

กล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย

WIRELESS SECURITY CAMERA



โดย

นายกระรัต หลิมศิริวงษ์
นายเอกนรินทร์ กิจโอภาส
นายเอกพล พรหมรัตน์พงษ์

เลขหม.....
เลขทะเบียน 42226
วัน, เดือน, ปี 1.5 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b11 226615

กล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย

WIRELESS SECURITY CAMERA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง กล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย

WIRELESS SECURITY CAMERA

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|--------------|----------|
| 1. นายกะรัต | หลิมศิริวงษ์ | 40010028 |
| 2. นายเอกนรินทร์ | กิจโอภาส | 40011027 |
| 3. นายเอกพล | พรหมรัตนพงษ์ | 40011030 |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. กอบชัย เคนหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย

WIRELESS SECURITY CAMERA

โดย นายกระรัต หลิมศิริวงษ์ 40010028

นายเอกนรินทร์ กิจโอภาส 40011027

นายเอกพล พรหมรัตน์พงษ์ 40011030

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

เนื่องจากกล้องรักษาความปลอดภัยในปัจจุบันมีความยุ่งยากในการติดตั้ง และยังยากลำบากในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ เพราะต้องมีการวางสายสัญญาณใหม่ อีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้น โครงการนี้จึงนำเสนอกล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สายเพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว และยังมี การเพิ่มความสามารถในการปรับเปลี่ยนมุมมองของกล้อง โดยอาศัยการควบคุมระยะไกลผ่านทางคอมพิวเตอร์ อีกด้วย

ในการดำเนินงานมีเป้าหมายว่า จะดำเนินงานเกี่ยวกับระบบการส่งสัญญาณภาพจากตัวกล้องมายัง คอมพิวเตอร์และ โปรแกรมแสดงผลภาพที่ได้ในภาคเรียนแรก ส่วนภาคเรียนที่สองจะเป็นส่วนของการควบคุม การปรับเปลี่ยนมุมมองของกล้องและพัฒนาเกี่ยวกับ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมต่อไป

ABSTRACT

The security camera is quite difficult to install and change the position because of the new transmission line installation and needs the higher budget. This project propose a wireless security camera in order to eliminate the mentioned problem, it also proposes to change the camera angle ability by controlling with remote long distance via computer. The method is to send the video signal form the camera to computer and the computer software is able to control the camera angle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สัญญาณภาพโทรทัศน์	3
2.2.1 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์	3
2.2.2 สัญญาณภาพรวม	6
2.2 หลักการแพร่ภาพ	8
2.2.1 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	9
2.2.2 วงจรขยายสัญญาณ	11
2.2.3 การมอดูเลชันทางแอมพลิฟูด	13
2.2.4 สายอากาศ	17
2.3 มาตรฐานRS-232C	24
2.3.1 ลักษณะสัญญาณ RS-232C	24
2.3.2 การกำหนดจุดเชื่อมต่อของ RS-232C	25
2.4 การรับส่งข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบ FSK	25
2.4.1 XR-2206 วงจรเข้ารหัส FSK	25
2.4.2 XR-2211 วงจรถอดรหัส FSK	28
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวตระกูล 51	30
2.5.1 ชื่อคีย์ของ MCS-51	30
2.5.2 คุณสมบัติทั่วไปของ AT89C51/52	30
2.6 Stepping Motor	32
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	36
3.1 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	36
3.2 วงจรขยายสัญญาณ	37
3.3 วงจรมอดูเลตเชิงขนาด	37
3.4 วงจรรวมของภาคส่งสัญญาณภาพ	39
3.5 วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ	40
3.6 วงจรเข้ารหัส FSK	40
3.7 วงจรถอดรหัส FSK	43
3.8 วงจรควบคุมและขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์	46
3.9 วงจรรวมของภาคส่งสัญญาณควบคุม	46
3.10 วงจรรวมของโครงการ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	50
4.1 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	50
4.2 วงจรขยายสัญญาณ	52
4.3 วงจรมอดูเลตเชิงขนาด	54
4.4 การแมตซ์สายอากาศ	55
4.5 วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ	57
4.6 วงจรเข้ารหัส FSK	58
4.7 วงจรถอดรหัส FSK	61
4.8 วงจรควบคุมและขับสแตมป์มอเตอร์	63
4.9 โปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์	64
4.10 การรับสัญญาณภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	68
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	70
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานทั้งหมดของโครงการ	1
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.2 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนประกอบต่างๆ ของภาพตามรูปที่ 2.1	4
รูปที่ 2.3 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดรูปพื้นเลื่อย	6
รูปที่ 2.5 รูปร่างของสัญญาณโทรทัศน์ที่เกิดจากขาสลับค่าเป็นแถบๆ	8
รูปที่ 2.6 ซีนฟลักที่ใช้กำเนิดความถี่	9
รูปที่ 2.7 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบค็อกกันสามจุด	10
รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	11
รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณข้อมูล สัญญาณคลื่นพาห์ และสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการมอดูเลต	13
รูปที่ 2.10 สัญญาณแอมพลิฟิเคชันมอดูเลชันในแกนความถี่	15
รูปที่ 2.11 การกระจายของคลื่นไฟฟ้าออกจากสายอากาศ	19
รูปที่ 2.12 สายอากาศไดโพล	20
รูปที่ 2.13 (a) รูปแบบการกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพล	21
รูปที่ 2.13 (b) รูปแบบการกระจายของแรงดันบนสายอากาศไดโพล	21
รูปที่ 2.14 แพทเทิร์นการแพร่กระจายของสายอากาศไดโพล	22
รูปที่ 2.15 สายอากาศแนวตั้งบนพื้นกราวด์แบบหนึ่งในสี่ความยาวคลื่น	23
รูปที่ 2.16 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแนวตั้งบนพื้นกราวด์	23
รูปที่ 2.17 การใช้ RS-232C เชื่อมต่ออุปกรณ์	24
รูปที่ 2.18 ย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS-232C	25
รูปที่ 2.19 การกำหนดขั้วต่อของ RS-232C	25
รูปที่ 2.20 วงจรผลิตสัญญาณ FSK รูปชายน้อย่างง่ายโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว	26
รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานและขาต่างๆ ของ XR-2206	28
รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างภายในของ IC XR-2211	29
รูปที่ 2.23 แสดงการจัดขาการใช้งานของ AT89C51/52 และ AT89C1051/2051	32
รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	33
รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้	33
รูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างไฮบริดสเต็ปป์มอเตอร์	34
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานทั้งหมดของโครงการ	36
รูปที่ 3.2 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	37
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณ	38
รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตเชิงขนาค	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า	
รูปที่ 3.5	วงจรรวมของภาคส่งสัญญาณภาพ	39
รูปที่ 3.6	วงจรถ่าย MAX-232	40
รูปที่ 3.7	วงจรถ่าย XR-2206	41
รูปที่ 3.8	วงจรถ่ายรหัส FSK	42
รูปที่ 3.9	วงจรถ่าย XR-2211	43
รูปที่ 3.10	วงจรถ่ายรหัส FSK	45
รูปที่ 3.11	วงจรถ่ายควบคุมและขับสแตมป์มอเตอร์	47
รูปที่ 3.12	วงจรรวมของภาครับ-ส่งสัญญาณควบคุม	48
รูปที่ 3.13	วงจรรวมของโครงงาน	49
รูปที่ 4.1	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายคริสตอลออสซิลเลเตอร์	50
รูปที่ 4.2	ผลการทดลองวงจรถ่ายคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคป	51
รูปที่ 4.3	ผลการทดลองวงจรถ่ายคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อตรวจวัด Spectrum Analyzer	51
รูปที่ 4.4	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายสัญญาณ	52
รูปที่ 4.5	ผลการทดลองวงจรถ่ายสัญญาณ	53
รูปที่ 4.6	ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจรถ่ายสัญญาณ	53
รูปที่ 4.7	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรมอดูเลต	54
รูปที่ 4.8	ผลการทดลองของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด	55
รูปที่ 4.9	โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้ในโครงงาน	56
รูปที่ 4.10	ผลการทดลองวัด SWR ของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง	56
รูปที่ 4.11	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ	57
รูปที่ 4.12	ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจรถ่ายแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ	58
รูปที่ 4.13	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายรหัส FSK	59
รูปที่ 4.14	ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถ่ายรหัส FSK เมื่อแรงดัน 5 Volt	59
รูปที่ 4.15	ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถ่ายรหัส FSK เมื่อแรงดัน 0 Volt	60
รูปที่ 4.16	ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถ่ายรหัส FSK เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม	60
รูปที่ 4.17	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายรหัส FSK	61
รูปที่ 4.18	ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถ่ายรหัส FSK เมื่อเทียบกับสัญญาณก่อนที่จะเข้ารหัส	62
รูปที่ 4.19	ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถ่ายรหัส FSK เมื่อเทียบกับสัญญาณ FSK	62
รูปที่ 4.20	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถ่ายควบคุมและขับสแตมป์มอเตอร์	63
รูปที่ 4.21	การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบโปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์	65
รูปที่ 4.22	ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง “ขึ้น”	66
รูปที่ 4.23	ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง “ขวา”	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนมัธยมศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 66

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.24 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง “ลง”	67
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง “ซ้าย”	67
รูปที่ 4.26 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	68
รูปที่ 4.27 ภาพที่ได้จากการรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	รูปแบบพื้นฐานของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	10
ตารางที่ 2.2	การกำหนดย่านแรงดันไฟฟ้า	24
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ AT89C1051/2051 และ AT89C51/52	31
ตารางที่ 4.1	แสดงผลตัวอย่างการส่งงานผ่านวงจรควบคุมและขับสเต็ปปีงมอเตอร์	64
ตารางที่ 4.2	แสดงรหัสของสัญญาณที่สอดคล้องกับคำสั่งต่างๆ	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

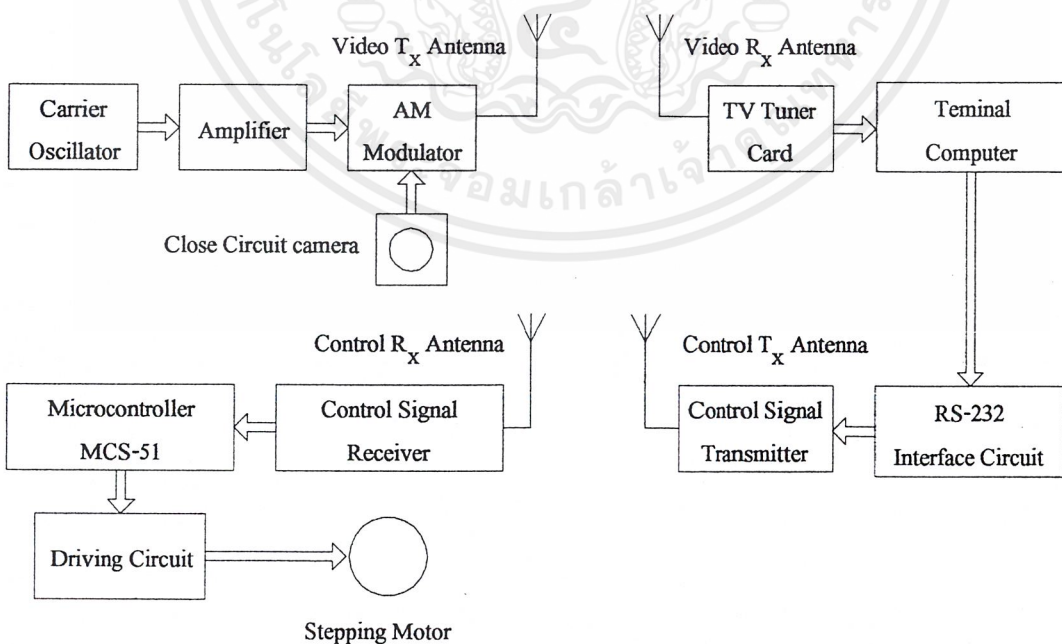
บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบรักษาความปลอดภัยโดยอาศัยกล้องโทรทัศน์วงจรปิดเพื่อทำการตรวจสอบ และบันทึกภาพเหตุการณ์ต่างๆ มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสะดวกในการใช้และสามารถบันทึกภาพเพื่อนำมาตรวจสอบดูในภายหลังได้ ดังนั้นสถานที่ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์อันตราย จึงมักจะมีการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดไว้เสมอ เช่น บริเวณตู้ ATM, ภายในธนาคาร, หรือใช้เพื่อป้องกันการขโมยสินค้าในร้านค้า

ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิดนั้น แม้ว่าจะสะดวกในการใช้งาน แต่ในการติดตั้งจะมีความยากลำบาก เนื่องจากต้องมีการวางสายนำสัญญาณภาพจากจุดที่ติดตั้งกล้องไปยังจุดที่ทำการแสดงภาพ หรือจุดที่มีเครื่องบันทึกภาพ นอกจากนี้หากต้องการที่จะปรับเปลี่ยนตำแหน่งที่วางกล้องหลังจากที่ได้ติดตั้งไว้แล้ว จะต้องทำการวางสายนำสัญญาณใหม่ ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นโครงการนี้จึงได้นำเสนอกลิ้งรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย ซึ่งไม่จำเป็นต้องเดินสายนำสัญญาณภาพจากตัวกล้องมายังจุดรับภาพ ทำให้สะดวกในการติดตั้งหรือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งของกล้องในภายหลัง นอกจากนี้ยังเพิ่มส่วนของการควบคุมการปรับเปลี่ยนมุมมองของกล้องโดยใช้สแต็ปปีงมอเตอร์เพื่อสามารถหมุนตัวกล้องให้เก็บภาพได้รอบทิศทางและควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนควบคุมก็เป็นระบบส่งสัญญาณแบบไร้สายเช่นเดียวกัน

หลักการทำงานทั้งหมดของ โครงการนี้แสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานทั้งหมดของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการส่งสัญญาณภาพจากตัวกล้องมายังจุดรับภาพซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ และส่วนของการส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์

ในการส่งสัญญาณภาพนั้น จะใช้คลื่นพาห้ความถี่สูงในการส่งเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาของสัญญาณรบกวน โดยการส่งจะเลือกใช้ย่านความถี่ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ทั่วๆ ไป เพื่อให้เครื่องรับโทรทัศน์ทั่วๆ ไป สามารถรับสัญญาณได้ด้วย สำหรับส่วนของการส่งสัญญาณควบคุม สัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์จะเป็นระดับแรงดัน +12 V และ -12 V ดังนั้นจึงต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ก่อนจึงจะทำการส่ง ไปยังส่วนควบคุมการหมุนของกล้อง ในภาครับสัญญาณควบคุมนั้นจะประกอบด้วยวงจรรับสัญญาณ ซึ่งจะส่งสัญญาณต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ ได้จากคอมพิวเตอร์ที่อยู่ห่างออกไปนั่นเอง

ในการรับส่งสัญญาณควบคุมผ่านคลื่นวิทยุ นั้น จะใช้วิทยุสื่อสารที่ใช้ความถี่ในช่วง 144 MHz เป็นอุปกรณ์ในการรับส่ง โดยสัญญาณดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์จะถูกเข้ารหัสให้เป็นสัญญาณแบบ FSK (Frequency Shift Keying) ที่มีความกว้างแถบความถี่ประมาณ 2.2 kHz ดังนั้นจึงใช้วิทยุสื่อสารซึ่งสามารถรองรับสัญญาณเสียงพูด (ความกว้างแถบความถี่ 4 kHz) เป็นอุปกรณ์ในการรับส่งสัญญาณได้ ส่วนในภาครับจะมีวงจรถอดรหัส FSK เพื่อแปลงสัญญาณให้กลับเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อนที่จะนำไปประมวลผลต่อไป

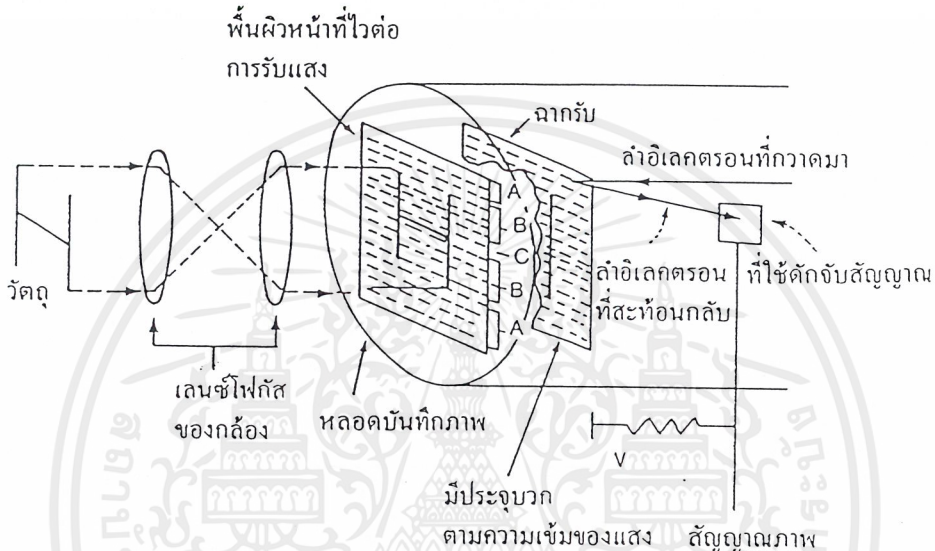
นอกจากนี้ ส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของโครงการ คือ โครงสร้างที่จะใช้รองรับกล้องโทรทัศน์วงจรปิด ซึ่งจะต้องออกแบบให้สามารถหมุนได้อย่างอิสระทั้งในแนวระดับและในแนวตั้ง รายละเอียดของการออกแบบและการดำเนินงานในส่วนนี้ จะจัดไว้ในภาคผนวกเพื่อเป็นส่วนเพิ่มเติมสำหรับผู้สนใจ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สัญญาณภาพโทรทัศน์

2.1.1 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์



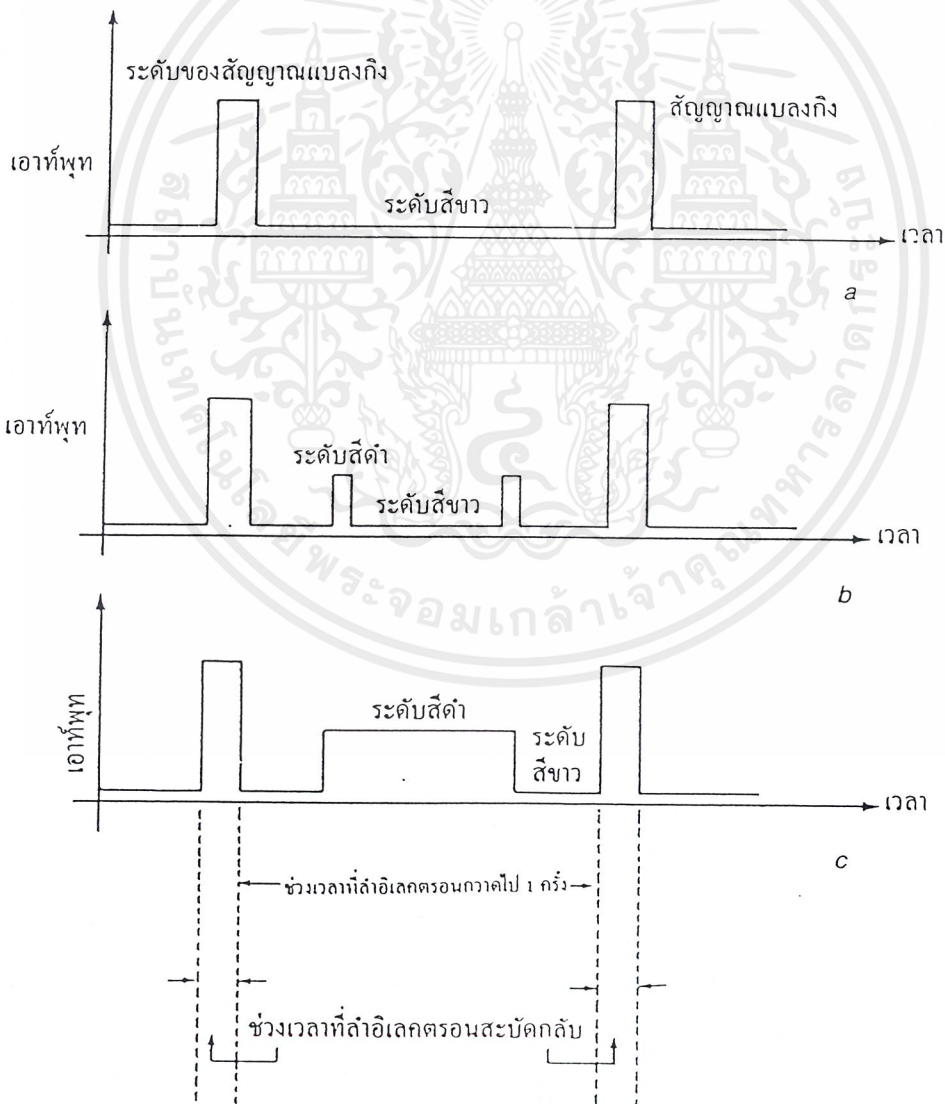
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เราสามารถพิจารณาการเกิดสัญญาณภาพได้จากรูปที่ 2.1 ในรูปนี้จะสมมติว่า เรากำลังถ่ายภาพตัวอักษร H อยู่ เลนส์หน้ากล้องถ่ายภาพจะทำการโฟกัสภาพของตัวอักษร H ลงบนหน้าจอของหลอดเก็บภาพ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ข้างหลังของจอหลอดเก็บภาพนี้ จะฉาบด้วยสารที่มีความไวต่อแสงอยู่ภายในหลอดเก็บภาพซึ่งเป็นหลอดสุญญากาศ ภายในหลอดเก็บภาพนี้จะมีการควบคุมลำอิเล็กตรอนให้กวาดผ่านไปบนสารไวแสงซึ่งฉาบอยู่ กระแสที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนนี้จะเปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงบนจอหลอดเก็บภาพนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีแสงมากระทบสารไวแสงที่ฉาบอยู่หลังจอ ก็จะทำให้มีอิเล็กตรอนกระเด็นออกไปจากบริเวณที่มีแสงตกกระทบนั้น มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของแสง ดังนั้นเมื่อมีการควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านจอของหลอดเก็บภาพ จากซ้ายไปขวาในแนวนอนพร้อมกับการกวาดเลื่อนลงเบื้องต่ำอย่างช้าๆ นั้น ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงที่ไม่มีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกมาเลย ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนนั้น ก็จะสะท้อนกลับออกมาสู่ส่วนที่ใช้ดักจับสัญญาณได้ทั้งหมด แต่ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงซึ่งมีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกไปบ้างแล้ว ก็จะทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนมีการสะท้อนออกไปยังส่วนที่ใช้ดักจับสัญญาณได้น้อยลง ปริมาณของกระแสอิเล็กตรอนที่ดักจับได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณภาพต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป เพราะฉะนั้นเราจะพบว่าในส่วนของภาพที่สว่างมากจะมีกระแสที่คักจับออกมาได้น้อย แต่ส่วนของภาพที่มีคักกลับทำให้กระแสของส่วนที่คักจับออกมาได้มาก กระแสซึ่งคักจับออกมาได้นี้จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณ โวลเตจเพื่อนำไปใช้เป็นเอาต์พุทของหลอดภาพต่อไป

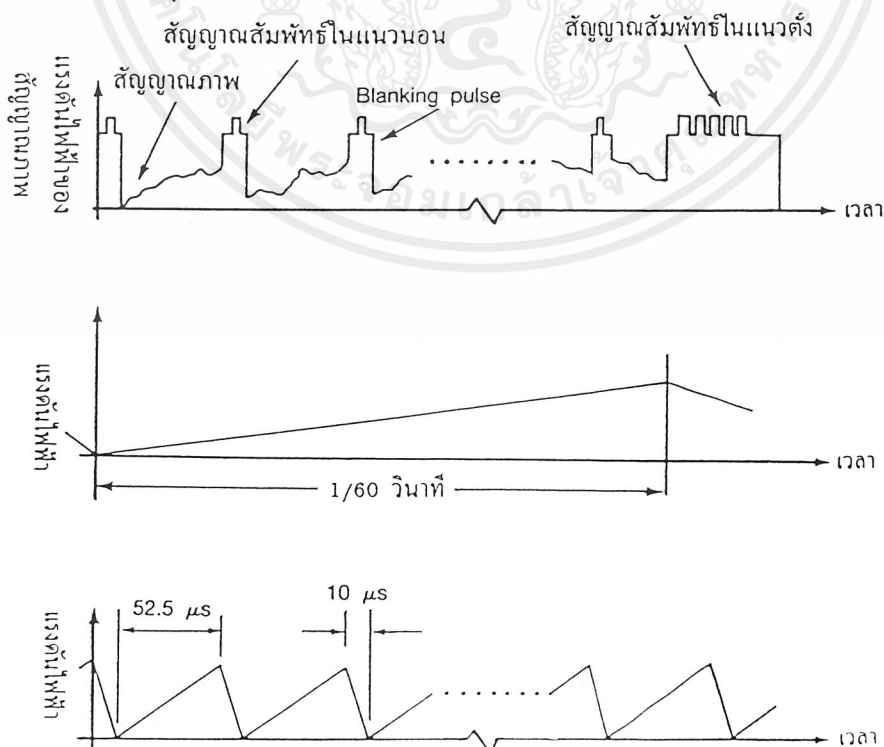
ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น จะกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจอ เมื่อถึงส่วนขวาสุดของขอบจอแล้ว ลำอิเล็กตรอนจะกวาดสะบัดกลับไปยังส่วนซ้ายสุดของขอบจออย่างรวดเร็ว (เมื่อเทียบกับความเร็วในการกวาดจากซ้ายไปขวา) ช่วงของการกวาดสะบัดกลับนี้ เรียกว่า "ฟลายแบค" (fly back) หลังจากช่วงฟลายแบคแล้ว ลำอิเล็กตรอนก็จะเริ่มกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจออีก แต่จะกวาดในแนวที่ต่ำลงมากกว่าแนวการกวาดของครั้งก่อน เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ซ้ำแล้วซ้ำอีก จนถึงส่วนที่เป็นขอบล่างของจอ ก็เป็นอันว่าได้สัญญาณภาพออกมาหนึ่งชุด หลังจากนั้นจะมีการสะบัดกลับของลำอิเล็กตรอนจากขอบล่างขึ้น ไปเริ่มที่ขอบบนของจอของหลอดเก็บภาพใหม่ เพื่อที่จะได้ทำการเริ่มเก็บสัญญาณภาพชุดใหม่อีกเช่นนี้เรื่อยไป



รูปที่ 2.2 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนประกอบต่างๆ ของภาพตามรูปที่ 2.1

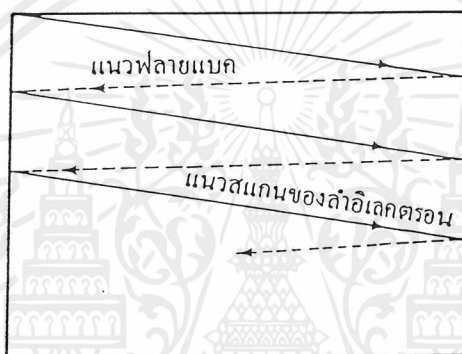
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาฟลายแบค หรือการสลับกลับของลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของจอ (การฟลายแบคในแนวนอน) และจากขอบล่างของหลอดจอไปยังขอบบน (การฟลายแบคในแนวตั้ง) นั้น จะมีการงดเว้นที่จะคักจับเอาสัญญาณภาพออกมา และจะมีการควบคุมบังคับที่จะทำให้ค่าเอาท์พุทของสัญญาณในช่วงนี้มีค่าสูงสุด เพราะต้องการที่จะใช้สัญญาณในช่วงเวลานี้เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อที่จะให้รู้ว่า การกวาดเก็บภาพในแนวนอน ได้สิ้นสุดลงไปแล้วที่ตรงจุดนั้น และจะใช้ระดับเอาท์พุทที่สูงสุดที่มีอยู่เพื่อเป็นระดับเปรียบเทียบว่า ส่วนที่มีค่าที่สุดของภาพนั้นอยู่ในระดับใด สัญญาณส่วนนี้เรียกว่า "สัญญาณเบลงกิง" หรือเบลงกิงพัลส์ (blanking pulse) ซึ่งหมายถึงพัลส์ที่ทำให้สัญญาณภาพว่างไป ดังนั้นถ้าเราจะพิจารณาถึงสัญญาณภาพที่เกิดขึ้นจากภาพตามรูปที่ 2.1 โดยอาศัยตามคำอธิบายดังกล่าวมาแล้ว จะเห็นว่า สัญญาณโวลเตจที่ปรากฏออกมา โดยการกวาดของลำอิเล็กตรอนในบริเวณส่วนสูงสุด คือ บริเวณ A ดังแสดงในรูปที่ 2.1 นั้น จะมีลักษณะดังแสดงในรูป 2.2 (a) เมื่อลำอิเล็กตรอนทำการกวาดต่อไปจนถึงส่วนบนของตัวอักษร H คือบริเวณ B ดังแสดงในรูป 2.1 ก็จะมีสัญญาณภาพปรากฏออกมาดังแสดงในรูป 2.2 (b) ทั้งนี้เพราะในส่วนที่เป็นขาของตัวอักษร H จะมีความดำกว่าส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพ ดังนั้นบริเวณส่วนขาของตัวอักษร H ซึ่งมีอยู่ทั้งสองข้างจะให้ค่าความแรงของระดับสัญญาณเอาท์พุทออกมามากกว่าค่าของสัญญาณที่เกิดจากบริเวณที่เป็นพื้นหลังของภาพ สัญญาณภาพในการกวาดของลำอิเล็กตรอนแต่ละครั้ง จะเกิดซ้ำเช่นนี้เรื่อยๆ ลงมาจนกระทั่งลำอิเล็กตรอนได้กวาดมาถึงบริเวณกลางของตัวอักษร H คือ ในบริเวณระดับ C ที่แสดงไว้ในรูป 2.1 ในบริเวณนี้ภาพจะมีลักษณะเป็นเส้นที่บู่ระหว่างขาทั้งสองข้างของตัวอักษร H ดังนั้นสัญญาณภาพที่ได้ออกมาจึงมีลักษณะดังรูป 2.2 (c) จากนั้นสัญญาณภาพจะเกิดขึ้นคล้ายๆกับที่เกิดขึ้นมาแล้วในส่วนบนของภาพ กล่าวคือสัญญาณที่เกิดจากส่วนบริเวณ B และ A ของทางค้ำล่างของภาพ จะมีลักษณะที่เหมือนกับสัญญาณภาพที่ได้จากบริเวณ B และ A ที่ส่วนบนของภาพทุกประการ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.3 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน** ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่จะให้เครื่องรับโทรทัศน์สร้างสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีส่วนของสัญญาณในสัญญาณภาพที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิง คอยกระตุ้นให้เครื่องรับทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยส่วนของสัญญาณดังกล่าว จะทำหน้าที่อ้างอิงให้เครื่องรับโทรทัศน์ทำการจัดภาพได้สอดคล้อง หรือสัมพันธ์ (synchronize) กับเครื่องส่ง ส่วนของสัญญาณนี้มีชื่อเรียกว่า “สัญญาณสัมพันธ์” (synchronization signal) สัญญาณสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นพัลส์ใส่เพิ่มเข้าไปบนสัญญาณภาพในช่วงเวลาฟลายแบค ตัวอย่างของสัญญาณภาพชุดหนึ่งที่สมบูรณ์แบบจะมีลักษณะคล้ายดังแสดงในรูป 2.3 (a) ในทางปฏิบัติจริง แนวการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น ไม่ได้กวาดในแนวที่ขนานกับแนวนอนพอดี แต่จะมีลักษณะกวาดทะแยงขนานกันลงมา ดังรูป 2.4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น กล่าวคือจะทำให้สามารถใช้สัญญาณฟันเลื่อย 2 ชุด ดังแสดงในรูป 2.3 (b) และ 2.3 (c) มาควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นได้



รูปที่ 2.4 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดรูปฟันเลื่อย

2.1.2 สัญญาณภาพรวม Composite Video

เพื่อให้เกิดผลสมความมุ่งหมาย สถานีโทรทัศน์ที่ส่งภาพขาวดำจำเป็นต้องส่งสัญญาณหลายอย่างคือ

- สัญญาณเสียง
- สัญญาณภาพ
- สัญญาณแบลงกิง
- สัญญาณอิกควอลไลซิง

สัญญาณเสียงจะมีคลื่นพาห์เป็นของตัวเอง โดยเฉพาะ ส่วนสัญญาณภาพและสัญญาณอื่นๆ นั้นจะรวมเป็นรูปร่างอันเดียวกัน เรียกว่า สัญญาณภาพรวม (composite video) แล้วใช้คลื่นพาห์ของภาพเป็นตัวพาออกอากาศรวมกับคลื่นพาห์ของเสียง ไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ เหตุผลและความจำเป็นในการใช้สัญญาณต่างๆ มีดังนี้

1) สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อทำให้เกิดภาพและเสียง ที่ทางเครื่องรับโทรทัศน์ตามความต้องการ

2) สัญญาณแบลงกิง เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อลบเส้นสแกนสะบัดกลับทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง เพื่อมิให้สังเกตเห็นได้ชัดทางจอหลอดภาพ สำหรับโทรทัศน์ระบบอเมริกันวงจรของการหักเหทางแนวนอน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความถี่ 15,750 เฮิรตซ์ ฉะนั้นในระยะเวลา 1/15,750 วินาทีหรือ 63.5 ไมโครวินาที จะต้องเกิดเส้นสแกน สะบัดกลับครั้งหนึ่ง จึงต้องใช้เบลงกิงพัลส์ทางแนวนอนหนึ่งครั้ง โดยมีขนาดประมาณ 10 ไมโครวินาที ในทำนองเดียวกัน ทุกๆ ระยะเวลา 1/60 วินาที หรือ 16,667 ไมโครวินาที ก็ยังต้องใช้เบลงกิงทางแนวตั้งครั้งหนึ่ง โดยมีขนาดประมาณ 1,250 ไมโครวินาที

3) สัญญาณสัมพัทธ์ เป็นสัญญาณที่ใช้ช่วยเพื่อให้วงจรหักเหทางแนวนอน และวงจรหักเหทางแนวตั้งในเครื่องส่งกับเครื่องรับโทรทัศน์มีความถี่ตรงกันตลอดเวลา สัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวนอนมีความถี่ 15,750 เฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับความถี่ของวงจรหักเหทางแนวนอน และสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวตั้งก็มี ความถี่ 60 เฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับความถี่ของวงจรหักเหทางแนวตั้งเหมือนกัน เนื่องจากว่าความถี่ของสัญญาณ สัมพัทธ์มีความถี่เท่ากับความถี่ของของสัญญาณเบลงกิงพอดี จึงจำเป็นต้องป้องกันการรบกวนที่อาจเกิดขึ้น โดยกำหนดขนาดของซิงค์พัลส์ ให้มีขนาดน้อยกว่าขนาดของเบลงกิงพัลส์ กล่าวคือ ซิงค์พัลส์ทางแนวนอน มีขนาดเพียง 5 ไมโครวินาที และซิงค์พัลส์ทางแนวตั้งมีขนาดเพียง 190 ไมโครวินาทีเท่านั้น นอกจากนี้ยัง ใช้วิธีการส่งซิงค์พัลส์เหล่านี้ไปกับเบลงกิงพัลส์อีกด้วย โดยให้ฐานของซิงค์พัลส์อยู่ที่บนขอบบนของ เบลงกิงพัลส์อีกชั้นหนึ่ง เมื่อจัดระดับโวลเตจให้ระดับสูงสุดของเบลงกิงพัลส์เป็นระดับค่ามีคอนทราสต์ไม่ เห็นแล้ว ระดับของซิงค์พัลส์ที่อยู่บนยอดสูงสุดของเบลงกิงพัลส์ ก็จะเป็นระดับค่ามีคอนทราสต์และไม่ทำให้เกิด การรบกวนภาพที่จอหลอดภาพแต่อย่างใด

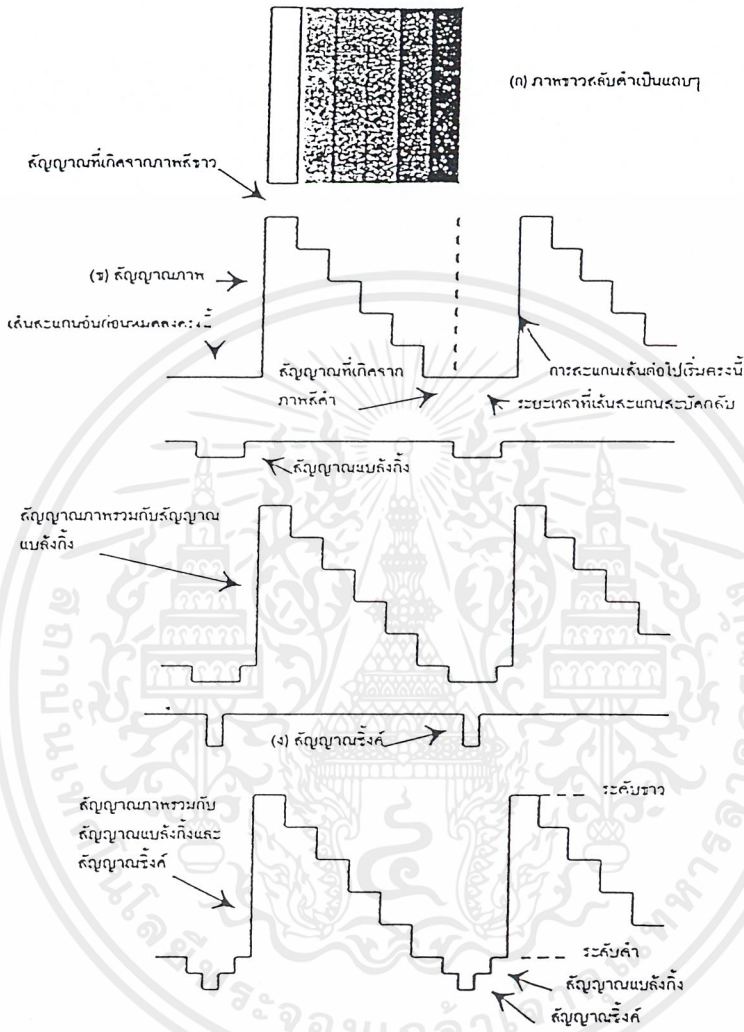
4) สัญญาณอิกวอลไลซิง เป็นสัญญาณที่ช่วยให้สัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวตั้งยังคงมีรูปร่างดี เหมือนเดิมหลังจากแยกออกมาจากสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวนอนแล้ว นอกจากนี้ยังช่วยให้การสแกนแบบ ไขว้กันเป็นไปอย่างเรียบร้อยสม่ำเสมอ รวมทั้งสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวนอนก็ไม่ขาดหายไปในช่วงเวลาของ สัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวตั้งอีกด้วย ขนาดของพัลส์ที่กล่าวถึงนี้จะเท่ากับสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวตั้งคือ 190 ไมโครวินาที หรือประมาณสามเท่าของขนาดสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวนอน และยังมีนิมเบ่งพัลส์นี้ออกเป็น หกพัลส์เล็กๆ คู่ด้วยกันเพื่อทำให้เกิดสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวนอนครั้งหนึ่งในทุกๆ สองครั้งที่พัลส์เล็กๆ นี้ นอกจากนี้ยังมีนิมเบ่งสัญญาณสัมพัทธ์ทางแนวตั้งออกเป็นพัลส์เล็กๆ คู่เช่นกัน

สัญญาณโทรทัศน์ที่มีสัญญาณภาพรวมกับสัญญาณอื่นๆ หลายอย่างมีชื่อเรียกว่า "สัญญาณภาพรวม" (composite video)

รูปที่ 2.5 แสดงภาพขาวสลับดำซึ่งเริ่มจากสีขาว สีดำจางๆ และสีดำสนิทเป็นแถบๆ กล้องโทรทัศน์ จะเปลี่ยนภาพนี้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อรวมกับสัญญาณเบลงกิงและสัญญาณสัมพัทธ์แล้ว ก็จะได้สัญญาณภาพรวมตามที่แสดงไว้ ภาพแต่ละชนิดจะให้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความถี่สูงต่ำแตกต่างกัน สำหรับระบบอเมริกันความถี่สูงสุดของภาพไม่เกิน 4 เมกะเฮิรตซ์ และสำหรับประเทศยุโรปความถี่สูงสุดนี้ ไม่เกิน 5 เมกะเฮิรตซ์ ภาพที่เกิดจากสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่สูงกว่าย่อมมีความละเอียดมากกว่า หรือมี จุดดำอันเป็นส่วนประกอบของภาพมากกว่าภาพที่เกิดจากสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่ต่ำกว่า

เมื่อเครื่องรับโทรทัศน์รับเอาสัญญาณโทรทัศน์มาได้แล้ว ก็จะมีการแยกเอาสัญญาณต่างๆ ตามที่ได้ กล่าวมาแล้วไปให้วงจรซึ่งทำหน้าที่ต่างๆ กัน เพื่อทำให้เกิดภาพและเสียงตามความต้องการ

สัญญาณเสียงจะผ่านไปยังวงจรเสียง สัญญาณภาพและสัญญาณแบลงกิงก็จะตรงไปยังแคโอดหรือกริดของหลอดภาพ ส่วนสัญญาณสัมพันธ์นั้นเมื่อแยกออกจากสัญญาณภาพรวมแล้ว ก็จะส่งผ่านไปยังวงจรแยกซิงค์ วงจรหักเหทางแนวนอน และวงจรหักเหทางแนวตั้ง



รูปที่ 2.5 รูปร่างของสัญญาณโทรทัศน์ที่เกิดจากขาวสลับดำเป็นแถบๆ

2.2 หลักการแพร่ภาพ

หลักการเบื้องต้นของการแพร่ภาพโทรทัศน์ ก็คือ การส่งกระจายทั้งภาพและเสียงออกไปในรูปของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับได้ทั้งภาพและเสียงอย่างต่อเนื่อง

เครื่องส่งโทรทัศน์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นสัญญาณภาพและส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพจะถูกส่งไปในรูปของสัญญาณ AM และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณ FM

ในโครงการนี้จะมีการส่งเฉพาะสัญญาณภาพเท่านั้น การส่งสัญญาณภาพหรือการแพร่ภาพจำเป็นจะต้องเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

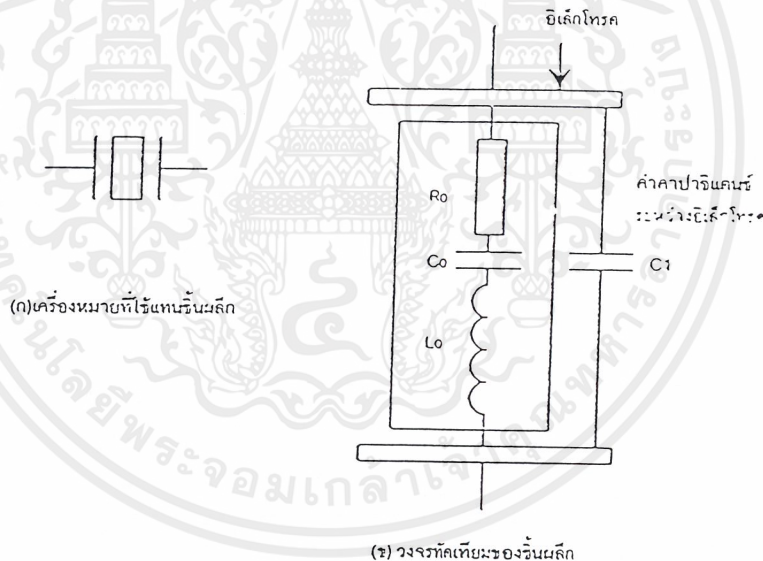
ในวงจรเครื่องส่งส่วนใหญ่ที่ต้องการให้เสถียรภาพทางความถี่ของการส่งสูง หรือความถี่มีค่าคงที่ ตลอดเวลาเพื่อให้รับสามารถจับสัญญาณได้ถูกต้องตลอดไป วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้คุณสมบัติเด่นในเรื่อง เสถียรภาพทางความถี่ได้แก่ วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ทำงานโดยอาศัยการสั่นของชิ้นผลึก แทนการใช้อุปกรณ์ที่นำมากำเนิด ความถี่ และเป็นวงจรที่ให้เสถียรภาพทางความถี่ที่สูงมาก

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ความถี่ของวงจร LC ออสซิลเลเตอร์จะแปรเปลี่ยนไป เมื่อค่าโวลเตจ, อุณหภูมิของโหลด และอื่นๆ เปลี่ยนไป การทำให้วงจร LC ออสซิลเลเตอร์มีเสถียรภาพที่ดีเป็นไปได้ยาก ด้วย เหตุนี้ในงานที่ต้องการความแม่นยำและเสถียรภาพมากๆ เช่น เครื่องรับ-ส่งวิทยุมักจะเลือกใช้วงจรคริสตอล ออสซิลเลเตอร์ในการให้กำเนิดความถี่

ชิ้นผลึกที่ใช้กำเนิดความถี่เป็นแบบควอทซ์เปียโซอิเล็กทริก (quartz piezoelectric) การสั่นไหวของ มันทำให้เกิดความถี่ขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติของสารเปียโซอิเล็กทริก

สัญลักษณ์ของชิ้นผลึกจะเป็นดังรูป 2.6 (a)



รูปที่ 2.6 ชิ้นผลึกที่ใช้กำเนิดความถี่

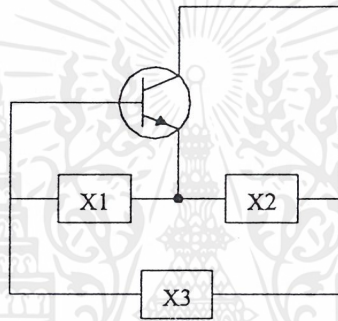
ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกถูกค้นพบโดยสองพี่น้อง J. Curie และ P. Curie ในปี 1880 โดยการ ป้อนแรงจากภายนอกเข้าที่ด้านทั้งสองของวงจรเปียโซอิเล็กทริก แล้วจะได้ประจุไฟฟ้าทั้งประจุบวกและประจุ ลบออกเป็นสัดส่วน โดยตรงกับแรงที่ป้อนเข้าไป ในทางกลับกันเมื่อทำการป้อน โวลเตจเข้าทั้งสองข้างของชิ้น ผลึก ชิ้นผลึกจะเกิดการยืดหรือหดตัว โดยมีขนาดแรงเครียด (strain) เป็นสัดส่วน โดยตรงกับ โวลเตจที่ป้อนเข้า ไป

