscillator output pin
6	Right	Rightward output pin
7	Left	Leftward output pin
8	RD	With Pull-up resistor, rightward function disabled if this pin connected to GND.
9	LD	With Pull-up resistor, leftward function disabled if this pin connected to GND.
10	Backward	Backward output pin
11	Forward	Forward output pin
12	Turbo	Turbo output pin
13	V _{cc}	Positive power supply
14	VII	Input pin for the amplifier 1
15	VO1	Output pin for the amplifier 1
16	VI2	Input pin for the amplifier 2

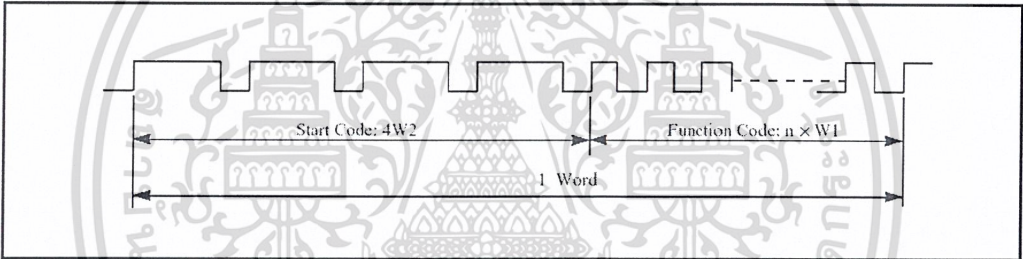
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Format

(W1 is used for function codes, W2 for start codes)

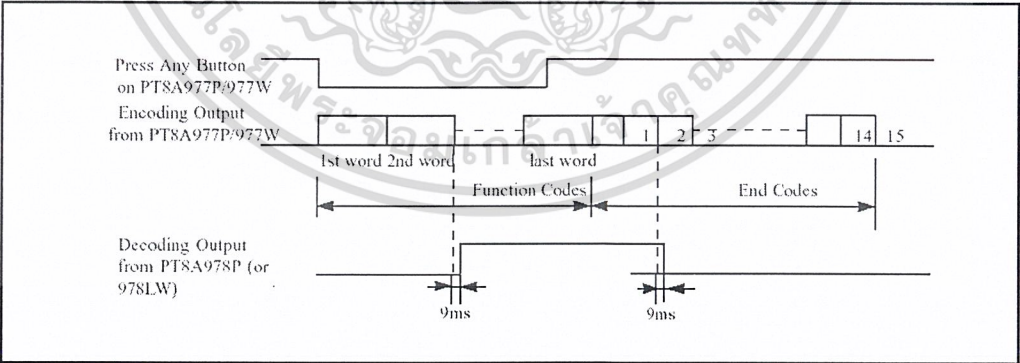


Word Format



Encoding and Decoding Timing

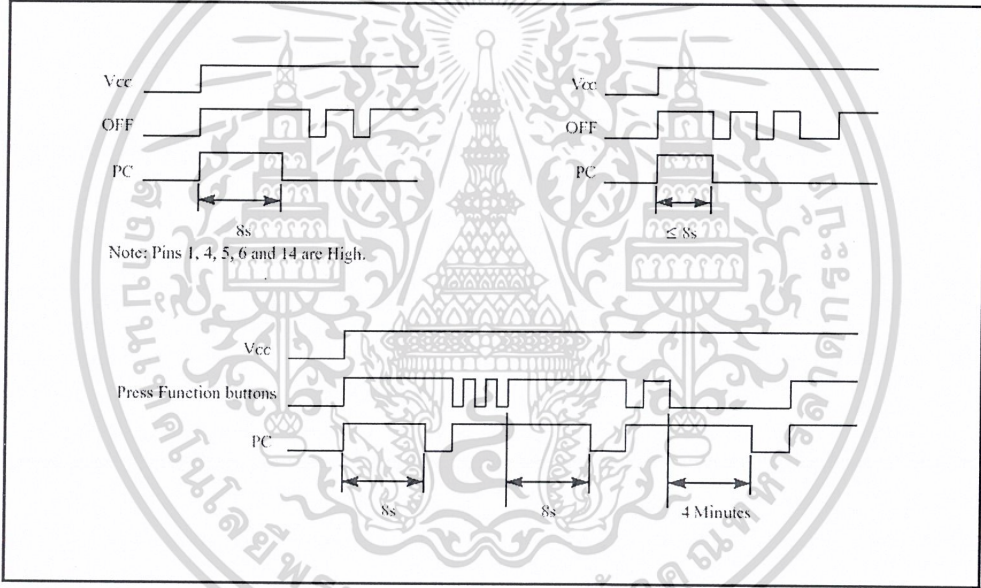
W2, W2, W2, W2, (n)xW1, W2, W2, W2, W2, (n)xW1, W2, W2, W2, W2, (m)xW1, W2, W2, W2, W2, (n)xW1.