โดยอาศัยคุณสมบัติของชิ้นผลึกที่มีความยืดหยุ่นได้นี้ ถ้าป้อนแรงกดดันแบบทันทีทันใดให้กับชิ้น ผลึกแล้วเอาแรงกดคันนี้ออก ชิ้นผลึกจะเริ่มเกิดการสั่นตามคุณสมบัติความถี่ของตัวมัน ในลักษณะกลับไป มาว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมาก (บวกและลบ) การสั่นนี้จะทำให้เกิดโวลเตจบวกและลบขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแรงของการไหวตัว และเกิดขึ้นทั้งสองข้างของชิ้นผลึก นั่นคือโวลเตจไฟลัปซึ่งมีความถี่เท่ากับคุณสมบัติด้านความถี่ของชิ้นผลึก

ต่อไปเมื่อป้อนสัญญาณโวลเตจที่มีความถี่สอดคล้องกับคุณสมบัติด้านความถี่ของชิ้นผลึก เข้าไปให้กับชิ้นผลึก จะทำให้ชิ้นผลึกเกิดการรีโซแนนซ์ทางกล และการสั่นจะเกิดขึ้นสูงสุด ที่จุดนี้โวลเตจที่ได้จากชิ้นผลึกจะมีค่าสูงสุด และกระแสที่ไหลเข้าชิ้นผลึกจากแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูงก็จะมีค่ามากที่สุดด้วย เนื่องจากกระแสของวงจรเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดที่ความถี่ที่กำหนด ซึ่งลักษณะของวงจรจะเหมือนกับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม ดังนั้นวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของชิ้นผลึกจะเป็นดังรูป 2.6 (b)

เนื่องจากชิ้นผลึกนี้มีการสั่นไหวแบบทางกล ดังนั้นมันจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์โดยทั่วไปของชิ้นผลึกจะประมาณ $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือน้อยกว่า



รูปที่ 2.7 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบต่อกันสามจุด

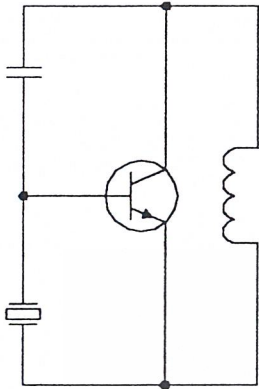
รูป 2.7 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบที่ต่อกันสามจุด ค่ารีแอคเตนซ์จะถูกแทนด้วยชิ้นผลึกได้โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของวงจรคริสตัลออสซิลเลเตอร์

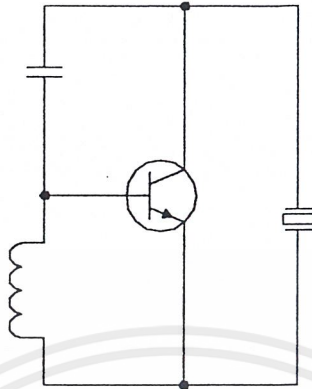
	X1	X2	X3	
ชนิดฮาร์ทเลย์				วงจร Pierce BE
ชนิดฮาร์ทเลย์				
ชนิดคอลลพิทท์				วงจร Pierce CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

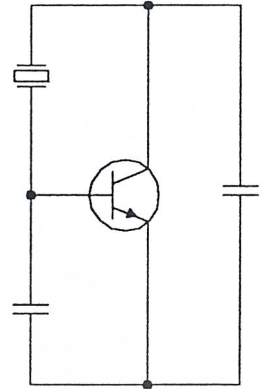
วงจรพื้นฐานของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งได้มาจากหลักการในตารางที่ 2.1



(a) แบบฮาร์ทเลย์ หรือ Pierce BE



(b) แบบฮาร์ทเลย์



(c) แบบคอลพิทท์หรือ Pierce CB

รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

2.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

การขยายสัญญาณจะมีในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกชนิด ตามขั้นตอนต่างๆ กัน เช่น ในภาคขยายภาคแรกๆ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณขนาดเล็กให้มีความแรงขึ้น หน้าที่สำคัญของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กนี้ก็คือ ขยายแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณให้มีขนาดตามต้องการ จึงเรียกวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กนี้ว่า วงจรขยายแรงดัน (voltage amplifier) ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก คุณสมบัติที่เราสนใจมักเป็น ค่าอัตราขยายแรงดัน และอิมพีแดนซ์ต่างๆ เรามักไม่สนใจกับความร้อนที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ในวงจรขยาย, พลังงานไฟฟ้าที่วงจรต้องการ หรือกำลังงานที่โหลด เนื่องจากในวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กมักใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าภาคขยายหลังสุดมาก

สำหรับการขยายภาคสุดท้าย ซึ่งมักมีกระแสไหลผ่านเป็นจำนวนมาก หน้าที่สำคัญของวงจรขยายสัญญาณภาคสุดท้ายคือ ขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ให้เพียงพอที่จะส่งออกอากาศ ภาคขยายภาคสุดท้ายนี้มักถูกเรียกว่าวงจรขยายกำลัง (power amplifier)

วงจรขยายทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กหรือวงจรขยายกำลัง เราสามารถแบ่งชนิดได้ตามตำแหน่งของจุดปฏิบัติการ Q (Quiescent Point) บนเส้นคิซีโหลดไลน์ (DC load line)

(1) วงจรขยายคลาสเอ วงจรขยายคลาสเอ (class A) เป็นการขยายที่เลือกจุดทำงาน (Q) ให้ทรานซิสเตอร์ตรงช่วงที่มีการทำงานเป็นแบบเชิงเส้น (linear) หรือช่วงกึ่งกลางของเส้นตรงคิซีโหลดไลน์ เมื่อมีการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่เบส (base) จะเป็นผลให้เกิดสัญญาณเอาต์พุต โดยมีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุตทุกประการ เป็นวงจรขยายแบบที่มีการไบแอส (bias) ให้วงจรทรานซิสเตอร์มีกระแสไหลผ่านคอลเลกเตอร์ (collector : I_c) ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีกระแสอินพุตที่เบสก็ตาม เป็นวงจรขยายแบบเชิงเส้น (linear amplifier) เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณอินพุต แต่วงจรขยายคลาสเอก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรขยายที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากวงจรมีการขยายสัญญาณตลอดลูกคลื่นขาเข้าหรือครบทั้ง 360 องศา ดังนั้นวงจรขยายคลาสเอจึงไม่เหมาะที่จะเป็นวงจรขยายกำลัง เพราะโดยปกติมักใช้ในวงจรขยายสัญญาณภาคแรกๆ ที่มีแอมพลิฟิเคชัน

(2) วงจรขยายคลาสบี วงจรขยายคลาสบี (class B) เป็นวงจรขยายสัญญาณที่ไบแอสให้มียุคทำงานอยู่ที่จุดคัทออฟ (cut off) เป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไหล โดยปกติเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุทก็จะมีกระแสไหลที่ขาออกเลคเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะทำงานนำกระแสเพียงช่วงครึ่งลูกคลื่นขาเข้า คือ จะทำงานเพียง 180 องศาของสัญญาณอินพุท มีเพียงสัญญาณครึ่งลูกคลื่นเท่านั้นที่ถูกขยาย ดังนั้นในเวลาที่ต้องการขยายสัญญาณเต็มลูกคลื่นจึงต้องมีการต่อวงจรแบบที่เรียกว่า "พุชแอนด์พูล" (push and pull) โดยใช้วงจรขยายคลาสบีสองชุดทำงานทั้งในช่วงสัญญาณบวกและสัญญาณลบสลับกันไป วงจรขยายคลาสบีมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาสเอ เนื่องจากการไหลของกระแสจะเกิดเพียงช่วงที่มีสัญญาณเท่านั้น ซึ่งเหมาะสมกับวงจรขยายกำลัง แต่สัญญาณที่ได้ก็ยังคงมีความผิดเพี้ยน (distortion) ไป การต่อวงจรแบบพุชแอนด์พูลจะช่วยลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณลงได้

(3) วงจรขยายคลาสเอบี วงจรขยายคลาสเอบี (class AB) เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบที่มีการไบแอสให้จุดทำงานอยู่ระหว่างคลาสเอกับคลาสบี นั่นคือ จุดทำงานจะอยู่เลขจุดคัทออฟขึ้นมาเล็กน้อย มีผลทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุทช่วงบวกจากสัญญาณอินพุทอย่างเต็มที่ และยังได้สัญญาณบางส่วนจากช่วงลบของสัญญาณอินพุทด้วย การทำงานจึงอยู่ในช่วงของสัญญาณมากกว่า 180 องศา แต่ไม่ถึง 360 องศา ของลูกคลื่นขาเข้า และมักมีการต่อแบบพุช-พูลเช่นเดียวกับคลาสบี ทำให้สัญญาณเอาต์พุทมีความผิดเพี้ยนน้อยกว่า นั่นคือมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าคลาสบีนั่นเอง แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าคลาสบี

วงจรขยายคลาสเอ คลาสบี และคลาสเอบี เป็นวงจรขยายเชิงเส้นที่มักใช้ในการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิฟิเคชัน เช่น วงจรขยาย AM แบบกำลังต่ำหรือแบบซิงเกิลไซด์แบนด์

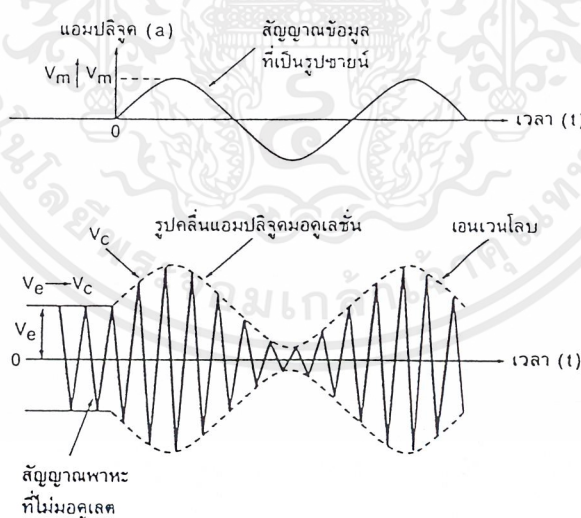
(4) วงจรขยายคลาสซี วงจรขยายคลาสซี (class C) เป็นวงจรขยายที่มีการไบแอสให้มียุคทำงานอยู่ต่ำกว่าจุดคัทออฟ ทำให้มีการนำสัญญาณเพียงส่วนที่น้อยกว่า 180 องศาของสัญญาณอินพุทเท่านั้น วิธีการไบแอสทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายคลาสซี มีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ การไบแอสด้วยสัญญาณ (signal bias), การไบแอสด้วยวงจรรายนอก (external bias), และการไบแอสด้วยตนเอง (self bias) ปกติจะมีช่วงทำงานของวงจรในช่วงระหว่าง 90 องศา ถึง 180 องศา นั่นหมายถึงมีเพียงพัลส์เล็กๆ เท่านั้น ที่ออกมาที่เอาต์พุท ดังนั้นการทำให้สัญญาณขยายเต็มลูกคลื่นนั้น ต้องมีการนำวงจรจูนรีโซแนนซ์ (Resonant Tune Circuit) มาต่อเข้ากับเอาต์พุท เพื่อให้ได้สัญญาณขาเข้าเต็มลูกคลื่น ตัวอย่างเช่นการทำงานของวงจรจูนแบบขนาน (parallel tune circuit) ที่จะทำให้กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อใดก็ตามที่ได้รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยาย วงจรจูนแบบขนานที่ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ (capacitor) และตัวเหนี่ยวนำ (inductor) เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์ ก็จะเกิดการถ่ายทอพลังงานระหว่างคาปาซิเตอร์กับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเรียกว่า "ปรากฏการณ์ฟลายวีล" (fly wheel effect) ซึ่งจะสร้างสัญญาณคลื่นขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ ขณะเดียวกันวงจรจูนก็ทำหน้าที่กรองสัญญาณฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกไปด้วย วงจรขยายสัญญาณคลาสซีอาจใช้เป็นวงจรคุณภาพดีก็ได้ โดยการต่อเข้ากับวงจรเรโซแนนซ์ที่สร้างความถี่ที่เป็นจำนวนเต็มเท่าของสัญญาณความถี่ขาเข้า และที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนือกว่าคลาสอื่นๆ ก็คือ คลาสซีมีกรขยายสัญญาณขาเข้าเพียงช่วงสั้นๆ เท่านั้น จึงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในบรรดาวงจรขยายทั้งหมด

2.2.3 การมอดูเลชันทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation)

จากความต้องการติดต่อสื่อสารระยะทางไกล สัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมาก หากต้องการส่งสัญญาณออกไปในอากาศก็จำเป็นที่จะต้องสายอากาศที่ขนาดสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะสมและอาจมีสัญญาณรบกวนได้ง่าย จึงมีการคิดค้นเทคนิคที่จะทำให้เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณให้ไปอยู่ในอีกช่วงความถี่หนึ่งบนแถบความถี่ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการส่งออกอากาศ การมอดูเลชันเป็นเทคนิคที่สำคัญ เป็นวิธีการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณหนึ่ง (ในที่นี้คือสัญญาณคลื่นพาห์ carrier) ให้ไปเป็นตามรูปแบบของสัญญาณอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเป็นข้อมูลหรือสัญญาณที่ต้องการส่ง เรียกสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณนี้ว่า “มอดูเลตติงซิกแนล” (modulating signal) ส่วนสัญญาณคลื่นพาห์ถูกเรียกว่า “แคเรียร์” (carrier) หรือมอดูเลตเวฟ (modulated wave)

แอมพลิจูดมอดูเลชัน เป็นวิธีการที่คิดค้นได้ก่อนในบรรดาเทคนิคการมอดูเลตอื่นๆ เป็นการนำเอาสัญญาณสองชุดมาผสมกัน โดยสัญญาณแรกเป็นข้อมูลหรือสัญญาณที่ต้องการส่ง สัญญาณที่สองเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ แอมพลิจูดมอดูเลชันเป็นการนำสัญญาณข้อมูลมาปรับเปลี่ยนขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาห์ โดยที่ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในที่นี้สมมติว่าสัญญาณข้อมูลที่นำมามอดูเลต มีความถี่ค่าหนึ่งคือ f_s และสัญญาณคลื่นพาห์มีความถี่เป็น f_c ผลลัพธ์จากการมอดูเลตจะเป็นดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณข้อมูล สัญญาณคลื่นพาห์ และสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการมอดูเลต

จากรูปที่ 2.9 เส้นประซึ่งเกิดจากการต่อของแอมพลิจูดของสัญญาณผลลัพธ์จะเรียกว่า “เอนเวลโลป” (envelope) ซึ่งมีลักษณะและความถี่เช่นเดียวกับสัญญาณข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 ลักษณะของสัญญาณที่ได้รับจากการทำแอมพลิจูดมอดูเลชัน

สัญญาณรูปซายน์นั้น โดยปกติสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ 2.1

$$v(t) = V \sin(2\pi f t) \quad \text{----- (2.1)}$$

เมื่อกำหนดให้

V_s คือแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_s มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt : V)

V_c คือแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_c มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt : V)

$V_s(t)$ คือสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_s มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt : V)

$V_c(t)$ คือสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_c มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt : V)

t คือเวลาใดๆ มีหน่วยเป็นวินาที

จะได้ว่าสัญญาณ ข้อมูล

$$v_s(t) = V_s \sin(2\pi f t) \quad \text{----- (2.2)}$$

และสัญญาณคลื่นพาห้

$$v_c(t) = V_c \sin(2\pi f t) \quad \text{----- (2.3)}$$

จากรูปคลื่นผลลัพธ์ทำให้พอสรุปได้ว่า ค่าโวลต์ที่เวลาใดๆ ของสัญญาณ เกิดจาก ผลรวมของค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณคลื่นพาห้ กับค่าแอมพลิจูดที่เวลาใดๆ ของสัญญาณข้อมูล จะได้ค่าตามสมการ

$$\begin{aligned} v_1(t) &= V_c + v_s(t) \\ v_1(t) &= V_c + V_s \sin(2\pi f t) \end{aligned}$$

ค่า $V_1(t)$ เป็นค่าของแอมพลิจูดของสัญญาณผลลัพธ์ตามที่เรียกว่า เอนเวล โลป ดังนั้นสมการที่แสดงถึงรูปคลื่นผลลัพธ์คือ

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= V_1 \sin(2\pi f_c t) \\ v_{AM}(t) &= [V_c + V_s \sin(2\pi f_s t)] \sin(2\pi f_c t) \\ &= V_c \sin(2\pi f_c t) + [V_s \sin(2\pi f_s t) \sin(2\pi f_c t)] \end{aligned}$$

พิจารณาจะได้ว่า สัญญาณคลื่นพาห้ + (สัญญาณข้อมูล \times สัญญาณคลื่นพาห้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ ส่วนแรกจะเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ และส่วนที่สองจะเป็นผลคูณของสัญญาณคลื่นพาห์ กับสัญญาณข้อมูล ดังนั้นวงจรที่จะนำมาใช้สร้างแอมพลิจูดมอดูเลชันจะต้องเป็นวงจรคูณสัญญาณ ซึ่งมีชื่อเรียกสำหรับการทำ AM ว่า “มอดูเลเตอร์” (modulator) และจากสูตรตรีโกณมิติที่ผลคูณของซายน์

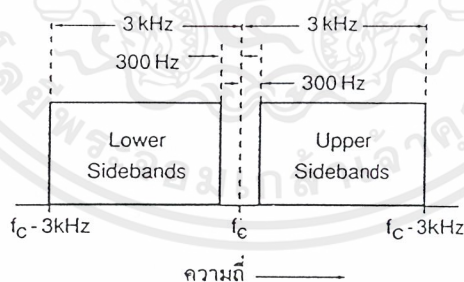
$$\sin A \sin B = \frac{\cos(A - B)}{2} - \frac{\cos(A + B)}{2}$$

$$v_{AM}(t) = V_c \sin(2\pi f_c t) + \frac{V_s}{2} \cos 2\pi(f_c - f_s)t - \frac{V_s}{2} \cos 2\pi(f_c + f_s)t$$

จากสมการข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ผลจากการทำแอมพลิจูดมอดูเลชันจะได้สัญญาณที่ความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณคลื่นพาห์ออกมาด้วย เป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำและความถี่สูงกว่าสัญญาณคลื่นพาห์ เรียกว่า “ไซด์แบนด์” หรือ “ไซด์ฟริควเอนซี” (side band or side frequency)

$$\begin{aligned} f_{USB} &= \text{Upper Side Band Frequency} = f_c + f_s \\ f_{LSB} &= \text{Lower Side Band Frequency} = f_c - f_s \end{aligned}$$

จากการวัดด้วยออสซิลโลสโคป (oscilloscope) สัญญาณที่ได้ จะไม่สามารถแยกได้ว่ามีความถี่ข้างเคียงเกิดขึ้นด้วย แต่ถ้าใช้สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) วิเคราะห์สัญญาณของแอมพลิจูดมอดูเลชัน จะได้กราฟในฟริควเอนซีโดเมน (frequency domain) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันในแกนความถี่

จากรูปที่ 2.10 ทำให้ทราบว่าสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลชันจะมีความถี่ใกล้เคียงเกิดขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่างของความถี่คลื่นพาห์ จะได้ว่า ต้องใช้ความกว้างของแถบสัญญาณหรือที่เรียกว่าแบนด์วิธ (bandwidth) เป็นจำนวนสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูล ดังนั้นถ้าสัญญาณข้อมูลมีความถี่ $f_s = 5$ kHz จะได้ว่าต้องใช้แบนด์วิธเท่ากับ 10 kHz สำหรับสัญญาณ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ดัชนีการมอดูเลท

ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณข้อมูล ไม่ควรมากเกินไปกว่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณคลื่นพหุ มิฉะนั้นจะเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลได้ หลังการทำมอดูเลชันหากค่าแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล สูงกว่าของสัญญาณคลื่นพหุมากเกินไป จะเรียกว่า เกิดการ “โอเวอร์มอดูเลชัน” (over modulation) และความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของสัญญาณทั้งสองนั้น จะเรียกว่า “ดัชนีการมอดูเลท” (modulation index) บางครั้งก็อาจเรียกว่า modulation factor, modulation coefficient, degree of modulation) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลกับแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพหุ ดังสมการ

$$m = \frac{V_s}{V_c}$$

ดัชนีการมอดูเลทนั้น จะมีค่าอยู่ในช่วง $0 < m < 1$ เพราะหากมีค่ามากกว่า 1 ก็จะเกิดการ โอเวอร์-มอดูเลชันขึ้น และยังนิยมคูณด้วย 100 เข้าไป เพื่อแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์มอดูเลชัน

2.2.3.3 การพิจารณากำลังงานที่ส่งออกอากาศ

เมื่อพิจารณาถึงกำลังงาน (power) ที่ส่งออกอากาศจะพบว่า ประกอบด้วยกำลังของคลื่นพหุบวกกับกำลังไซด์แบนด์ทั้งสองด้าน เนื่องจากกำลังส่งของไซด์แบนด์มีค่าขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลท ซึ่งกำลังส่งของไซด์แบนด์มีค่าดังนี้

$$P_{USB} = P_{LSB} = \frac{m^2 P_c}{4}$$

เมื่อ	P_c	กำลังส่งของสัญญาณคลื่นพหุ
	P_{LSB}	กำลังส่งของไซด์แบนด์ด้านที่มีความถี่ต่ำกว่าสัญญาณคลื่นพหุ
	P_{USB}	กำลังส่งของไซด์แบนด์ด้านที่มีความถี่สูงกว่าสัญญาณคลื่นพหุ

จากสมการข้างต้นทำให้ทราบว่า ยิ่งเปอร์เซ็นต์มอดูเลชันมีค่าสูงมากเท่าไร กำลังส่งของไซด์แบนด์ก็ยิ่งสูงมากยิ่งขึ้น ทำให้การรับส่งสัญญาณดีขึ้น

แม้ว่า AM จะมีความง่ายและได้ผลดีวิธีหนึ่ง แต่ก็เป็นการส่งที่ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพนัก หากพิจารณาจากกำลังส่งทั้งหมด เมื่อ $P_t =$ กำลังส่งของสัญญาณทั้งหมด

$$P_t = P_c + P_{LSB} + P_{USB}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $m = 1$ หรือ 100% มอดูเลชันจะได้สัญญาณไซด์แบนด์มีกำลังส่งสูงสุดคือ

$$P_t = P_c + \frac{P_c}{2}$$

หากกำลังส่งของสัญญาณคลื่นพหุมีค่า 100 วัตต์ (Watt : W) กำลังส่งของไซด์แบนด์จะมีค่า 50 วัตต์ จากผลรวมทั้งหมด 150 วัตต์ ซึ่งในที่นี้จะเป็นสัญญาณข้อมูลเพียง 50 วัตต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียไปกับสัญญาณคลื่นพหุถึง 2 ใน 3 ของกำลังงานทั้งหมด โดยที่ไม่มีข้อมูลใดๆ ในสัญญาณนี้เลย

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงมีเทคนิคเอาสัญญาณคลื่นพหุออกไป ซึ่งเรียกว่าการ “ซัพเพรสชัน” (suppression) ทำให้สัญญาณที่ได้มีเฉพาะไซด์แบนด์ สัญญาณ AM ที่มีกรนำเอาสัญญาณคลื่นพหุออกไป เรียกว่า “ดับเบิลไซด์แบนด์ซัพเพรสสแคเรียร์” (Double Side Band Suppress Carrier : DSB SC) วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณ DSB SC นี้เรียกว่า “บาลานซ์มอดูเลเตอร์” (balance modulator) ด้วยการ ใช้ DSB SC จะทำให้กำลังส่งถูกใส่ลงในสัญญาณไซด์แบนด์ได้มากขึ้น

หากพิจารณาต่อไปอีกพบว่า สัญญาณข้อมูลนั้นจะมีอยู่ข้างกันทั้งที่ไซด์แบนด์ด้านบน และไซด์แบนด์ด้านล่าง จึงมีการคิดค้นให้ส่งสัญญาณเพียงไซด์แบนด์เพียงด้านเดียว เรียกว่า “ซิงเกิลไซด์แบนด์” (Single Side Band : SSB) ซึ่งเมื่อมีการใช้ไซด์แบนด์เพียงด้านเดียว ทำให้สามารถประหยัดการครอบครองแถบความถี่ (spectrum) ไปได้ครึ่งหนึ่ง จากเดิมที่สัญญาณ AM ต้องการใช้

ทั้ง DSB SC และ SSB มีประสิทธิภาพที่มากกว่าในแง่กำลังส่งที่ใช้ เนื่องจากมีการประหยัดกำลังส่งของสัญญาณคลื่นพหุ ทำให้สามารถนำกำลังส่งไปใส่เพิ่มในไซด์แบนด์ได้ และคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งก็คือ ขณะที่ไม่มีสัญญาณข้อมูลหรือเสียงพูดเข้ามาก็จะไม่มีสัญญาณวิทยุ (radio frequency) ส่งออกมา

2.2.4 สายอากาศ

สายอากาศ (antenna) คือ ตัวนำทางไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นสายไฟที่มีความยาวค่าหนึ่งหรืออาจเป็นหลอดกลวงที่มีความยาวค่าหนึ่งก็ได้ ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นวิทยุที่เกิดจากเครื่องส่งสัญญาณ หรือรวบรวมสัญญาณคลื่นวิทยุไปให้กับเครื่องรับสัญญาณ

2.2.4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายสมบัติของสายอากาศ

1) ไคเรกทิวิตี (directivity) ไคเรกทิวิตีเป็นค่าที่ใช้ชี้ทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนของความเข้มของสนามไฟฟ้าจากสายอากาศในทิศทางที่กำหนด ต่อความเข้มสนามไฟฟ้าจากสายอากาศมาตรฐาน เมื่อกำลังคลื่นทั้งหมดที่กระจายออกจากสายอากาศทั้งสองมีค่าเท่ากัน

2) กำลังขยายของสายอากาศ กำลังขยายของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงให้เราเห็นว่าสายอากาศนั้นมีความสามารถที่จะบิรวบรวมเอาพลังงานของคลื่นที่กระจายออกมาจากสายอากาศนั้น ให้พุ่งออกไปในทิศทางที่เราต้องการ ได้มากน้อยเพียงใด

กำลังขยายของสายอากาศคำนวณได้จาก อัตราส่วนของค่ากำลังสัญญาณที่ป้อนให้กับสายอากาศมาตรฐานต่อค่ากำลังสัญญาณที่ป้อนให้กับ สายอากาศที่เราต้องการรู้ค่ากำลังขยายเพื่อที่จะให้เกิดความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่เราต้องการรู้ค่ากำลังขายนั้น ได้เท่ากับความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศมาตรฐาน

โดยปกติสายอากาศจะไม่สามารถขยายสัญญาณได้จริงแต่ผลจากการสร้างชุดของสายอากาศที่มีตัวนำมากขึ้น และกำหนดเฟสระหว่างตัวนำให้ถูกต้อง ก็จะทำให้สายอากาศสามารถส่งสัญญาณให้มีความแรงขึ้นได้ และสามารถรับสัญญาณในอากาศได้มากขึ้นด้วย การวัดค่ากำลังขายของสายอากาศนั้นขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่ได้จากชุดของสายอากาศเทียบกับสายอากาศโคโพลมาตรฐาน

3) แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ สายอากาศต่างๆ นั้น ถูกออกแบบให้ใช้งานได้เฉพาะในย่านความถี่ย่านหนึ่งเท่านั้น ในย่านความถี่ที่สายอากาศทำงานได้ดีนั้น พลังงานของสัญญาณที่ป้อนให้กับสายอากาศจะถูกกระจายไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถสังเกตได้จากค่า SWR ที่เกิดขึ้นบนสายส่งสัญญาณที่ป้อนให้กับสายอากาศในย่านความถี่นี้จะมีค่าน้อยมาก แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็นปริมาณที่ใช้บ่งบอกถึงความกว้างของย่านความถี่ที่สายอากาศนั้นใช้งานได้อย่างดี ปกติแล้วถือเอาย่านความถี่ที่พลังงานของคลื่นแพร่กระจายออกจากสายอากาศได้ไม่น้อยกว่า 3 dB จากระดับของพลังงานที่สายอากาศสามารถแพร่กระจายออกไปได้มากที่สุด

4) โพลาริเซชัน (polarization) สายอากาศสามารถที่จะติดตั้งในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ ว่าเป็นแบบใด สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางเดียวกับแนวการตั้งสายอากาศ ทิศทางของโพลาริเซชันของคลื่นวิทยุจะขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศในแนวตั้งคลื่นวิทยุที่ส่งออกมา ก็จะมีทิศทางเป็นโพลาริเซชันในแนวตั้ง (vertical polarization) ในทำนองเดียวกัน หากสายอากาศด้านส่งเป็นโพลาริเซชันในแนวนอน สายอากาศทางด้านรับก็ควรที่จะเป็นโพลาริเซชันในแนวนอน (horizontal polarization) เช่นเดียวกันเพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด โพลาริเซชันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนจะถือว่าเป็น "โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น" (linear polarization) ตัวอย่างเช่นในระบบโทรทัศน์นั้น คลื่นที่ส่งออกมาเป็นโพลาริเซชันในแนวนอน ดังนั้นสายอากาศโทรทัศน์จึงอยู่ในแนวนอน นอกเหนือจากนี้แล้วสายอากาศได้มีการพัฒนาให้มีทั้งโพลาริเซชันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนอยู่ในต้นเดียวกัน เรียกว่า "โพลาริเซชันเชิงวงกลม" (circular polarization) และ "โพลาริเซชันเชิงวงรี" (elliptical polarization) ซึ่งโพลาริเซชันทั้งสองแบบนี้ยังสามารถแบ่งแยกย่อยได้อีก ตามทิศทางการหมุนของสนามไฟฟ้าของคลื่น คือ ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา ข้อดีของแบบนี้คือสามารถรับสัญญาณได้ทั้งสองทิศทาง

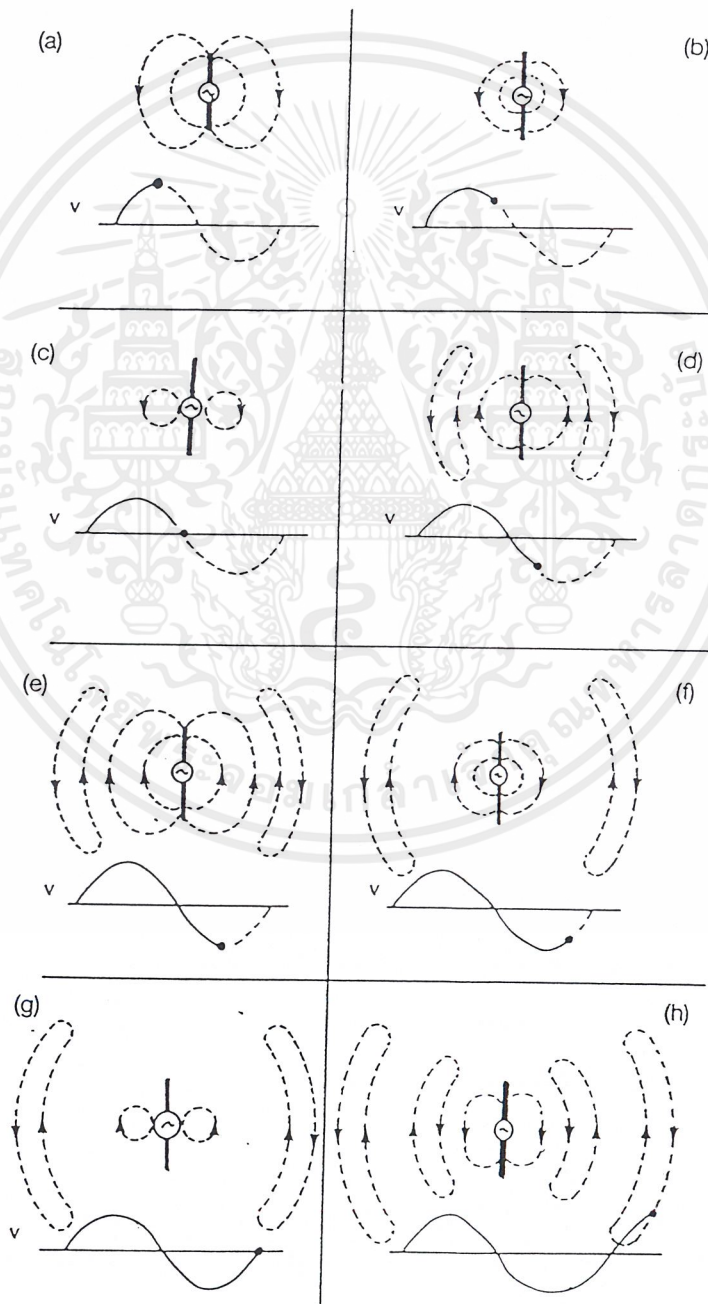
5) แพทเทอร์น (pattern) การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ทิศทางที่สายอากาศแพร่กระจายคลื่นออกไปนั้น อาจพุ่งขึ้นไปในท้องฟ้าหรือพุ่งไปในทิศทางต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศ คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสายอากาศก็คือแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศตามธรรมชาติแล้วแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นจะมีลักษณะกระจายออกไปทั้ง 3 มิติ แต่การเขียนรูปแสดงแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิตินั้นทำได้ยาก ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วการเขียนรูปแสดงแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจึงมักนิยมแบ่งเขียนกันอยู่ในสองระนาบเท่านั้น คือ การเขียนรูปแสดงแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอน ซึ่งเรียกว่า "โพลาร์หรืออะซิมูทโคอะแกรม" (polar or azimuth diagram) และในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศนั้น สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำในลักษณะตั้งฉากซึ่งกันและกันออกไปเป็นลำดับ นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของคลื่นนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของสนามทั้งสอง คลื่นที่เกิดขึ้นมาในลักษณะนี้ มีชื่อเรียกว่า "คลื่น TEM" (transverse electromagnetic wave)

เพื่อความสะดวกในการอธิบาย จะขอใช้รูป 2.11 ประกอบการอธิบายให้เห็นถึงขั้นตอนการกระจายของคลื่นไฟฟ้าแต่เพียงอย่างเดียว เพราะว่าการกระจายของคลื่นแม่เหล็กจะมีทิศทางตั้งฉากกับคลื่นไฟฟ้าเสมอ จึงขอละสนามแม่เหล็กไว้ในฐานที่เข้าใจ



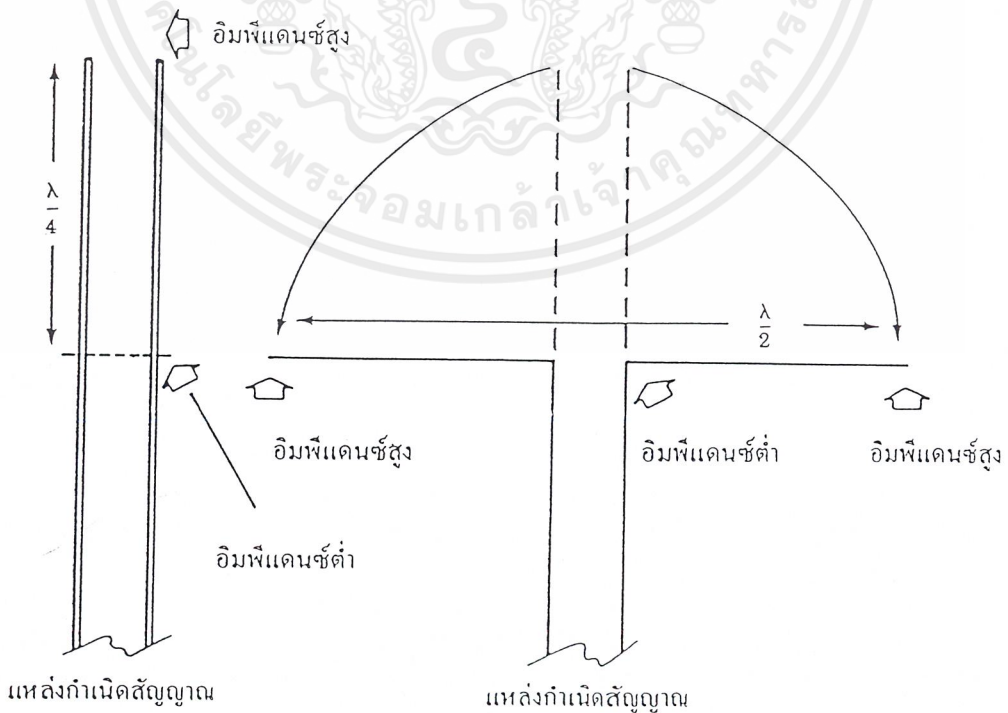
รูปที่ 2.11 การกระจายของคลื่นไฟฟ้าออกจากสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูป 2.11 (a) เมื่อโวลเตจที่เกิดบนสายอากาศมีค่าสูงสุด สนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นมากที่สุด และเมื่อโวลเตจที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศมีค่าลดลงตามรูป 2.11(b) สนามไฟฟ้าจะลดลงตามโวลเตจที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศ จนกระทั่งโวลเตจมีค่าเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศมีความถี่สูงพอสมควรแล้ว สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะยุบตัวตามลงมาไม่ทันหมดคลื่นเชิงคังแสดงในรูป 2.11(c) ต่อจากนั้น โวลเตจที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศก็จะค่อยๆเกิดขึ้นในทิศทางที่สลับตรงกันข้ามกับการเกิดในครั้งแรก ซึ่งจะทำให้สนามไฟฟ้าเกิดขึ้นใหม่ โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้าตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้าที่เกิดอยู่เดิม ดังแสดงในรูป 2.11(d) เป็นที่น่าสังเกตว่า สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใหม่กับสนามไฟฟ้าที่เกิดอยู่เดิมในบริเวณที่ใกล้กันที่สุดนั้น จะมีทิศทางหรือโพลาไรตี (polarity) ที่เหมือนกัน ดังนั้นมันจึงเกิดการผลักดันกันออกไปจากกัน ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใหม่จะค่อยๆ มากขึ้นตามค่าโวลเตจที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นมันจึงผลักดันสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในครั้งแรกให้ไกลออกไปจากสายอากาศมากขึ้นทุกที ดังแสดงในรูป 2.11 (e) สนามไฟฟ้าที่เกิดเดิมจะหลุดออกเป็นอิสระ และเคลื่อนที่ออกไปจากสายอากาศในที่สุด รูป 2.11 (f), (g) และ (h) แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนค่อยๆ ไปในปรากฏการณ์การกระจายสนามไฟฟ้าของคลื่นสัญญาณเป็นลำดับ

2.2.4.3 สายอากาศไดโพล

ถ้าเรามีสายส่งสัญญาณที่มีปลายข้างหนึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณและมีปลายอีกข้างหนึ่งเปิดอยู่ ดังแสดงในรูป 2.12(a) ที่ปลายด้านที่เปิดอยู่นี้ยอมมีค่าอิมพีแดนซ์ที่สูง ($Z_R = \infty$) เราจะพบว่าถ้าทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณ โดยเริ่มจากปลายเปิดนี้ย้อนลงไปตามสายนั้น จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ นั้นจะค่อยๆ มีค่าลดลง และจะมีค่าต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากปลายเปิดนั้นเท่ากับ $\lambda/4$ และเมื่อทำการแผ่สายทั้งสองออกจากกัน ดังแสดงในรูป 2.12 (b)



รูปที่ 2.12 สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 จะสังเกตได้ว่าจะมีกระแสไหลเข้าสู่สาย ณ ตำแหน่งตรงจุดค่อนี้ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสาย ณ ตำแหน่งนี้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งอาจจะแปลความหมายในอีกนัยหนึ่งได้คือ จะมีพลังงานไหลเข้าส่วนนี้ได้มากที่สุด และในทางกลับกันเพราะจะไม่มีกระแสไหลออกไปจากปลายเปิดของสายส่งได้ จึงทำให้โวลเตจที่เกิดขึ้นที่ปลายเปิดมีค่าสูงสุด ความแรงของกระแสและโวลเตจตามจุดต่างๆ บนสายส่งที่ได้ทำการกางแผ่ออกไปแล้ว จะมีรูปแบบดังแสดงในรูป 2.13 เราจะพบว่า การกางแผ่สายสัญญาณออกไปในตำแหน่งนี้มีการกระจายของโวลเตจได้มากที่สุด ซึ่งเมื่อคิดตาม หลักการที่ได้อธิบายมาแล้วก็หมายถึงว่า จะเกิดการกระจายคลื่นออกมาจากสายส่งสัญญาณส่วนนี้ได้มากที่สุด ดังนั้นสายส่งสัญญาณส่วนนี้จะกลายเป็นสายอากาศขึ้นมา สายอากาศที่สร้างขึ้นมานี้ได้ชื่อตามลักษณะของมันที่มีแกนหรือขั้ว (pole) ที่ยื่นออกไปทั้งสองข้างนั้นว่า “สายอากาศไดโพล” (dipole antenna)



2.13 (a) รูปแบบการกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพล

รูปที่ 2.13 (b) รูปแบบการกระจายของแรงดันบนสายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลนั้นจะมีแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นดังแสดงในรูป 2.14 รูปนี้ได้แสดงให้เห็นถึงแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นทั้งแบบที่มีโพลาริเซชันในแนวนอนและแนวตั้ง ลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่แสดงให้เห็นนี้ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นแบบออมนิ - ไคเรชัน” (omnidirection) คือจะมีทิศทางออกไปทั่วเท่ากันรอบๆตัวในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับตัวสายอากาศ และมีทิศทางแตกออกไปสองข้างตั้งในระนาบที่ตัดตามยาวของสายอากาศ จากรูปจะเห็นแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นในระนาบนี้มีลักษณะคล้ายเลข 8 งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

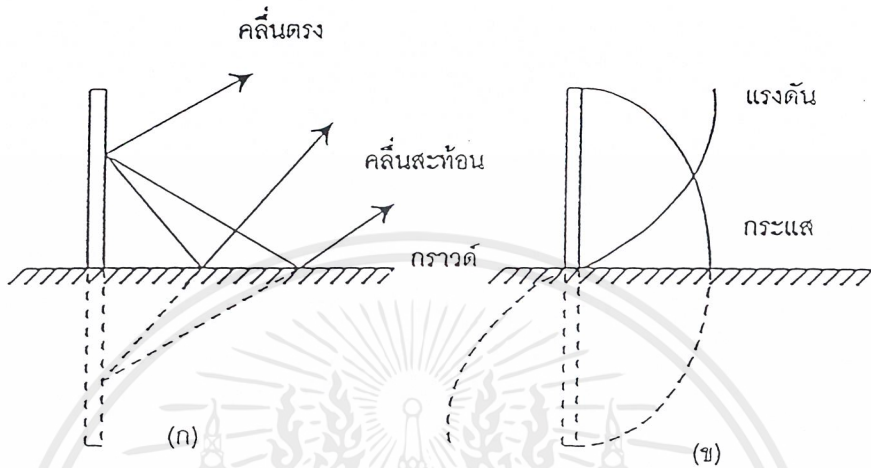
เนื่องจากสายอากาศมีค่าโวลเตจและกระแสอยู่ช่วงหนึ่ง จึงแสดงให้เห็นว่ามีค่าอิมพีแดนซ์ (หรือความต้านทาน) ที่จำกัดค่าหนึ่งเช่นกัน สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นนี้จะมีอิมพีแดนซ์ประมาณ 73 โอห์ม ซึ่งเรียกว่าค่าความต้านทานการแพร่ (radiating resistant)

2.2.4.4 สายอากาศแนวตั้งบนพื้นกราวด์หนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น (Quarter wave ground antenna)

จากหลักการสร้างสายอากาศไดโพล ทำให้ทราบว่า ความยาวของสายอากาศไดโพลแต่ละข้าง จะมีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ หรือความยาวทั้งหมดของสายอากาศเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ดังนั้นถ้าคลื่นสัญญาณมีความถี่ต่ำลง (ความยาวคลื่นมีค่ามากขึ้น) สายอากาศไดโพลก็จะมีความยาวมากขึ้น และอาจไม่สะดวกในการติดตั้ง วิธีลดความยาวสายอากาศวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การประยุกต์ใช้หลักการที่รู้จักกันในวิชาแม่เหล็กไฟฟ้าว่า "ถ้ามีประจุไฟฟ้าอยู่เหนือกราวด์ กราวด์นั้นจะทำหน้าที่เสมือนกับสะท้อนให้เกิดประจุไฟฟ้าต่างชนิดกับประจุไฟฟ้านั้น แต่มีขนาดเท่ากัน อยู่ใต้ผิวกราวด์นั้นออกไปเป็นระยะทางเท่ากัน คล้ายกับภาพที่เกิดขึ้น ในกระจกเงา" ดังนั้นถ้าเราตั้งแขนข้างหนึ่งของสายอากาศที่มีความยาว $\lambda/4$ ให้ตั้งฉากเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

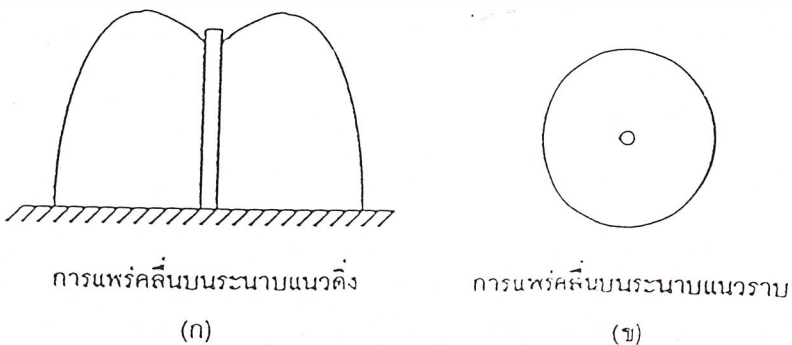
กราวด์ ก็จะเสมือนมีแขนอีกข้างหนึ่งของสายอากาศที่มีความยาว $\lambda/4$ เช่นกัน เกิดอยู่ใต้ผิวกราวด์ ดังแสดงในรูป 2.15 เพราะฉะนั้นเมื่อเราแยกปลายของสายอากาศออกจากพื้นกราวด์ และป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศ ณ จุดนี้ เราจะได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ สายอากาศไดโพล



รูปที่ 2.15 สายอากาศแนวตั้งบนพื้นกราวด์แบบหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น

สายอากาศแบบหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นนี้จะทำงานที่ความถี่ของ $\lambda/4$ หรือจำนวนที่เท่า เช่น $3\lambda/4, 5\lambda/4$ เพื่อให้จุดป้อนสัญญาณที่ปลายต่อลงกราวด์มีกระแสสูงสุดและมีโวลเตจต่ำสุด โดยปกติสายอากาศชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานการแพร่กระจายประมาณ 36 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับการป้อนสัญญาณด้วยสายส่งแบบโคแอกเชียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นนั้น จะมีรูปแบบที่เหมือนกับรูปแบบของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น เพียงแต่ส่วนที่มีลักษณะคล้ายเลข 8 จะมีเพียงครึ่งเดียวถูกแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.16



การแพร่คลื่นบนระนาบแนวตั้ง

(ก)

การแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบ

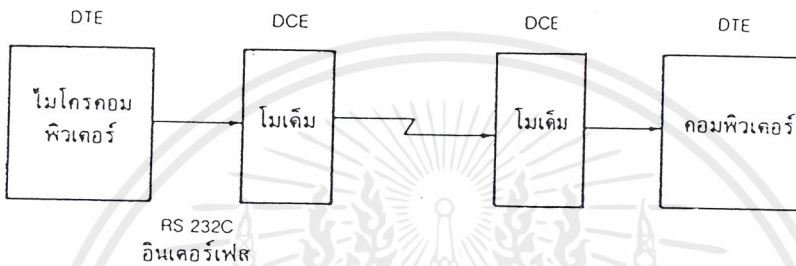
(ข)

รูปที่ 2.16 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแนวตั้งบนพื้นกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มาตรฐาน RS-232C

ในปี 1969 หน่วยงาน EIA (Electronic Industries Association) และบรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารได้ร่วมกันจัดตั้งมาตรฐาน EIA RS-232 ซึ่งต่อมาไม่นานได้ปรับปรุงเป็น RS-232C และ RS-232D และยังมีมาตรฐานคล้ายกัน ซึ่งออกโดยองค์กรระหว่างประเทศคือ CCITT (Consoltative Committee on International Telegraphy and Telephone) โดยจุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้คือ เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE) DTEหมายถึง ตัวไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE หมายถึง โมเด็ม



รูปที่ 2.17 การใช้ RS-232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

RS-232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0 - 20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9,600 บอด โดยความยาวของสายเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232C จำกัดอยู่ที่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสาร ไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

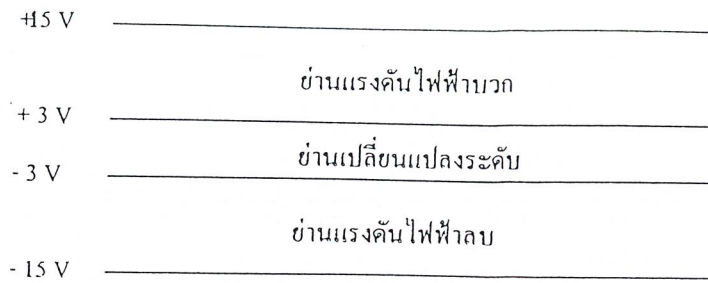
2.3.1 ลักษณะสัญญาณ RS-232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ควบคุมอย่างถูกต้องจำเป็นต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS-232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.18

ตารางที่ 2.2 การกำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้า

มาตรฐานการใช้แรงดันไฟฟ้า			
แรงดันไฟฟ้า	สถานภาพลอจิก	สถานภาพของสัญญาณ	ฟังก์ชันในการควบคุม
บวก	0	สเปซ	ON
ลบ	1	มาร์ค	OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

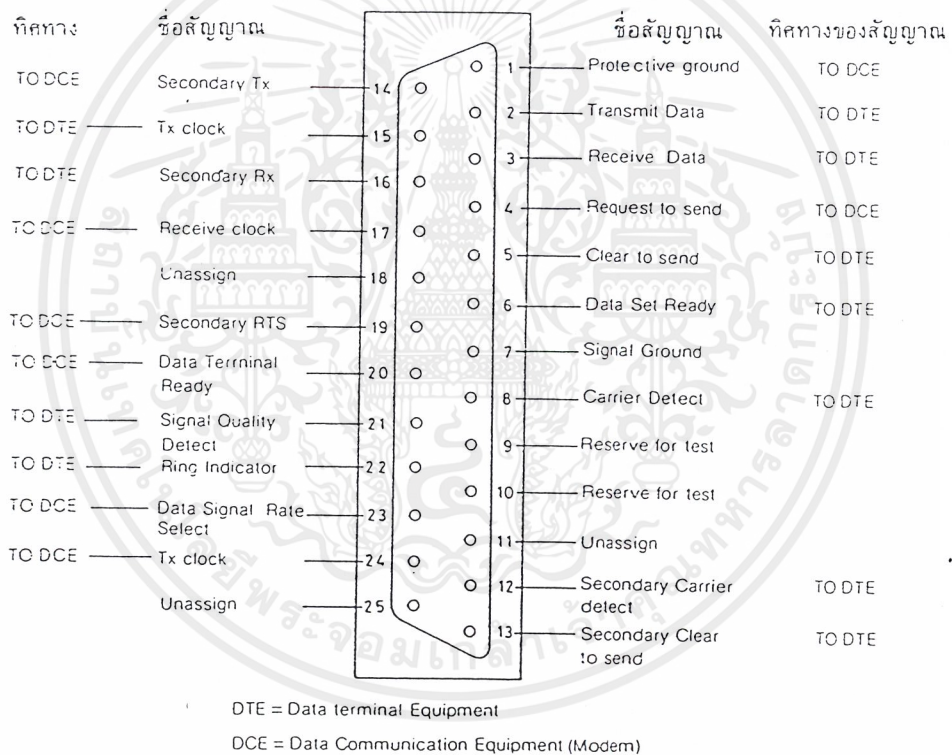


รูปที่ 2.18 ข่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS-232C

2.3.2 การกำหนดจุดต่อของ RS-232C

ในทางฟิสิกส์แล้ว มาตรฐานของ RS-232C กำหนดขั้วต่อแบบ DB-25 แต่ละขาของขั้วต่อกำหนดไว้

ผังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การกำหนดของขั้วต่อ RS-232C

2.4 การรับส่งข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบ FSK

2.4.1 XR-2206 วงจรเข้ารหัส FSK

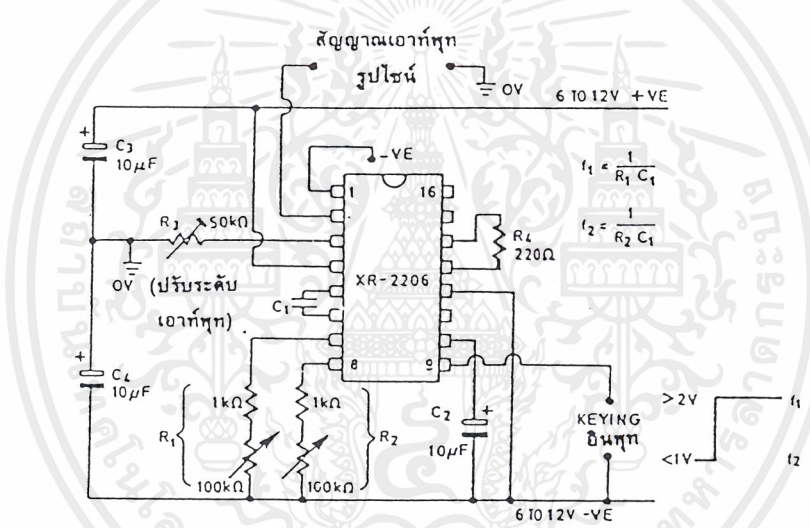
ไอซีเบอร์ XR-2206 เป็นโมโนลิทิกฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ มีความสามารถในการผลิตคลื่นรูปซายน์ (sine), คลื่นรูปสามเหลี่ยม (triangle), สี่เหลี่ยม (square), แรมป์ (ramp) ได้ โดยที่มีความถี่ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตซ์ จนถึงหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์โดยต่อกับวงจรภายนอกอีกเล็กน้อย นอกจากนี้ยังสามารถนำ XR-2206 มาใช้ควบคุมขนาดและความถี่ (AM และ FM) และ FSK ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2206 อยู่ในแพ็คเกจไอซี 16 ขา สามารถใช้ได้กับไฟเลี้ยงตัวเดียวในช่วง 10 ถึง 26 โวลต์ หรืออาจใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้ในช่วง 5 ถึง 13 โวลต์ ค่า THD ในการผลิตคลื่นไซน์ประมาณ 2.5 % ในขณะที่ยังไม่มีการปรับแต่ง แต่ก็สามารถปรับแต่งให้เหลือเพียง 0.5% ได้ โดยการควบคุมของวงจรที่นำมาต่อรวม โดยที่สัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์นี้จะมีขนาดสูงสุด 2 V_{rms} และมีเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม

2.4.1.1 การทำงานของ XR-2206

สัญญาณ FSK เป็นสัญญาณขาขึ้นที่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเบสแบนด์พัลส์ PCM โดยทั่วไป มักใช้ในการส่งข้อมูลที่อัตราความเร็วต่ำตามข้อกำหนดรายละเอียด CCITT V.21 และนิยมใช้ FSK ชนิดสองความถี่เท่านั้น เพราะ FSK noncoherent ชนิดสองความถี่สามารถกำเนิดและรับได้ง่ายทำให้มีราคาถูก รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วนของ XR-2206 ซึ่งเป็นแพ็คเกจขนาด 16 ขา หัวใจสำคัญของส่วนนี้คือ VCO (Voltage Control Oscillator) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่ามีคาปาซิเตอร์จับเวลา (timing Capacitor) ซึ่งมีค่าได้ในช่วง 1000 pF ถึง 100 μF ต่อที่ขา 5 และ 6 ซึ่งเป็นอินพุทของ VCO



รูปที่ 2.20 วงจรผลิตสัญญาณ FSK รูปซายน์อย่างง่าย โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว

สำหรับตัวต้านทานจับเวลา (timing resistor) นั้นจะต่อกับขา 12 (ขา ground) และขา 7 หรือขา 8 ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 1 kΩ ถึง 2 MΩ ค่าความต้านทานจับเวลา และตัวเก็บประจุจับเวลานั้น มีผลต่อความถี่ในการออสซิลเลท ซึ่งมีค่าเท่ากับสมการที่ 2.4

$$F_o = 1 / RC \quad (\text{Hz}) \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

ความถี่ของสัญญาณสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการเปลี่ยนค่า R หรือ C เพื่อให้เกิดความคงตัวของอุณหภูมิ (temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณขาขึ้นน้อยที่สุด ค่า ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 4 kΩ ถึง 200 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานจัดเวลาจะพิจารณาจากการป้อนสัญญาณที่ขา FSK INPUT (ขา 9) หากป้อนแรงดันมากกว่า 2 โวลต์ จะต่อตัวต้านทานที่ขา 7 ในทางกลับกันถ้าแรงดันต่ำกว่า 1 โวลต์ ก็ต้องต่อตัวต้านทานที่ขา 8 ค้ำยเช่นกัน

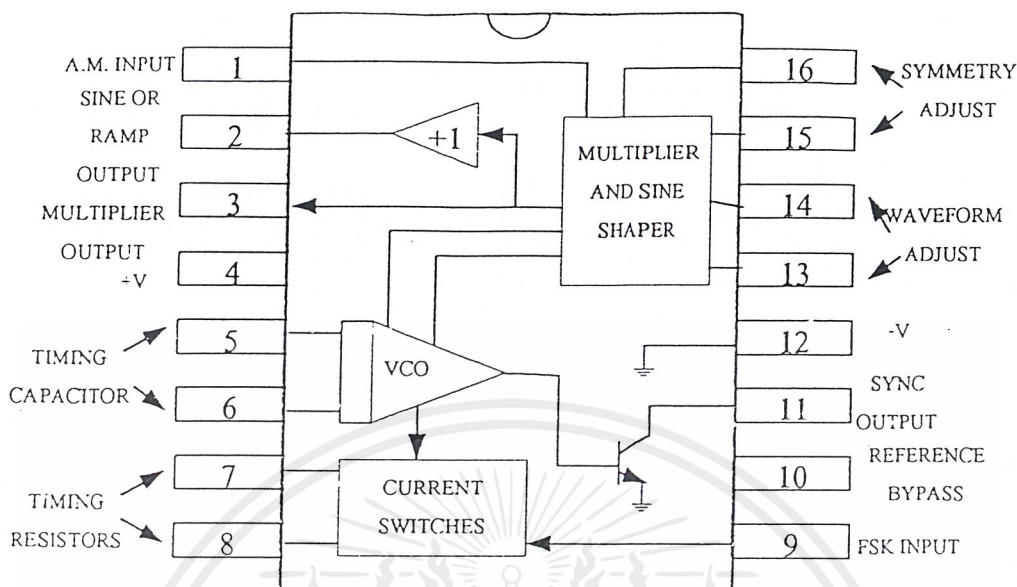
ส่วนของ VCO ของ XR-2206 นั้นผลิตรูปคลื่นได้ 2 ชนิด คือ รูปคลื่นแรมพ์ ซึ่งจะป้อนไปที่ส่วนของ multiplier and sine shaper block อีกทีหนึ่ง และคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งจะป้อนออกที่ขา Output (ขา 11) โดยผ่านทรานซิสเตอร์ การผลิตรูปคลื่นจะขึ้นอยู่กับตัวเก็บประจุจัดเวลา โดยตัวเก็บประจุนี้จะเริ่มต้นเก็บประจุ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นแรมพ์ที่กำลังพุ่งขึ้นและอีกเอาท์พุทหนึ่งจะได้สัญญาณ "high" ที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า "firing voltage" ที่จุดนี้จะทำให้คลื่นสี่เหลี่ยมกลับเป็น "low" และตัวเก็บประจุจัดเวลาจะเก็บประจุในทิศทางกลับกับตอนต้น เป็นผลให้สัญญาณแรมพ์ตกลงจนถึงจุด "firing voltage" เช่นกันทำให้คลื่นสี่เหลี่ยมกลับเป็น "high" และกระบวนการต่างๆ ก็จะกลับไปกลับมาเช่นนี้เรื่อยไป

VCO ส่วนนี้จะผลิตคลื่นแรมพ์และคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมาตรออกมา ถ้านำสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา 11 นี้มาต่อเข้ากับ FSK INPUT (ขา 9) จะมีผลให้สัญญาณแรมพ์และสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ไม่สมมาตรออกมาแทน สัญญาณแรมพ์ที่ได้จาก VCO จะถูกป้อนไปยังส่วนของ multiplier and shaper block อีกที ซึ่งทำหน้าที่คล้ายวงจรขยายความต่าง ซึ่งจะทำให้เอาท์พุทที่ขา 3 มีค่าสูง และบัฟเฟอร์เอาท์พุทที่ขา 2 ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม ในกรณีที่เปิดวงจรที่ขา 13 และ 14 จะมีผลทำให้เอาท์พุทที่ขา 2 และ 3 ได้สัญญาณแรมพ์ออกมา แต่ถ้าต่อตัวต้านทานที่มีค่าประมาณ 200-300 โอห์ม จะทำให้ยอดของสัญญาณแรมพ์ถูกตัดออก ทำให้ได้สัญญาณซายน้อออกมาแทน

อัตรขยายและเฟสของเอาท์พุทของ multiplier สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเพิ่มสัญญาณแรงดันที่ขา 1 เอาท์พุทที่ได้จะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงดันที่ขา 1 ซึ่งควรมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของระดับไฟเลี้ยง โดยเอาท์พุทจะเป็น 0 เมื่อแรงดันที่ขา 1 มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของไฟเลี้ยงพอดี และจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงดันเพิ่มขึ้น แต่ถ้ระดับแรงดันนี้เกิดลดลงต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของไฟเลี้ยง ก็จะทำให้สัญญาณเอาท์พุทเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เฟสที่ได้จะตรงกันข้าม คุณสมบัตินี้เองที่นำมาใช้ในการมอดูเลทเชิงขนาด (AM) และ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งจะให้อเอาท์พุทที่ขา 2 และ 3

2.4.1.2 การผลิต FSK

ขณะที่ขา FSK INPUT มีได้ต่ออะไรหรือมีการป้อนแรงดันที่มีขนาดเกิน 2 โวลต์ เมื่อเทียบกับแรงดันที่เป็นลบ ตัวต้านทานจัดเวลาที่ขา 7 จะถูกเลือกเพื่อให้ความถี่นั้นมีค่าตามการคำนวณตามค่าของ R_1 และ C_1 ข้างต้น แต่หากขา FSK INPUT นี้ถูกต่อกับแรงดันระดับต่ำกว่า 1 โวลต์ จะทำให้ได้ความถี่ออกมาอีกชุดหนึ่ง ซึ่งคำนวณจากค่า R_2 และ C_1 ด้วยเหตุนี้ทำให้ XR-2206 ถูกนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณ FSK โดยวิธีการง่ายๆ ดังรูป 2.20 โดยที่ขา 9 จะป้อนด้วยสัญญาณพัลส์แทน



รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานและขาต่างๆของ XR-2206

2.4.2 XR-2211 วงจรถอดรหัส FSK

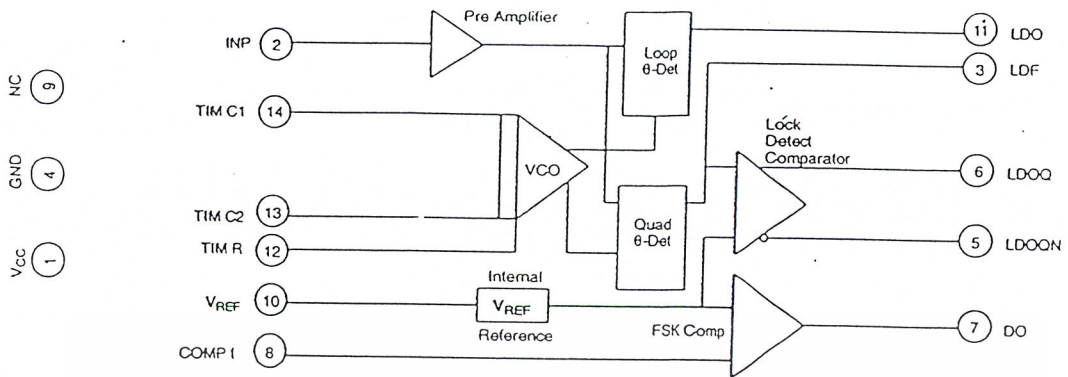
ภาครับสัญญาณ FSK จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ FSK ที่มีความถี่ 2 ความถี่ ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัล 0 (แทนด้วยระดับสัญญาณ 0 โวลต์) และ 1 (แทนด้วยระดับสัญญาณ 5 โวลต์) โดยใช้ XR-2211 ซึ่งได้ถูกออกแบบมาให้ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณดิจิทัล (FSK Demodulation) การซิงโครไนซ์ข้อมูล (Data Synchronization) การถอดรหัสสัญญาณเสียง (Tone Decoding) การตรวจจับสัญญาณ FM (FM Detection) และการตรวจจับสัญญาณคลื่นพาห้ (Carrier Detection)

2.4.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไอซี XR-2211

XR-2211 เป็นไอซีที่ทำงานแบบเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop : PLL) ใช้ไฟเลี้ยงประมาณ 4.5 ถึง 20 โวลต์ ทำงานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 300 กิโลเฮิรตซ์ และยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางลอจิกที่เป็นมาตรฐานตระกูล DTL, TTL และ ECL ได้อีกด้วย

2.4.2.2 โครงสร้างภายในของ XR-2211

รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างหลักของ XR-2211 เป็นวงจรเฟสล็อกลูป ซึ่งประกอบด้วยวงจรปริแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier) วงจรคูณสัญญาณอนาล็อก (Analog Multiplier) ซึ่งใช้เป็นวงจรเฟสดีเทคเตอร์ (Phase Detector) และวงจร VCO โดยวงจร Preamplifier ใช้สำหรับขยายสัญญาณอินพุตที่มีขนาดต่ำๆ ให้มีขนาดสูงขึ้น ส่วน VCO จะถูกควบคุมความถี่โดยตัวต้านทาน R_o และกระแสจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์



รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี XR-2211

แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage : V_R) ที่ขา 10 เป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับแรงดันที่ขา 5, 8, 10 และ 11 โดยที่ขา 10 นี้จะต้องต่อคาปาซิเตอร์ขนาด $0.1 \mu\text{F}$ กับกราวด์ เพื่อให้บายพาสสัญญาณความถี่สูงลงกราวด์ และให้วงจรทำงานสม่ำเสมอ

เอาต์พุตจากวงจรลูฟเฟสดีเทคเตอร์ (Loop Phase Detector Output) ที่ขา 11 นี้ เป็นเอาต์พุตที่มีความต้านทานสูง ใช้สำหรับลูฟเฟสดีเทคเตอร์ โดยมี R_1 และ C_1 ทำหน้าที่เป็นลูฟเฟลเตอร์ของเฟสที่ออกอุปกรณ์ที่ยังไม่มีสัญญาณอินพุต หรือยังไม่มี ความแตกต่างทางเฟส แรงดันที่ขา 11 นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง V_R

การควบคุมความถี่ของวงจร VCO ทำได้โดยควบคุมค่า R_0 ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$f_o = 1 / (R_0 C_0) \quad \text{Hz} \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

โดยที่ C_0 คือ คาปาซิเตอร์ที่ต่อระหว่างขา 13 กับขา 14 ซึ่งความถี่ของ VCO จะแปรผกผันกับค่า C_0 นี้ โดย C_0 นั้นจะต้องใช้แบบไม่มีขั้วในย่าน 200 pF ถึง $10 \mu\text{F}$ และเพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพควรใช้ R_0 ค่าระหว่าง $10 \text{ k}\Omega$ ถึง $100 \text{ k}\Omega$

การปรับความถี่ควรใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานคงที่ค่าหนึ่ง โดยผลรวมของตัวต้านทานทั้งสองก็คือค่า R_0 นั่นเอง

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดเดียวตระกูล 51

2.5.1 ข้อดีของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว (Single Chip Microcontroller) คือ ไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็ก โดยบรรจุไว้ในแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) เพียงชิปเดี่ยวเหมาะสำหรับงานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติเพราะผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ตามต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51 อันได้แก่เบอร์ 8051 และ 8052 ซึ่งมีโครงสร้างและชุดคำสั่งที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

MCS-51 มีข้อดีดังนี้

- สามารถนำข้อมูลมา AND, OR หรือทำ Complement ทั้งแบบทีละ 8 บิตและ 1 บิต
- ใช้กับหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งที่จะให้ MCS-51 ทำงานได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ (64×1024 ไบต์) ทำให้การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานสามารถทำได้มาก
- สามารถต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูล (Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ในระหว่างการทำงานของโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- ใน 8051 มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมจำนวน 4 กิโลไบต์ (ใน 8052 และ 8752 มี 8 กิโลไบต์) อยู่ในตัวชิป ทำให้ไม่ต้องต่อหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายนอก ระบบรวมทั้งหมดจึงมีขนาดเล็ก และสัญญาณรบกวนภายนอกทำให้ MCS-51 ทำงานผิดพลาดได้ยาก
- มีพอร์ตนานสำหรับข้อมูลเข้าและออกจำนวน 32 บิต โดยที่ข้อมูลแต่ละบิตเป็นอิสระจากกัน
- มีวงจร Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด ที่ทำงานในโหมดต่างๆ กันได้ถึง 4 โหมด
- มี Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) สำหรับรับ-ส่งข้อมูลอนุกรม (Serial) แบบ Full Duplex ที่สามารถเลือกรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลได้ 4 แบบ
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt Request Signal) 6 แหล่ง ซึ่งสามารถกระโดดไปทำงานตอบสนองการขัดจังหวะ (Interrupt Service Routine) ได้ต่างๆ กัน 5 ตำแหน่ง
- สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมด Idle และ Power Down ซึ่งจะประหยัดการใช้กำลังไฟ

2.5.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ AT89C51/52

ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ AT89C51, AT89C52, AT89C1051 และ AT89C2051 โดยมีรายละเอียดทางเทคนิคดังตารางที่ 2.3 AT89C51 และ AT89C52 เป็น CMOS 8 บิตไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูง กินกำลังไฟต่ำ มีหน่วยความจำแฟลชขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ บรรจุอยู่ในตัวตามลำดับ ทั้งใช้งานร่วมกันและไมโครแชนเนลกับ MCS-51 80C51 ได้ทั้งทางด้านชุดคำสั่งและการจัดเรียงขา โดยมีรูปแบบตัวถังบรรจุและการจัดเรียงขาในแบบ DIP, PLCC และ QFP ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 การที่มีหน่วยความจำแฟลชภายในตัวนั้นทำให้ MCU สามารถโปรแกรมใหม่ได้ในลักษณะ "In-System Programming" บนการ์ดคอนโทรลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราออกแบบขึ้นมาได้เลยหรือจะ โปรแกรมใหม่โดยใช้เครื่องโปรแกรมทั่วๆ ไปเช่น Hilio, Data I/O โดยไม่ต้อง ลบด้วยแสงอัลตราไวโอเลตอีกเมื่อต้องการลบโปรแกรมเดิม กรณีที่มีการแก้ไขหรือปรับปรุงโปรแกรมเดิม หรือการ โปรแกรมใหม่

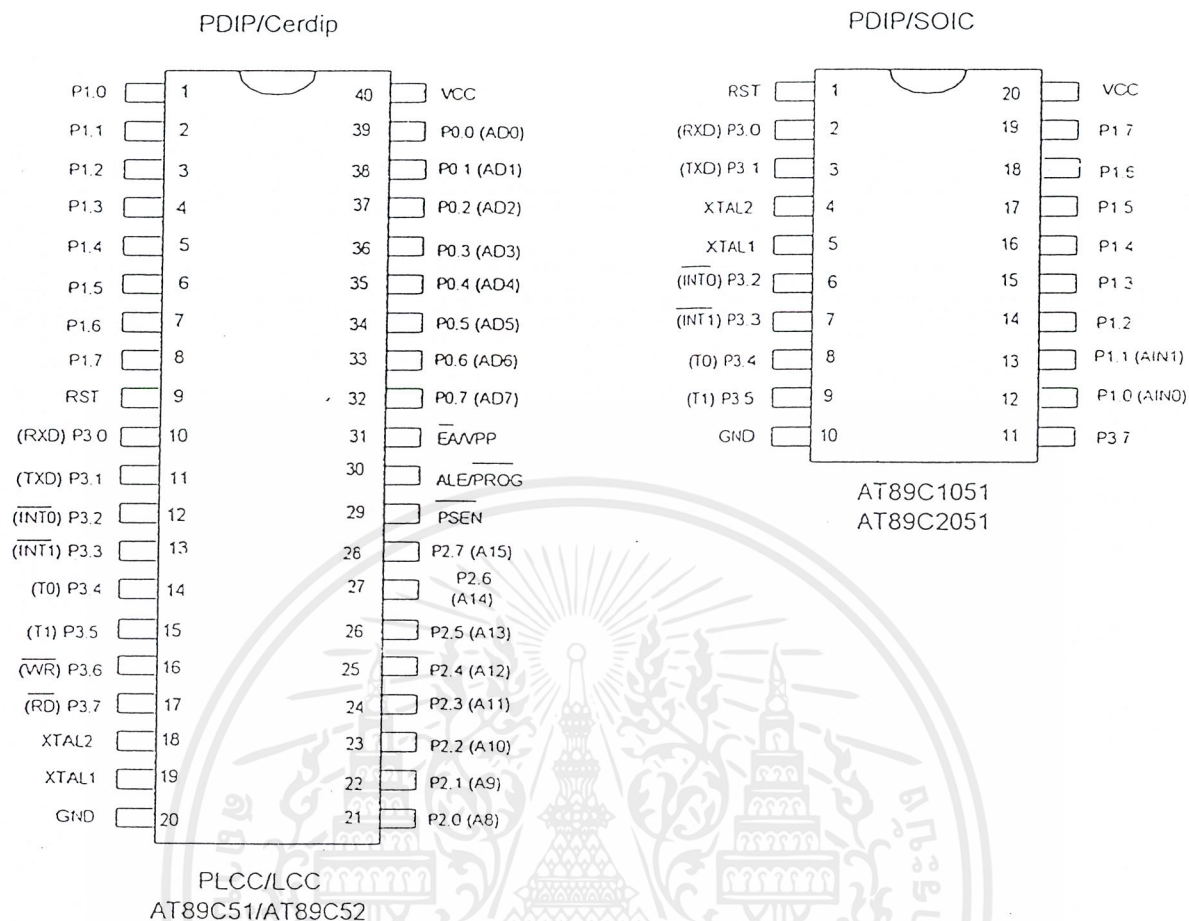
AT89C1051 และ AT89C2051 MCU รุ่นประหยัด ขนาดเล็กเพียง 20 ขา แต่เปรียบไปด้วยคุณสมบัติ พิเศษที่เหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายๆ หน้าที่ควบคุม นอกจากนี้จะมีหน่วยความจำแฟลชภายในขนาด 1 และ 2 กิโลไบต์ ตามลำดับแล้ว ยังมีวงจรเปรียบเทียบทางอนาล็อกและฟังก์ชันอื่นๆ อีก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ATMEL ยังได้ถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีในแบบที่เป็น “Full Static Operation” ตั้งแต่ย่าน DC จนถึง 24 MHz ทำให้ MCU มีคุณสมบัติที่สามารถทำงานได้ทั้งในสถานะสงบ (Idle Mode) และ โหมดประหยัดพลังงาน (Power Down Mode)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ AT89C1051/2051 และ AT89C51/52

คุณสมบัติ	AT89C1051	AT89C2051	AT89C51	AT89C52
ขนาดหน่วยความจำแฟลช	1 กิโลไบต์	2 กิโลไบต์	4 กิโลไบต์	1 กิโลไบต์
ขนาดหน่วยความจำ RAM	64 ไบต์	128 ไบต์	128 ไบต์	64 ไบต์
จำนวนขาต่อใช้งาน	20 ขา	20 ขา	40 ขา	20 ขา
พอร์ตอินพุทเอาต์พุท (I/O)	15 I/O	15 I/O	32 I/O	15 I/O
รูปแบบตัวถังบรรจุ	PDIP,SOIC	PDIP,SOIC	PDIP,SOIC,QFP	PDIP,SOIC
คาบเวลาและชุดวงจรนับ	16 บิต 1 ชุด	16 บิต 1 ชุด	16 บิต 2 ชุด	16 บิต 1 ชุด
ย่านแรงดันไฟเลี้ยง	2.7 - 6.0 V	2.7 - 6.0 V	2.7(89LV52) - 6.0 V	2.7(89LV52) - 6.0 V
ระดับการล๊อคบิต	2 ระดับ	2 ระดับ	3 ระดับ	3 ระดับ
ย่านความถี่การใช้งาน	0 - 24 MHz	0 - 24 MHz	0 - 24 MHz	0 - 24 MHz
วงจรเปรียบเทียบอนาล็อก	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
อินเทอร์รัปต์เอาต์พุท	3 เอาต์พุท	5 เอาต์พุท	5 เอาต์พุท	8 เอาต์พุท
โหมดสถานะสงบ, ประหยัดกำลังงาน	มี	มี	มี	มี
ขับ LED ได้โดยตรง	ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการจัดขาการใช้งานของ AT89C51/52 และ AT89C1051/2051

2.6 สเต็ปป์มอเตอร์ Stepping Motor

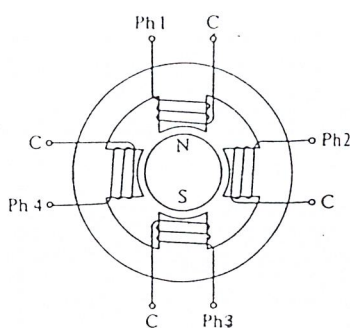
สเต็ปป์มอเตอร์เปรียบเสมือนทรานสดิวเซอร์แบบแปลงไฟฟ้าเป็นเชิงกล ซึ่งมีอินพุตเป็นกลุ่มของ ไบนารีโวลเตจ และเอาต์พุตเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในเชิงมุมเป็นเต็ป ด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าว สเต็ปป์มอเตอร์จึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวป้อนกระดาศและกำหนดช่วงห่างของบรรทัดในไลน์ปริ้นเตอร์ x-y พล็อตเตอร์, ขับเครื่องจักรกลที่คอนโทรลด้วยคอมพิวเตอร์, ตลอดจนถึงหุ่นยนต์ โดยขนาดของสเต็ปป์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 ถึง 30

สเต็ปป์มอเตอร์แบ่งออกได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น Variable Reluctance (VR), Permanent Magnet (PM) และแบบไฮบริด (Hybrid) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์จะถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดมุมสเต็ปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนซี่แม่เหล็กของโรเตอร์เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีโครงสร้างแบบมีซี่แม่เหล็กหลายซี่ทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

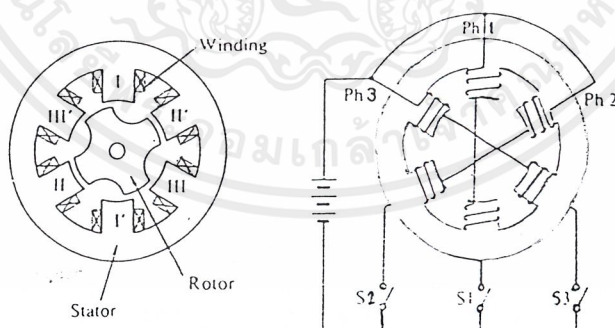


รูปที่ 2.24 แสดง โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ข้อเสียของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร คือ ขนาดมูมสเต็ปิ่งใหญ่ ทำให้มีความละเอียดสเต็ปต่อรอบน้อย เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถสร้างสเต็ปิ่งขนาดเล็กได้ สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์คที่ให้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำมาจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง ซึ่งมีราคาสูงด้วยเช่นกัน

2. สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ (Variable Reluctance)

โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ มีโรเตอร์ และสเตเตอร์ทำจากเหล็กผสมซิลิกอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซับ (Permeability) สูง สามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้



รูปที่ 2.25 แสดง โครงสร้างสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับ โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

- ช่องว่างอากาศระหว่างขั้วฟันโรเตอร์ และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้มีค่าทอร์คมากขึ้น และมีความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างของการสลับที่มีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสลับของการหมุนโรเตอร์ 1 รอบ (s) มุมที่เปลี่ยนไปใน 1 สลับ (θ_s) จำนวนเฟสของสเตเตอร์ (m) และจำนวนฟันของโรเตอร์ (N_r) หาได้จากสมการ

$$s = 360 / \theta_s = mN_r$$

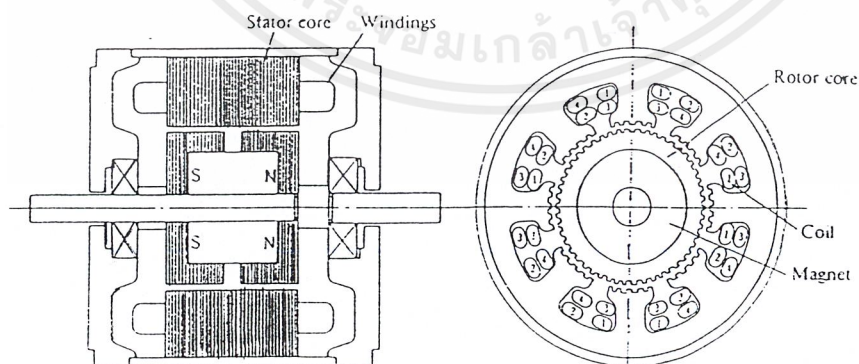
เพื่อลดขนาดของมุมสลับปลงจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ต้องเพิ่มขึ้น และซี่ฟันของสเตเตอร์ต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างของแต่ละขั้วเฟสใดๆ จะมีหลายซี่ฟัน แต่จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ ไม่ใช่องค์ประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมุมสลับของสลับปิ้งมอเตอร์

3. สลับปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid)

ไฮบริดสลับปิ้งมอเตอร์มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสลับปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ แต่ต่างกันที่การพันขดลวด โดยจะพันขดลวดทั้งสองอยู่ที่เดียวกัน ขั้วใดขั้วหนึ่งจะไม่ใช่ของเฟสใดเฟสหนึ่ง โครงสร้างของขดลวดสองขดที่ถูกพันที่ขั้วเดียวกัน เรียกว่าเป็นรูปแบบไบไฟลาร์ (Bifilar) ซึ่งจะให้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันในการกระตุ้นแต่ละครั้ง

หลักการทำงานของไฮบริดสลับปิ้งมอเตอร์แตกต่างจากสลับปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านขดลวดอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย ซึ่งซี่ฟันถูกออกแบบมาเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการออสซิลเลททางแมกเนติกส์

ข้อดีของไฮบริดสลับปิ้งมอเตอร์ คือ ขนาดสลับปิ้งมีขนาดเล็ก มีความละเอียดของสลับปิ้งต่อรอบสูง มีค่าทอร์กสูงกว่าแบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้ แต่สลับปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้จะมีแรงเฉื่อยทางแมกเนติกส์น้อยกว่าสลับปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด



รูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างของไฮบริดสลับปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากสเต็มปีงมอเตอร์ทั้งสามชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีสเต็มปีงมอเตอร์ชนิดอื่นๆที่ยังไม่ได้กล่าวถึงอีก เช่น ลิเนียร์สเต็มปีงมอเตอร์ ซึ่งได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น และอิเล็กทรอนิกส์สเต็มปีงมอเตอร์ ซึ่งเป็นสเต็มปีงมอเตอร์กำลังสูงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

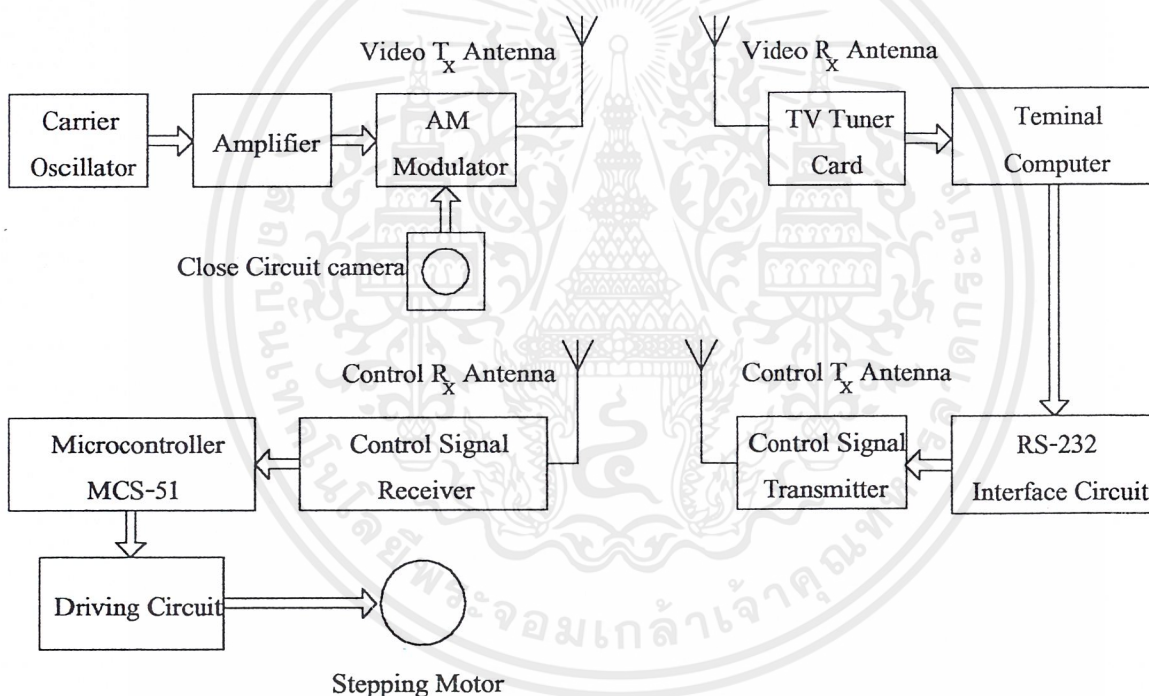
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

กล้องรักษาความปลอดภัยแบบไร้สาย แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ

- ส่วนรับ-ส่งสัญญาณภาพ
- ส่วนรับ-ส่งสัญญาณควบคุม
- ส่วนโครงสร้างที่รองรับกล้อง
- ส่วนโปรแกรมควบคุม

ในส่วนโครงสร้างที่รองรับกล้องและส่วนโปรแกรมควบคุมนั้น เป็นความรู้เพิ่มเติมด้านการออกแบบทางกลศาสตร์และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รายละเอียดของทั้งสองส่วนนี้จะแสดงไว้ในภาคผนวก สำหรับส่วนประกอบ 2 ส่วนแรก ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1



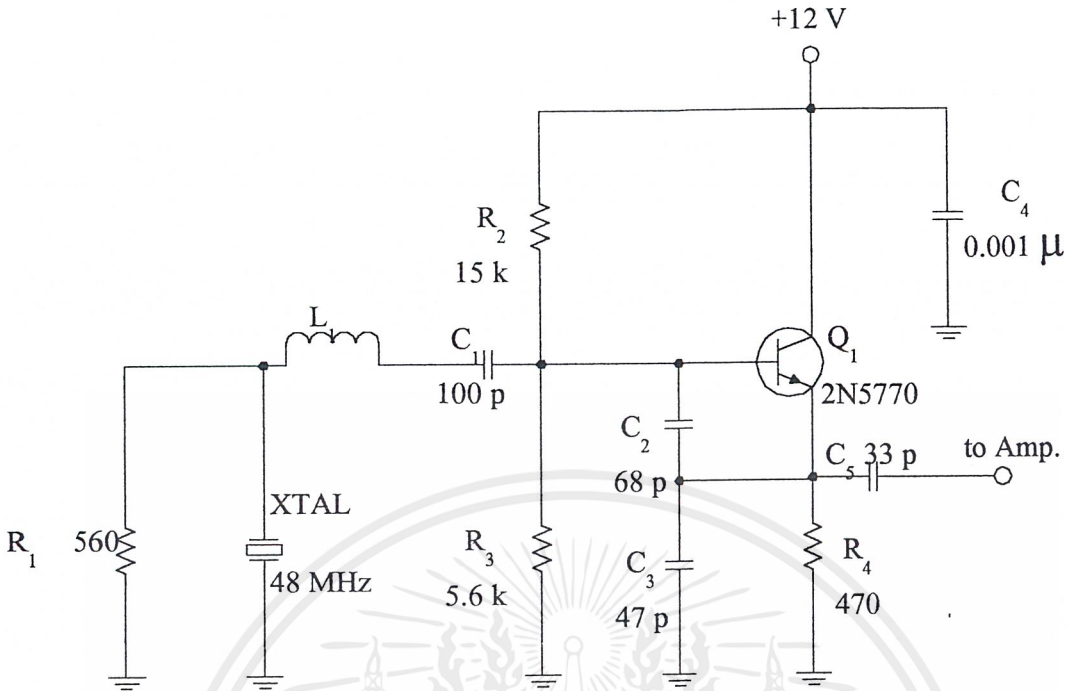
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานทั้งหมดของโครงการ

จากบล็อก ไดอะแกรมจะประกอบด้วยวงจรที่ทำหน้าที่ต่างๆ คือ

3.1 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

วงจรตามรูปที่ 3.2 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบอิมพีแดนซ์อินเวอร์ตติ้งโคลพิตส์ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งทำงานที่ความถี่ 15-65 MHz ซึ่งในวงจรได้ออกแบบที่ 48 MHz L_1 ทำหน้าที่จูนในการกำเนิดสัญญาณความถี่มูลฐานของคริสตอลและรีโซแนนซ์ร่วมกับ C_1 รวมไปถึง C_2 และ C_3 สำหรับการพันขดลวด L_1 ใช้คอยล์ฟอร์มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร พัน 7 รอบ ส่วน R_1 ทำหน้าที่ขั้วขั้วการออสซิลเลตในความถี่ในโหมดโอเวอร์โทน R_2 , R_3 และ R_4 ทำหน้าที่ในการควบคุมแรงดันเพื่อควบคุมระดับของสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



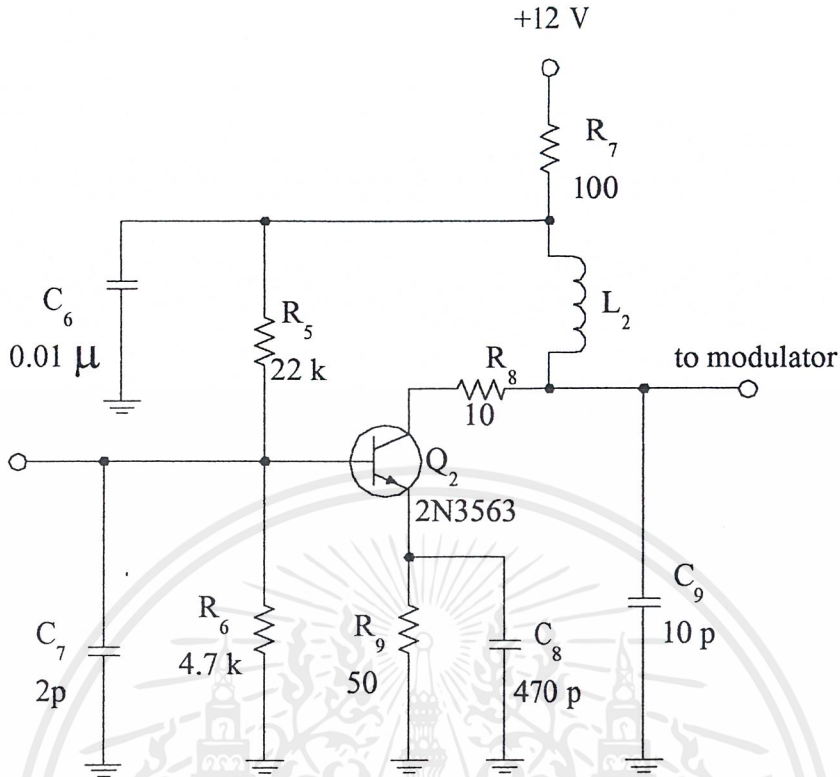
รูปที่ 3.2 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