Encoding Input and Decoding Result

Number of Function Codes (n) W1	Decoding Results
4	End Code
10	Forward (Pulse)
16	Forward (High level)
22	Turbo
28	Forward (High level) & Left
34	Forward (High level) & Right
40	Backward
46	Backward & Right
52	Backward & Left
58	Left
64	Right

PC Output Timing of 977P/977W



Maximum Ratings

(Above which the useful life may be impaired. For user guidelines, not tested)

Storage Temperature	-25°C to +85°C
Ambient Temperature with Power Applied	-10°C to +40°C
Supply Voltage to Ground Potential (Inputs & V _{cc} Only)	-0.5 to +6.0V
Supply Voltage to Ground Potential (Outputs & D/O Only)	-0.5 to +6.0V
DC Input Voltage	-0.5 to +6.0V
DC Output Current	20mA
Power Dissipation	500mW

Note:

Stresses greater than those listed under MAXIMUM RATINGS may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

DC Electrical Charateristics

DC Electrical Charateristics of 977P/977W

Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
V _{cc}	Operating Voltage		2.5	4.0	5.0	V
I _{cc}	Supply Current	Output unloaded			100	uA
I _{sr}	Stand-by Current	OFF State			5	uA
V _{il}	Input Low Voltage	Guaranteed Logic LOW level			0.8	V
V _{ih}	Input High Voltage	Guaranteed Logic HIGH level	3.0			V
I _{il}	Input Low Current	Pin 1, 4, 5, 6, 13, 14 V _{il} = 0V, ON state			-60	uA
I _{ih}	Input High Current	Pin 1, 4, 5, 6, 13, 14 V _{ih} = 4V, ON state			10	uA
I _i	Input Current	Pin 12 V _{in} = 0 ~ 4V, ON state			±10	uA
I _{ol}	Output Low Current	V _{out} = 0.5 V	150			uA
I _{oh}	Output High Current	Pin 7, 8, 10 V _{out} = 3.5 V	-1.0			mA
		Pin 11 V _{out} = 3.5 V	-200		- 800	uA

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{cc} = 4V

DC Electrical Characteristics of 978P/978LW

Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
V _{cc}	Operating Voltage - 978P		2.5	4.0	5.0	V
	Operating Voltage - 978LW		2.0		5.0	V
I _{cc}	Supply Current	Output unloaded			1	mA
I _{sr}	Stand-by Current	OFF State			10	uA
V _{il}	Input Low Voltage	Guaranteed Logic LOW level			0.8	V
V _{ih}	Input High Voltage	Guaranteed Logic HIGH level	3.0			V
I _{il}	Input Low Current	Pin 3, 8, 9 V _{il} = 0V, ON state			-60	uA
I _{ih}	Input High Current	Pin 3 V _{ih} = 4V, ON state			60	uA
	Input High Current	Pin 8, 9 V _{ih} = 4V, ON state			10	uA
I _i	Input Current	Pin 14, 16 V _{in} = 0 ~ 4V, ON state			±10	uA
I _{ol}	Output Low Current	Pin 1, 5, 15 V _{out} = 0.5 V	200		850	uA
		Pin 6, 7, 10, 11, 12 V _{out} = 0.5 V	2			mA
I _{oh}	Output High Current	Pin 1, 5, 15 V _{out} = 3.5 V	-200		- 850	uA
		Pin 6, 7, 10, 11, 12 V _{out} = 3.5 V	-500			uA