3.2 วงจรขยายสัญญาณ

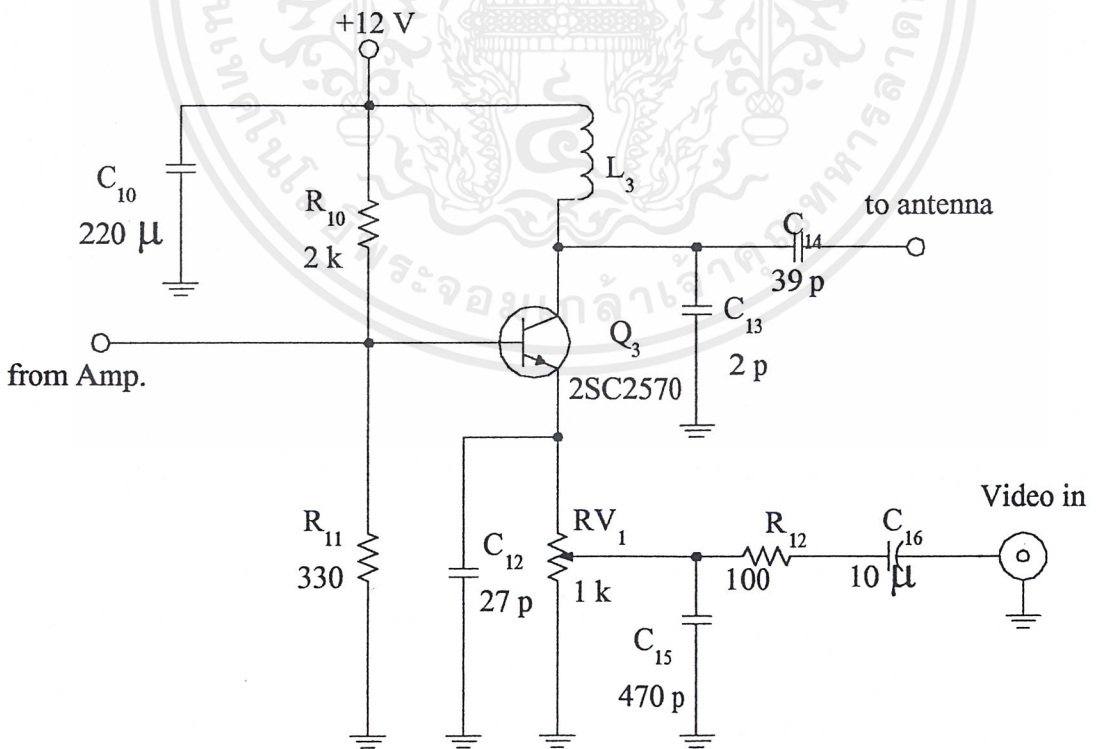
ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำหน้าที่เป็นวงจขยายสัญญาณ ซึ่ง L_2 และ C_9 ทำหน้าที่เป็นวงจรถูนเพื่อจูนความถี่ออกมาทางขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_2 มีความถี่การรีโซแนนซ์เท่ากับความถี่มูลฐานของวงจรถอสซิลเลเตอร์ โดย L_2 พันโดยใช้คอยล์ฟอรัมขนาด 5 มิลลิเมตร โดยพันประมาณ 6 รอบ C_7 ทำหน้าที่ควบคุมไบอัสไฟเพื่อปรับระดับของสัญญาณ เช่นเดียวกับ R_9 และ C_8 ที่ขาอีมิเตอร์ ส่วน C_4 เป็นซีบายพาสความถี่สูงลงกราวด์

3.3 วงจรมอดูเลตเชิงขนาด

จากรูปที่ 3.4 สามารถอธิบายได้ว่าสัญญาณคลื่นพาห้เข้ามาที่ขาเบส โดยสัญญาณภาพจะถูกนำมา มอดูเลตที่ขาอีมิเตอร์ และจะมีตัวต้านทาน RV_1 ซึ่งเป็นความต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวกำหนดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต หลังจากการมอดูเลตแล้วจะถูกทำให้เป็นไซน์แบนด์คู่โดย L_3 และ C_{13} ซึ่งต่ออยู่ในลักษณะวงจรแพนค์ และสัญญาณจะถูกส่งออกอากาศผ่าน C_{14} วงจรนี้จะมีการขยายสัญญาณอยู่ในตัวแล้วเพราะต่ออยู่ในลักษณะวงจรแบ่งแรงดันอีมิเตอร์ร่วมโดย R_{10} , R_{11} และ RV_1 เป็นตัวกำหนดไบอัสไฟเพื่อควบคุมการขยาย ส่วนตัวเก็บประจุ C_{12} , C_{10} ทำหน้าที่เป็นตัวบายพาสความถี่สูงลงกราวด์



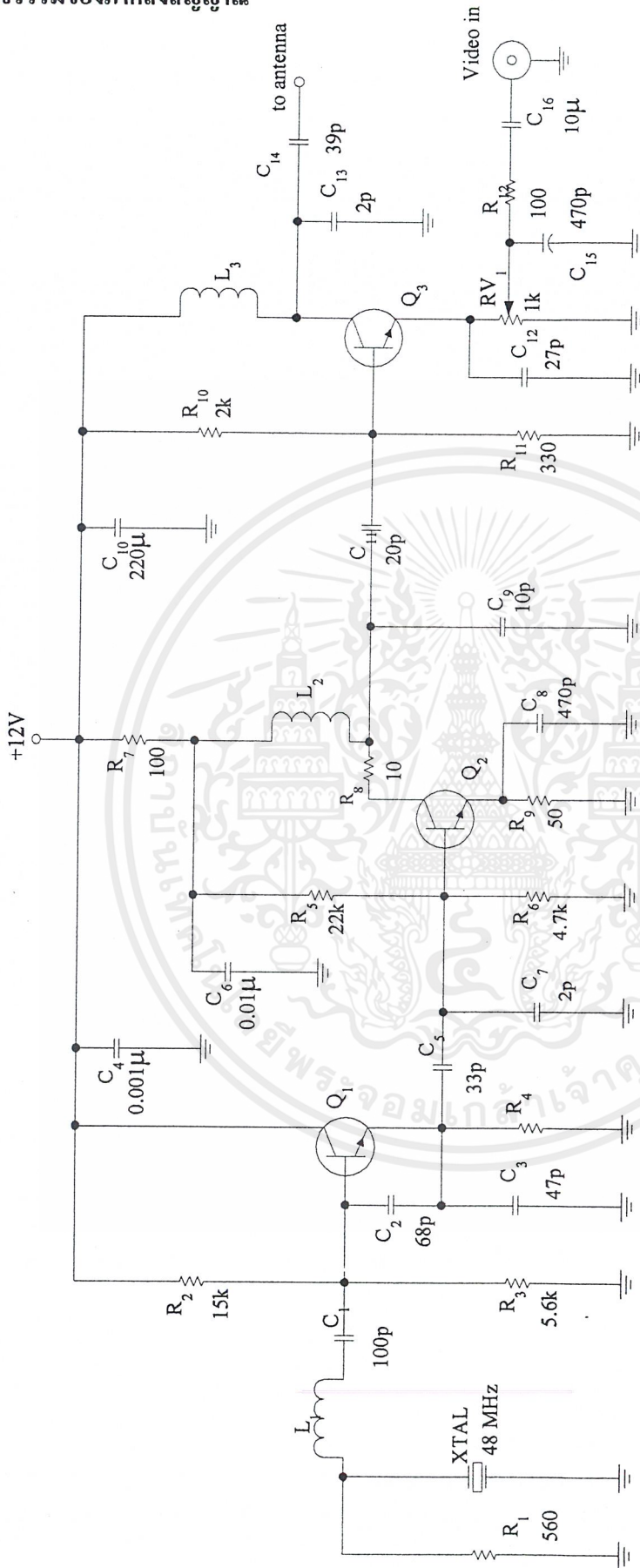
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตเชิงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรรวมของภาคส่งสัญญาณ

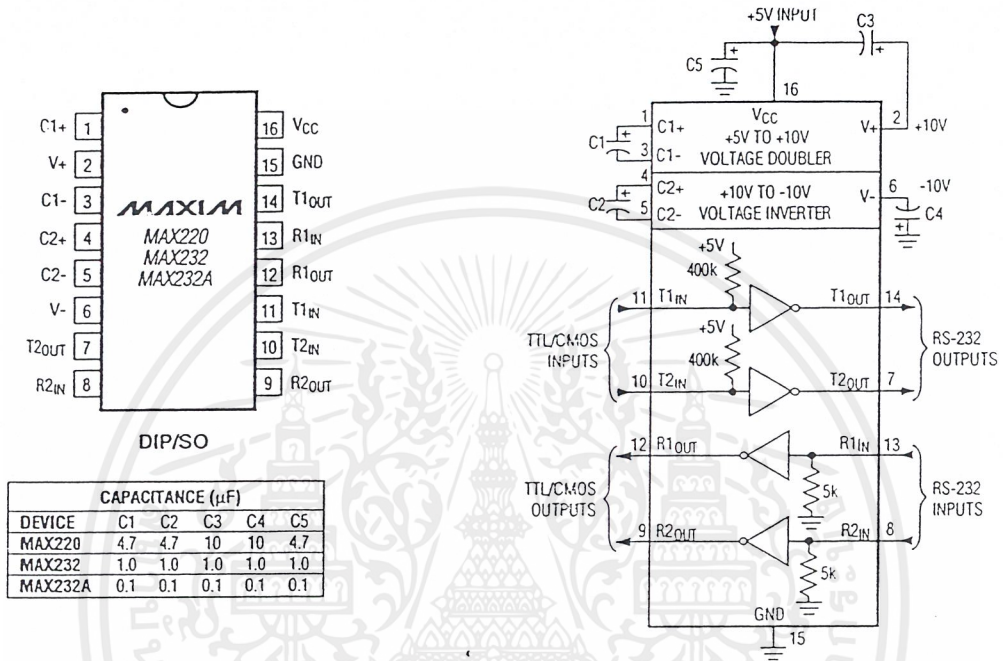


- Q₁ : 2N5770
- Q₂ : 2N3563
- Q₃ : 2SC2570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.5 วงจรรวมของภาคส่งสัญญาณภาพ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ

IC MAX-232 มีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันที่ออกจากพอร์ตอนุกรม RS-232 ให้เป็นสัญญาณ TTL โดยเมื่อแรงดันที่ออกจาก RS-232 มีขนาดเท่ากับ 12 โวลต์ หรือลอจิก "0" จะทำการเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 0 โวลต์ และเมื่อแรงดันที่ออกจาก RS-232 มีขนาดเท่ากับ -12 โวลต์ หรือลอจิก "1" จะทำการเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 5 โวลต์ ซึ่งค่าต่างๆ ในวงจรและรูปร่างการต่อแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



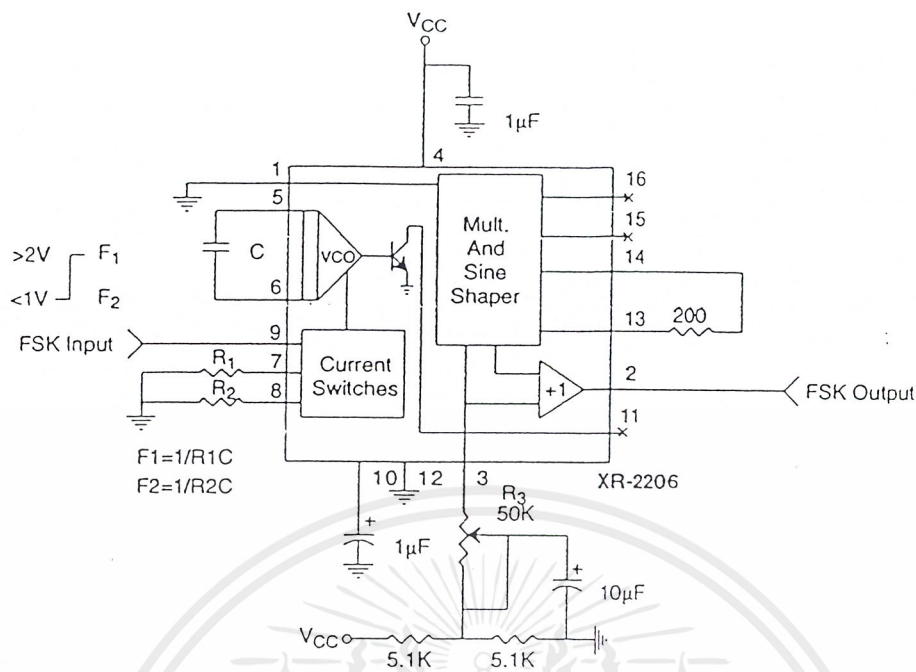
รูปที่ 3.6 วงจร MAX-232

3.6 วงจรเข้ารหัส FSK

เราเลือกใช้ IC XR-2206 ทำหน้าที่เป็นวงจรเข้ารหัสแบบ FSK ซึ่งหลักการของ FSK จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณ TTL ที่เข้ามาให้กลายเป็นสัญญาณอนาล็อกที่มีความถี่อยู่ 2 ความถี่ คือ

- TTL ขนาด 5 โวลต์หรือลอจิก "1" ให้มีความถี่ $f_1 = 1200 \text{ Hz}$
- TTL ขนาด 0 โวลต์หรือลอจิก "0" ให้มีความถี่ $f_2 = 2200 \text{ Hz}$

โดยขา 9 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุต และขา 2 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 1200 บอด (Baud) ซึ่งค่าที่ต้องคำนวณหาคือ R_1 และ R_2 โดยใช้ค่า $C_1 = 0.01 \mu\text{F}$



รูปที่ 3.7 วงจร XR-2206

การออกแบบส่วนการเข้ารหัส FSK

- ใช้ IC XR-2206
- ใช้อัตราบอด (Baud Rate) 1200 บอด
- อินพุตเป็นระดับแรงดัน 0 โวลต์ กับระดับแรงดัน 5 โวลต์

คุณสมบัติโดยทั่วไปของ XR-2206

- ให้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 10 – 26 โวลต์
- สามารถผลิตคลื่นรูปซายน์ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม แรมพ์
- สามารถผลิตความถี่ได้ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตซ์ไปจนถึงหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์
- อิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม ที่ขา 2
- เอาท์พุทรูปซายน์มีค่าสูงสุด $2 V_{rms}$
- ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Distortion : THD) ของคลื่นรูปซายน์สามารถปรับ

ให้เหลือเพียง 0.5 % โดยต่อความต้านทานระหว่างขา 13 และขา 14 ด้วยค่าประมาณ 200 โอห์ม โครงสร้างภายในของ XR-2206 ประกอบด้วย 4 function block คือ

- a voltage controlled oscillator (VCO)
- analog multiplier & sine shaper
- a unity gain buffer amplifier
- a set of current switches

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าในวงจร

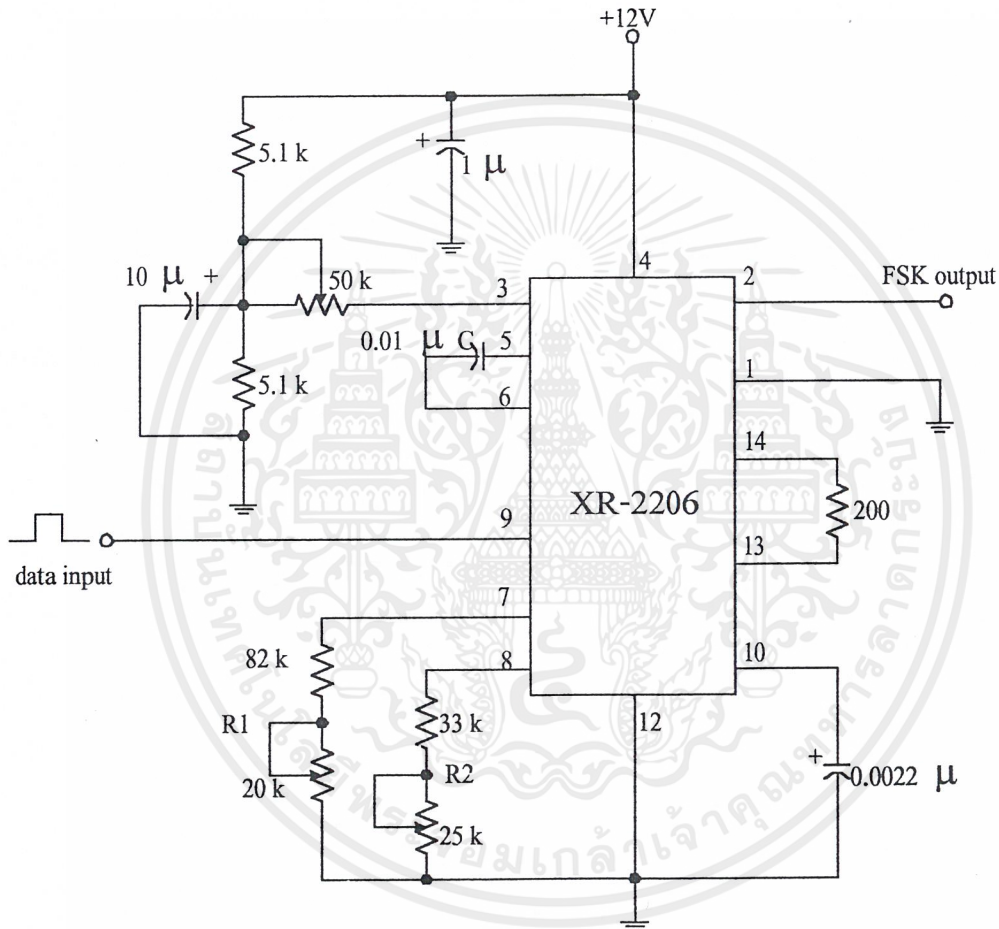
1. กำหนด Baud rate 1200

2. กำหนดลอจิก "1" หรือแรงดัน 5 V เมื่อป้อนเข้ามาที่อินพุท XR-2206 จะต้องผลิตความถี่

$$f_1 = 1200 \text{ Hz}$$

3. กำหนดลอจิก "0" หรือแรงดัน 0 V เมื่อป้อนเข้ามาที่อินพุท XR-2206 จะต้องผลิตความถี่

$$f_2 = 2200 \text{ Hz}$$



รูปที่ 3.8 วงจรเข้ารหัส FSK

4. ซึ่ง f_1 และ f_2 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f = 1 / (RC)$$

5. C คือค่า timing capacitor ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1000 pF ถึง 100 pF

6. R คือค่า timing resistor ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4 k Ω ถึง 200 k Ω เพื่อให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณ sine น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กำหนดค่าของ $C = 0.01 \mu\text{F}$

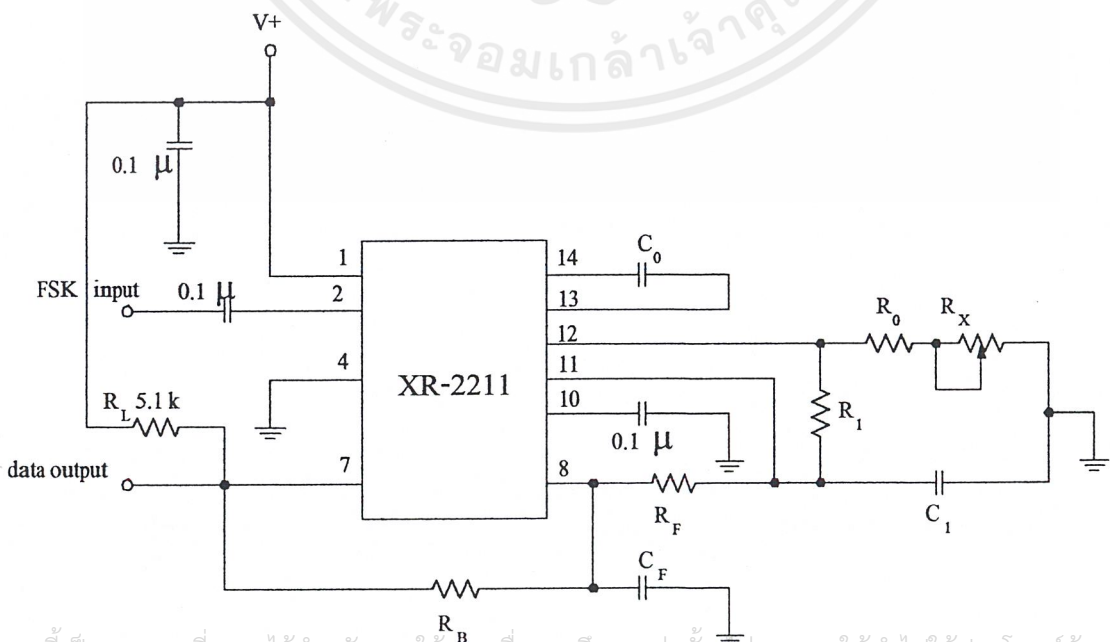
$$\begin{aligned} f_1 &= 1 / (R_1 C) \\ R_1 &= 1 / (f_1 C) \\ &= 1 / (1200 \times 0.01) \\ &= 83.33 \text{ k}\Omega \\ f_2 &= 1 / (R_2 C) \\ R_2 &= 1 / (f_2 C) \\ &= 1 / (2200 \times 0.01) \\ &= 45.45 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

3.7 วงจรถอดรหัส FSK

IC XR-2211 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณ TTL โดยขาอินพุทของ XR-2211 จะรับสัญญาณอนาล็อก 2 ความถี่เข้ามาทำการแปลงไปเป็นสัญญาณ TTL กลับคืนมา

การออกแบบวงจรถอดรหัส FSK มีข้อกำหนดดังนี้

- ใช้ IC XR-2211
- อินพุทของวงจรคือความถี่
 - $f_1 = 1200 \text{ Hz}$ แปลงกลับเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 5 โวลต์หรือลอจิก "1"
 - $f_2 = 2200 \text{ Hz}$ แปลงกลับเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 0 โวลต์หรือลอจิก "0"
- Baud rate = 1200 บอด
- วงจรถอดรหัส FSK แสดงได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงข้อมูลหรือแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าต่างๆ ในวงจร มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าความถี่กลางของเฟสล็อกคูลูปหรือ f_0 โดย

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{1200 \cdot 2200} = 1624$$

2. เลือกค่าของ timing resistor : R_0 ซึ่งควรอยู่ในช่วง $10 \text{ k}\Omega$ ถึง $100 \text{ k}\Omega$ และค่า R_0 ที่แนะนำคือ $20 \text{ k}\Omega$ ในทางปฏิบัติค่า R_0 จะถูกปรับจูนโดยการต่อตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ R_x อนุกรมกับตัวต้านทาน R_0 นั่นคือ

$$R_0 = R_0 + \frac{R_x}{2}$$

เราเลือกใช้ $R_0 = 10 \text{ k}$ และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 10 k

$$R_T = 10 + \left(\frac{10}{2}\right) = 15 \text{ k}$$

3. คำนวณค่า C_0 โดย

$$C_0 = \frac{1}{R_0 \cdot f_0} = \frac{1}{15000 \times 1624} = 39 \text{ nF}$$

4. คำนวณค่า R_1 ซึ่งใช้ในการกำหนดค่าแบนด์วิดท์โดย

$$R_1 = \frac{R_0 f_0}{(f_1 - f_2)} \times 2 = \frac{20000 \times 1624}{(2200 - 1200)} \times 2 = 51000$$

5. คำนวณค่า C_1 ซึ่งใช้ในการกำหนดค่า loop damping โดย

$$C_1 = \frac{1250 \times C_0}{R_1 \times \zeta^2} = \frac{1250 \times 39 \text{ nF}}{51000 \times (0.5)^2} = 3.9 \text{ nF}$$

ซึ่งค่า ζ แนะนำว่าควรจะเป็น 0.5

6. คำนวณค่า R_F ซึ่ง R_F ควรมีค่าน้อย 5 เท่าของ R_1

$$R_F = 51000 \times 5 = 255 \text{ k}\Omega$$

7. คำนวณค่า R_B ซึ่ง R_B ควรมีค่าน้อย 5 เท่าของ R_F

$$R_B = 255000 \times 5 = 1.2 \text{ M}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

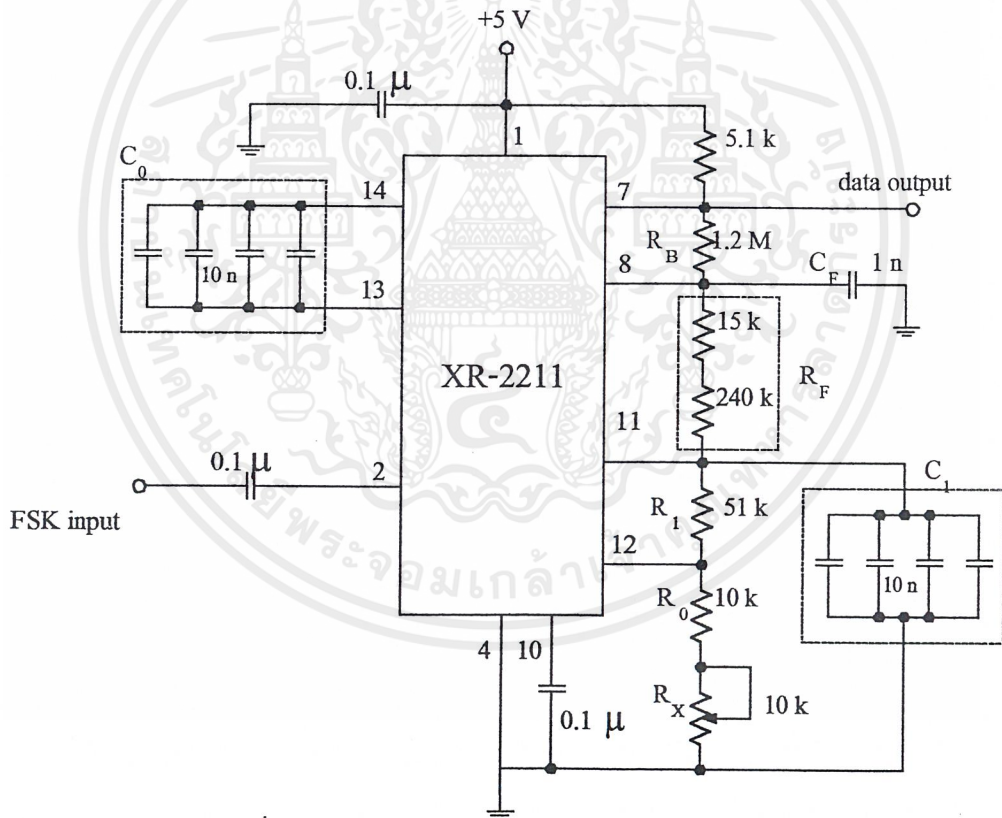
8. คำนวณค่า R_{sum} ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณค่า C_F ต่อ

$$R_{sum} = \frac{(R_F + R_1) \cdot R_B}{(R_F + R_1 + R_B)} = 240 \text{ k}\Omega$$

9. คำนวณค่า C_F

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{sum} \times \text{Buad Rate})} = 1 \text{ nF}$$

จากค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดยกเว้น R_0 ในการต่อวงจรเราสามารถที่จะใช้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เช่น $C_0 = 39 \text{ nF}$ สามารถใช้ค่า $C_0 = 40 \text{ nF}$ ได้ ดังนั้นวงจรถอดรหัส FSK ที่ต่อจริงในทางปฏิบัติสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.10 วงจรถอดรหัส FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรควบคุมและขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์

วงจรในส่วนนี้จะแบ่งแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นวงจรควบคุม ซึ่งจะรับสัญญาณดิจิทัลที่ถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัส FSK เข้ามาประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ข้อมูลที่มาจากวงจรถอดรหัส FSK จะเข้ามาที่พอร์ทอนุกรมของ MCS-51 (ขา 16) และตัว MCS-51 ซึ่งถูกโปรแกรมไว้ก็จะประมวลผลเพื่อให้ปฏิบัติตามคำสั่งใด เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปให้มอเตอร์ต่อไป แผนผัง (flow chart) ของโปรแกรมควบคุมการหมุนและรหัส (code) ของโปรแกรมแสดงไว้ในภาคผนวก

สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์ จะถูกส่งออกจากพอร์ทขานานของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์จะมีการไหลกระแส ซึ่งอาจทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรในส่วนที่สอง ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับตัวขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์

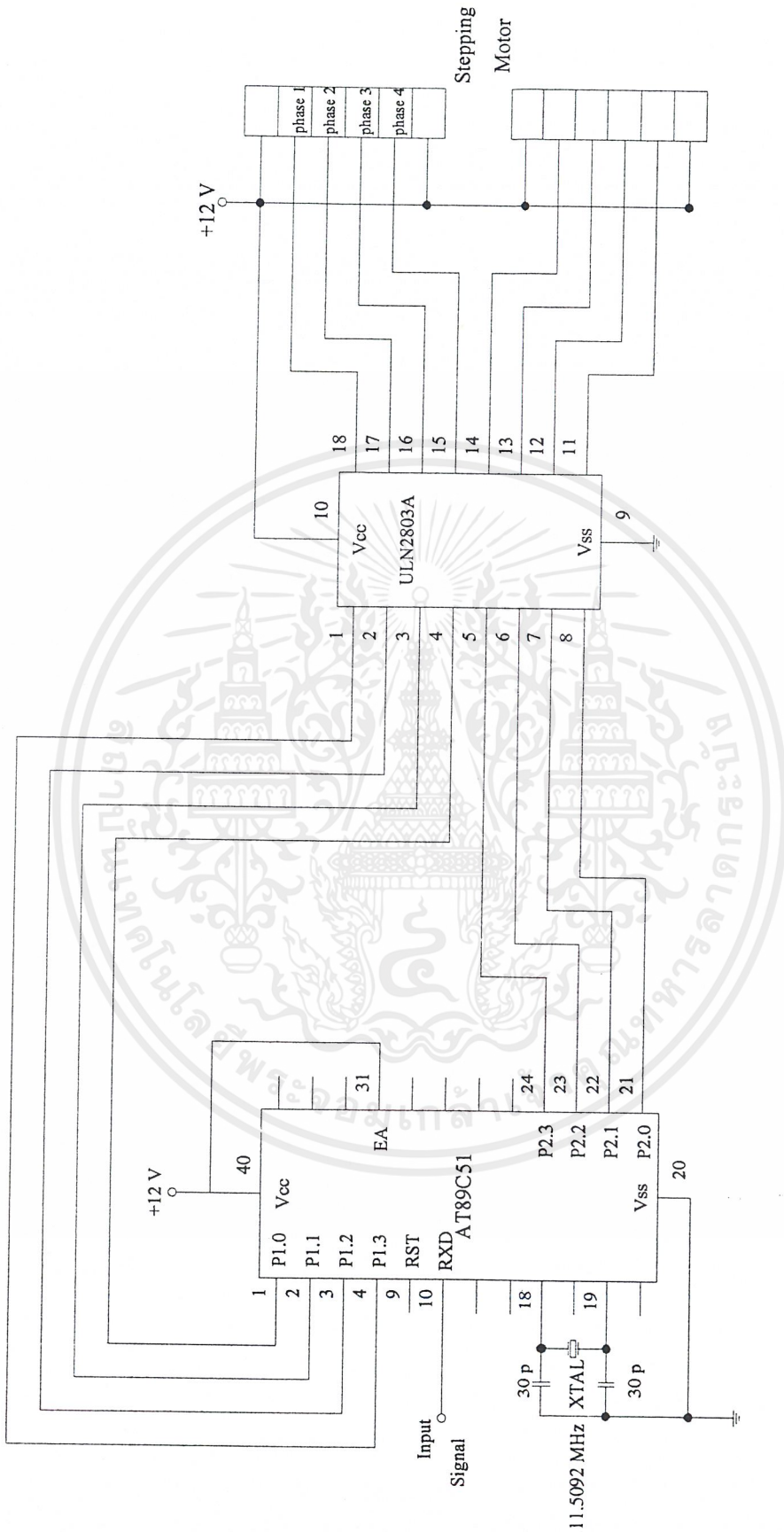
วงจรควบคุมและขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.11

3.9 วงจรรวมของภาครับ-ส่งสัญญาณควบคุม

เป็นการนำวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการส่งสัญญาณควบคุมมาต่อรวมกัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.12

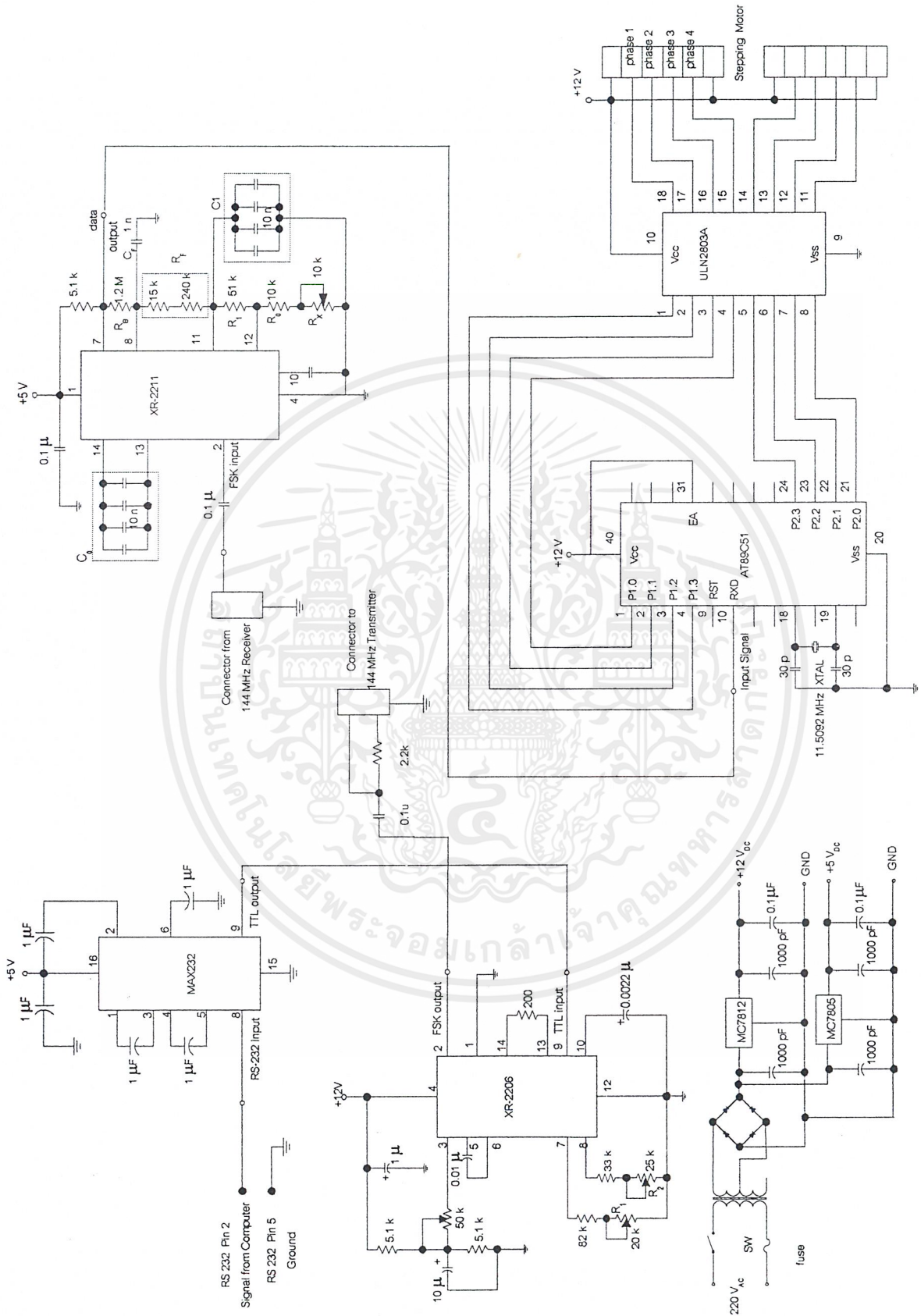
3.10 วงจรรวมของโครงการ

วงจรรวมทั้งภาคส่งสัญญาณภาพและภาคส่งสัญญาณควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



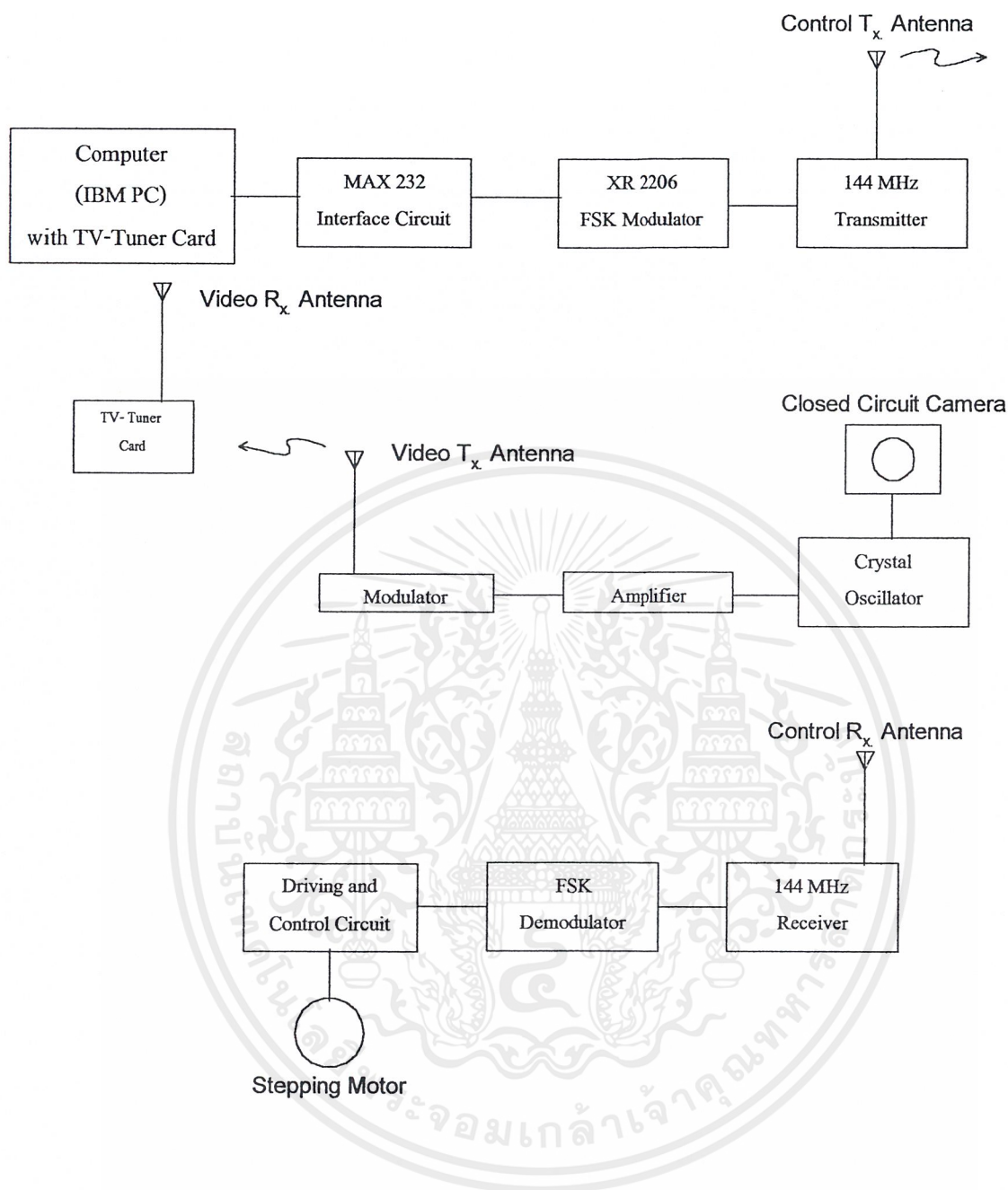
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมและขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรรวมของภาครับ-ส่งสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจรรวมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่ 48 MHz

จุดประสงค์

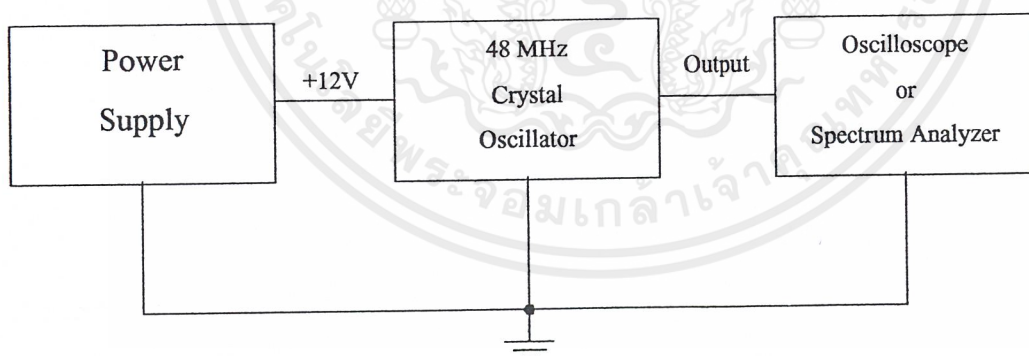
1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์โดยใช้วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์
2. สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 48 MHz เพื่อนำไปใช้เป็นคลื่นพาห์สำหรับส่งสัญญาณภาพ

อุปกรณ์

1. Digital Oscilloscope
2. Spectrum Analyzer
3. DC Power Supply
4. วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

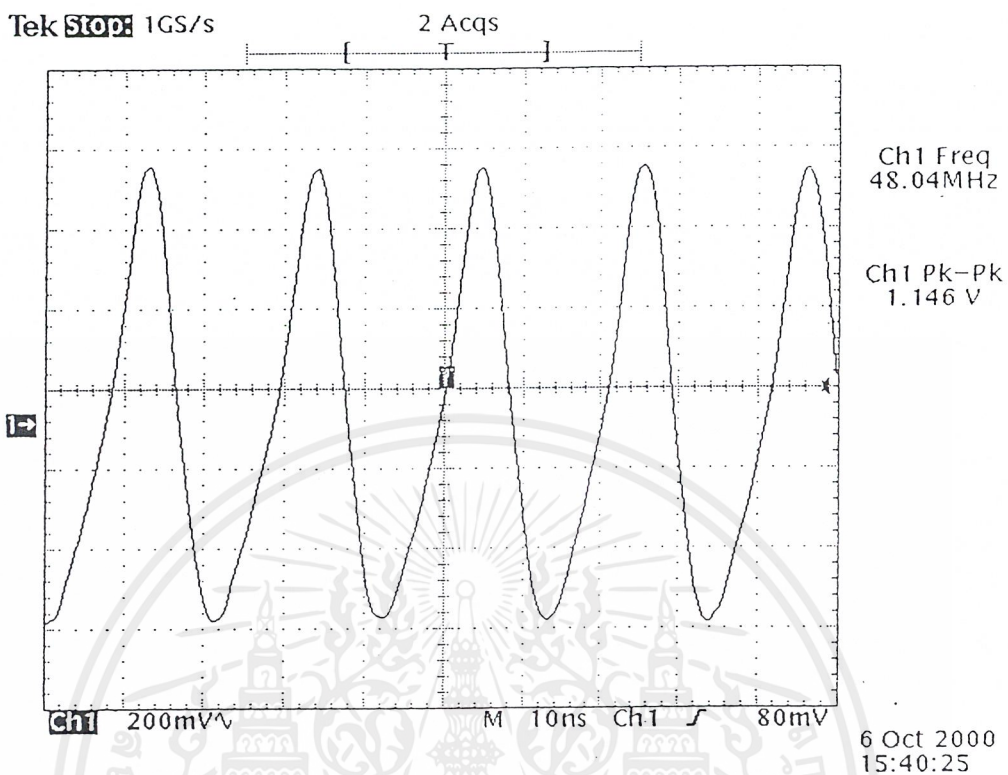
1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.1
2. ป้อนไฟเลี้ยง +12 V จาก DC Power Supply ให้กับวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์
3. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบแอมพลิจูดของวงจรวงจรออสซิลเลเตอร์
4. ปรับจูนค่าอินดักแตนซ์ L_1 เพื่อให้ได้ความถี่ 48 MHz และรูปร่างสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์
5. ทำการตรวจวัดด้วย Spectrum Analyzer เพื่อดูสัญญาณในแกนความถี่



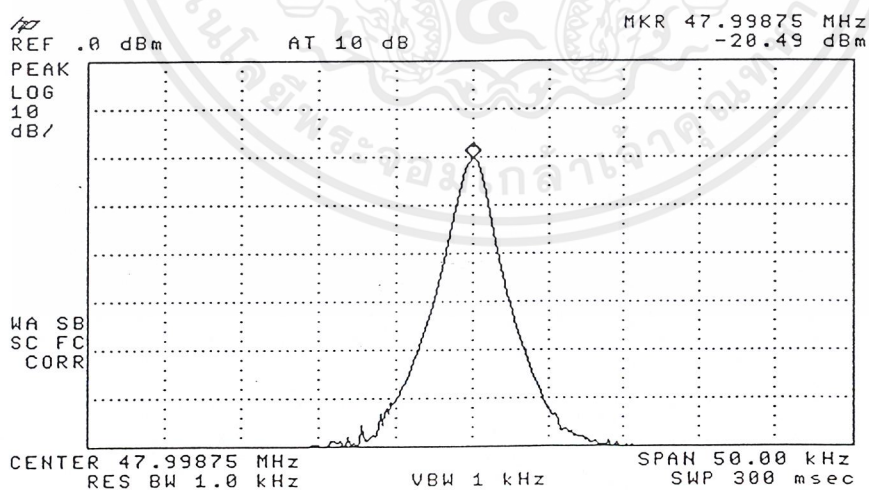
รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดแอมพลิจูดของวงจรวงจรออสซิลเลเตอร์โดยใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อดูในแกนเวลา และใช้ Spectrum Analyzer เพื่อดูในแกนความถี่



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อตรวจวัดด้วย Spectrum Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรขยายสัญญาณ

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการของการขยายสัญญาณ โดยใช้ทรานซิสเตอร์
2. ขยายขนาดของสัญญาณคลื่นรูปไซน์จากวงจรกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อน

การนำไปใช้งาน

อุปกรณ์

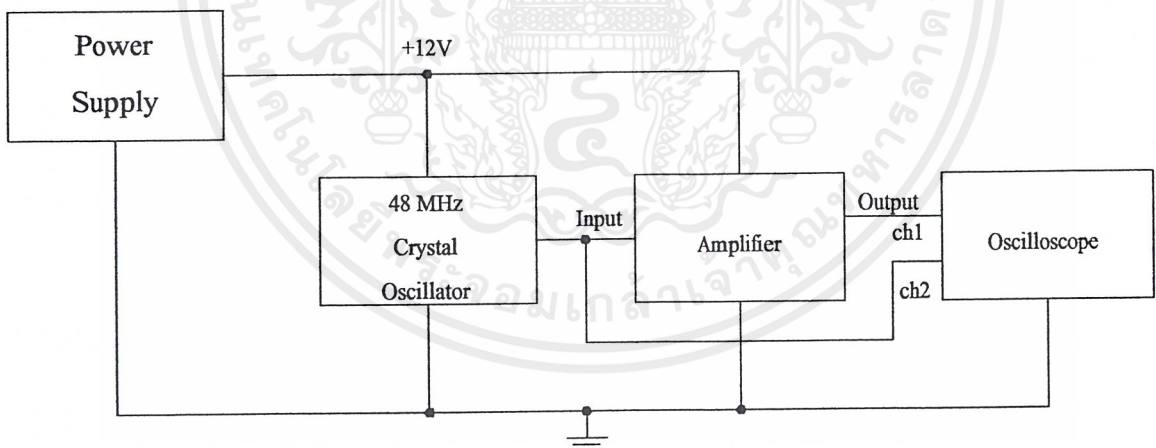
1. Digital Oscilloscope
2. DC Power Supply
3. วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์
4. วงจรขยายสัญญาณ

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.4
2. ป้อนไฟเลี้ยง +12 V ให้กับวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์และวงจรขยายสัญญาณ
3. ปรับจูนค่าอินดักแตนซ์ L_2 ในวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้วงจรทำงานได้ดีที่สุดในย่านความถี่

48 MHz

4. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบวัฏระดับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ

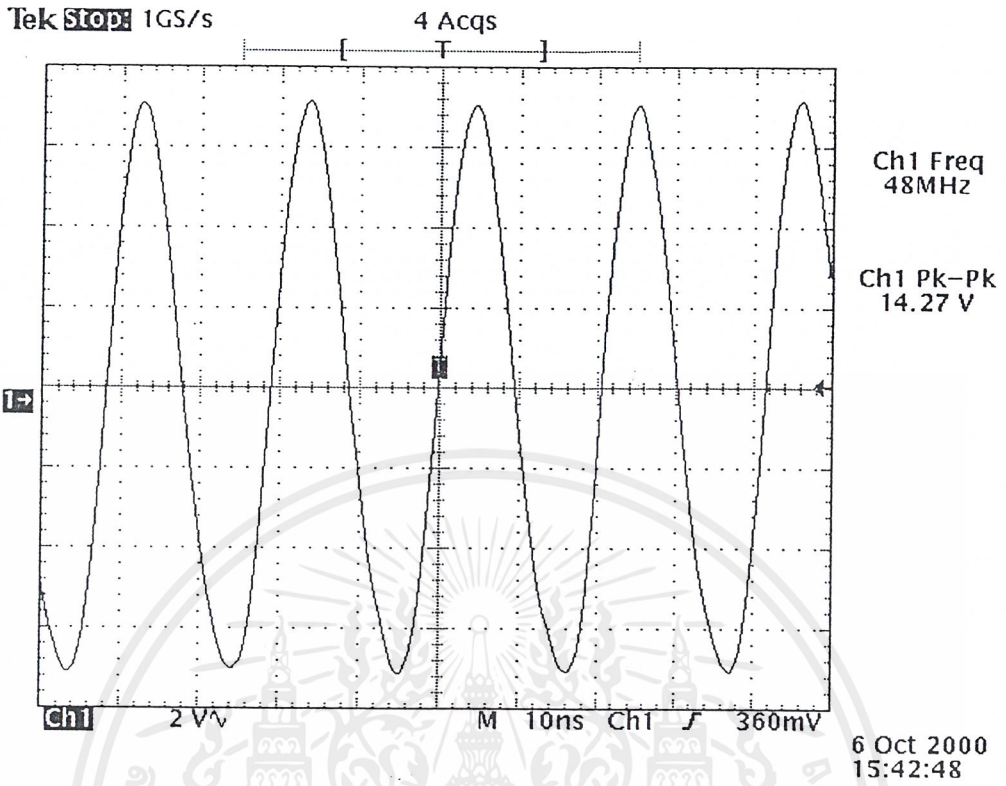


รูปที่ 4.4 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรขยายสัญญาณ

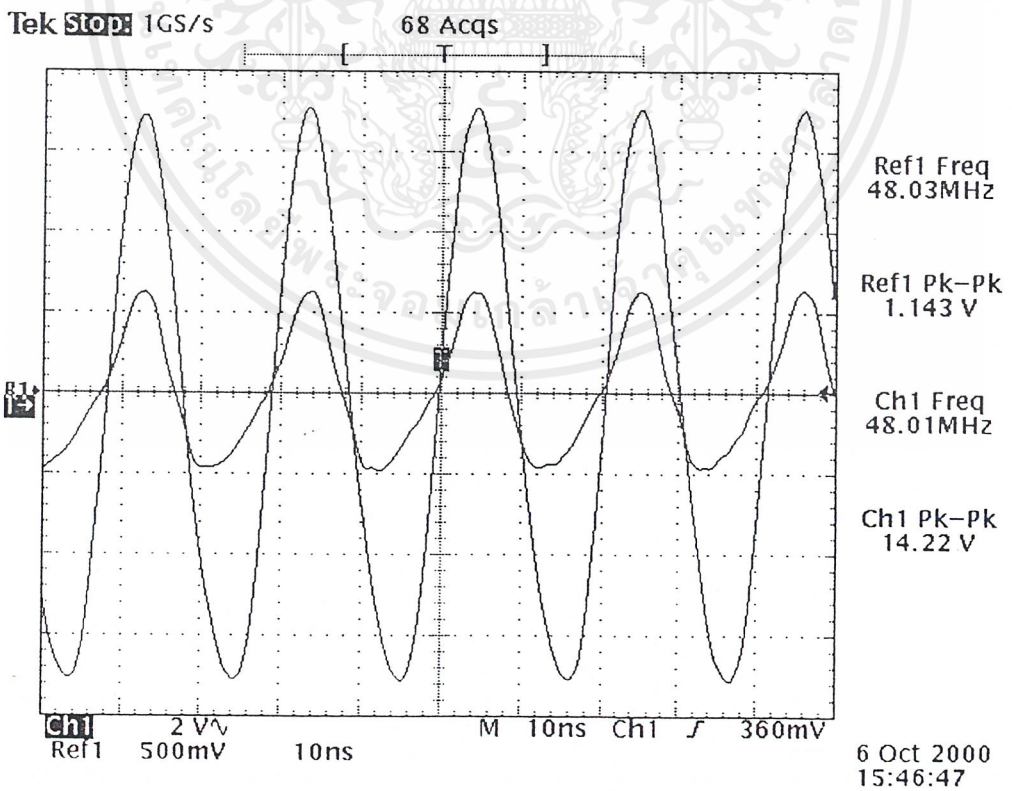
ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณซึ่งป้อนอินพุตจากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ ออสซิลโลสโคปตรวจสอบวัฏระดับของแรงดันเอาต์พุตและทำการเปรียบเทียบกับระดับของแรงดันอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าประโยชน์ของเอกสารนี้เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรมอดูเลทเชิงขั้วขนาด

จุดประสงค์

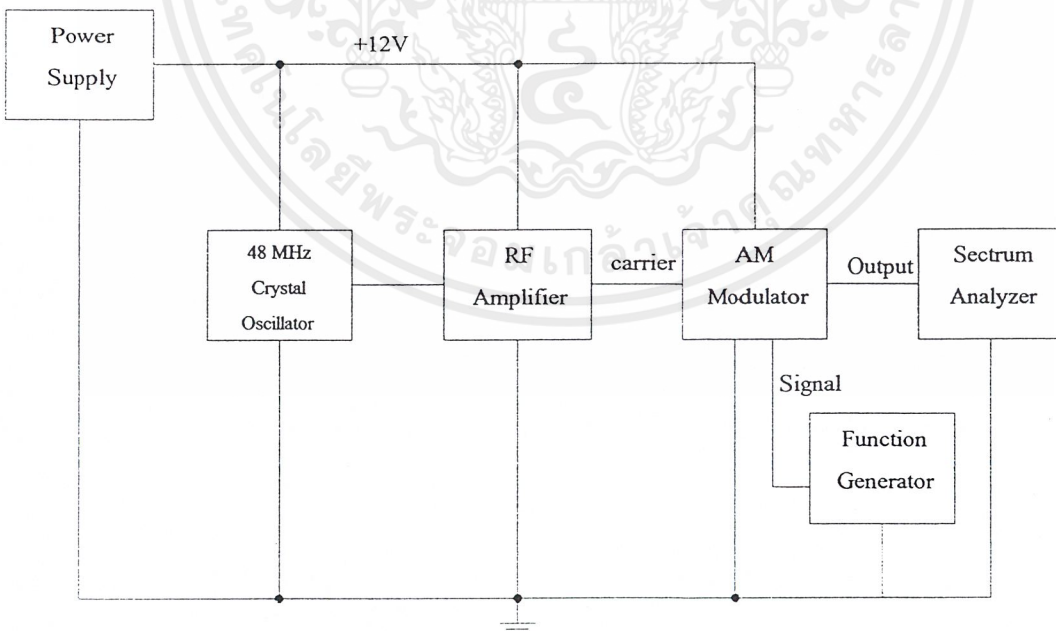
1. เพื่อศึกษาวิธีการมอดูเลทสัญญาณแบบแอมพลิฟายมอดูเลชัน
2. เพื่อทำการส่งสัญญาณภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

อุปกรณ์

1. Spectrum Analyzer
2. DC Power Supply
3. Function Generator
4. วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์
5. วงจรขยายสัญญาณ
6. วงจรมอดูเลทเชิงขั้วขนาด

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.7
2. ป้อนไฟเลี้ยง +12 V ให้กับวงจรทั้งหมด
3. ตั้ง Function Generator โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 15 kHz เป็นสัญญาณข้อมูล
4. ปรับจูนวงจรมอดูเลทเชิงขั้วขนาด เพื่อให้วงจรทำงาน ได้ดีที่สุดในย่านความถี่ 48 MHz
5. ใช้ Spectrum Analyzer ตรวจสอบระดับสัญญาณเอาท์พุทของวงจรมอดูเลทเชิงขั้วขนาด

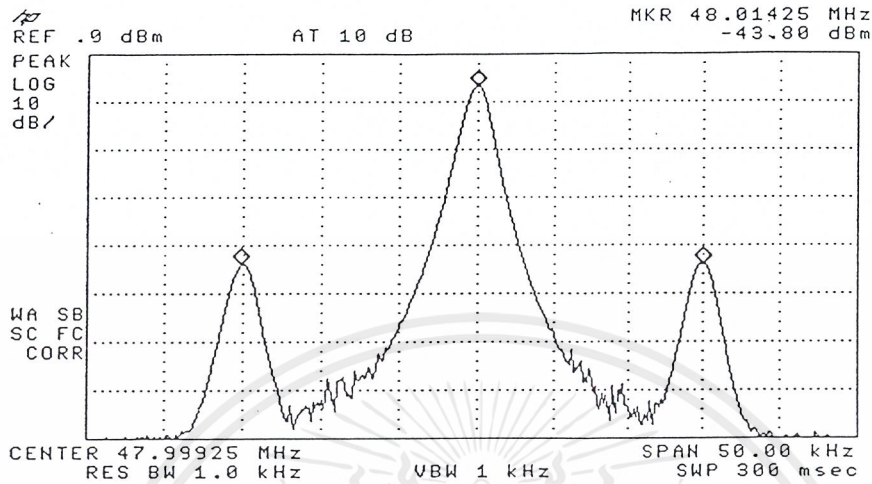


รูปที่ 4.7 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรมอดูเลทเชิงขั้วขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตรวจวัดเอาท์พุทของวงจรมอดูเลตเชิงขนาดได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองของวงจรมอดูเลตเชิงขนาด

4.4 การออกแบบสายอากาศ

จุดประสงค์

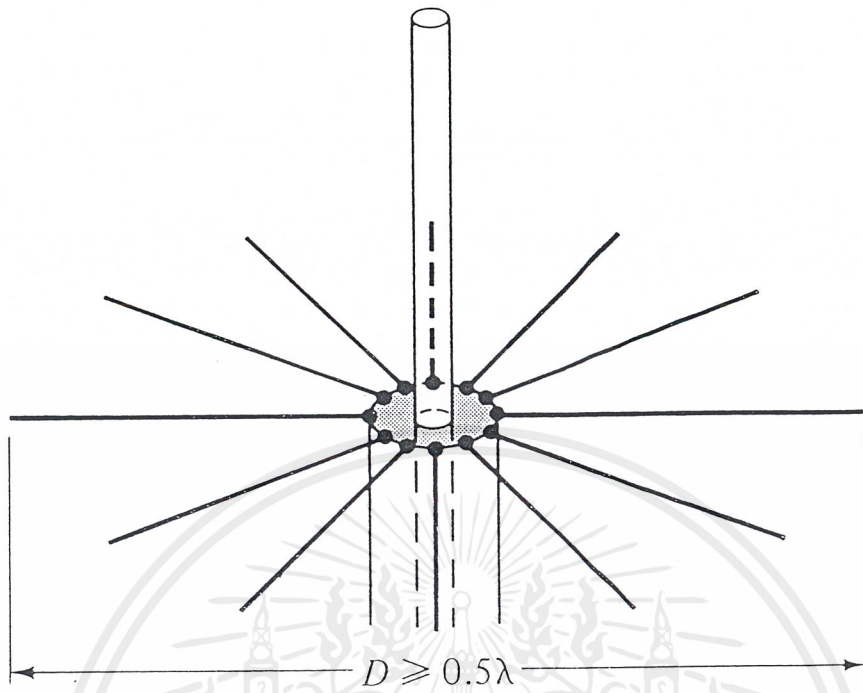
1. เพื่อศึกษาวิธีการส่งสัญญาณผ่านสายอากาศ
2. เพื่อทำการส่งสัญญาณภาพที่ผ่านการมอดูเลตแล้วไปยังภาครับสัญญาณ

การออกแบบสายอากาศ

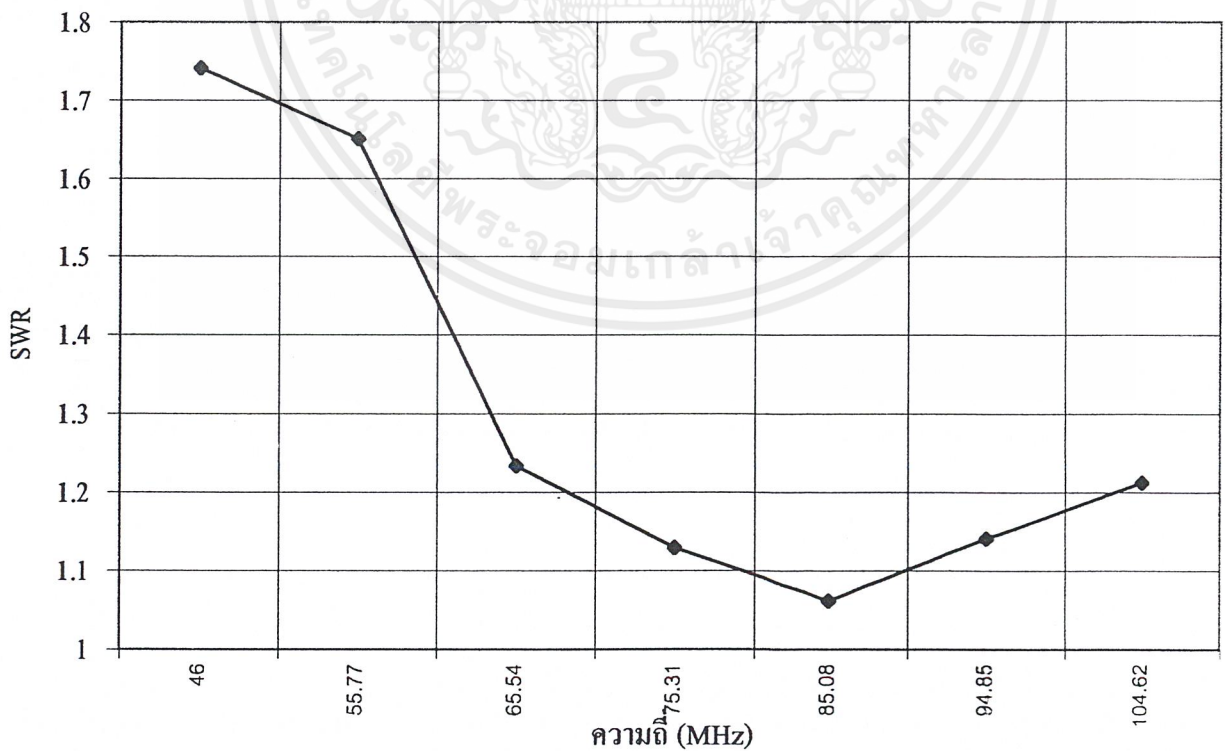
มีการออกแบบสายอากาศเป็นแบบ monopole ยาว $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น วางอยู่บน infinite perfect conductor ดังรูปที่ 4.9

ซึ่งหลักการออกแบบสายอากาศนี้มาจากการสร้างสายอากาศไดโพล โดยนำทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ ซึ่งทฤษฎีกล่าวไว้ว่า ถ้ามีประจุไฟฟ้าอยู่เหนือกราวด์ กราวด์นั้นจะทำหน้าที่เสมือนกับสะท้อนทำให้เกิดประจุไฟฟ้าต่างชนิดกับประจุไฟฟ้านั้น แต่มีขนาดประจุเท่ากัน อยู่ใต้ผิวกราวด์นั้นออกไปเป็นระยะห่างเท่ากัน คล้ายกับภาพที่เกิดขึ้นในกระจกเงา

ดังนั้นถ้าเราตั้งแกนข้างหนึ่งของสายอากาศที่ยาว $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น ให้วางอยู่เหนือกราวด์นี้ ก็จะเสมือนกับแกนอีกข้างหนึ่งของสายอากาศที่มีความยาว $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น เช่นกัน



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้ในโครงการ



รูปที่ 4.10 ผลการวัด SWR ของสายอากาศที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ

จุดประสงค์

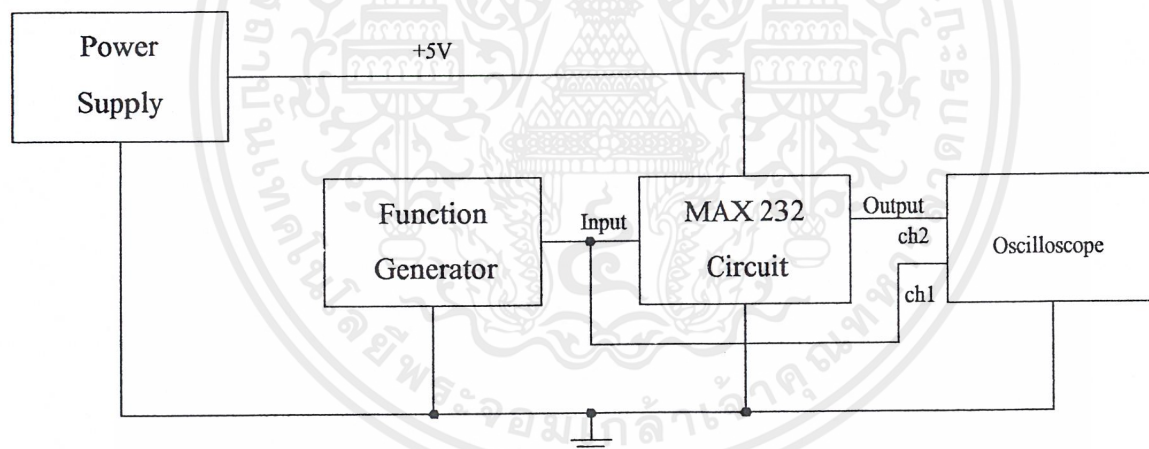
1. เพื่อทดสอบการทำงานของไอซีแปลงระดับแรงดัน MAX-232
2. เพื่อเปลี่ยนระดับลอจิกจากแบบ CMOS ให้เป็นระดับลอจิกแบบ TTL

อุปกรณ์

1. Digital Oscilloscope
2. DC Power Supply
3. Function Generator
4. วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ

ลำดับขั้นการทดลอง

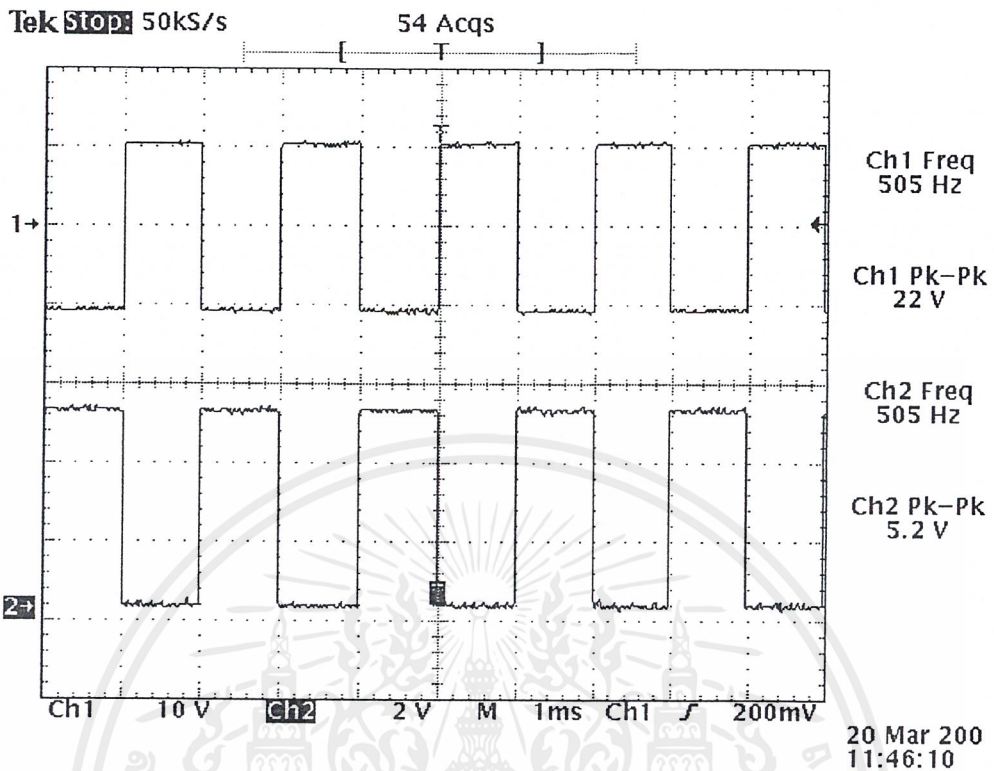
1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.11
2. ป้อนไฟเลี้ยง +5 V ให้กับวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ
3. ตั้ง Function Generator โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 500 Hz ขนาด 24 V_{pp}
4. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบวัดระดับแรงดันของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 4.11 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ

ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ ซึ่งป้อนอินพุตจาก Function Generator โดยออสซิลโลสโคปตรวจสอบวัดระดับแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ

4.6 วงจรเข้ารหัส FSK

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบวงจรเข้ารหัส FSK
2. เพื่อทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณอนาล็อก สำหรับการใช้ในการส่งด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง

คลื่นวิทยุความถี่สูง

อุปกรณ์

1. Digital Oscilloscope
2. DC Power Supply
3. Function Generator
4. วงจรเข้ารหัส FSK

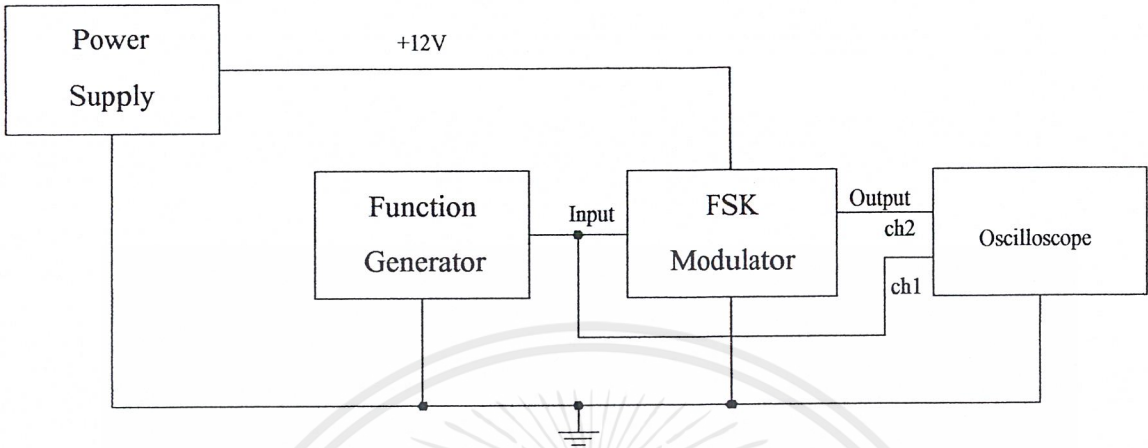
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.13
2. ป้อนไฟเลี้ยง +5 V ให้กับวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ และป้อนไฟเลี้ยง +12 V ให้กับ

วงจรเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

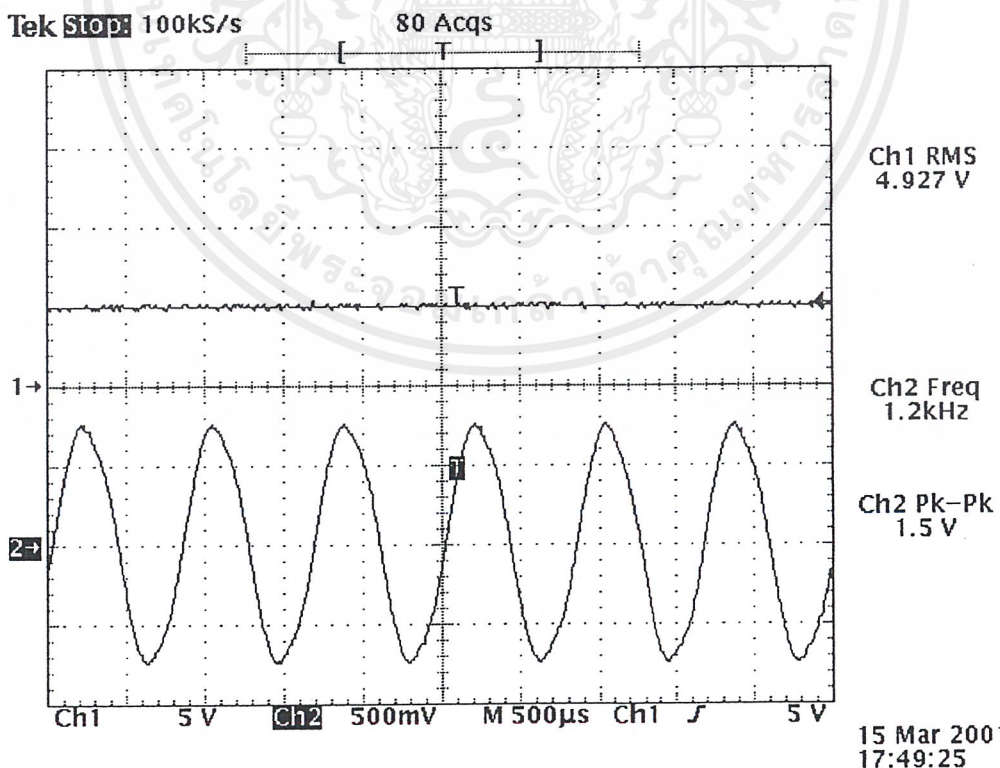
3. ตั้ง Function Generator โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 500 Hz ขนาดแรงดัน 5 V_{p-p}
4. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุต



รูปที่ 4.13 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรเข้ารหัส FSK

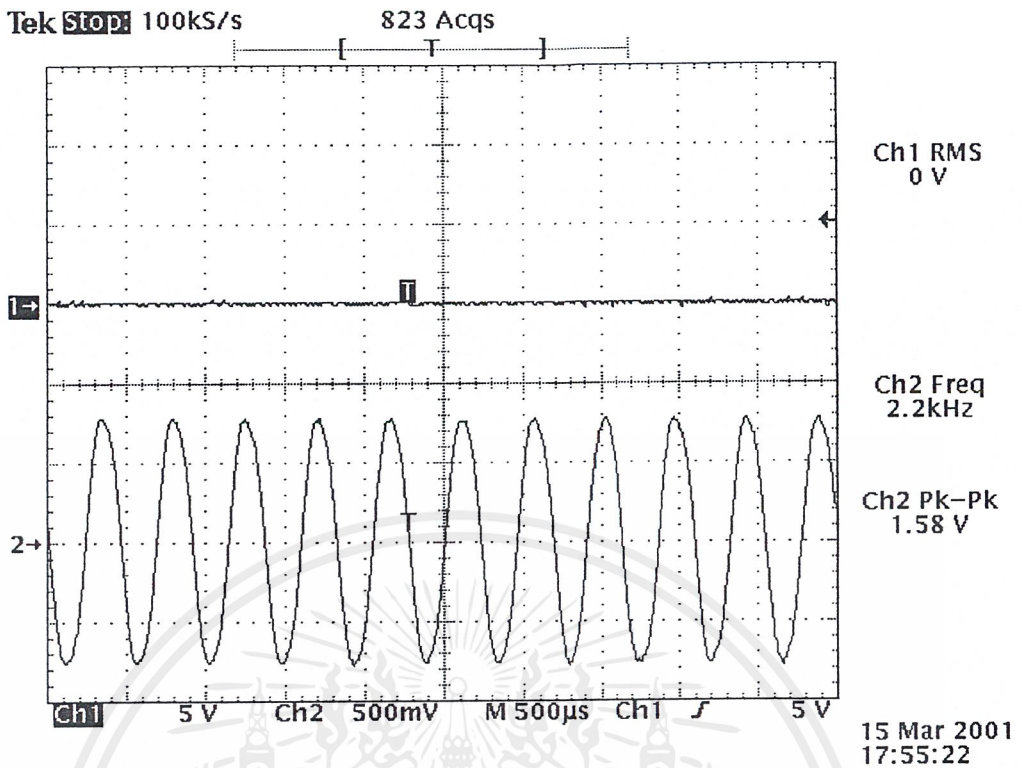
ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK ซึ่งป้อนอินพุตจาก Function Generator โดยใช้ ออสซิลโลสโคปตรวจสอบลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุต

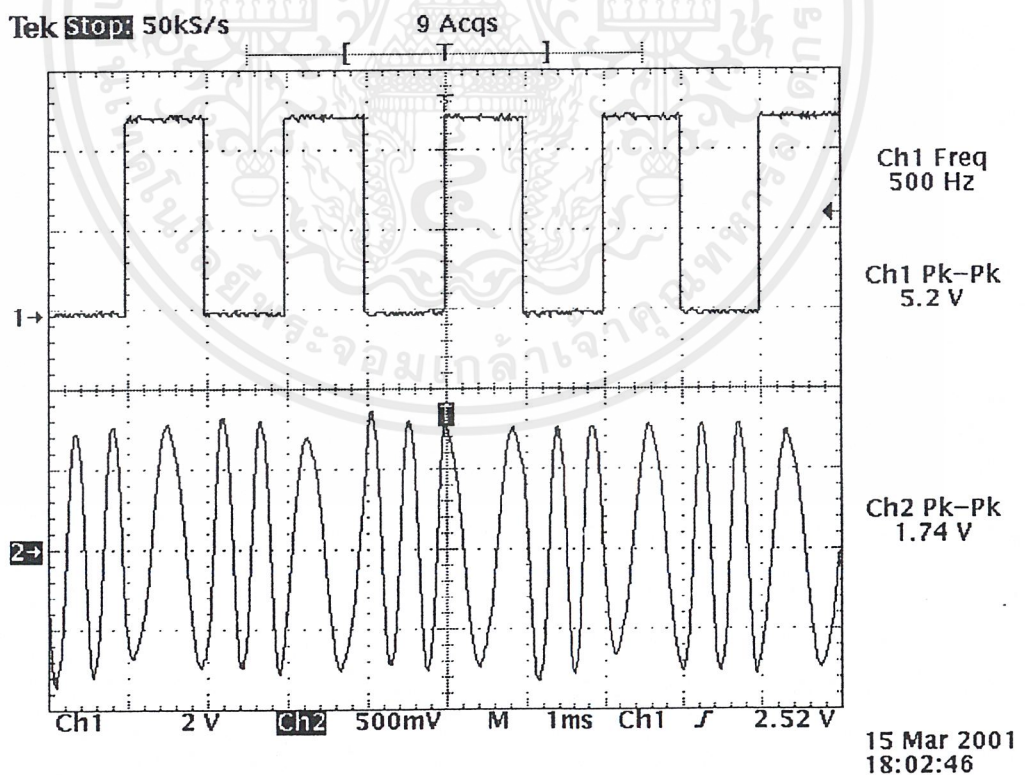


รูปที่ 4.14 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK เมื่อป้อนแรงดัน 5 Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK เมื่อป้อนแรงดัน 0 Volt



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วงจรถอดรหัส FSK

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบวงจรถอดรหัส FSK
2. เพื่อทำการแปลงสัญญาณ FSK ให้กลับเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

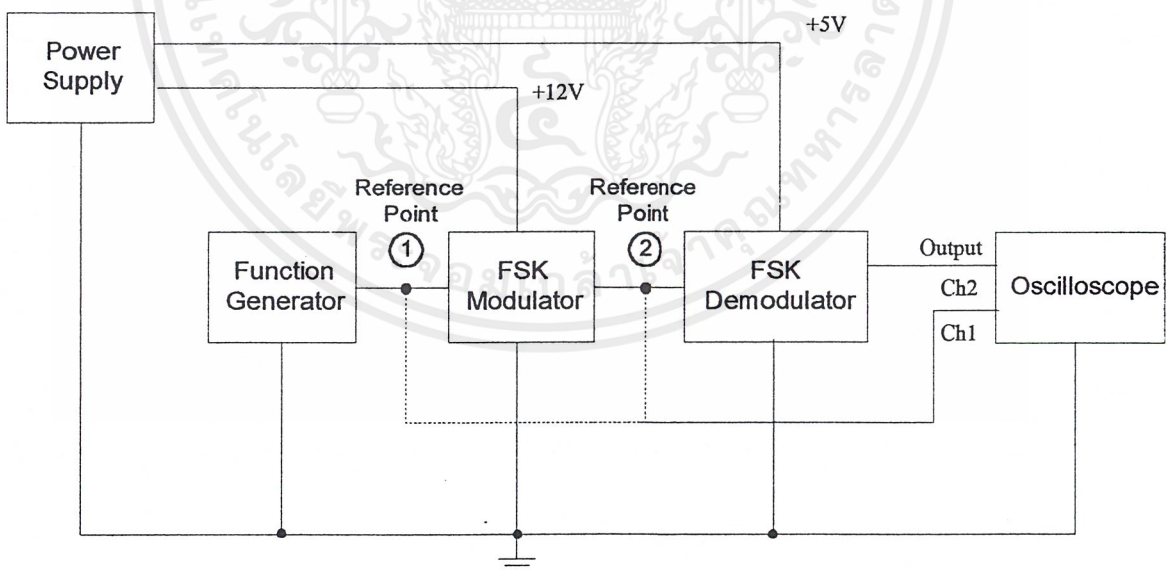
ไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์

1. Digital Oscilloscope
2. DC Power Supply
3. Function Generator
4. วงจรเข้ารหัส FSK
5. วงจรถอดรหัส FSK

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.17
2. ป้อนไฟเลี้ยง +5 V ให้กับวงจรถอดรหัส FSK และป้อนไฟเลี้ยง +12 V ให้กับวงจรเข้ารหัส FSK
3. ตั้ง Function Generator โดยให้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 500 Hz ขนาดแรงดัน 5 V_{pp}
4. ใช้เอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK ป้อนเป็นอินพุตของวงจรถอดรหัส FSK และใช้ Oscilloscope ตรวจสอบสัญญาณอินพุตของวงจรเข้ารหัส FSK เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถอดรหัส FSK



รูปที่ 4.17 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรถอดรหัส FSK

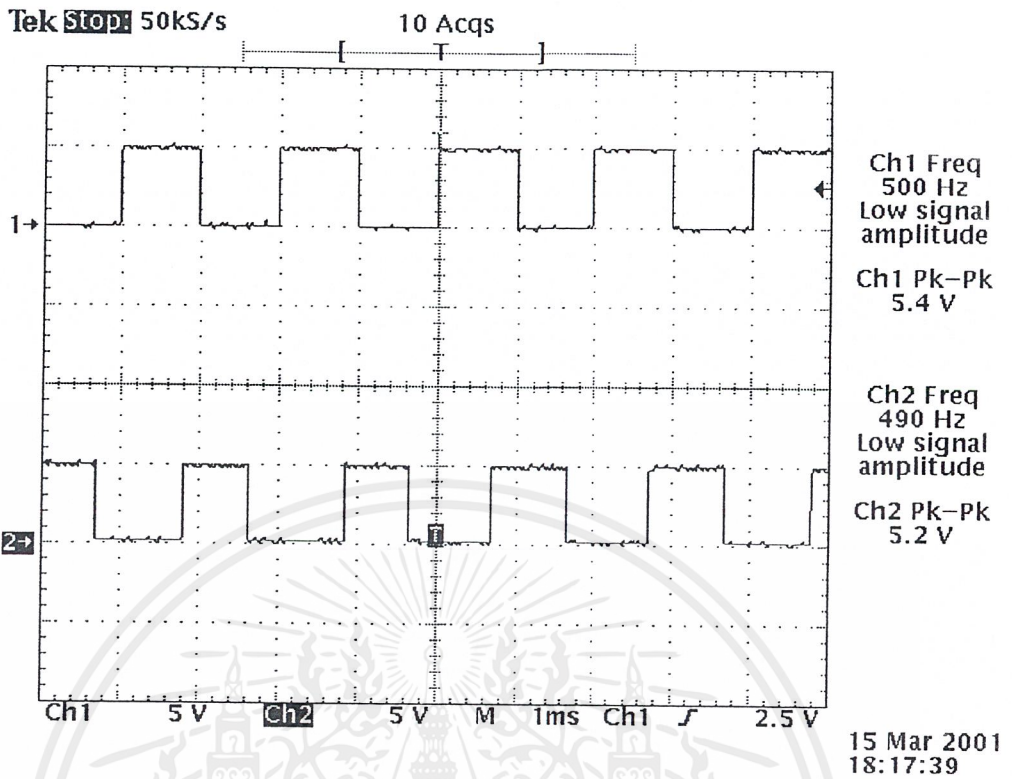
ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถอดรหัส FSK ซึ่งป้อนอินพุตจากเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัส FSK

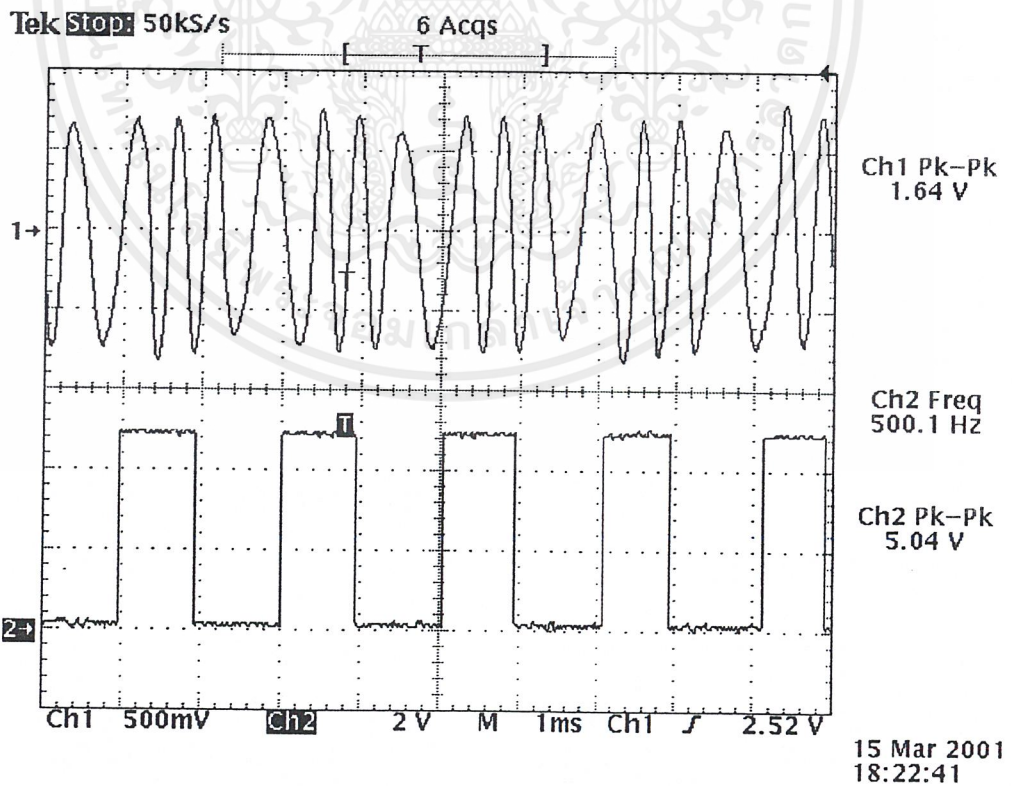
เพื่อดูว่าวงจรถอดรหัส FSK สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถอดรหัส FSK เมื่อเทียบกับสัญญาณก่อนที่จะเข้ารหัส



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตของวงจรถอดรหัส FSK เมื่อเทียบสัญญาณ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วงจรควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์

จุดประสงค์

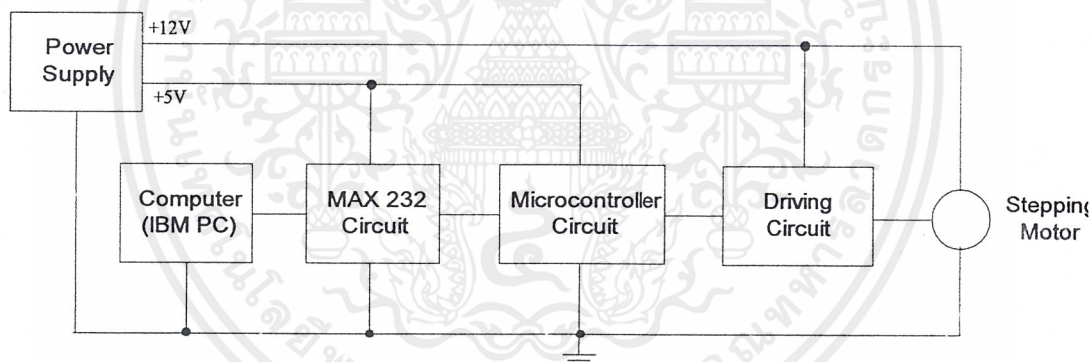
1. เพื่อทดสอบวงจรควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์
2. เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและปฏิบัติตามคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ได้

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์แบบ IBM PC พร้อมโปรแกรมควบคุม
2. DC Power Supply
3. วงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณ
4. วงจรควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.20
2. ป้อนไฟเลี้ยง +5 V ให้กับวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณและวงจรมิโครคอนโทรลเลอร์ และป้อนไฟเลี้ยง +12 V ให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
3. สั่งงานจากโปรแกรมควบคุมที่คอมพิวเตอร์ ดูผลการทดลองจากการหมุนของกัลลิ่ง













รูปที่ 4.20 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์

ผลการทดลอง

ผลการทดลองของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แสดงได้โดยเฟสของสเต็ปมอเตอร์ เมื่อสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ 4 เฟส โดยใช้พอร์ท 1 (ขา 1-4) เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับการหมุนในมุมกวาด และพอร์ท 2 (ขา 21-24) เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับการหมุนในมุมก้มและมุมเงย ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลตัวอย่างการสั่งงานผ่านวงจรควบคุมและขับสเต็ปมอเตอร์

คำสั่ง	สถานะ								ผลลัพธ์
	พอร์ต 1				พอร์ต 2				
	ขา 1	ขา 2	ขา 3	ขา 4	ขา 21	ขา 22	ขา 23	ขา 24	
สถานะเริ่มต้น	0	1	1	0	0	1	1	0	ตำแหน่งเริ่มต้น
	0	0	1	1	0	1	1	0	หมุนขวา
	1	0	0	1	0	1	1	0	หมุนขวา
	1	0	0	1	1	1	0	0	หมุนลง
	0	0	1	1	1	1	0	0	หมุนซ้าย
	0	0	1	1	0	1	1	0	หมุนขึ้น
	0	0	1	1	0	0	1	1	หมุนขึ้น
	0	0	1	1	1	0	0	1	หมุนขึ้น
	0	1	1	0	1	0	0	1	หมุนซ้าย
	1	1	0	0	1	0	0	1	หมุนซ้าย
	1	1	0	0	0	0	1	1	หมุนลง

4.9 โปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการส่งสัญญาณควบคุมออกจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
2. เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณแบบอนุกรมตามมาตรฐาน EIA RS-232

อุปกรณ์

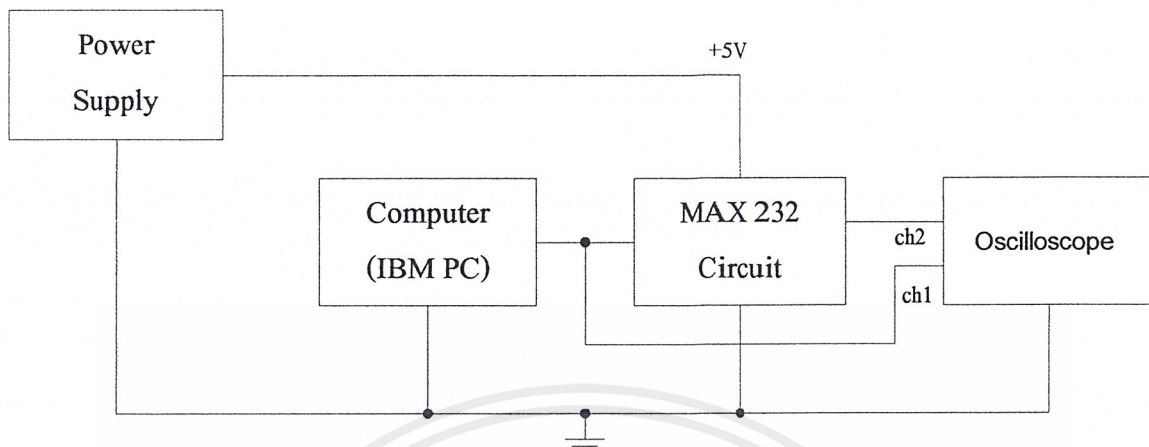
1. Digital Oscilloscope
2. คอมพิวเตอร์แบบ IBM PC พร้อมโปรแกรมควบคุม