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{cc} = 4V

AC Electrical Characteristics

AC Electrical Characteristics of 977P/977W

Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
fosc	Oscillator Frequency *	T _A = 25°C, R = 200 kΩ	102	128	154	kHz
f _{max} - f _{min}	Oscillator Frequency Fluctuation - 977P/977W	T _A = 25°C, V _{CC} = 2.5 ~ 5V			15	kHz
tfun	Cycle Time of Function Code	fosc = 102 to 154 kHz	0.8	1	1.2	ms
tsta	Cycle Time of Start Code	fosc = 102 to 154 kHz	1.6	2	2.4	ms
fcsc	Carrier Frequency of SC Pin	fosc = 102 to 154 kHz	51	64	77	kHz
toff	Time of Auto-Power-Off **	Pins 1, 4, 5, 6 and 14 are High.	6.4	8	9.6	s
		Any of pins 1, 4, 5, 6 or 14 is Low.	3.2	4	4.8	min.

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{CC} = 4V
* The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P (or 977W) and PT8A978P (or 978LW) must be less than ±25%.
** When adjust the external oscillator resistor, the auto-power-off time will vary relevantly.

AC Electrical Characteristics of 978P/978LW

Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
fosc	Oscillator Frequency *	T _A = 25°C, R = 200 kΩ	102	128	154	kHz
f _{max} - f _{min}	Oscillator Frequency Fluctuation - 978P	T _A = 25°C, V _{CC} = 2.5 ~ 5V			15	kHz
	Oscillator Frequency Fluctuation - 978LW	T _A = 25°C, V _{CC} = 2.0 ~ 5V			10	kHz
V _{SI}	SI Pin Receive Sensitivity (V _{PP})	Guaranteed Effective Decoding	300			mV
tfun	Cycle Time of Function Code	fosc = 128 kHz	0.75	1	1.25	ms
tsta	Cycle Time of Start Code	fosc = 128 kHz	1.5	2	2.5	ms

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{CC} = 4V
* The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P (or 977W) and PT8A978P (or 978LW) must be less than ±25%.



ภาคผนวก จ

คำแนะนำการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือประกอบการใช้งาน

รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุ

1. บทนำ

รถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุนี้ สร้างขึ้นมาโดยใช้ความถี่วิทยุในการควบคุม โดยที่มีระบบชุดแพนกล้องติดกับตัวรถ เพื่อทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงมายังเครื่องรับโทรทัศน์ เพื่อใช้ในการสำรวจ ซึ่งเราสามารถนำรถสำรวจควบคุมด้วยความถี่วิทยุนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจบริเวณพื้นที่ ที่เป็นอันตรายได้

2. ส่วนประกอบ และอุปกรณ์

1. ระบบขับเคลื่อนตัวรถ
2. ระบบชุดปืนทางต่างระดับ
3. ระบบชุดแพนกล้อง
4. ระบบแหล่งจ่ายไฟที่เป็นแบตเตอรี่
5. ระบบชุดเครื่องใช้
6. เครื่องรับส่งสัญญาณภาพ และเสียง
7. ชุดควบคุมการแพนกล้อง
8. ชุดควบคุมการขับเคลื่อนตัวรถ

3. หน้าที่การทำงาน

1. ระบบขับเคลื่อนตัวรถ ทำหน้าที่ในการให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้ายหรือทางขวา เป็นตัวกำหนดให้รถเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด
2. ระบบชุดปืนทางต่างระดับ ทำหน้าที่ในการปีนป่ายสิ่งกีดขวางที่มีระดับความสูงไม่เกิน 10 เซนติเมตร
3. ระบบชุดแพนกล้อง จะประกอบด้วยกล้องวงจรปิด 1 ตัว และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ทำการทอรอบแล้ว 2 ตัว ซึ่งเป็นตัวกำหนดให้กล้องแพนไปในทิศทางต่างๆ เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เป็นแบตเตอรี่ จะใช้แบตเตอรี่จำนวน 2 ลูก ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 28 แอมป์ และใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจำนวน 24 โวลต์ เป็นตัวจ่ายให้กับระบบขับเคลื่อนตัวรถ

5. ระบบชุดเครื่องโซ่ จะใช้เฟืองยึดติดกับสปริงข้างละ 1 ตัว เป็นตัวเครื่องโซ่ ขณะที่รถสำรวจกำลังขับเคลื่อน

6. เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณภาพ และเสียง จะทำหน้าที่ในการรับ-ส่ง สัญญาณภาพ และเสียงย่าน VHF

7. ชุดควบคุมการแพนกล้อง ทำหน้าที่ในการควบคุมให้กล้องแพนซ้าย-ขวา และแพนจากบน-ล่าง ได้ 180 องศา ในแนวตั้ง

8. ชุดควบคุมการขับเคลื่อนตัวรถ ทำหน้าที่ในการควบคุมตัวรถ ให้เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เดินหน้า และถอยหลัง

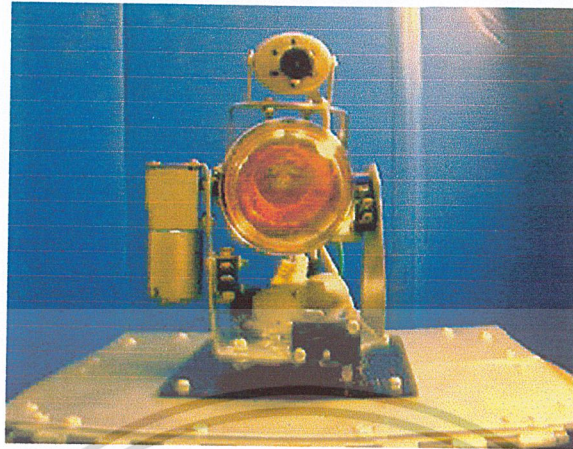
4. การประกอบ และการใช้งาน

ขั้นตอนในการประกอบ และใช้งานแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญๆ ดังนี้

1. การประกอบส่วนต่างๆ
2. การใช้งานของส่วนควบคุมการขับเคลื่อนตัวรถ
3. การใช้งานของชุดแพนกล้อง
4. การใช้งานของเครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การประกอบส่วนต่างๆ

- 1.1 จัดเตรียมชุดของส่วนตัวรถ
- 1.2 จัดเตรียมส่วนของชุดแพนกล้องให้พร้อมที่จะใช้งาน
- 1.3 จัดเตรียมส่วนของวงจรควบคุมระบบต่างๆ ให้พร้อม
- 1.4 ทำการประกอบส่วนของตัวรถเข้ากับชุดแพนกล้อง
- 1.5 ทำการประกอบวงจรควบคุมต่างๆ แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน
- 1.6 ทำการทดลองระบบต่างๆว่าใช้งานได้หรือไม่
- 1.7 ถ้ามีเหตุขัดข้องก็ให้ทำการตรวจเช็คส่วนประกอบต่างๆ แต่ละส่วนให้ใช้งานได้โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ ง.1 รถสำรวจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ชุดแพนกล้อง

2. การใช้งานของส่วนควบคุมการขับเคลื่อนตัวรถ

2.1 ในการควบคุมตัวรถจะมีสวิตช์อยู่ 4 ตัว ในการควบคุมให้รถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ โดยเราสามารถจะกดสวิตช์ควบคุมการทำงานได้ ดังแสดงได้ในตารางที่ ง.1