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.21
2. สั่งงานจากโปรแกรมควบคุมที่คอมพิวเตอร์และตรวจวัดลักษณะของสัญญาณที่ออกจากพอร์ต

ผลการทดลอง

ผลการทดลองโปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์แสดงได้คงรูปคลื่นของสัญญาณที่ออกจากพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน EIA RS-232 ซึ่งสัมพันธ์กับคำสั่งตามตาราง 4.2

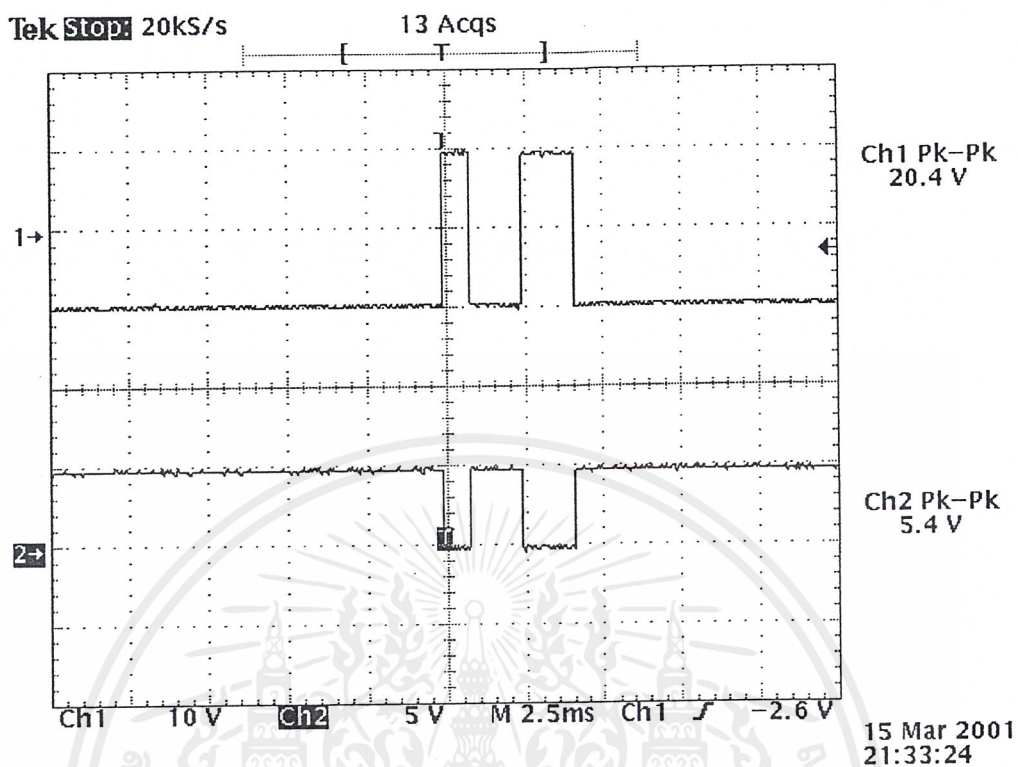


รูปที่ 4.21 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบโปรแกรมควบคุมจากคอมพิวเตอร์

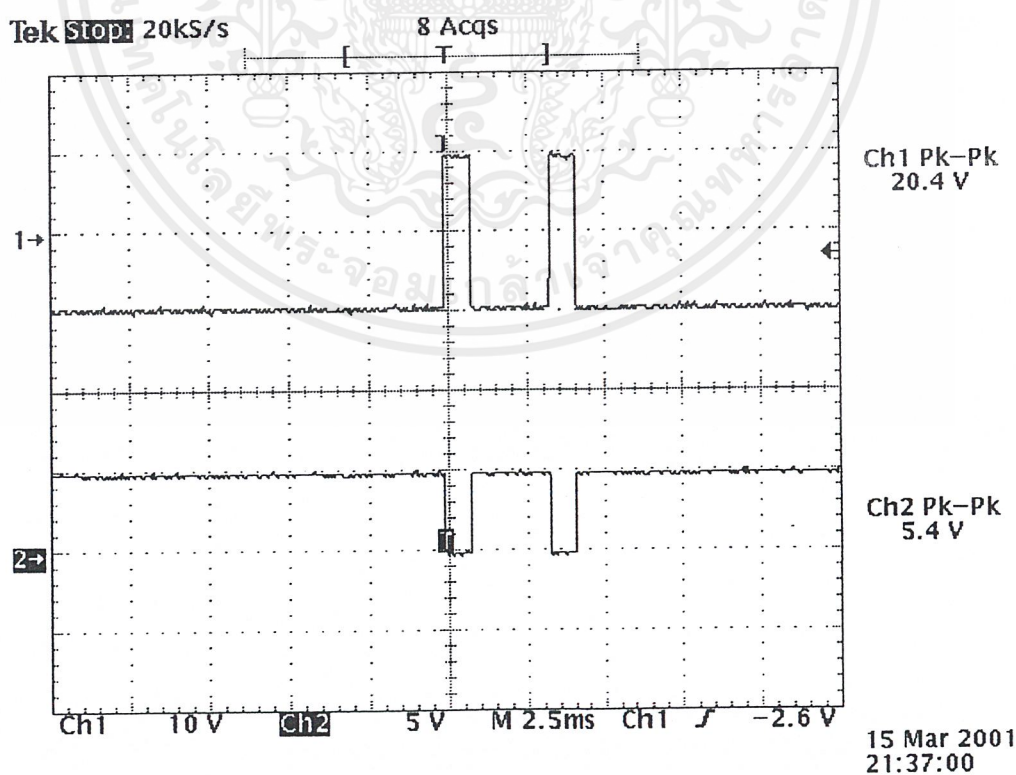
ตารางที่ 4.2 แสดงรหัสของสัญญาณที่สอดคล้องกับคำสั่งต่างๆ

คำสั่ง	รหัส (เลขฐานสอง)	รหัส (เลขฐานสิบหก)
⬆	11110011	F3
⬇	11111011	FB
➡	11110111	F7
⬅	11111111	FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

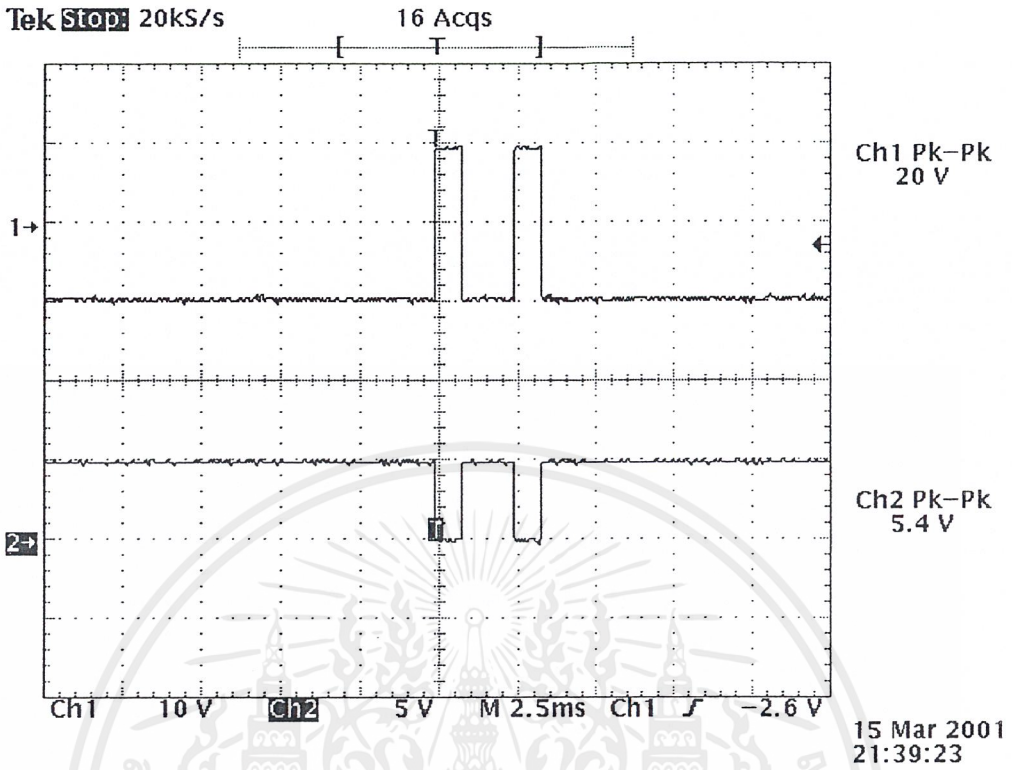


รูปที่ 4.22 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง "จัน" (1111 0011)^{Binary}

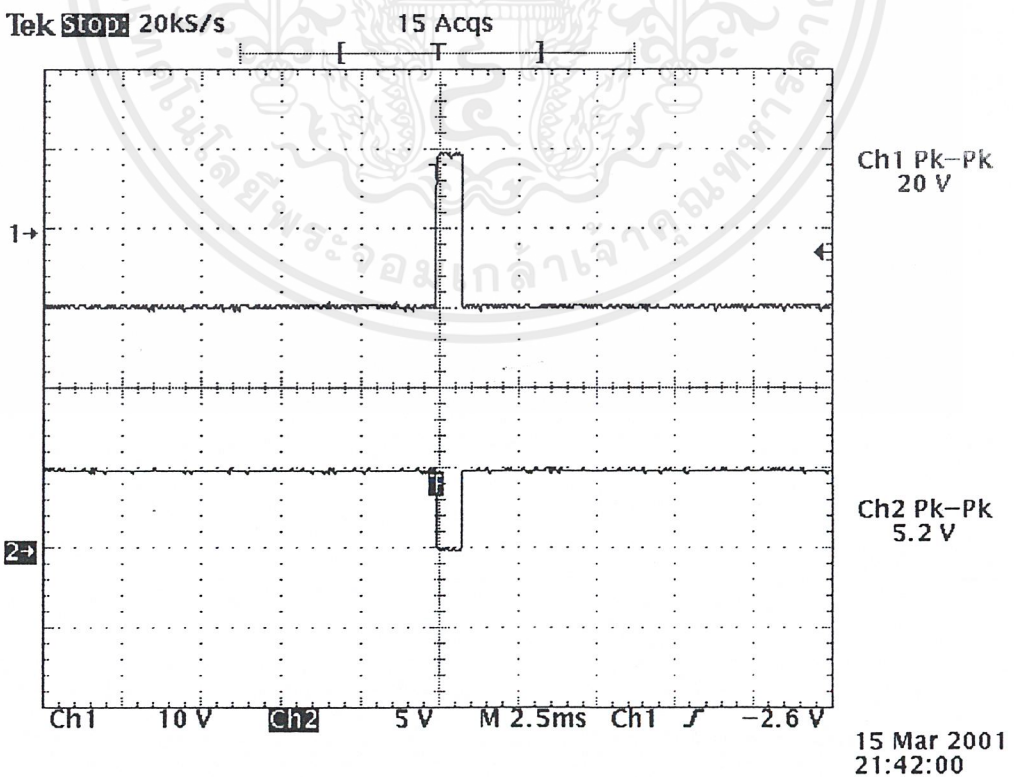


รูปที่ 4.23 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง "ขา" (1111 0111)^{Binary}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยวิศวกรรมศาสตราจารย์เกษมสันต์ ไม่นิพนธ์แต่เนิ่นๆ ระเบียบข้อบังคับด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง "ลง" (1111 1011)_{Binary}



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.25 ผลการทดลองวัดสัญญาณของรหัสคำสั่ง "ซ้าย" (1111 1111)_{Binary} ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการรับสัญญาณภาพเข้าที่เครื่องคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์

1. กล้องโทรทัศน์วงจรปิด
2. วงจรส่งสัญญาณภาพ (วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์, วงจรขยายสัญญาณและวงจรมอดูเลทเชิงขนาด)

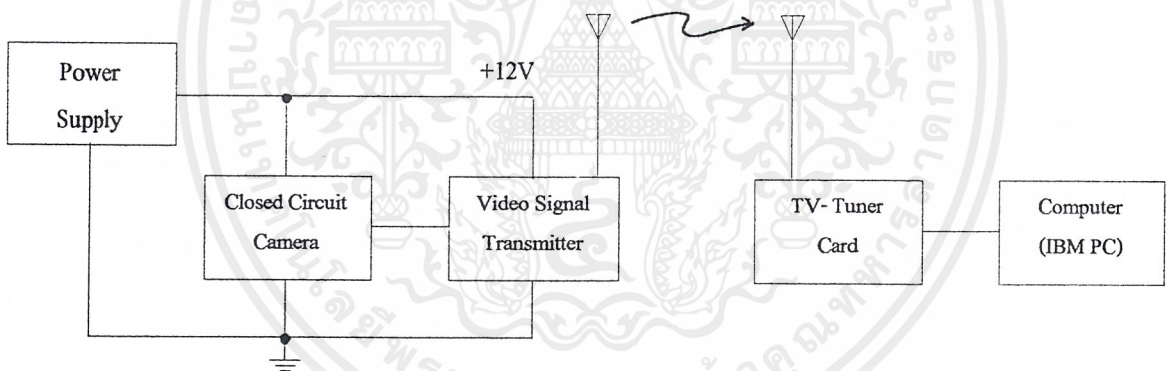
3. DC Power Supply

4. TV Tuner Card

5. คอมพิวเตอร์แบบ IBM PC

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

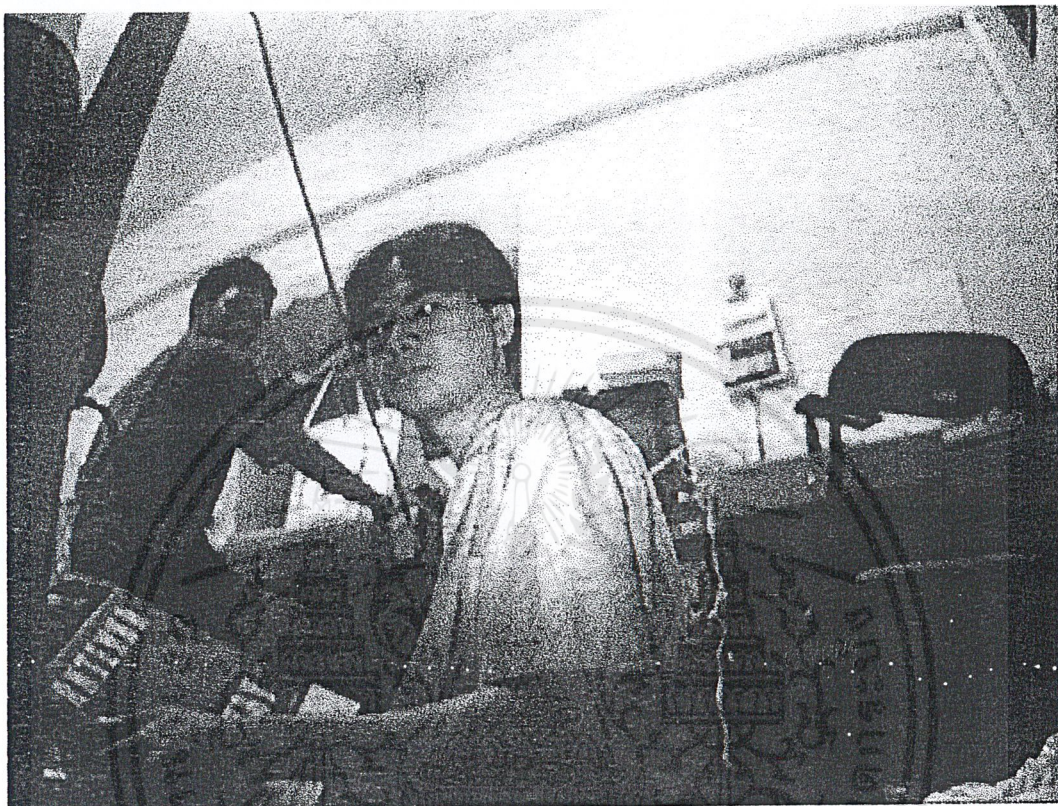
1. ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.26
2. เปิดโปรแกรมรับภาพบนเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.26 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

ได้จากการบันทึกภาพที่รับด้วย TV-Tuner Card แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ภาพที่ได้จากการรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

จากภาพรวมของโครงการทั้งหมด สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ภาคส่งสัญญาณภาพ

ในส่วนของภาคส่งสัญญาณภาพที่ได้ทำการทดลองประสบผลสำเร็จ สามารถรับใช้โทรทัศน์รับภาพได้อย่างชัดเจนในภาคเรียนที่แล้ว ได้มีการปรับปรุงให้สามารถรับภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ได้สำเร็จโดยใช้ TV tuner card และยังสามารถออกแบบและสร้างสายอากาศขึ้นมาใหม่ เพื่อให้การรับ-ส่งสัญญาณภาพมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ภาครับ-ส่งสัญญาณควบคุม

ภาครับ - ส่งสัญญาณควบคุมเริ่มตั้งแต่สัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ที่ส่งออกทางพอร์ต RS-232 มาซึ่งวงจรแปลงระดับแรงดันของสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ TTL วงจรมอดูเลทและวงจรมอดูเลทสัญญาณ FSK การรับส่งสัญญาณ FSK โดยใช้วิทยุสื่อสารย่านความถี่ 144 MHz ผลการทดลองที่ได้จากทุกวงจรพบว่า วงจรทุกวงจรที่กล่าวมาแล้วสามารถทำงานได้อย่างดีตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ แต่ในส่วนของ การรับ-ส่งสัญญาณ FSK ด้วยวิทยุสื่อสารนั้นพบว่า สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ดีตามที่ต้องการเช่นกัน แต่อาจมี ปัญหาบ้างในกรณีที่มิสัญญาณจากวิทยุสื่อสารตัวอื่นเข้ามารบกวน จะทำให้สัญญาณที่รับได้ผิดไป

ภาคโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ภาคโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมสำหรับควบคุมมอดูเลทจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของ AT89C51 โดยใช้ภาษา Assembly สามารถตั้งการและได้ผลทุกอย่างตามที่ต้องการ

สำหรับข้อเสนอแนะอื่นๆ และแนวทางในการพัฒนาต่อ นั้น จะพิจารณาเป็นในแค่และภาคดังต่อไปนี้

1. ภาคส่งสัญญาณภาพ

- ควรจะมีการปรับปรุงในเรื่องของกำลังส่งให้มีสัญญาณแรงขึ้น เพื่อให้ได้ระยะทางที่ไกลกว่าเดิม
- อาจมีการเลือกไปใช้ความถี่ใหม่ที่สูงขึ้นเพื่อให้สายอากาศส่งมีขนาดเล็กลงทำให้ติดตั้งได้ง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก

2. ภาครับ-ส่งสัญญาณควบคุม

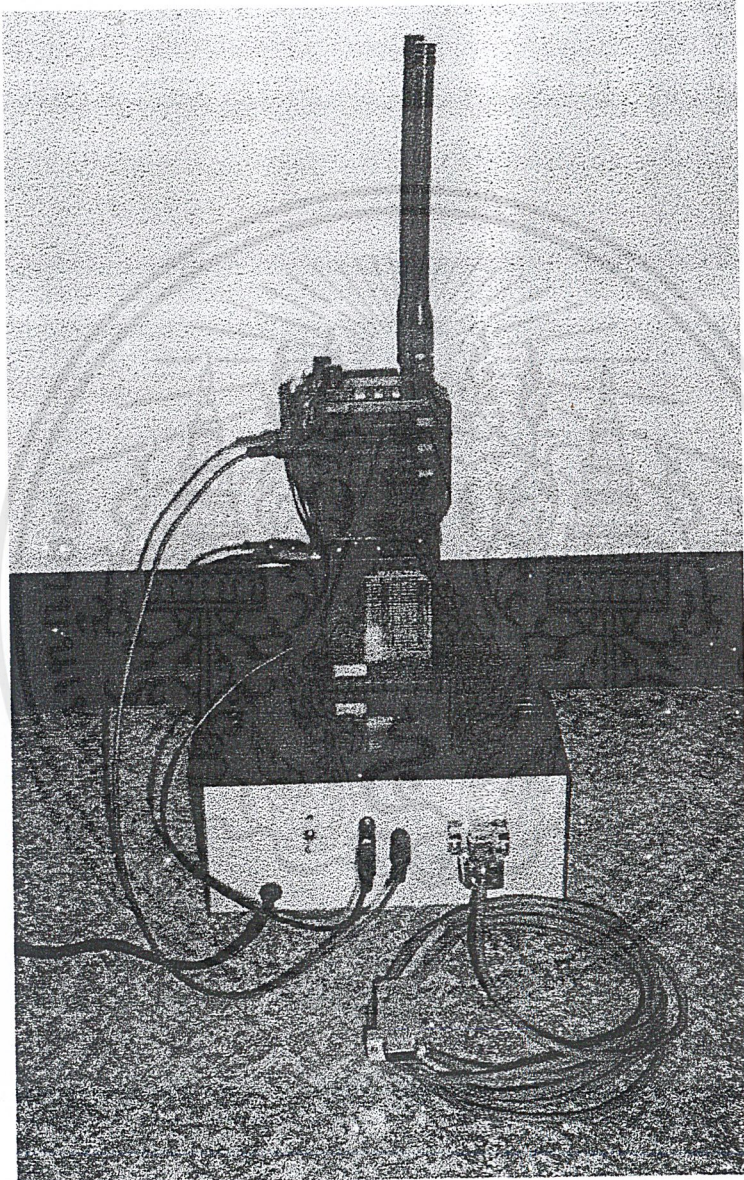
เนื่องจากการรับส่งสัญญาณด้วยวิทยุสื่อสาร 144 MHz นั้น ทำให้ถูกรบกวนจากวิทยุสื่อสารตัวอื่นได้ สัญญาณที่รับได้จะผิดพลาด แนวทางแก้ไขคือ ควรจะทำเครื่องรับ-ส่งสัญญาณความถี่วิทยุความถี่อื่น ขึ้นมาเอง

3. การควบคุมการหมุนกลิ้ง

ควรเลือกใช้เฟืองที่มีจำนวนซี่เท่ากับจำนวนสเต็ปของสเต็ปปีงมอเตอร์ มิฉะนั้นจะทำให้กลิ้งเกิดการแกว่งขึ้นได้

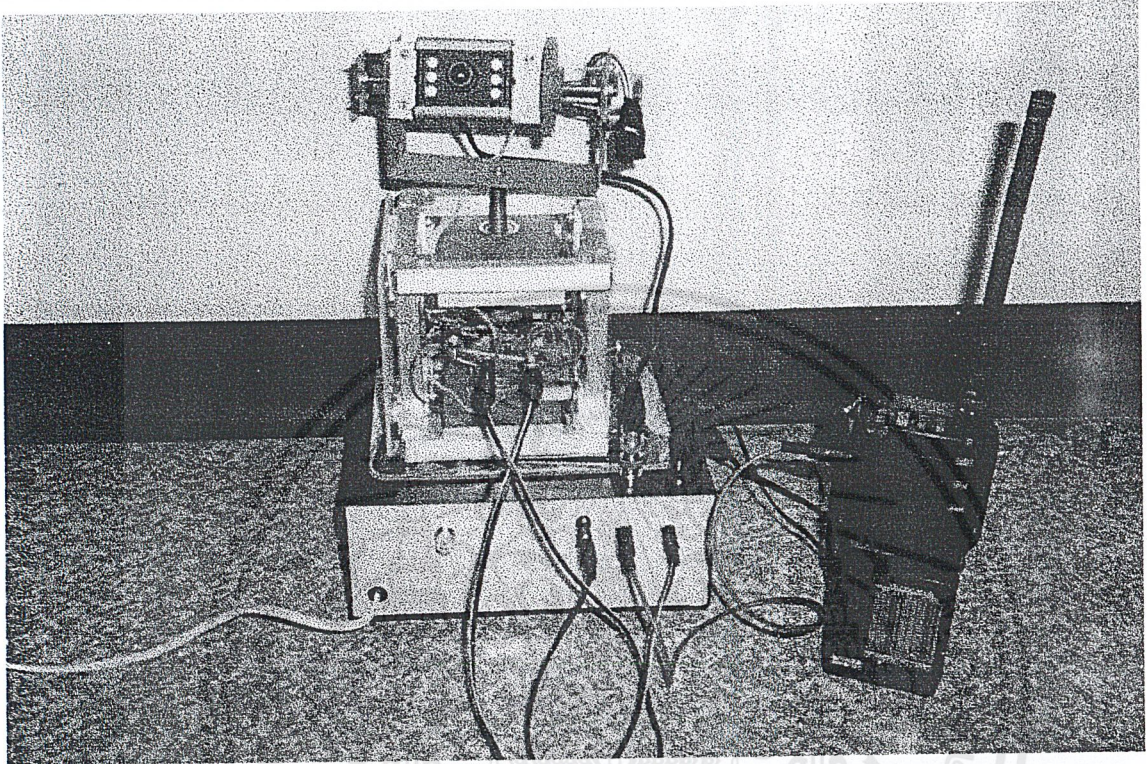
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



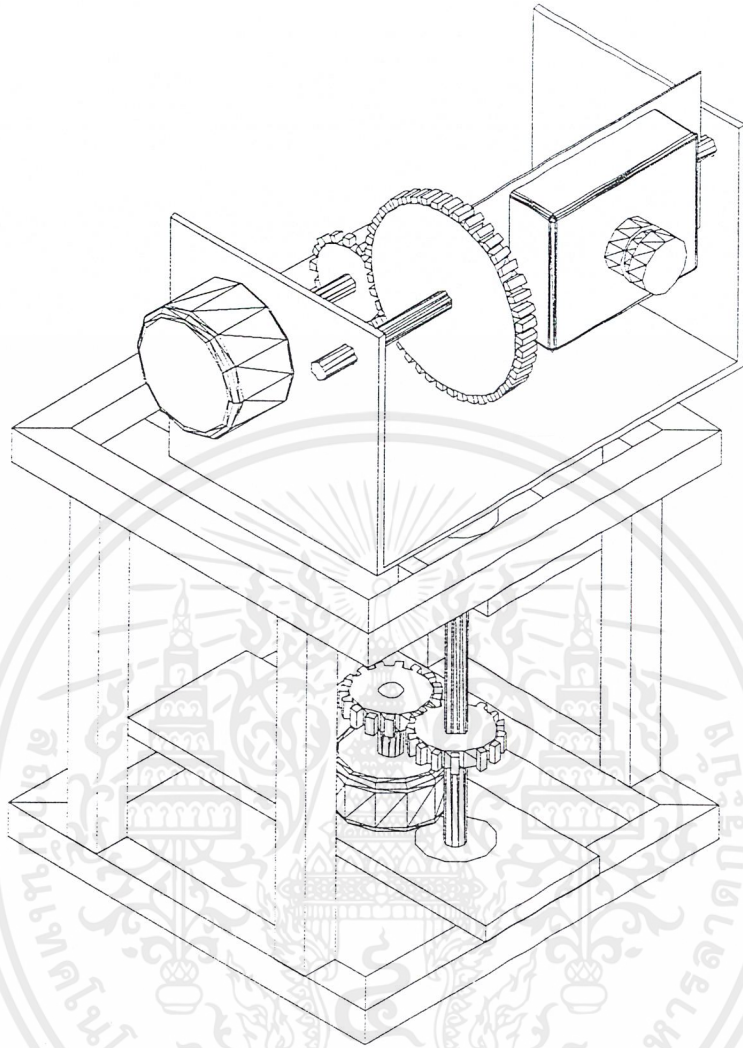
รูปชุดทดลองภาคส่งสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปชุดทดลองภาครับสัญญาณความถี่สูงและส่งสัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปโครงสร้างรองรับตัวกลิ้ง โทรทส์นั่วงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมที่เขียนด้วย Microsoft Visual Basic Version 6.0

FULLCTRL.BAS (Module หลักของโปรแกรม)

Public Const MAXPNAMELEN = 32

Public Type JOYINFOEX ' User-defined type contains extended information about the joystick
' position,point-of-view position, and button state.

dwSize As Long ' Size of structure

dwFlags As Long ' Flags to indicate what to return

dwXpos As Long ' X position

dwYpos As Long ' Y position

dwZpos As Long ' Z position

dwRpos As Long ' Rudder/4th axis position

dwUpos As Long ' 5th axis position

dwVpos As Long ' 6th axis position

dwButtons As Long ' Button states

dwButtonNumber As Long ' Current button number pressed

dwPOV As Long ' Point of view state

dwReserved1 As Long ' Reserved for communication between winmm driver

dwReserved2 As Long ' Reserved for future expansion

End Type

Public Type JOYCAPS ' The JOYCAPS user-defined type contains information about the joystick
' capabilities

wMid As Integer ' Manufacturer identifier of the device driver for the MIDI output device.

wPid As Integer ' Product Identifier Product of the MIDI output device.

szPname As String * MAXPNAMELEN ' Null-terminated string containing the joystick product name

wXmin As Long ' Minimum X-coordinate.

wXmax As Long ' Maximum X-coordinate.

wYmin As Long ' Minimum Y-coordinate

wYmax As Long ' Maximum Y-coordinate

wZmin As Long ' Minimum Z-coordinate

wZmax As Long ' Maximum Z-coordinate

wNumButtons As Long ' Number of joystick buttons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

wPeriodMin As Long      ' Smallest polling frequency supported when captured by the joySetCapture
                          ' function.
wPeriodMax As Long      ' Largest polling frequency supported when captured by the joySetCapture
                          ' function.
wRmin As Long           ' Minimum rudder value. The rudder is a fourth axis of movement.
wRmax As Long           ' Maximum rudder value. The rudder is a fourth axis of movement.
wUmin As Long           ' Minimum u-coordinate (fifth axis) values.
wUmax As Long           ' Maximum u-coordinate (fifth axis) values.
wVmin As Long           ' Minimum v-coordinate (sixth axis) values.
wVmax As Long           ' Maximum v-coordinate (sixth axis) values.
wCaps As Long           ' Joystick capabilities as defined by the following flags
  ' JOYCAPS_HASZ         - Joystick has z-coordinate information.
  ' JOYCAPS_HASR         - Joystick has rudder (fourth axis) information.
  ' JOYCAPS_HASU         - Joystick has u-coordinate (fifth axis) information.
  ' JOYCAPS_HASV         - Joystick has v-coordinate (sixth axis) information.
  ' JOYCAPS_HASPOV      - Joystick has point-of-view information.
  ' JOYCAPS_POV4DIR     - Joystick point-of-view supports discrete values (centered, forward,
  ' backward, left, and right).
  ' JOYCAPS_POVCTS     - Joystick point-of-view supports continuous degree bearings.
wMaxAxes As Long        ' Maximum number of axes supported by the joystick.
wNumAxes As Long        ' Number of axes currently in use by the joystick.
wMaxButtons As Long     ' Maximum number of buttons supported by the joystick.
szRegKey As String * MAXPNAMELEN ' String containing the registry key for the joystick.
End Type

```

```

Declare Function joyGetPosEx Lib "winmm.dll" (ByVal uJoyID As Long, pji As JOYINFOEX) As Long

```

```

' This function queries a joystick for its position and button status.
' uJoyID - Integer identifying the joystick to be queried.
' pji - User-defined type variable that stores extended position info & button status of the joystick.
' The function returns the constant JOYERR_NOERROR if successful or one of the following error values:
' MMSYSERR_NODRIVER - The joystick driver is not present.
' MMSYSERR_INVALIDPARAM - An invalid parameter was passed.
' MMSYSERR_BADDEVICEID - The specified joystick identifier is invalid.
' JOYERR_UNPLUGGED - The specified joystick is not connected to the system.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declare Function joyGetDevCaps Lib "winmm.dll" Alias "joyGetDevCapsA" (ByVal id As Long, lpCaps As JOYCAPS, ByVal uSize As Long) As Long

' This function queries a joystick to determine its capabilities.

' uJoyID - Integer identifying the joystick to be queried.

' pjc - User-defined type variable that stores the capabilities of the joystick.

' cbjc - Size, in bytes, of the pjc variable. Use the Len function for this value.

' The function returns the constant JOYERR_NOERROR if a joystick is present or one of the following error

' values:

' MMSYSERR_NODRIVER- The joystick driver is not present.

' MMSYSERR_INVALIDPARAM- An invalid parameter was passed.

Public Const JOYSTICKID1 = 0

Public Const JOYSTICKID2 = 1

Public Const JOY_RETURNBUTTONS = &H80&

Public Const JOY_RETURNCENTERED = &H400&

Public Const JOY_RETURNPOV = &H40&

Public Const JOY_RETURNR = &H8&

Public Const JOY_RETURNU = &H10&

Public Const JOY_RETURNV = &H20&

Public Const JOY_RETURNX = &H1&

Public Const JOY_RETURNY = &H2&

Public Const JOY_RETURNZ = &H4&

Public Const JOY_RETURNALL = (JOY_RETURNX Or JOY_RETURNY Or JOY_RETURNZ Or JOY_RETURNR Or JOY_RETURNU Or JOY_RETURNV Or JOY_RETURNPOV Or JOY_RETURNBUTTONS)

Public Const JOYCAPS_HASZ = &H1&

Public Const JOYCAPS_HASR = &H2&

Public Const JOYCAPS_HASU = &H4&

Public Const JOYCAPS_HASV = &H8&

Public Const JOYCAPS_HASPOV = &H10&

Public Const JOYCAPS_POV4DIR = &H20&

Public Const JOYCAPS_POVCTS = &H40&

Public Const JOYERR_BASE = 160

Public Const JOYERR_UNPLUGGED = (JOYERR_BASE + 7)

```

Dim JI As JOYINFOEX ' joystick state buffer
Dim Caps As JOYCAPS ' joystick capabilities
Global RC As Long ' return code
Dim I As Long ' index
Dim Mask As Long ' bitmask
Dim xAxis As Label ' x-axis control
Dim yAxis As Label ' y-axis control
Dim zAxis As Label ' z-axis control
Dim rAxis As Label ' r-axis control
Dim uAxis As Label ' u-axis control
Dim vAxis As Label ' v-axis control
Dim pov As Label ' pov-axis control
Dim numAxes As Long ' number of axes added to form
Dim axisY As Long ' Y value for current axis control being added
Const ySpacingFactor = 1.4 ' spacing between controls
Public Const JoyDevice = 0
Public Const KeyDevice = 1
Public Const MouseDevice = 2
Global CID As Integer ' Current Input Device
Global JoyStatus As String
Dim CmmCode As Integer

```

Sub Main()

```

CID = JoyDevice ' Set Default Input Device to Keyboard Device

```

```

RC = joyGetDevCaps(JOYSTICKID1, Caps, Len(Caps)) ' Get capabilities of joystick1

```

```

If (RC <> 0) Then

```

```

    MsgBox "โปรแกรมควบคุมต้องโทรศัพท์วงจรปิดแบบไร้สาย ไม่สามารถตรวจพบ --จอยสติ๊ก-- ได้"

```

```

    MsgBox "โปรแกรมจะใช้ --เป็นพิมพ์-- เป็นอุปกรณ์รับคำสั่งแทน"

```

```

    CID = KeyDevice

```

```

    FrmMain.PicJoy.Picture = LoadPicture(App.Path + "\" + "iconojoy.bmp")

```

```

    FrmMain.PicJoy.Enabled = False

```

```

End If

```

```

FrmMain.CommCtrl.Settings = "1200,n,8,1"

```

```

FrmMain.CommCtrl.CommPort = 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FrmMain.CommCtrl.PortOpen = True
FrmMain.BtnBuff.Caption = "แสดงสถานะพอร์ต"
FrmMain.BtnBuff.Picture = LoadPicture(App.Path + "\ + "icoshow.bmp")
FrmMain.Left = 1
FrmMain.Top = 100
FrmShowPort.Left = (Screen.Width - FrmShowPort.Width - 30)
FrmShowPort.Top = 100
FrmShowPort.Show
FrmShowPort.Visible = False
FrmMain.Show
FrmMain.SetFocus
FrmMain.TmmJoyPoll.Enabled = True
End Sub
```

Function SendCmmUp()

```
FrmMain.TmmDelay.Enabled = False
CmmCode = &HF3 ' 1111 0011
FrmMain.CommCtrl.Output = Chr(CmmCode)
FrmMain.LblStatus.Caption = "ส่งสัญญาณสำหรับคำสั่ง ---- ขึ้น ----"
FrmShowPort.LstOut.AddItem "1111 0011"
If FrmShowPort.LstOut.ListCount = 16 Then FrmShowPort.LstOut.RemoveItem 0
FrmMain.TmmDelay.Enabled = True
```

End Function

Function SendCmmRight()

```
FrmMain.TmmDelay.Enabled = False
CmmCode = &HF7 ' 1111 0111
FrmMain.CommCtrl.Output = Chr(CmmCode)
FrmMain.LblStatus.Caption = "ส่งสัญญาณสำหรับคำสั่ง ---- ขวา ----"
FrmShowPort.LstOut.AddItem "1111 0111"
If FrmShowPort.LstOut.ListCount = 16 Then FrmShowPort.LstOut.RemoveItem 0
FrmMain.TmmDelay.Enabled = True
```

End Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function SendCmmDown()

FrmMain.TmmDelay.Enabled = False

CmmCode = &HFB ' 1111 1011

FrmMain.CommCtrl.Output = Chr(CmmCode)

FrmMain.LblStatus.Caption = "ส่งสัญญาณสำหรับคำสั่ง ---- ลง ----"

FrmShowPort.LstOut.AddItem "1111 1011"

If FrmShowPort.LstOut.ListCount = 16 Then FrmShowPort.LstOut.RemoveItem 0

FrmMain.TmmDelay.Enabled = True

End Function

Function SendCmmLeft()

FrmMain.TmmDelay.Enabled = False

CmmCode = &HFF ' 1111 1111

FrmMain.CommCtrl.Output = Chr(CmmCode)

FrmMain.LblStatus.Caption = "ส่งสัญญาณสำหรับคำสั่ง ---- ซ้าย ----"

FrmShowPort.LstOut.AddItem "1111 1111"

If FrmShowPort.LstOut.ListCount = 16 Then FrmShowPort.LstOut.RemoveItem 0

FrmMain.TmmDelay.Enabled = True

End Function

Function SetBufferWindow()

FrmMain.TmmDelay.Enabled = False

If FrmMain.BtnBuff.Caption = "แสดงสถานะพอร์ต" Then 'Show buffer

FrmMain.BtnBuff.Caption = "ซ่อนสถานะพอร์ต"

FrmMain.BtnBuff.Picture = LoadPicture(App.Path + "\" + "icohide.bmp")

FrmShowPort.Visible = True

FrmMain.SetFocus

Else 'Hide buffer

FrmMain.BtnBuff.Caption = "แสดงสถานะพอร์ต"

FrmMain.BtnBuff.Picture = LoadPicture(App.Path + "\" + "icoshow.bmp")

FrmShowPort.Visible = False

End If

FrmMain.TmmDelay.Enabled = True

End Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function NoCommand()

FrmMain.LblStatus.Caption = "โปรแกรมพร้อมที่จะรับคำสั่ง....."

FrmShowPort.LstOut.AddItem "Idle"

If FrmShowPort.LstOut.ListCount = 16 Then FrmShowPort.LstOut.RemoveItem 0

End Function

Function PollJoystick()

If CID = JoyDevice Then

Jl.dwSize = Len(Jl) ' Initialize struct

Jl.dwFlags = JOY_RETURNALL

RC = joyGetPosEx(JOYSTICKID1, Jl) ' Get the current joystick data

If (RC = 0) Then

JoyStatus = "Joystick connected"

Else

If (RC = JOYERR_UNPLUGGED) Then

JoyStatus = "Joystick unplugged"

Else

JoyStatus = "JoyGetPosEx error, rc = " & RC

End If

End If

FrmMain.Label1.Caption = "X : " & Jl.dwXpos ' Display the data on the form

FrmMain.Label2.Caption = "Y : " & Jl.dwYpos

If Val(Jl.dwXpos) < 10000 Then ProcessJoyLeft

If Val(Jl.dwXpos) > 50000 Then ProcessJoyRight

If Val(Jl.dwYpos) < 10000 Then ProcessJoyUp

If Val(Jl.dwYpos) > 50000 Then ProcessJoyDown

End If

End Function

```
Private Sub ProcessJoyUp()  
    If CID = JoyDevice Then  
        SendCmmUp  
        FrmMain.SetFocus  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub ProcessJoyDown()  
    If CID = JoyDevice Then  
        SendCmmDown  
        FrmMain.SetFocus  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub ProcessJoyLeft()  
    If CID = JoyDevice Then  
        SendCmmLeft  
        FrmMain.SetFocus  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub ProcessJoyRight()  
    If CID = JoyDevice Then  
        SendCmmRight  
        FrmMain.SetFocus  
    End If  
End Sub
```

FRMMAIN.FRM (Form หลักของโปรแกรม)

```
Private Sub BtnExit_Click()
```

```
    Unload FrmMain
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnDown_Click()
```

```
    If CID = MouseDevice Then
```

```
        SendCmmDown
```

```
        FrmMain.SetFocus
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnLeft_Click()
```

```
    If CID = MouseDevice Then
```

```
        SendCmmLeft
```

```
        FrmMain.SetFocus
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnRight_Click()
```

```
    If CID = MouseDevice Then
```

```
        SendCmmRight
```

```
        FrmMain.SetFocus
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnUp_Click()
```

```
    If CID = MouseDevice Then
```

```
        SendCmmUp
```

```
        FrmMain.SetFocus
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub BtnLoadTV_Click()
```

```
Dim RetVal
```

```
RetVal = Shell("C:\Program Files\878TV\PMCTV.EXE", 1)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_KeyDown(KeyCode As Integer, Shift As Integer)
```

```
If KeyCode = vbKeyEscape Then BtnExit_Click
```

```
If CID = KeyDevice Then
```

```
    Select Case KeyCode
```

```
        Case vbKeyUp: ProcessKeyUp
```

```
        Case vbKeyDown: ProcessKeyDown
```

```
        Case vbKeyLeft: ProcessKeyLeft
```

```
        Case vbKeyRight: ProcessKeyRight
```

```
        Case vbKeyEscape: BtnExit_Click
```

```
    End Select
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
LblStatus.Caption = "ออกจากโปรแกรม"
```

```
CommCtrl.PortOpen = False
```

```
Unload FrmShowPort
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TmmDelay_Timer()
```

```
NoCommand
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtnBuff_Click()
```

```
SetBufferWindow
```

```
FrmMain.SetFocus
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub TmmJoyPoll_Timer()

 PollJoystick

End Sub

Private Sub ProcessKeyUp()

 If CID = KeyDevice Then

 SendCmmUp

 FrmMain.SetFocus

 End If

End Sub

Private Sub ProcessKeyDown()

 If CID = KeyDevice Then

 SendCmmDown

 FrmMain.SetFocus

 End If

End Sub

Private Sub ProcessKeyRight()

 If CID = KeyDevice Then

 SendCmmRight

 FrmMain.SetFocus

 End If

End Sub

Private Sub ProcessKeyLeft()

 If CID = KeyDevice Then

 SendCmmLeft

 FrmMain.SetFocus

 End If

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub TmmReady_Timer()
```

```
    ProgramReady = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub PicJoy_Click()
```

```
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = False
```

```
    FrmMain.LblStatus.Caption = "เปลี่ยนอุปกรณ์รับคำสั่งเป็น --- จอยสติ๊ก ---"
```

```
    CID = JoyDevice
```

```
    FrmMain.PicJoy.BorderStyle = 1
```

```
    FrmMain.PicKey.BorderStyle = 0
```

```
    FrmMain.PicMouse.BorderStyle = 0
```

```
    FrmMain.BtnUp.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnDown.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnRight.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnLeft.Enabled = False
```

```
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub PicKey_Click()
```

```
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = False
```

```
    FrmMain.LblStatus.Caption = "เปลี่ยนอุปกรณ์รับคำสั่งเป็น --- แป้นพิมพ์ ---"
```

```
    CID = KeyDevice
```

```
    FrmMain.PicJoy.BorderStyle = 0
```

```
    FrmMain.PicKey.BorderStyle = 1
```

```
    FrmMain.PicMouse.BorderStyle = 0
```

```
    FrmMain.BtnUp.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnDown.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnRight.Enabled = False
```

```
    FrmMain.BtnLeft.Enabled = False
```

```
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = True
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub PicMouse_Click()
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = False
    FrmMain.LblStatus.Caption = "เปลี่ยนอุปกรณ์รับคำสั่งเป็น --- Mouse ---"
    CID = MouseDevice
    FrmMain.PicJoy.BorderStyle = 0
    FrmMain.PicKey.BorderStyle = 0
    FrmMain.PicMouse.BorderStyle = 1
    FrmMain.BtnUp.Enabled = True
    FrmMain.BtnDown.Enabled = True
    FrmMain.BtnRight.Enabled = True
    FrmMain.BtnLeft.Enabled = True
    FrmMain.TmmDelay.Enabled = True
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
    Select Case CID
        Case JoyDevice: PicJoy_Click
        Case KeyDevice: PicKey_Click
        Case MouseDevice: PicMouse_Click
    End Select
    FrmStart.Left = (Screen.Width - FrmStart.Width) / 2
    FrmStart.Top = (Screen.Height - FrmStart.Height) / 2
    FrmStart.Show
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา Assembly สำหรับ Microcontroller MCS-51

```
ORG 0000H          ;Start Program
MOV P1,#00H        ;Clear Port 1,2
MOV P2,#00H
MOV R3,#66H        ;Initial data for driving step motor
MOV R4,#66H
MOV PCON,#00H     ;SMOD = 0 (Bit rate is NOT double)
MOV SCON,#50H     ;Serial Mode 1 (REN=1)
MOV TMOD,#20H     ;Timer1 Mode 2
MOV TH1,#0E8H     ;1200 Baud
SETB TR1          ;Start Timer1

MAIN:JNB RI,MAIN   ;Wait for 1 byte command code
CLR RI            ;Clear receive interrupt register for receive next command
MOV A,SBUF
CJNE A,#0F3H,STEP2 ; Check for command "UP"
UP:MOV A,R3
RR A
MOV R3,A
SJMP DRIVE1

STEP2:CJNE A,#0FBH,STEP3 ; Check for command "DOWN"
DOWN:MOV A,R3
RL A
MOV R3,A
SJMP DRIVE1