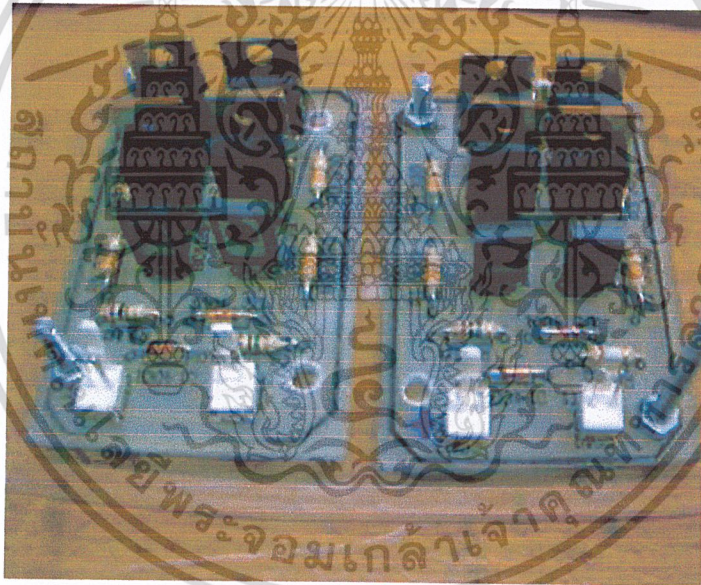
ตารางที่ ง.1 สวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน

สถานะสวิตช์ทำงาน	การทำงานของมอเตอร์ M_1	การทำงานของมอเตอร์ M_2	การเคลื่อนที่ของรถ
S_1	หมุนตามเข็มนาฬิกา	หยุด	เลี้ยวซ้ายด้านหน้า
S_2	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	หยุด	เลี้ยวซ้ายด้านหลัง
S_3	หยุด	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	เลี้ยวซ้ายด้านหน้า
S_4	หยุด	หมุนตามเข็มนาฬิกา	เลี้ยวซ้ายด้านหลัง
S_1, S_3	หมุนตามเข็มนาฬิกา	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	วิ่งไปข้างหน้า
S_2, S_4	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	หมุนตามเข็มนาฬิกา	วิ่งถอยหลัง
S_1, S_4	หมุนตามเข็มนาฬิกา	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	หมุนรอบตัวเองด้านหน้าซ้าย
S_2, S_3	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	หมุนทวนเข็มนาฬิกา	หมุนรอบตัวเองด้านหลังขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้งานของชุดแพนกล้อง

ในส่วนของการควบคุมการแพนกล้องนั้น เราจะสามารถควบคุมให้ชุดแพนกล้องสามารถแพนกล้องจากซ้ายไปขวา หรือจากขวาไปซ้าย ได้ 360 องศา ในทิศทางแนวนอนรอบตัวเอง และแพนกล้องจากข้างบนไปยังข้างล่าง หรือจากข้างล่างไปข้างบน ในลักษณะทิศทางแนวตั้งได้ 180 องศา เราสามารถควบคุมให้กล้องแพนไปทางไหนก็ได้ โดยที่จะมีสวิตช์ใช้ในการควบคุม ซึ่งจะควบคุมให้ชุดแพนกล้อง แพนกล้องไปในทิศทางต่างๆ ตามที่เราต้องการได้ ถ้าหากเราต้องการให้กล้องแพนจากขวาไปยังทางซ้าย เราก็ทำการกดสวิตช์ ชุดควบคุมการแพนกล้องที่ทำการแพนกล้องจากขวาไปซ้าย ในลักษณะเดียวกัน การแพนกล้องไปในทิศทางต่างๆ ก็กดสวิตช์ควบคุมการแพนกล้องของทิศทางนั้น กล้องก็จะทำการแพนไปตามคำสั่งของสวิตช์ที่เราทำการกดเลือก โดยที่ชุดควบคุมการแพนกล้องจะมีลักษณะดังรูปที่ ๓.2