STEP3:CJNE A,#0F7H,STEP4 ; Check for command "RIGHT"
RIGHT:MOV A,R4
RR A
MOV R4,A
SJMP DRIVE2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

```

STEP4:CJNE A,#0FFH,ERROR      ; Check for command "LEFT"
LEFT:MOV A,R4
    RL A
    MOV R4,A
    SJMP DRIVE2

DRIVE1:MOV P1,R3              ;Driving routine for command "UP" and "DOWN"
    CALL PULSEWIDTH
    MOV P1,#00H
    CALL PULSEDELAY
    SJMP MAIN

DRIVE2:MOV P2,R4              ; Driving routine for command "RIGHT" and "LEFT"
    CALL PULSEWIDTH
    MOV P2,#00H
    CALL PULSEDELAY
    SJMP MAIN

ERROR:SJMP MAIN               ;If ERROR then do not send any signal

PULSEWIDTH:MOV R1,#08H
DEL2:MOV R0,#00H
DEL1:DJNZ R0,DEL1
    DJNZ R1,DEL2
    RET

PULSEDELAY:MOV R2,#03H
DEL5:MOV R1,#00H
DEL4:MOV R0,#00H
DEL3:DJNZ R0,DEL3
    DJNZ R1,DEL4
    DJNZ R2,DEL5
    RET
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

General Description

The MAX202E/MAX203E/MAX232E/MAX211E/MAX213E/MAX241E line drivers/receivers are designed for RS-232 and V.28 communications in harsh environments. Each transmitter output and receiver input is protected against ±15kV electrostatic discharge (ESD) shocks, without latchup. The MAX211E/MAX213E/MAX241E comprise four line drivers and five receivers; they also feature a shutdown mode and a receiver-enable input. The MAX202E, MAX203E, and MAX232E have two drivers and two receivers. The drivers and receivers for all five devices meet all EIA/TIA-232E and CCITT V.28 specifications at data rates up to 120kbps when loaded in accordance with the EIA/TIA-232E specification.

The MAX211E/MAX213E/MAX241E are available in a 28-pin wide SO package, as well as a 28-pin SSOP package that requires 60% less board space. The MAX202E and MAX232E come in 16-pin narrow SO, wide SO, DIP, and CERDIP packages, as well as a 20-pin ceramic LCC package. The MAX203E comes in 20-pin DIP and wide SO packages, and requires no external charge-pump capacitors. The MAX232E and MAX241E operate with four 1µF capacitors, while the MAX202E/MAX211E/MAX213E operate with four 0.1µF capacitors, further reducing cost and board space.

Applications

Notebook, Subnotebook, and Palmtop Computers
 Battery-Powered Equipment
 Hand-Held Equipment

Selection Table

Part Number	No. of RS-232 Drivers	No. of RS-232 Receivers	Shutdown	Receiver Three-State Output	External Capacitor Value (µF)	ESD Protection (kV)
MAX202E	2	2	No	No	No	0.1 ±15
MAX203E	2	2	No	No	No	— ±15
MAX211E	4	5	Yes	Yes	0.1	±15
MAX213E	4	5	Yes*	Yes	0.1	±15
MAX232E	2	2	No	No	1.0	±15
MAX241E	4	5	Yes	Yes	1.0	±15

*Two receivers active

LapLink is a registered trademark of Traveling Software, Inc.



Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

Features

Better than Bipolar!

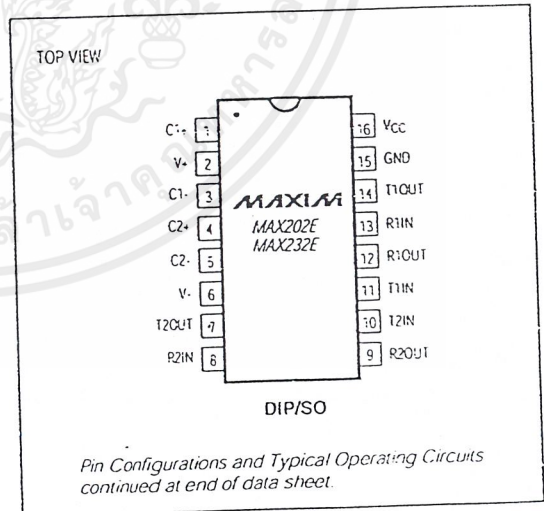
- ◆ ESD Protection for RS-232 I/O Pins:
 - ±15kV—Human Body Model
 - ±8kV—IEC801-2, Contact Discharge
 - ±15kV—IEC801-2, Air-Gap Discharge
- ◆ Latchup Free (unlike bipolar equivalents)
- ◆ 2 Drivers, 2 Receivers (MAX202E/203E/232E)
 4 Drivers, 5 Receivers (MAX211E/213E/241E)
- ◆ Guaranteed 120kbps Data Rate—
 LapLink™ Compatible
- ◆ Guaranteed 3V/µs Min Slew Rate
- ◆ Operate from Single +5V Power Supply

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX202ECPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX202ECSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX202ECWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX202EC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX202EEPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX202EESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX202EEWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO

Ordering Information continued at end of data sheet.
 *Dice are specified at TA = +25°C.

Pin Configurations



MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V _{CC}	-0.3V to -6V	20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C) ...889mW
V ₊	(V _{CC} - 0.3V) to +14V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C) ...800mW
V ₋	-14V to +0.3V	20-Pin LCC (derate 9.09mW/°C above +70°C) ...727mW
Input Voltages		
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C) ...1000mW
R _{IN}	=30V	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C) ...762mW
Output Voltages		
T _{OUT}	(V ₋ - 0.3V) to (V ₊ + 0.3V)	Operating Temperature Ranges
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2 _{XX} _EC_... ..0°C to +70°C
Short-Circuit Duration, T_{OUT}..... Continuous		
Power Dissipation (T_A = +70°C)		
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) .842mW		
16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ...696mW		
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) ...762mW		
16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C) ...800mW		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 4.5V to 5.5V, C1-C4 = 0.1µF for MAX202E/MAX211E/MAX213E, C1-C4 = 1.0µF for MAX232E/MAX241E, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = -25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DC CHARACTERISTICS						
Operating Voltage Range	V _{CC}		4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current	I _{CC}	No load, T _A = -25°C	MAX202E/MAX203E	8	15	mA
			MAX211E/MAX213E	14	20	
			MAX232E	5	10	
			MAX241E	7	15	
Shutdown Supply Current		T _A = -25°C, Figure 1		1	10	µA
				15	50	
LOGIC						
Input Pull-Up Current		T _{IN} = 0V (MAX211E/MAX213E/MAX241E))		15	200	µA
Input Leakage Current		T _{IN} = 0V to V _{CC} (MAX202E/MAX203E/MAX232E)			±10	µA
Input Threshold Low	V _{IL}	T _{IN} ; EN, SHDN (MAX213E) or EN, SHDN (MAX211E/MAX241E)			0.8	V
Input Threshold High	V _{IH}	T _{IN}		2.0		V
		EN, SHDN (MAX213) or EN, SHDN (MAX211E/MAX241E)		2.4		
Output Voltage Low	V _{OL}	R _{OUT} ; I _{OUT} = 3.2mA (MAX202E/MAX203E/MAX232E) or I _{OUT} = 1.6mA (MAX211E/MAX213E/MAX241E)			0.4	V
Output Voltage High	V _{OH}	R _{OUT} ; I _{OUT} = -1.0mA		3.5 V _{CC} - 0.4		V
Output Leakage Current		0V ≤ R _{OUT} ≤ V _{CC} . MAX211E/MAX213E/MAX241E outputs disabled		±0.05	±10	µA

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 4.5V to 5.5V, C₁–C₄ = 0.1µF for MAX202E/MAX211E/MAX213E, C₁–C₄ = 1.0µF for MAX232E/MAX241E, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
EIA/TIA-232E RECEIVER INPUTS						
Input Voltage Range			-30		+30	V
Input Threshold Low		T _A = +25°C, V _{CC} = 5V	0.8	1.2		V
		MAX213E in shutdown	0.6	1.5		V
Input Threshold High		T _A = +25°C, V _{CC} = 5V		1.7	2.4	V
		MAX213E (R4, R5), SHDN = 0V, EN = V _{CC}		1.5	2.4	V
Input Hysteresis		V _{CC} = 5V, no hysteresis for the MAX211E/MAX213E/MAX241E in shutdown	0.2	0.5	1.0	V
Input Resistance		T _A = +25°C, V _{CC} = 5V	3	5	7	kΩ
EIA/TIA-232E TRANSMITTER OUTPUTS						
Output Voltage Swing		All driver inputs loaded with 3kΩ to ground (Note 1)	±5.0	±9		V
Output Resistance		V _{CC} = V+ = V- = 0V, V _{OUT} = ±2V	300			Ω
Output Short-Circuit Current				±10	±60	mA
TIMING CHARACTERISTICS						
Maximum Data Rate		R _L = 3kΩ to 7kΩ, C _L = 50pF to 1000pF, one transmitter switching	120			kbps
Receiver Propagation Delay	t _{PLHR} , t _{PHLR}	C _L = 150pF		0.5	10	µs
		All parts, normal operation		4	40	µs
		MAX213E (R4, R5), SHDN = 0V, EN = V _{CC}				µs
Receiver Output Enable Time		MAX211E/MAX213E/MAX241E, normal operation, Figure 2		600		ns
Receiver Output Disable Time		MAX211E/MAX213E/MAX241E, normal operation, Figure 2		200		ns
Transmitter Propagation Delay	t _{PLHT} , t _{PHLT}	R _L = 3kΩ, C _L = 2500pF, all transmitters loaded		2		µs
Transition-Region Slew Rate		T _A = +25°C, V _{CC} = 5V, R _L = 3kΩ to 7kΩ, C _L = 50pF to 2500pF, measured from -3V to +3V or -3V to -3V, Figure 3	3	6	30	V/µs
ESD PERFORMANCE; TRANSMITTER OUTPUTS, RECEIVER INPUTS						
ESD-Protection Voltage		Human Body Model		±15		kV
		IEC801-2, Contact Discharge		±8		
		IEC801-2, Air-Gap Discharge		±15		

Note 1: MAX211EE_ and MAX213EE_ tested with V_{CC} = 5V ±5%.

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

MAXIM

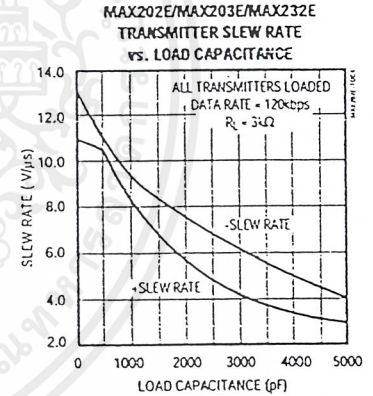
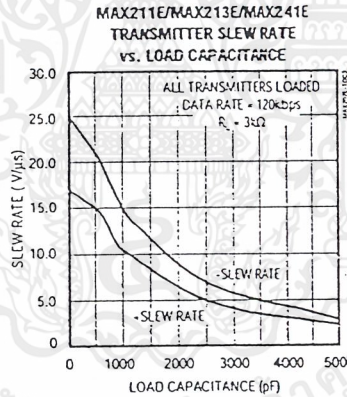
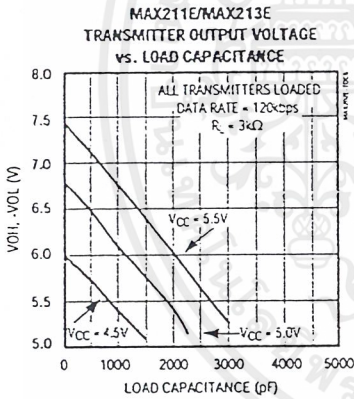
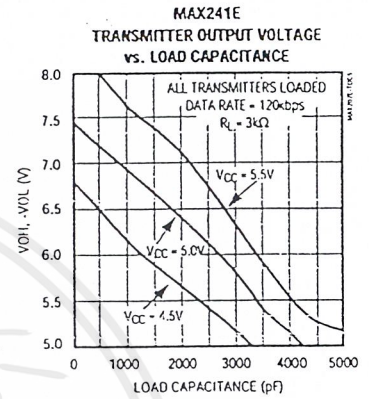
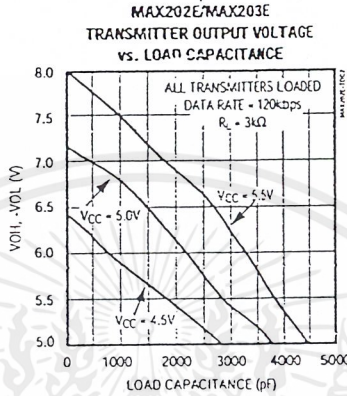
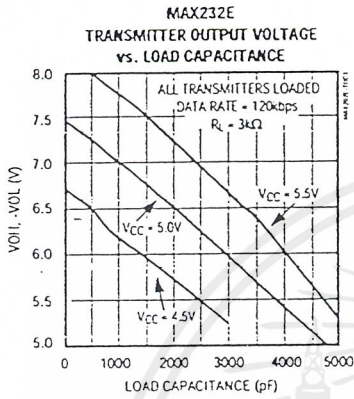
3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Typical Operating Characteristics

(Typical Operating Circuits, $V_{CC} = 5.0V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Pin Descriptions

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

MAX202E/MAX232E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP/SO	LCC		
1, 3	2, 4	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
2	3	V+	+2V _{CC} voltage generated by the charge pump
4, 5	5, 7	C2-, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
6	8	V-	-2V _{CC} voltage generated by the charge pump
7, 14	9, 18	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
8, 13	10, 17	R_IN	RS-232 Receiver Outputs
9, 12	12, 15	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
10, 11	13, 14	T_IN	RS-232 Driver Inputs
15	19	GND	Ground
16	20	VCC	+4.5V to +5.5V Supply Voltage Input
—	1, 6, 11, 16	N.C.	No Connect—not internally connected

MAX203E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP	SO		
1, 2	1, 2	T_IN	RS-232 Driver Inputs
3, 20	3, 20	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
4, 19	4, 19	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 18	5, 18	T_OUT	RS-232 Transmitter Outputs
6, 9	6, 9	GND	Ground
7	7	VCC	+4.5V to +5.5V Supply Voltage Input
8	13	C1+	Make no connection to this pin.
10, 16	11, 16	C2-	Connect pins together.
12, 17	10, 17	V-	+2V _{CC} voltage generated by the charge pump. Connect pins together.
13	14	C1-	Make no connection to this pin.
14	8	V+	+2V _{CC} voltage generated by the charge pump
11, 15	12, 15	C2+	Connect pins together.

MAX211E/MAX213E/MAX241E

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2, 3, 28	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
4, 9, 18, 23, 27	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 8, 19, 22, 26	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. For the MAX213E, receivers R4 and R5 are active in shutdown mode when EN = 1. For the MAX211E and MAX241E, all receivers are inactive in shutdown.
6, 7, 20, 21	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Only the MAX211E, MAX213E, and MAX241E have internal pull-ups to V _{CC} .
10	GND	Ground
11	VCC	-4.5V to +5.5V Supply Voltage
12, 14	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
13	V+	+2V _{CC} voltage generated by the charge pump
15, 16	C2-, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
17	V-	-2V _{CC} voltage generated by the charge pump
24	EN	Receiver Enable—active low (MAX211E, MAX241E)
	EN	Receiver Enable—active high (MAX213E)
25	SHDN	Shutdown Control—active high (MAX211E, MAX241E)
	SHDN	Shutdown Control—active low (MAX213E)

MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

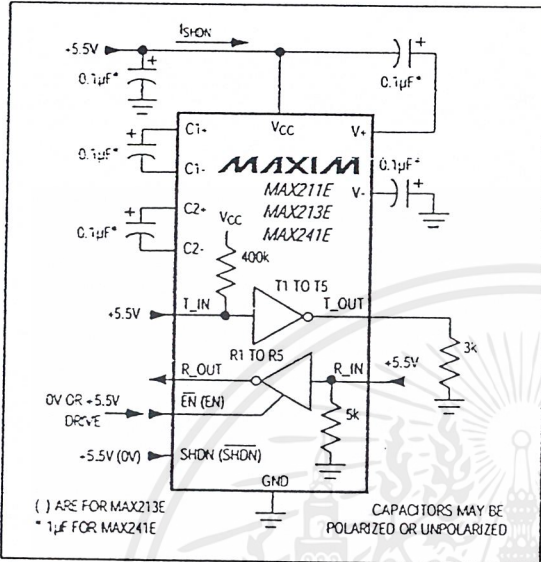


Figure 1. Shutdown-Current Test Circuit (MAX211E/MAX213E/MAX241E)

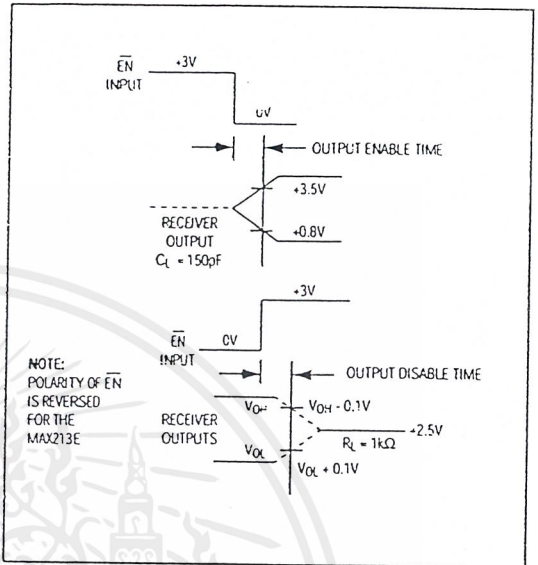


Figure 2. Receiver Output Enable and Disable Timing (MAX211E/MAX213E/MAX241E)

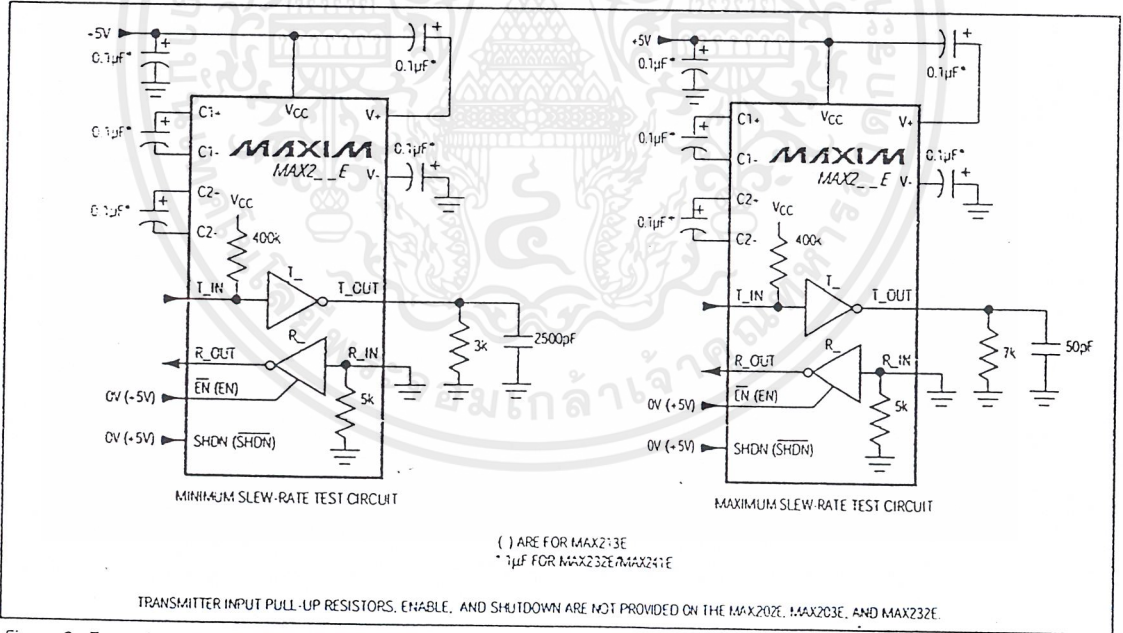


Figure 3. Transition Slew-Rate Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Detailed Description

The MAX202E/MAX203E/MAX232E/MAX211E/MAX213E/MAX241E consist of three sections: charge-pump voltage converters, drivers (transmitters), and receivers. These E versions of the MAX202, MAX203, MAX211, MAX213, MAX232, and MAX241 provide extra protection against ESD. They survive ±15kV discharges to the RS-232 inputs and outputs, tested using the Human Body Model. When tested according to IEC801-2, they survive ±8kV contact-discharges and ±15kV air-gap discharges. The rugged MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E are intended for use in harsh environments, or applications where the RS-232 connection is frequently changed (such as notebook computers). The standard (non-"E") MAX202, MAX203, MAX211, MAX213, MAX232, and MAX241 are recommended for applications where cost is critical.

+5V to ±10V Dual Charge-Pump Voltage Converter

The +5V to ±10V conversion is performed by dual charge-pump voltage converters (Figure 4). The first charge-pump converter uses capacitor C1 to double the +5V into +10V, storing the +10V on the output filter capacitor, C3. The second uses C2 to invert the +10V into -10V, storing the -10V on the V- output filter capacitor, C4.

In shutdown mode, V+ is internally connected to VCC by a 1kΩ pull-down resistor, and V- is internally connected to ground by a 1kΩ pull-up resistor.

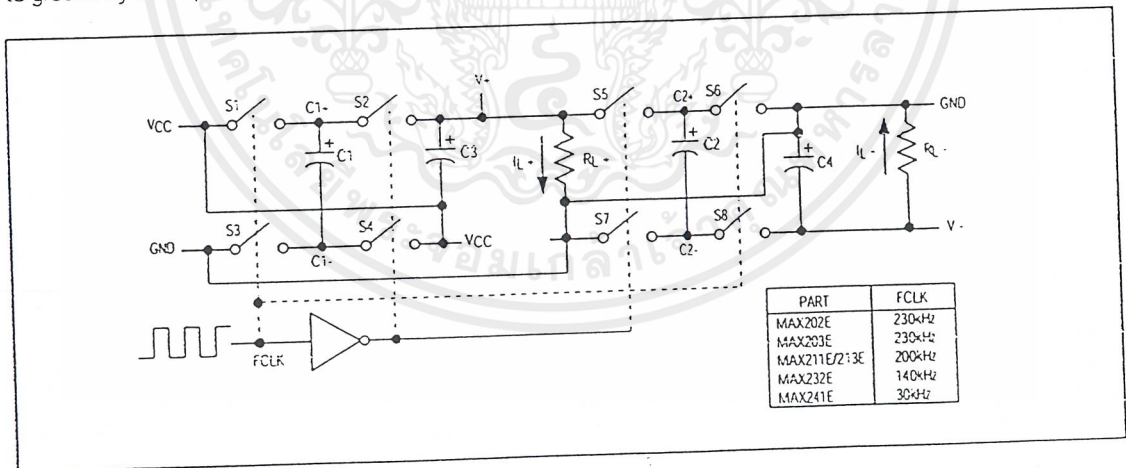


Figure 4. Charge-Pump Diagram

RS-232 Drivers

With VCC = 5V, the typical driver output voltage swing is ±8V when loaded with a nominal 5kΩ RS-232 receiver. The output swing is guaranteed to meet EIA/TIA-232E and V.28 specifications that call for ±5V minimum output levels under worst-case conditions. These include a 3kΩ load, minimum VCC, and maximum operating temperature. The open-circuit output voltage swings from (V+ - 0.6V) to V-.

Input thresholds are both CMOS and TTL compatible. The inputs of unused drivers on the MAX211E, MAX213E, and MAX241E can be left unconnected because 400kΩ pull-up resistors to VCC are included on-chip. Since all drivers invert, the pull-up resistors force the outputs of unused drivers low. The MAX202E, MAX203E, and MAX232E do not have pull-up resistors on the transmitter inputs.

When in low-power shutdown mode, the MAX211E/MAX213E/MAX241E driver outputs are turned off and draw only leakage currents—even if they are back-driven with voltages between 0V and 12V. Below -0.5V in shutdown, the transmitter output is diode-clamped to ground with a 1kΩ series impedance.

RS-232 Receivers

The receivers convert the RS-232 signals to CMOS-logic output levels. The guaranteed 0.8V and 2.4V receiver input thresholds are significantly tighter than the ±3V thresholds required by the EIA/TIA-232E specification. This allows the receiver inputs to respond to TTL/CMOS-logic levels, as well as RS-232 levels.

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

The guaranteed 0.8V input low threshold ensures that receivers shorted to ground have a logic 1 output. The 5kΩ input resistance to ground ensures that a receiver with its input left open will also have a logic 1 output.

Receiver inputs have approximately 0.5V hysteresis. This provides clean output transitions, even with slow rise- and fall-time signals with moderate amounts of noise and ringing.

In shutdown, the MAX213E's R4 and R5 receivers have no hysteresis.

Shutdown and Enable Control (MAX211E/MAX213E/MAX241E)

In shutdown mode, the charge pumps are turned off, V+ is pulled down to VCC, V- is pulled to ground, and the transmitter outputs are disabled. This reduces supply current typically to 1μA (15μA for the MAX213E). The time required to exit shutdown is under 1ms, as shown in Figure 5.

Receivers

All MAX213E receivers, except R4 and R5, are put into a high-impedance state in shutdown mode (see Tables 1a and 1b). The MAX213E's R4 and R5 receivers still function in shutdown mode. These two awake-in-shutdown receivers can monitor external activity while maintaining minimal power consumption.

The enable control is used to put the receiver outputs into a high-impedance state, to allow wire-OR connection of two EIA/TIA-232E ports (or ports of different types) at the UART. It has no effect on the RS-232 drivers or the charge pumps.

Note: The enable control pin is active low for the MAX211E and the MAX241E (EN), but is active high for the MAX213E (EN). The shutdown control pin is active high for the MAX211E and the MAX241E (SHDN), but is active low for the MAX213E (SHDN).

The MAX213E's receiver propagation delay is typically 0.5μs in normal operation. In shutdown mode, propagation delay increases to 4μs for both rising and falling transitions. The MAX213E's receiver inputs have approximately 0.5V hysteresis, except in shutdown, when receivers R4 and R5 have no hysteresis.

When entering shutdown with receivers active, R4 and R5 are not valid until 80μs after SHDN is driven low. When coming out of shutdown, all receiver outputs are invalid until the charge pumps reach nominal values (less than 2ms when using 0.1μF capacitors).

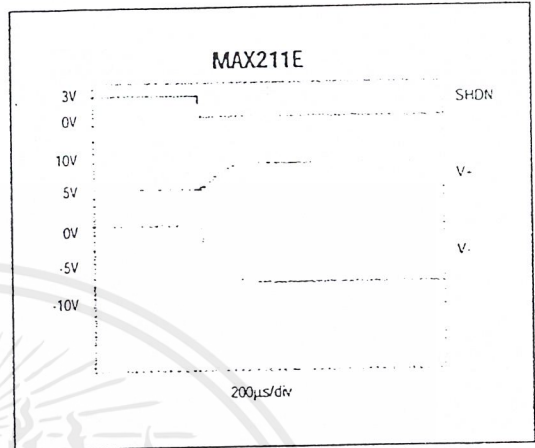


Figure 5. MAX211E V+ and V- when Exiting Shutdown (0.1μF capacitors)

Table 1a. MAX211E/MAX241E Control Pin Configurations

SHDN	EN	OPERATION STATUS	Tx 1-4	Rx 1-5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All High-Z
1	X	Shutdown	All High-Z	All High-Z

X = Don't Care

Table 1b. MAX213E Control Pin Configurations

SHDN	EN	OPERATION STATUS	Tx 1-4	Rx	
				1-3	4, 5
0	0	Shutdown	All High-Z	High-Z	High-Z
0	1	Shutdown	All High-Z	High-Z	Active*
1	0	Normal Operation	All Active	High-Z	High-Z
1	1	Normal Operation	All Active	Active	Active

*Active = active with reduced performance

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

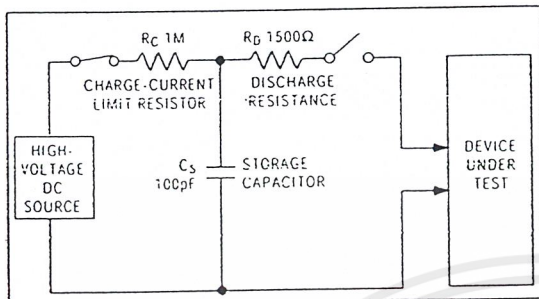


Figure 6a. Human Body ESD Test Model

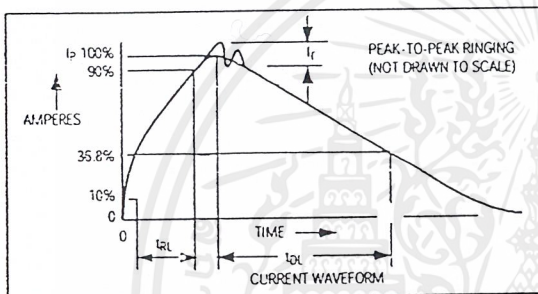


Figure 6b. Human Body Model Current Waveform

±15kV ESD Protection

As with all Maxim devices, ESD-protection structures are incorporated on all pins to protect against electrostatic discharges encountered during handling and assembly. The driver outputs and receiver inputs have extra protection against static electricity. Maxim's engineers developed state-of-the-art structures to protect these pins against ESD of ±15kV without damage. The ESD structures withstand high ESD in all states: normal operation, shutdown, and powered down. After an ESD event, Maxim's MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E keep working without latching, whereas competing RS-232 products can latch and must be powered down to remove latching.

ESD protection can be tested in various ways; the transmitter outputs and receiver inputs of this product family are characterized for protection to the following limits:

- 1) ±15kV using the Human Body Model
- 2) ±8kV using the contact-discharge method specified in IEC801-2
- 3) ±15kV using IEC801-2's air-gap method.

ESD Test Conditions

ESD performance depends on a variety of conditions. Contact Maxim for a reliability report that documents test set-up, test methodology, and test results.

Human Body Model

Figure 6a shows the Human Body Model, and Figure 6b shows the current waveform it generates when discharged into a low impedance. This model consists of a 100pF capacitor charged to the ESD voltage of interest, which is then discharged into the test device through a 1.5kΩ resistor.

IEC801-2

The IEC801-2 standard covers ESD testing and performance of finished equipment; it does not specifically refer to integrated circuits. The MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E help you design equipment that meets level 4 (the highest level) of IEC801-2, without the need for additional ESD-protection components.

The major difference between tests done using the Human Body Model and IEC801-2 is higher peak current in IEC801-2, because series resistance is lower in the IEC801-2 model. Hence, the ESD withstand voltage measured to IEC801-2 is generally lower than that measured using the Human Body Model. Figure 7b shows the current waveform for the 8kV IEC801-2 level-four ESD contact-discharge test.

The air-gap test involves approaching the device with a charged probe. The contact-discharge method connects the probe to the device before the probe is energized.

Machine Model

The Machine Model for ESD tests all pins using a 200pF storage capacitor and zero discharge resistance. Its objective is to emulate the stress caused by contact that occurs with handling and assembly during manufacturing. Of course, all pins require this protection during manufacturing—not just RS-232 inputs and outputs. Therefore, after PC board assembly, the Machine Model is less relevant to I/O ports.

Applications Information

Capacitor Selection

The capacitor type used for C1–C4 is not critical for proper operation. The MAX202E, MAX211E, and MAX213E require 0.1μF capacitors, and the MAX232E and MAX241E require 1μF capacitors, although in all cases capacitors up to 10μF can be used without harm. Ceramic, aluminum-electrolytic, or tantalum capacitors are suggested for the 1μF capacitors, and ceramic

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

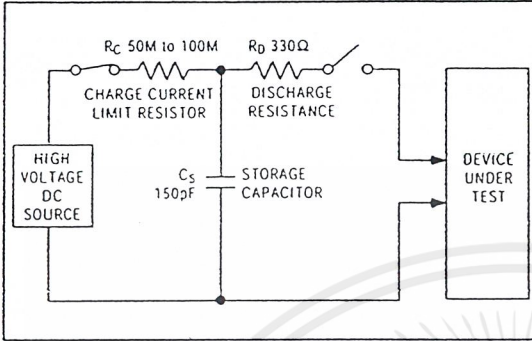


Figure 7a. IEC801-2 ESD Test Model

dielectrics are suggested for the 0.1µF capacitors. When using the minimum recommended capacitor values, make sure the capacitance value does not degrade excessively as the operating temperature varies. If in doubt, use capacitors with a larger (e.g., 2x) nominal value. The capacitors' effective series resistance (ESR), which usually rises at low temperatures, influences the amount of ripple on V+ and V-.

To reduce the output impedance at V+ and V-, use larger capacitors (up to 10µF). This can be useful when "stealing" power from V+ or from V-. The MAX203E has internal charge-pump capacitors.

Bypass VCC to ground with at least 0.1µF. In applications sensitive to power-supply noise generated by the charge pumps, decouple VCC to ground with a capacitor the same size as (or larger than) the charge-pump capacitors (C1-C4).

V+ and V- as Power Supplies

A small amount of power can be drawn from V+ and V-, although this will reduce both driver output swing and noise margins. Increasing the value of the charge-pump capacitors (up to 10µF) helps maintain performance when power is drawn from V+ or V-.

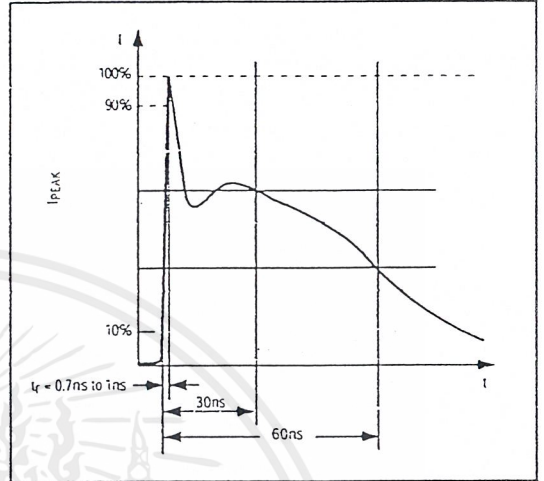


Figure 7b. IEC801-2 ESD Generator Current Waveform

Driving Multiple Receivers

Each transmitter is designed to drive a single receiver. Transmitters can be paralleled to drive multiple receivers.

Driver Outputs when Exiting Shutdown

The driver outputs display no ringing or undesirable transients as they come out of shutdown.

High Data Rates

These transceivers maintain the RS-232 ±5.0V minimum driver output voltages at data rates of over 120kbps. Communication at these high rates is made easier if the capacitive loads on the transmitters are small; i.e., short cables are best.

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

Table 2. Summary of EIA/TIA-232E, V.28 Specifications

PARAMETER	CONDITION	EIA/TIA-232E, V.28 SPECIFICATION
Driver Output Voltage		
0 Level	3kΩ to 7kΩ load	+5.0V to +15V
1 Level	3kΩ to 7kΩ load	-5.0V to -15V
Output Level, Max	No load	±25V
Data Rate	3kΩ ≤ R _L ≤ 7kΩ. C _L ≤ 2500pF	Up to 20kbps
Receiver Input Voltage		
0 Level		+3.0V to +15V
1 Level		-3.0V to -15V
Input Level		±25V
Instantaneous Slew Rate, Max	3kΩ ≤ R _L ≤ 7kΩ. C _L ≤ 2500pF	30V/μs
Driver Output Short-Circuit Current, Max		100mA
Transition Rate on Driver Output	V.28	1ms or 3% of the period
	EIA/TIA-232E	4% of the period
Driver Output Resistance	-2V < V _{OUT} < +2V	300Ω

Table 3. DB9 Cable Connections Commonly Used for EIA/TIAE-232E and V.24 Asynchronous Interfaces

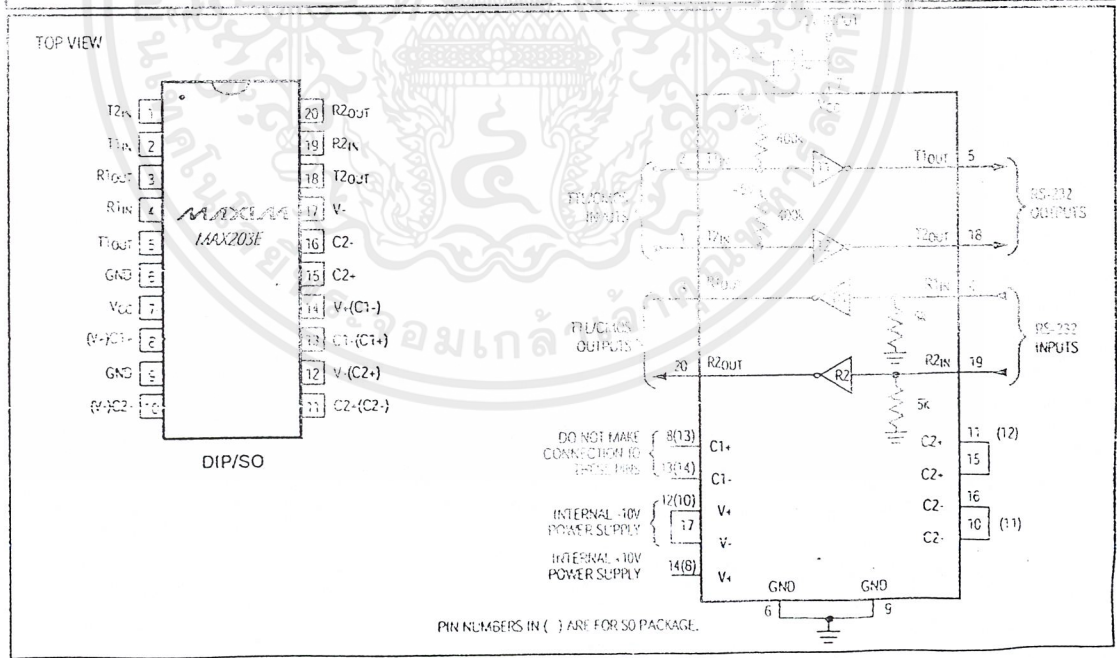
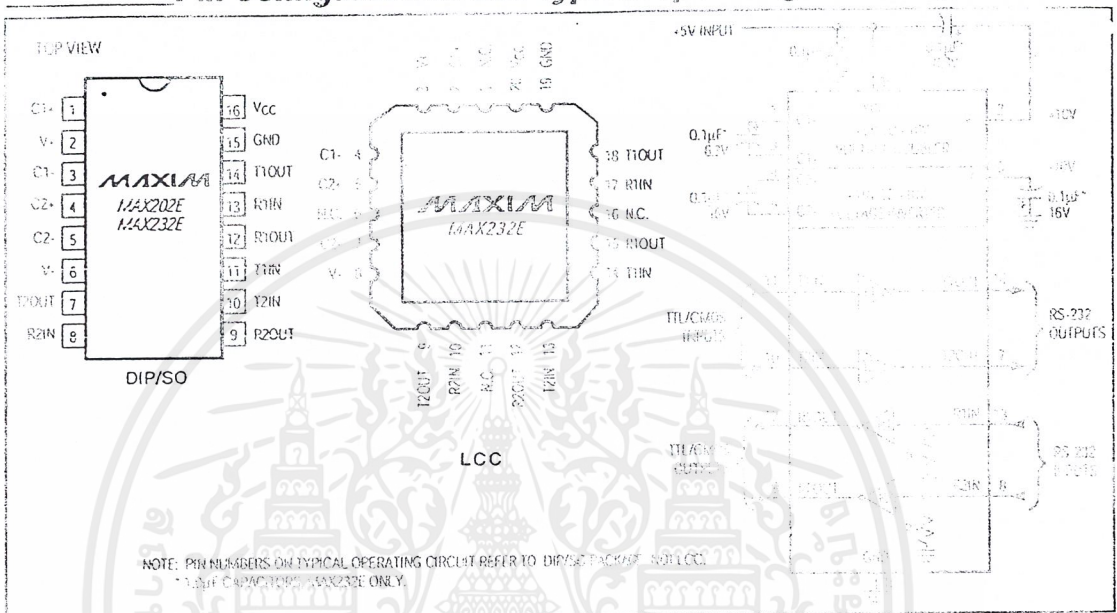
PIN	CONNECTION	
1	Received Line Signal Detector (sometimes called Carrier Detect, DCD)	Handshake from DCE
2	Receive Data (RD)	Data from DCE
3	Transmit Data (TD)	Data from DTE
4	Data Terminal Ready	Handshake from DTE
5	Signal Ground	Reference point for signals
6	Data Set Ready (DSR)	Handshake from DCE
7	Request to Send (RTS)	Handshake from DTE
8	Clear to Send (CTS)	Handshake from DCE
9	Ring Indicator	Handshake from DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Pin Configurations and Typical Operating Circuits (continued)

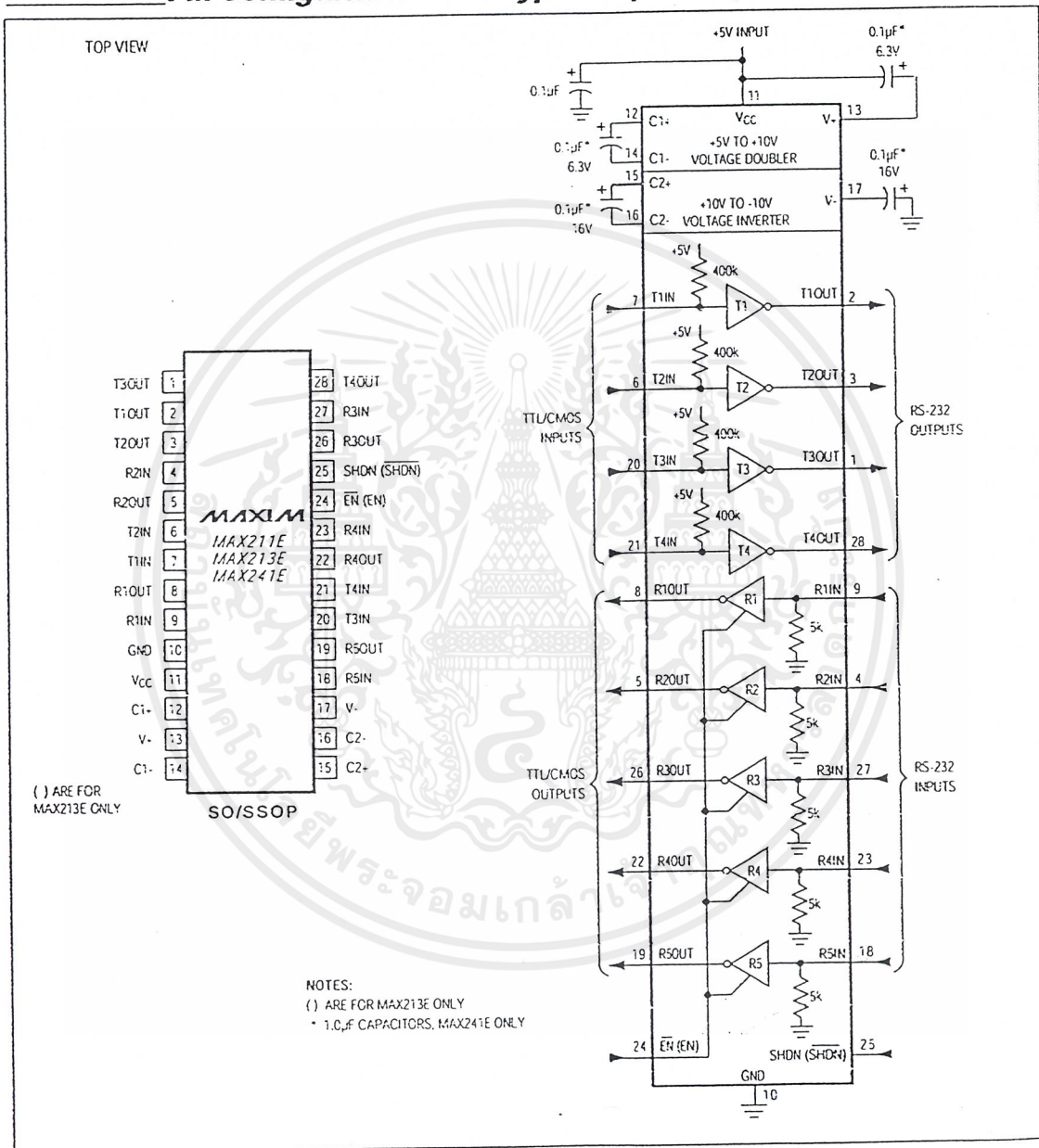


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Pin Configurations and Typical Operating Circuits (continued)

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

Ordering Information (continued)

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX203ECP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP
MAX203ECWP	0°C to +70°C	20 Wide SO
MAX203EEPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP
MAX203EEWP	-40°C to +85°C	20 Wide SO
MAX211ECWI	0°C to +70°C	28 Wide SO
MAX211ECAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX211EC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX211EEWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO
MAX211EEAI	-40°C to +85°C	28 SSOP
MAX213ECWI	0°C to +70°C	28 Wide SO
MAX213ECAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX213EC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX213EEWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO
MAX213EEAI	-40°C to +85°C	28 SSOP
MAX232ECPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX232ECSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX232ECWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX232EC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX232EEPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX232EESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX232EEWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX232EMLP	-55°C to +125°C	20 LCC