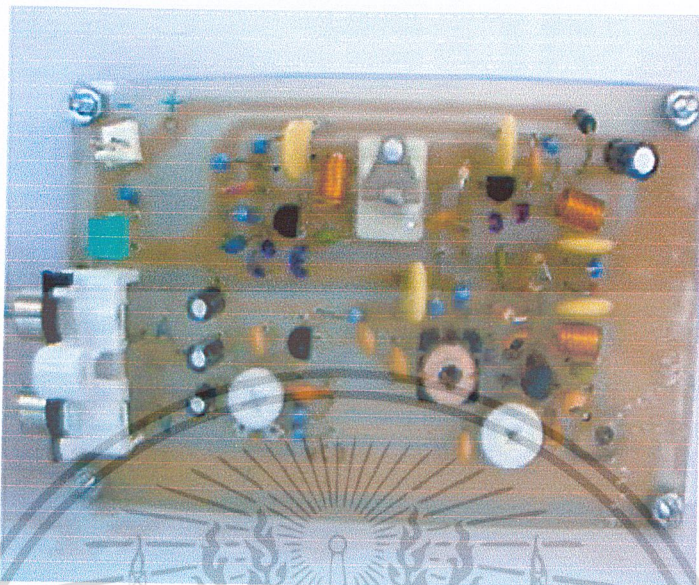


รูปที่ ๓.2 ชุดควบคุมการแพนกล้อง

4. การใช้งานของเครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ

1. ทำการเสียบสายนำสัญญาณ AV เข้ากับกล้องวิดีโอ CCD แล้วเสียบสายนำสัญญาณ AV อีกด้านเข้าที่อินพุตของวงจรส่งภาพ
2. เปิดสวิตช์ของเครื่องรับโทรทัศน์
3. ทำการปรับจูนเครื่องรับโทรทัศน์ย่าน VHF ให้ได้สัญญาณที่ชัดเจนที่สุด
4. เมื่อได้สัญญาณที่ชัดเจนก็สามารถใช้เครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF ได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 เครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF

5. การตรวจสอบ และแก้ไข

แนวทางการแก้ไขนี้เป็นเพียงการแก้ไขเบื้องต้น หากมีปัญหานอกเหนือคู่มือนี้ให้ติดต่อช่างผู้ชำนาญเท่านั้น ไม่ควรแก้ไขเองโดยเด็ดขาด

1. เมื่อทำการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เป็นแบตเตอรี่ให้ระบบขับเคลื่อนแล้ว ตัวรถไม่สามารถวิ่งได้

การแก้ไข

- ตรวจสอบว่ามีไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพียงพอหรือไม่
- ตรวจสอบว่าสายไฟที่ต่อจากแบตเตอรี่ขาด หรือต่อถึงกันหรือไม่

2. เมื่อใช้ระบบชุดการแพนกล้องแล้วกดสวิทช์ไม่มีอะไรเกิดขึ้น

การแก้ไข

- ตรวจสอบว่าได้ต่อแหล่งจ่ายไฟหรือไม่
- ตรวจสอบสายไฟฟ้าให้แน่นอนว่ามีส่วนใด หลุดหรือหลวมบ้าง

3. เมื่อใช้เครื่องส่งสัญญาณ AV ย่าน VHF สำหรับกล้องวิดีโอ แล้วไม่มีภาพกับเสียงปรากฏ

การแก้ไข

- ทำการตรวจสอบว่าเปิดสวิทช์เครื่องรับโทรทัศน์หรือไม่
- ทำการตรวจสอบว่าได้ทำการต่อสายนำสัญญาณ AV หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จุฑามาศ อุดมศิลป์ และคณะ. “เครื่องส่งโทรทัศนย่าน ยู เอช เอฟ.” ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2533

ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และพิชัย ภักดีพานิชเจริญ. ระบบสื่อสารวิทยุ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์
เซ็นเตอร์

บรรเจิด ตันติภักตยาภรณ์. นักเลงรีโมท. กรุงเทพฯ : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต. 2543

ประกิจ ตังตินานนท์. “เทคโนโลยีการแพร่ภาพโทรทัศน์”, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เมษายน 2532

ร.ต.อ. สุชาติ กังวารจิตต์. เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีอีดูเคชั่น
จำกัด. 2538

ลุงเอี้ยว (นามแฝง). “รอกกระป๋อง(2).” HOBBY ELECTRONICS.(117) : หน้า 92 – 99. 2545

ศรีศักดิ์ แคล้วโยธา. “เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (113) : หน้า 25-
28. 2535

สุรัช แซ่เอี้ยว. “รู้จักรวงจรเรโซแนนซ์ ตอนที่ 1.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (128) : หน้า
74 – 77. 2536

สุรัช แซ่เอี้ยว. “รู้จักรวงจรเรโซแนนซ์ ตอนที่ 2.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (129) : หน้า
76-81. 2536

สุรัช แซ่เอี้ยว. “รู้จักรวงจรเรโซแนนซ์ ตอนจบ.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (130) : หน้า
102-107. 2536

สุชาติ เลิศวิภาสสรรค์. “RF ทรานซิดเตอร์ ตอนที่ 1.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (129) หน้า
69-75. 2536

สุชาติ เลิศวิภาสสรรค์. “RF ทรานซิดเตอร์ ตอนที่ 2.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (130) :
หน้า 108-116. 2536

สุชาติ เลิศวิภาสสรรค์. “RF ทรานซิดเตอร์ ตอนจบ.” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. (131) :
หน้า 80-85. 2536

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสมชาติ เกียรติปรกรณ์
วันเดือนปีเกิด	22 กันยายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ภูมิลำเนาเดิม	320/16 หมู่ 2 ถ.ประพัฒน์พัฒนา ต.ในเมือง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น 40110
ที่อยู่ปัจจุบัน	823/3 หมู่ 3 ถ.เจ้าเงาะ ต.ในเมือง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น 40110
โทรศัพท์	0-4332-9919, 0-1577-6551
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดจันทร์ประสิทธิ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านไผ่ ข.ก. 5
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	รางวัลชนะเลิศอันดับหนึ่ง ประเภทนักศึกษา พระจอมเกล้าลาดกระบังมินิมาราธอนครั้งที่ 1
ทุนการศึกษา	ทุนยกเว้นหน่วยกิต
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์

นายสมัย พิมพ์สุวรรณ

วันเดือนปีเกิด

12 มกราคม พ.ศ. 2522

สถานที่เกิด

จังหวัดร้อยเอ็ด

ภูมิลำเนาเดิม

111 หมู่ 10 ต.ทุ่งกุลา อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด 45130

ที่อยู่ปัจจุบัน

111 หมู่ 10 ต.ทุ่งกุลา อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด 45130

โทรศัพท์

0-9690-8567

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านช่องสังข์

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนสุวรรณภูมิ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับ

เหรียญเงินกีฬายิงปืนประเภทชายเดี่ยว,ชายคู่

กีฬาสีเทียนปี 2543,2544

ทุนการศึกษา

ทุนกู้ยืม

คติพจน์

ทำทุกอย่างให้ดีที่สุดเท่าที่เราทำได้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสุจินัย บุญอยู่
วันเดือนปีเกิด	11 มีนาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	91 หมู่ 8 ตำบลจุมพล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
ภูมิลำเนาเดิม	91 หมู่ 8 ตำบลจุมพล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	91 หมู่ 8 ตำบลจุมพล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
โทรศัพท์	0-5545-0182

ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดน้ำใส
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเทศบาลท่าอิฐ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ชีวิตเป็นของเรา เราลิขิตเองได้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์

นายสุรัชย์ สุนทรประสาทพร

วันเดือนปีเกิด

28 พฤษภาคม พ.ศ. 2523

สถานที่เกิด

70/4 ม.6 ต.หลักสาม อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร 74120

ภูมิลำเนาเดิม

70/4 ม.6 ต.หลักสาม อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร 74120

ที่อยู่ปัจจุบัน

70/4 ม.6 ต.หลักสาม อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร 74120

โทรศัพท์

0-3485-5381, 0-9548-9262

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านวังจรเข้

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมวิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับ

-

ทุนการศึกษา

-

คติพจน์

ทำดีได้ดี ทำชั่วได้ชั่ว