MAX232EMJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP
MAX241ECWI	0°C to +70°C	28 Wide SO
MAX241ECAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX241EC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX241EEWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO
MAX241EEAI	-40°C to +85°C	28 SSOP

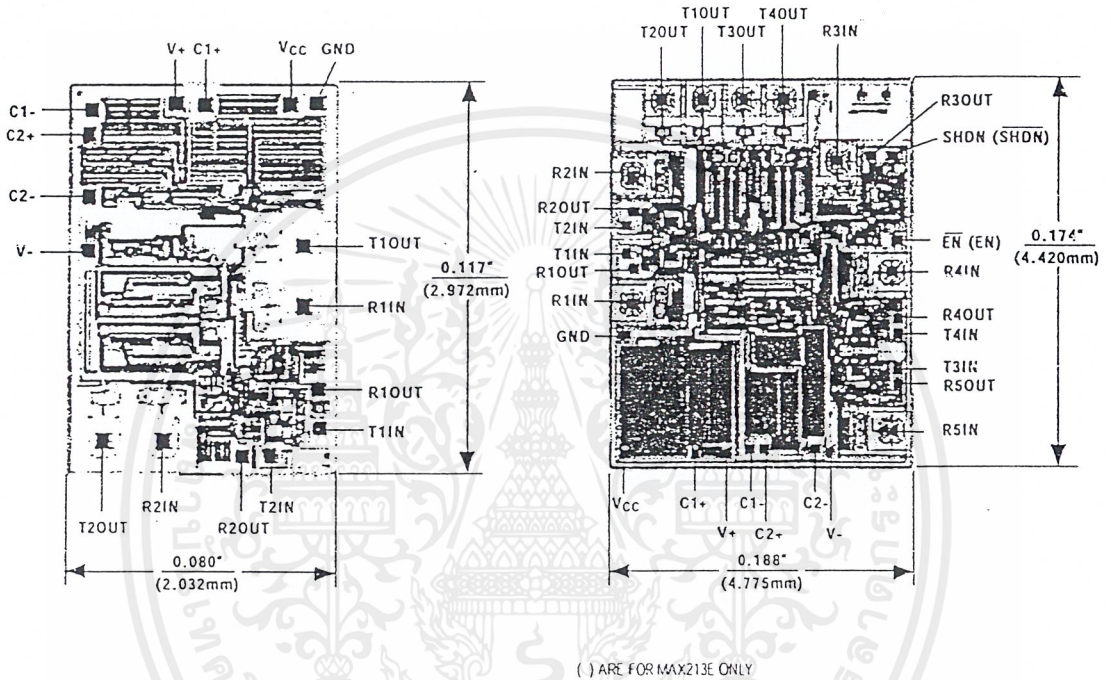
*Dice are specified at $T_A = +25^\circ\text{C}$.

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Chip Topographies

MAX202E/MAX232E

MAX211E/MAX213E/MAX241E



() ARE FOR MAX213E ONLY

TRANSISTOR COUNT: 123
SUBSTRATE CONNECTED TO GND

TRANSISTOR COUNT: 542
SUBSTRATE CONNECTED TO GND

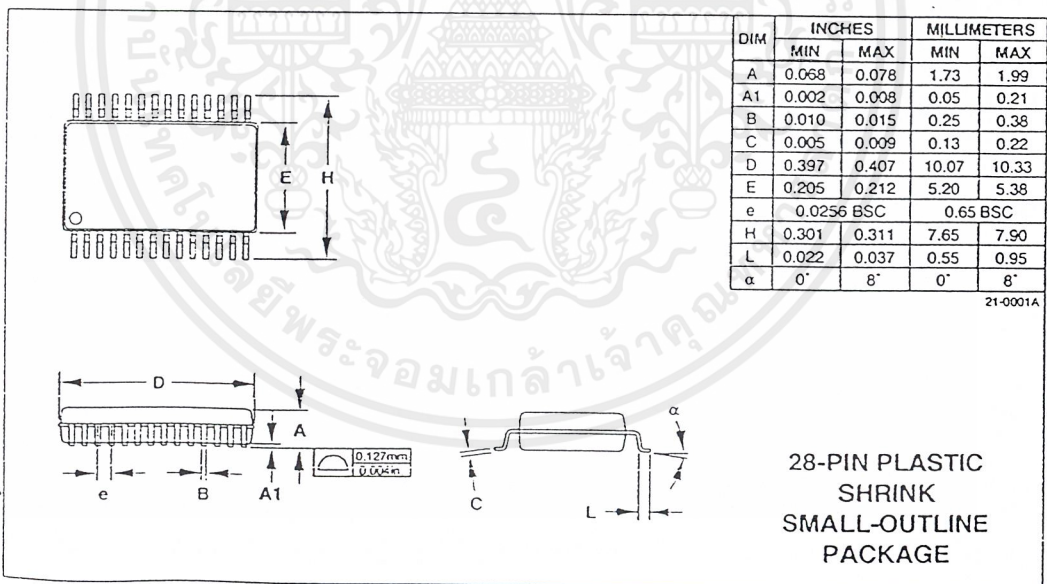
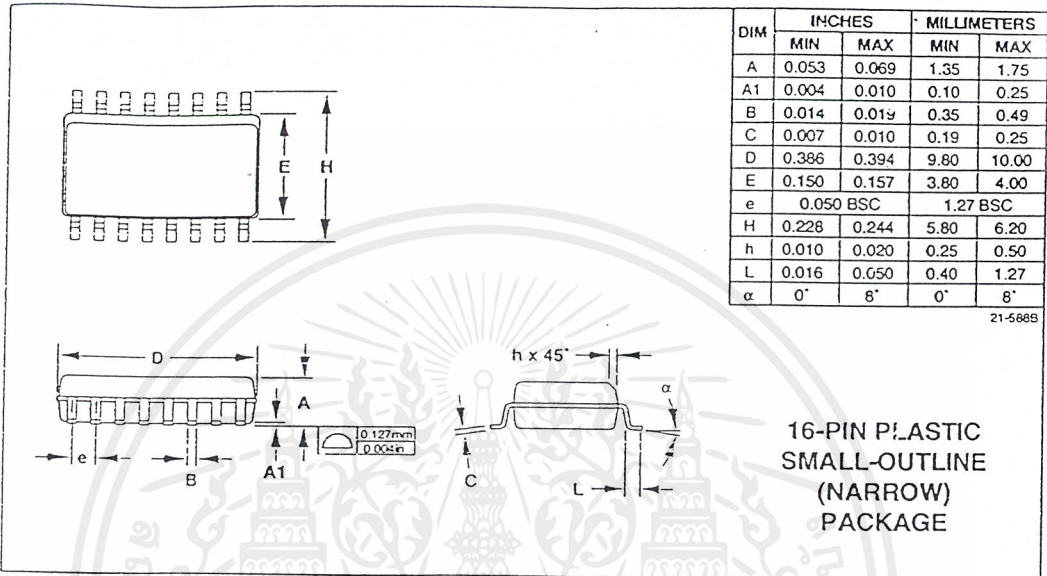
MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E/MAX203E/MAX211E/MAX213E/MAX232E/MAX241E

Package Information



Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

16 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

© 1995 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Wide Frequency Range, 0.01Hz to 300kHz
- Wide Supply Voltage Range, 4.5V to 20V
- HCMOS/TTL/Logic Compatibility
- FSK Demodulation, with Carrier Detection
- Wide Dynamic Range, 10mV to 3V rms
- Adjustable Tracking Range, $\pm 1\%$ to 80%
- Excellent Temp. Stability, $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$, max.

APPLICATIONS

- Caller Identification Delivery
- FSK Demodulation
- Data Synchronization
- Tone Decoding
- FM Detection
- Carrier Detection

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications applications. It is particularly suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20V and a wide frequency range of 0.01Hz to 300kHz. It can accommodate analog signals between 10mV and 3V, and can interface with conventional DTL, TTL, and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a

quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation. External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay. An internal voltage reference proportional to the power supply is provided at an output pin.

The XR-2211 is available in 14 pin packages specified for military and industrial temperature ranges.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2211M	14 Pin CDIP (0.300")	-55°C to +125°C
XR-2211N	14 Pin CDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211P	14 Pin PDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211ID	14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")	-40°C to +85°C

BLOCK DIAGRAM

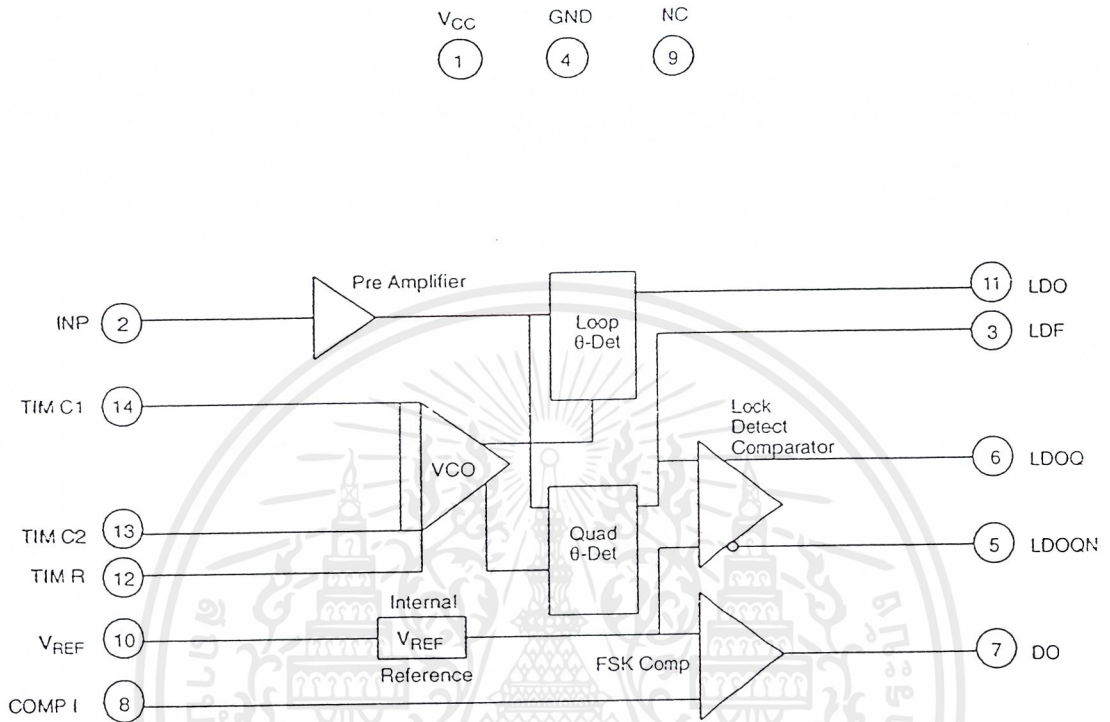
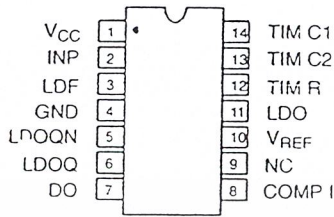
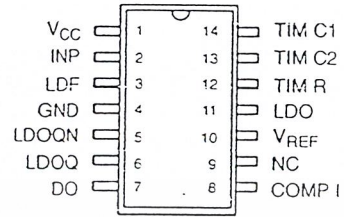


Figure 1. XR-2211 Block Diagram

PIN CONFIGURATION



14 Lead CDIP, PDIP (0.300'')



14 Lead SOIC (Jedec, 0.150'')

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	V _{CC}		Positive Power Supply.
2	INP	I	Receive Analog Input.
3	LDF	O	Lock Detect Filter.
4	GND		Ground Pin.
5	LDOQN	O	Lock Detect Output Not. This output will be low if the VCO is in the capture range.
6	LDOQ	O	Lock Detect Output. This output will be high if the VCO is in the capture range.
7	DO	O	Data Output. Decoded FSK output.
8	COMP I	I	FSK Comparator Input.
9	NC		Not Connected.
10	V _{REF}	O	Internal Voltage Reference. The value of V _{REF} is V _{CC} /2 - 650mV.
11	LDO	O	Loop Detect Output. This output provides the result of the quadrature phase detection.
12	TIM R	I	Timing Resistor Input. This pin connects to the timing resistor of the VCO.
13	TIM C2	I	Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 14.
14	TIM C1	I	Timing Capacitor Input. The timing capacitor connects between this pin and pin 13.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: $V_{CC} = 12V$, $T_A = +25^\circ C$, $R_0 = 30K\Omega$, $C_0 = 0.033\mu F$, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
General					
Supply Voltage	4.5		20	V	
Supply Current		4	7	mA	$R_0 \geq 10K\Omega$. See <i>Figure 4</i> .
Oscillator Section					
Frequency Accuracy		± 1	± 3	%	Deviation from: $f_0 = 1/R_0 C_0$
Frequency Stability					
Temperature		± 20	± 50	ppm/ $^\circ C$	See <i>Figure 8</i> .
Power Supply		0.05	0.5	%V	$V_{CC} = 12 \pm 1V$. See <i>Figure 7</i> .
		0.2		%V	$V_{CC} = \pm 5V$. See <i>Figure 7</i> .
Upper Frequency Limit	100	300		KHz	$R_0 = 8.2K\Omega$, $C_0 = 400pF$
Lowest Practical Operating Frequency			0.01	Hz	$R_0 = 2M\Omega$, $C_0 = 50\mu F$
Timing Resistor, R_0 - See <i>Figure 5</i>					
Operating Range	5		2000	K Ω	
Recommended Range	5			K Ω	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i> .
Loop Phase Detector Section					
Peak Output Current	± 150	± 200	± 300	μA	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		μA	
Output Impedance		1		M Ω	
Maximum Swing	± 4	± 5		V	Referenced to Pin 10
Quadrature Phase Detector					
					Measured at Pin 3
Peak Output Current	100	300		μA	
Output Impedance		1		M Ω	
Maximum Swing		11		V _{PP}	
Input Preampt Section					
					Measured at Pin 2
Input Impedance		20		K Ω	
Input Signal					
Voltage Required to Cause Limiting		2	10	mV rms	

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production.
Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Test Conditions: $V_{CC} = 12V$, $T_A = +25^\circ C$, $R_O = 30K\Omega$, $C_O = 0.033\mu F$, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Voltage Comparator Section					
Input Impedance		2		M Ω	Measured at Pins 3 and 8
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain	55	70		dB	$R_L = 5.1K\Omega$
Output Voltage Low		300	500	mV	$I_C = 3mA$
Output Leakage Current		0.01	10	μA	$V_O = 20V$
Internal Reference					
Voltage Level	4.9	5.3	5.7	V	Measured at Pin 10
Output Impedance		100		Ω	AC Small Signal
Maximum Source Current		80		μA	

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production. Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	20V	Package Power Dissipation Ratings	
Input Signal Level	3V rms	CDIP	750mW
Power Dissipation	900mW	Derate Above $T_A = 25^\circ C$	8mW/ $^\circ C$
		PDIP	800mW
		Derate Above $T_A = 25^\circ C$	60mW/ $^\circ C$
		SOIC	390mW
		Derate Above $T_A = 25^\circ C$	5mW/ $^\circ C$

SYSTEM DESCRIPTION

The main PLL within the XR-2211 is constructed from an input preamplifier, analog multiplier used as a phase detector and a precision voltage controlled oscillator (VCO). The preamplifier is used as a limiter such that input signals above typically 10mV rms are amplified to a constant high level signal. The multiplying-type phase detector acts as a digital exclusive or gate. Its output (unfiltered) produces sum and difference frequencies of the input and the VCO output. The VCO is actually a current controlled oscillator with its normal input current (f_O) set by a resistor (R_O) to ground and its driving current with a resistor (R_1) from the phase detector.

The output of the phase detector produces sum and difference of the input and the VCO frequencies

(internally connected). When in lock, these frequencies are $f_{IN} + f_{VCO}$ (2 times f_{IN} when in lock) and $f_{IN} - f_{VCO}$ (0Hz when lock). By adding a capacitor to the phase detector output, the 2 times f_{IN} component is reduced, leaving a DC voltage that represents the phase difference between the two frequencies. This closes the loop and allows the VCO to track the input frequency.

The FSK comparator is used to determine if the VCO is driven above or below the center frequency (FSK comparator). This will produce both active high and active low outputs to indicate when the main PLL is in lock (quadrature phase detector and lock detector comparator).

PRINCIPLES OF OPERATION

Signal Input (Pin 2): Signal is AC coupled to this terminal. The internal impedance at pin 2 is 20K Ω . Recommended input signal level is in the range of 10mV rms to 3V rms.

Quadrature Phase Detector Output (Pin 3): This is the high impedance output of quadrature phase detector and is internally connected to the input of lock detect voltage comparator. In tone detection applications, pin 3 is connected to ground through a parallel combination of R_D and C_D (see *Figure 3*) to eliminate the chatter at lock detect outputs. If the tone detect section is not used, pin 3 can be left open.

Lock Detect Output, Q (Pin 6): The output at pin 6 is at "low" state when the PLL is out of lock and goes to "high" state when the PLL is locked. It is an open collector type output and requires a pull-up resistor, R_L , to V_{CC} for proper operation. At "low" state, it can sink up to 5mA of load current.

Lock Detect Complement, (Pin 5): The output at pin 5 is the logic complement of the lock detect output at pin 6. This output is also an open collector type stage which can sink 5mA of load current at low or "on" state.

FSK Data Output (Pin 7): This output is an open collector logic stage which requires a pull-up resistor, R_L , to V_{CC} for proper operation. It can sink 5mA of load current. When decoding FSK signals, FSK data output is at "high" or "off" state for low input frequency, and at "low" or "on" state for high input frequency. If no input signal is present, the logic state at pin 7 is indeterminate.

FSK Comparator Input (Pin 8): This is the high impedance input to the FSK voltage comparator. Normally, an FSK post-detection or data filter is connected between this terminal and the PLL phase detector output (pin 11). This data filter is formed by R_F and C_F (see *Figure 3*). The threshold voltage of the comparator is set by the internal reference voltage, V_{REF} , available at pin 10.

Reference Voltage, V_{REF} (Pin 10): This pin is internally biased at the reference voltage level, V_{REF} : $V_{REF} = V_{CC}/2 - 650\text{mV}$. The DC voltage level at this pin forms an internal reference for the voltage levels at pins 5, 8, 11 and 12. Pin

10 must be bypassed to ground with a 0.1 μF capacitor for proper operation of the circuit.

Loop Phase Detector Output (Pin 11): This terminal provides a high impedance output for the loop phase detector. The PLL loop filter is formed by R_1 and C_1 connected to pin 11 (see *Figure 3*). With no input signal, or with no phase error within the PLL, the DC level at pin 11 is very nearly equal to V_{REF} . The peak to peak voltage swing available at the phase detector output is equal to $2 \times V_{REF}$.

VCO Control Input (Pin 12): VCO free-running frequency is determined by external timing resistor, R_0 , connected from this terminal to ground. The VCO free-running frequency, f_0 , is:

$$f_0 = \frac{1}{R_0 \cdot C_0} \text{ Hz}$$

where C_0 is the timing capacitor across pins 13 and 14. For optimum temperature stability, R_0 must be in the range of 10K Ω to 100K Ω (see *Figure 9*).

This terminal is a low impedance point, and is internally biased at a DC level equal to V_{REF} . The maximum timing current drawn from pin 12 must be limited to $\leq 3\text{mA}$ for proper operation of the circuit.

VCO Timing Capacitor (Pins 13 and 14): VCO frequency is inversely proportional to the external timing capacitor, C_0 , connected across these terminals (see *Figure 6*). C_0 must be non-polar, and in the range of 200pF to 10 μF .

VCO Frequency Adjustment: VCO can be fine-tuned by connecting a potentiometer, R_X , in series with R_0 at pin 12 (see *Figure 10*).

VCO Free-Running Frequency, f_0 : XR-2211 does not have a separate VCO output terminal. Instead, the VCO outputs are internally connected to the phase detector sections of the circuit. For set-up or adjustment purposes, the VCO free-running frequency can be tuned by using the generalized circuit in *Figure 3*, and applying an alternating bit pattern of 0's and 1's at the known mark and space frequencies. By adjusting R_0 , the VCO can then be tuned to obtain a 50% duty cycle on the FSK output (pin 7). This will ensure that the VCO f_0 value is accurately referenced to the mark and space frequencies.

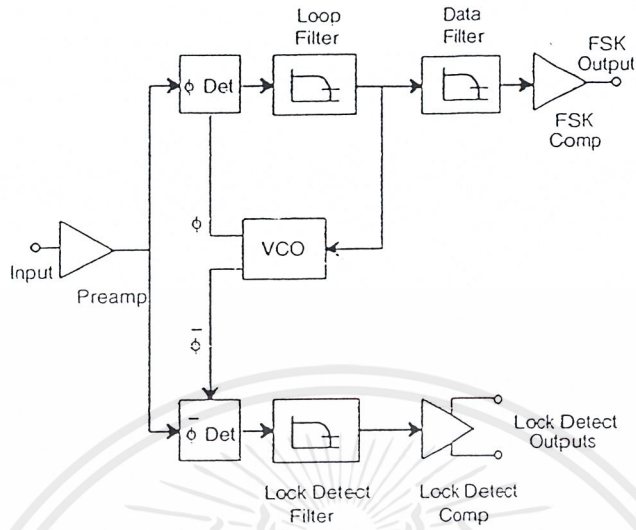


Figure 2. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211

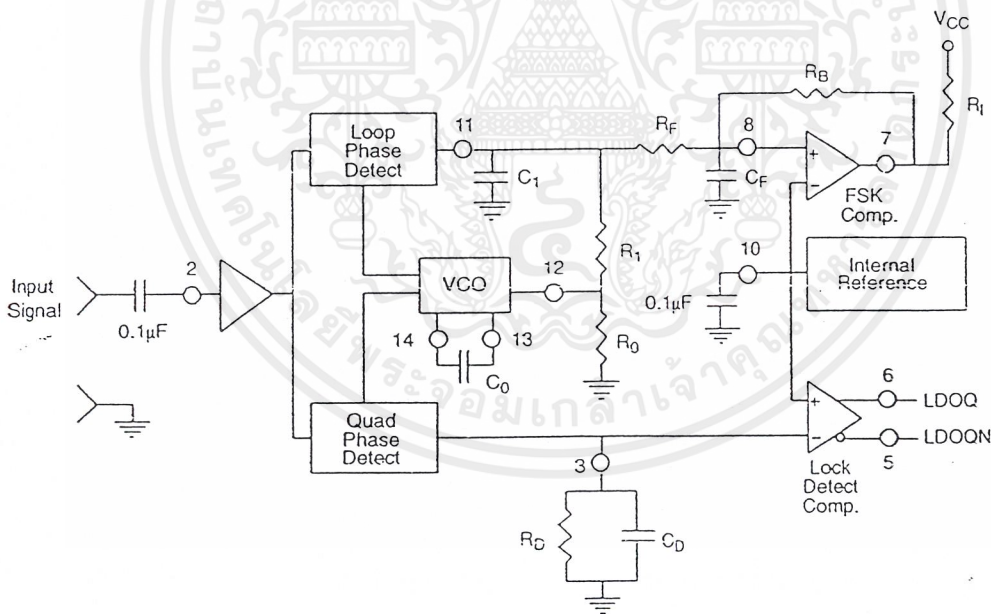


Figure 3. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection

DESIGN EQUATIONS

(All resistance in Ω , all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

(See *Figure 3* for definition of components)

1. VCO Center Frequency, f_o :

$$f_o = \frac{1}{R_o \cdot C_o}$$

2. Internal Reference Voltage, V_{REF} (measured at pin 10):

$$V_{REF} = \left(\frac{V_{CC}}{2} \right) - 650mV \text{ in volts}$$

3. Loop Low-Pass Filter Time Constant, τ :

$$\tau = C_1 \cdot R_{PP} \text{ (seconds)}$$

where:

$$R_{PP} = \left(\frac{R_1 \cdot R_F}{R_1 + R_F} \right)$$

if R_F is ∞ or C_F reactance is ∞ , then $R_{PP} = R_1$

4. Loop Damping, ζ :

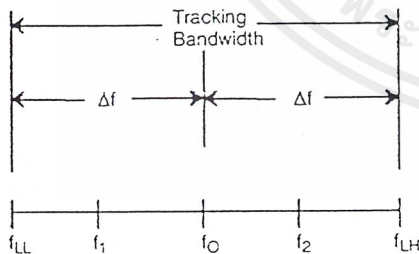
$$\zeta = \sqrt{\left(\frac{1250 \cdot C_o}{R_1 \cdot C_1} \right)}$$

Note: For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.

5. Loop-tracking

bandwidth, $\pm = \frac{\Delta f}{f_o}$

$$\frac{\Delta f}{f_o} = \frac{R_o}{R_1}$$



6. FSK Data filter time constant, τ_F :

$$\tau_F = \frac{R_B \cdot R_F}{(R_B + R_A)} \cdot C_F \text{ (seconds)}$$

7. Loop phase detector conversion gain, K_d : (K_d is the differential DC voltage across pin 10 and pin 11, per unit of phase error at phase detector input):

$$K_d = \frac{V_{REF} \cdot R_1}{10,000 \cdot \pi} \left[\frac{\text{volt}}{\text{radian}} \right]$$

Note: For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.

8. VCO conversion gain, K_o : (K_o is the amount of change in VCO frequency, per unit of DC voltage change at pin 11):

$$K_o = \frac{-2\pi}{V_{REF} \cdot C_o \cdot R_1} = \left(\frac{\text{radian/second}}{\text{volt}} \right)$$

9. The filter transfer function:

$$F(s) = \frac{1}{1 + sR_1 \cdot C_1} \text{ at } 0 \text{ Hz. } \quad S = j\omega \text{ and } \omega = 0$$

10. Total loop gain, K_T :

$$K_T = K_o \cdot K_d \cdot F(s) = \left(\frac{R_F}{5,000 \cdot C_o \cdot (R_1 + R_A)} \right) \left[\frac{1}{\text{seconds}} \right]$$

11. Peak detector current I_A :

$$I_A = \frac{V_{REF}}{20,000} \text{ (} V_{REF} \text{ in volts and } I_A \text{ in amps)}$$

Note: For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.

APPLICATIONS INFORMATION

FSK Decoding

Figure 10 shows the basic circuit connection for FSK decoding. With reference to Figure 3 and Figure 10, the functions of external components are defined as follows: R_0 and C_0 set the PLL center frequency, R_1 sets the system bandwidth, and C_1 sets the loop filter time constant and the loop damping factor. C_F and R_F form a one-pole post-detection filter for the FSK data output. The resistor R_B from pin 7 to pin 8 introduces positive feedback across the FSK comparator to facilitate rapid transition between output logic states.

Design Instructions:

The circuit of Figure 10 can be tailored for any FSK decoding application by the choice of five key circuit components: R_0 , R_1 , C_0 , C_1 and C_F . For a given set of FSK mark and space frequencies, f_0 and f_1 , these parameters can be calculated as follows:

(All resistance in Ω 's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

- a) Calculate PLL center frequency, f_0 :

$$f_0 = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$$

- b) Choose value of timing resistor R_0 , to be in the range of 10K Ω to 100K Ω . This choice is arbitrary. The recommended value is $R_0 = 20K\Omega$. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X .

$$R_o = R_0 + \frac{R_x}{2}$$

- c) Calculate value of C_0 from design equation (1) or from Figure 7.

$$C_o = \frac{1}{R_o \cdot f_0}$$

- d) Calculate R_1 to give the desired tracking bandwidth (See design equation 5).

$$R_1 = \frac{R_o \cdot f_0}{(f_1 - f_2)} \cdot 2$$

- e) Calculate C_1 to set loop damping. (See design equation 4):

Normally, $\zeta = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \zeta^2}$$

- f) The input to the XR-2211 may sometimes be too sensitive to noise conditions on the input line. *Figure 4* illustrates a method of de-sensitizing the XR-2211 from such noisy line conditions by the use of a resistor, R_x , connected from pin 2 to ground. The value of R_x is chosen by the equation and the desired minimum signal threshold level.

$$V_{IN \text{ minimum (peak)}} = V_a - V_b = \Delta V \pm 2.8mV \text{ offset} = V_{REF} \frac{20,000}{(20,000 + R_x)} \text{ or } R_x = 20,000 \left(\frac{V_{REF}}{\Delta V} - 1 \right)$$

V_{IN} minimum (peak) input voltage must exceed this value to be detected (equivalent to adjusting V threshold)

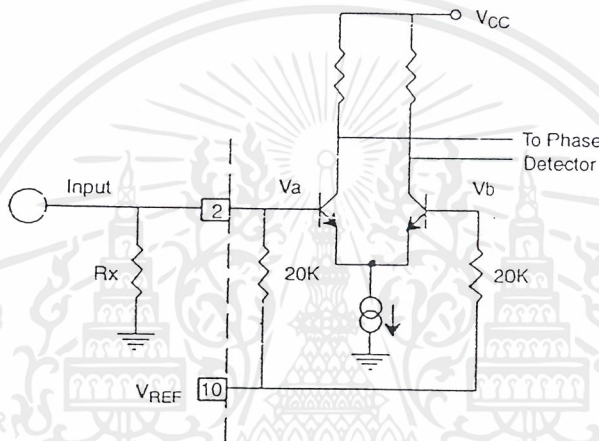


Figure 4. Desensitizing Input Stage

- g) Calculate Data Filter Capacitance, C_F :

$$R_{sum} = \frac{(R_F + R_1) \cdot R_B}{(R_1 + R_F + R_B)}$$

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{sum} \cdot \text{Baud Rate})} \quad \text{Baud rate in } \frac{1}{\text{seconds}}$$

Note: All values except R_0 can be rounded to nearest standard value.

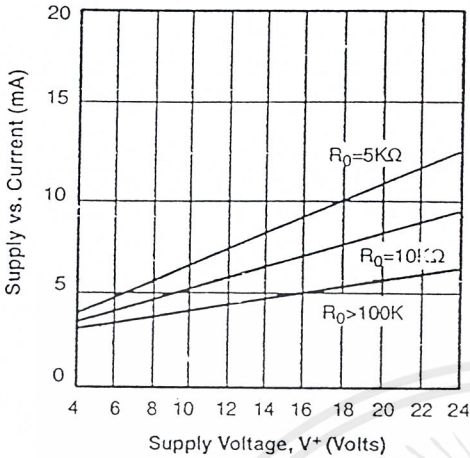


Figure 5. Typical Supply Current vs. V_+ (Logic Outputs Open Circuited)

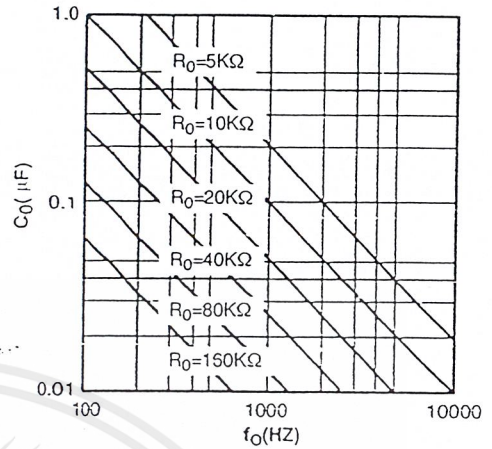


Figure 6. VCO Frequency vs. Timing Resistor

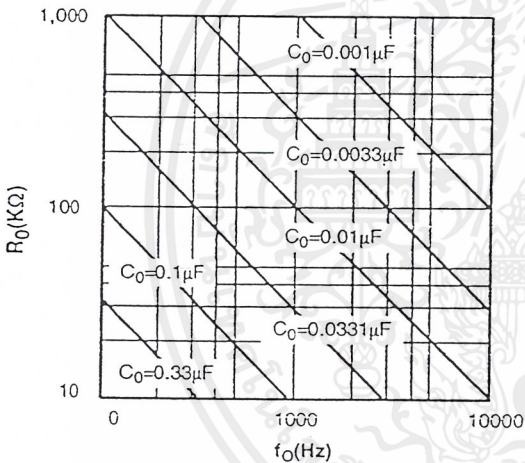


Figure 7. VCO Frequency vs. Timing Capacitor

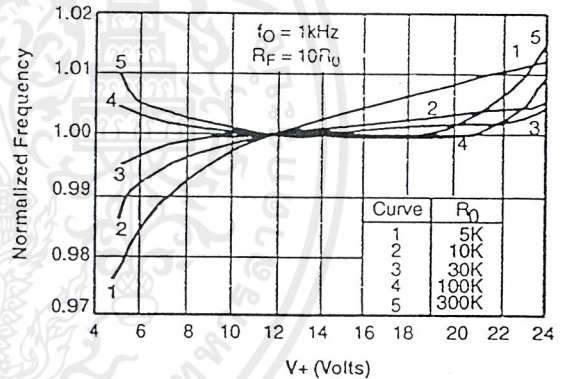


Figure 8. Typical f_0 vs. Power Supply Characteristics

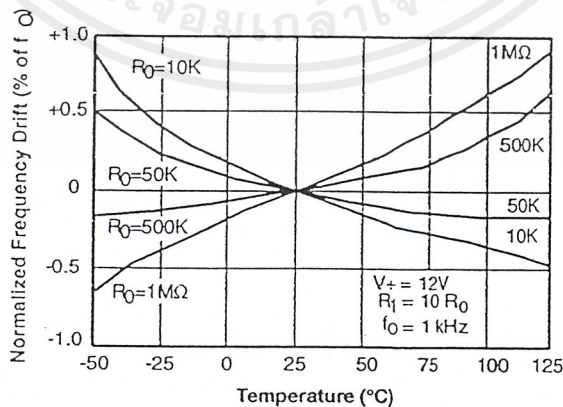


Figure 9. Typical Center Frequency Drift vs. Temperature

Design Example:

1200 Baud FSK demodulator with mark and space frequencies of 1200/2200.

Step 1: Calculate f_0 : from design instructions

$$(a) f_0 = \sqrt{1200 \cdot 2200} = 1624$$

Step 2: Calculate R_0 : $R_0 = 10K$ with a potentiometer of 10K. (See design instructions (b))

$$(b) R_T = 10 + \left(\frac{10}{2}\right) = 15K$$

Step 3: Calculate C_0 from design instructions

$$(c) C_0 = \frac{1}{15000 \cdot 1624} = 39nF$$

Step 4: Calculate R_1 : from design instructions

$$(d) R_1 = \frac{20000 \cdot 1624 \cdot 2}{(2200 - 1200)} = 51,000$$

Step 5: Calculate C_1 : from design instructions

$$(e) C_1 = \frac{1250 \cdot 39nF}{51000 \cdot 0.5^2} = 3.9nF$$

Step 6: Calculate R_F : R_F should be at least five times R_1 , $R_F = 51,000 \cdot 5 = 255 K\Omega$

Step 7: Calculate R_B : R_B should be at least five times R_F , $R_B = 255,000 \cdot 5 = 1.2 M\Omega$

Step 8: Calculate R_{SUM} :

$$R_{SUM} = \frac{(R_F \div R_1) \cdot R_B}{(R_F + R_1 + R_B)} = 240K\Omega$$

Step 9: Calculate C_F :

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{SUM} \text{ Baud Rate})} = 1nF$$

Note: All values except R_0 can be rounded to nearest standard value.

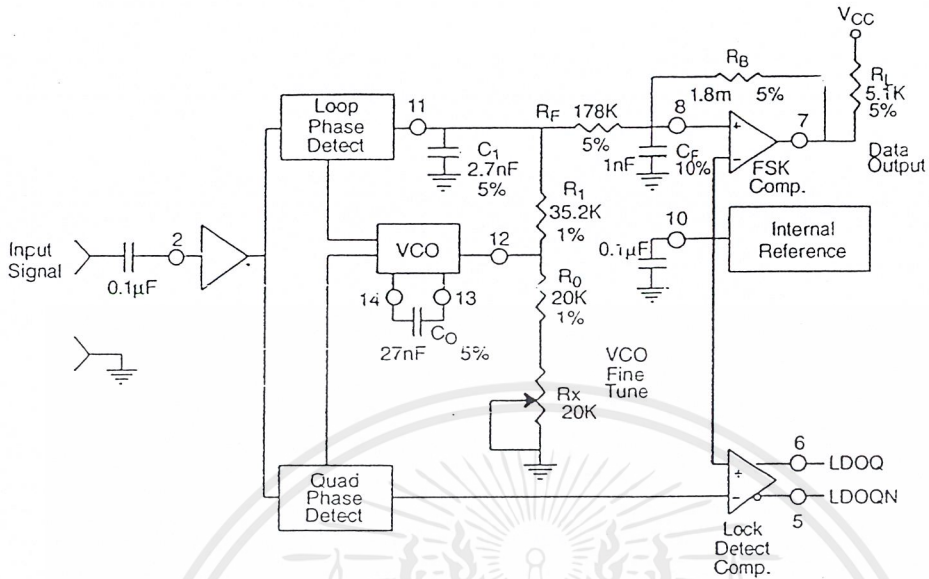


Figure 10. Circuit Connection for FSK Decoding of Caller Identification Signals (Bell 202 Format)

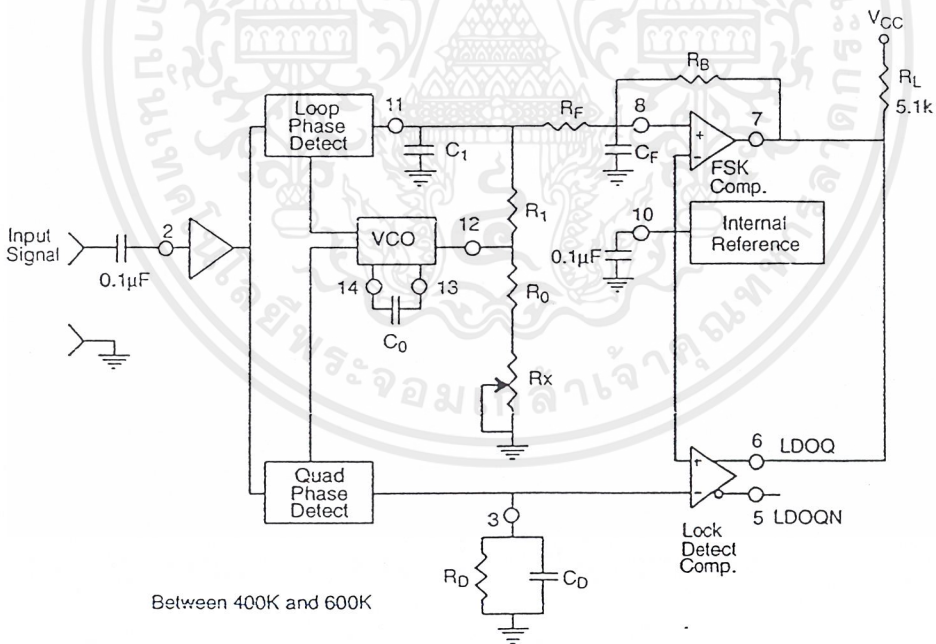


Figure 11. External Connectors for FSK Demodulation with Carrier Detect Capability

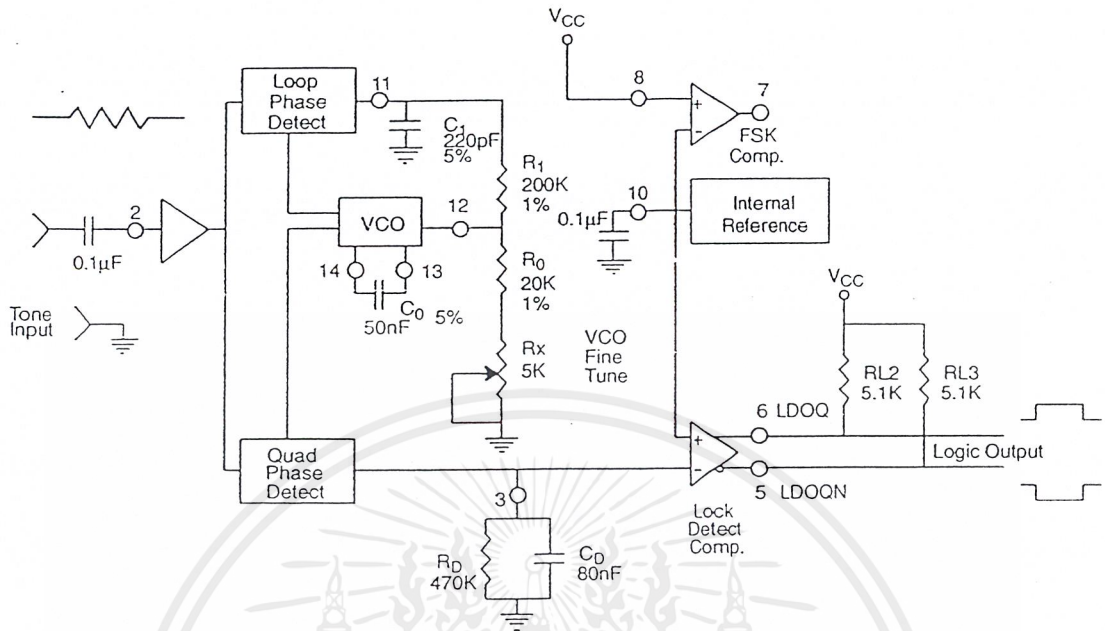


Figure 12. Circuit Connection for Tone Detection

FSK Decoding with Carrier Detect

The lock detect section of XR-2211 can be used as a carrier detect option for FSK decoding. The recommended circuit connection for this application is shown in Figure 11. The open collector lock detect output, pin 6, is shorted to data output (pin 7). Thus, data output will be disabled at “low” state, until there is a carrier within the detection band of the PLL and the pin 6 output goes “high” to enable the data output.

Note: Data Output is “Low” When No Carrier is Present.

The minimum value of the lock detect filter capacitance CD is inversely proportional to the capture range, ±Δfc. This is the range of incoming frequencies over which the loop can acquire lock and is always less than the tracking range. It is further limited by C1. For most applications, Δfc > Δf/2. For RD = 470KΩ, the approximate minimum value of CD can be determined by:

$$C_D > \frac{16}{\Delta f} \quad C \text{ in } \mu\text{F} \text{ and } f \text{ in Hz.}$$

C in µF and f in Hz.

With values of CD that are too small, chatter can be observed on the lock detect output as an incoming signal

frequency approaches the capture bandwidth. Excessively large values of CD will slow the response time of the lock detect output. For Caller I.D. applications choose CD = 0.1µF.

Tone Detection

Figure 12 shows the generalized circuit connection for tone detection. The logic outputs, LDOQN and LDOQ at pins 5 and 6 are normally at “high” and “low” logic states, respectively. When a tone is present within the detection band of the PLL, the logic state at these outputs become reversed for the duration of the input tone. Each logic output can sink 5mA of load current.

Both outputs at pins 5 and 6 are open collector type stages, and require external pull-up resistors RL2 and RL3, as shown in Figure 12.

With reference to Figure 3 and Figure 12, the functions of the external circuit components can be explained as follows: R0 and C0 set VCO center frequency; R1 sets the detection bandwidth; C1 sets the low pass-loop filter time constant and the loop damping factor.

Design Instructions:

The circuit of *Figure 12* can be optimized for any tone detection application by the choice of the 5 key circuit components: R_0 , R_1 , C_0 , C_1 and C_D . For a given input, the tone frequency, f_S , these parameters are calculated as follows:

(All resistance in Ω 's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

- Choose value of timing resistor R_0 to be in the range of 10K Ω to 50K Ω . This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20\text{K}\Omega$. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X .
- Calculate value of C_0 from design equation (1) or from *Figure 7* $f_S = f_0$:

$$C_0 = \frac{1}{R_0 \cdot f_S}$$

- Calculate R_1 to set the bandwidth $\pm \Delta f$ (See design equation 5):

$$R_1 = \frac{R_c \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f}$$

Note: The total detection bandwidth covers the frequency range of $f_0 \pm \Delta f$

- Calculate value of C_1 for a given loop damping factor:

Normally, $\zeta = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \zeta^2}$$

Increasing C_1 improves the out-of-band signal rejection, but increases the PLL capture time.

- Calculate value of the filter capacitor C_D . To avoid chatter at the logic output, with $R_D = 470\text{K}\Omega$, C_D must be:

$$C_D > \frac{16}{\Delta f} \quad C \text{ in } \mu\text{F}$$

Increasing C_D slows down the logic output response time.

Design Examples:

Tone detector with a detection band of $\pm 100\text{Hz}$:

- Choose value of timing resistor R_0 to be in the range of 10K Ω to 50K Ω . This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20\text{K}\Omega$. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X .
- Calculate value of C_0 from design equation (1) or from *Figure 6* $f_S = f_0$:

$$C_0 = \frac{1}{R_0 \cdot f_S} = \frac{1}{20,000 \cdot 1,000} = 50\text{nF}$$

c) Calculate R_1 to set the bandwidth $\pm\Delta f$ (See design equation 5):

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f} = \frac{20,000 \cdot 1,000 \cdot 2}{100} = 400K$$

Note: The total detection bandwidth covers the frequency range of $f_0 \pm \Delta f$

d) Calculate value of C_0 for a given loop damping factor:

Normally, $\zeta = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \zeta^2} = \frac{1250 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{400,000 \cdot 0.5^2} = 6.25pF$$

Increasing C_1 improves the out-of-band signal rejection, but increases the PLL capture time.

e) Calculate value of the filter capacitor C_D . To avoid chatter at the logic output, with $R_D = 470K\Omega$, C_D must be:

$$C_D = \frac{16}{\Delta f} \geq \frac{16}{200} \geq 80nF$$

increasing C_D slows down the logic output response time.

f) Fine tune center frequency with $5K\Omega$ potentiometer, R_X .

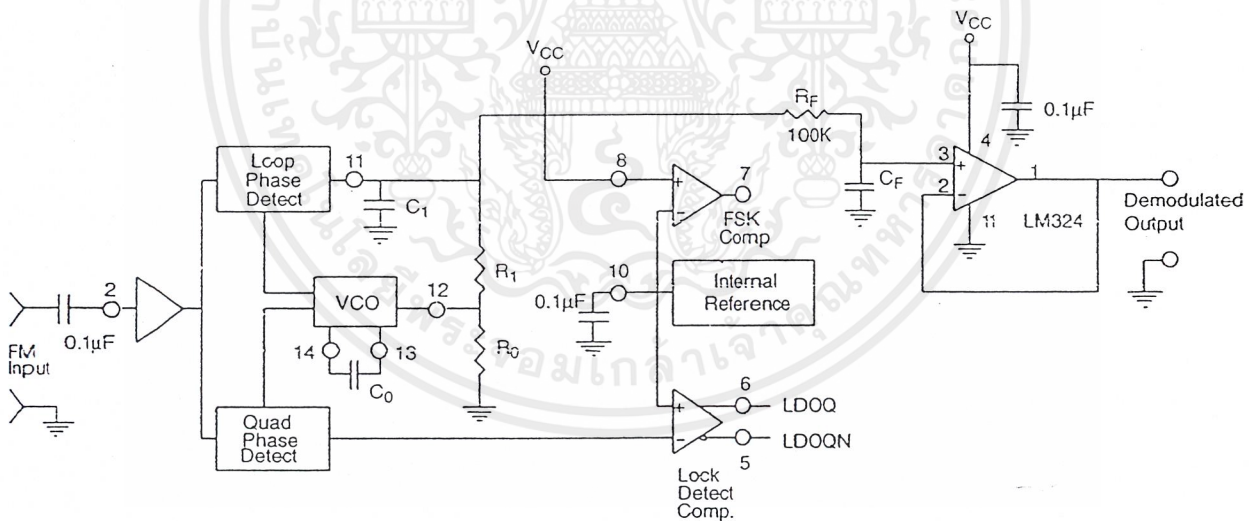


Figure 13. Linear FM Detector Using XR-2211 and an External Op Amp.
(See Section on Design Equation for Component Values.)

Linear FM Detection

XR-2211 can be used as a linear FM detector for a wide range of analog communications and telemetry applications. The recommended circuit connection for this application is shown in *Figure 13*. The demodulated output is taken from the loop phase detector output (pin 11), through a post-detection filter made up of R_F and C_F and an external buffer amplifier. This buffer amplifier is necessary because of the high impedance output at pin 11. Normally, a non-inverting unity gain op amp can be used as a buffer amplifier, as shown in *Figure 13*.

The FM detector gain, i.e., the output voltage change per unit of FM deviation can be given as:

$$V_{CUT} = \frac{R_1 \cdot V_{REF}}{100 \cdot R_0}$$

where V_R is the internal reference voltage ($V_{REF} = V_{CC}/2 - 650mV$). For the choice of external components R_1 , R_0 , C_D , C_1 and C_F see the section on design equations.

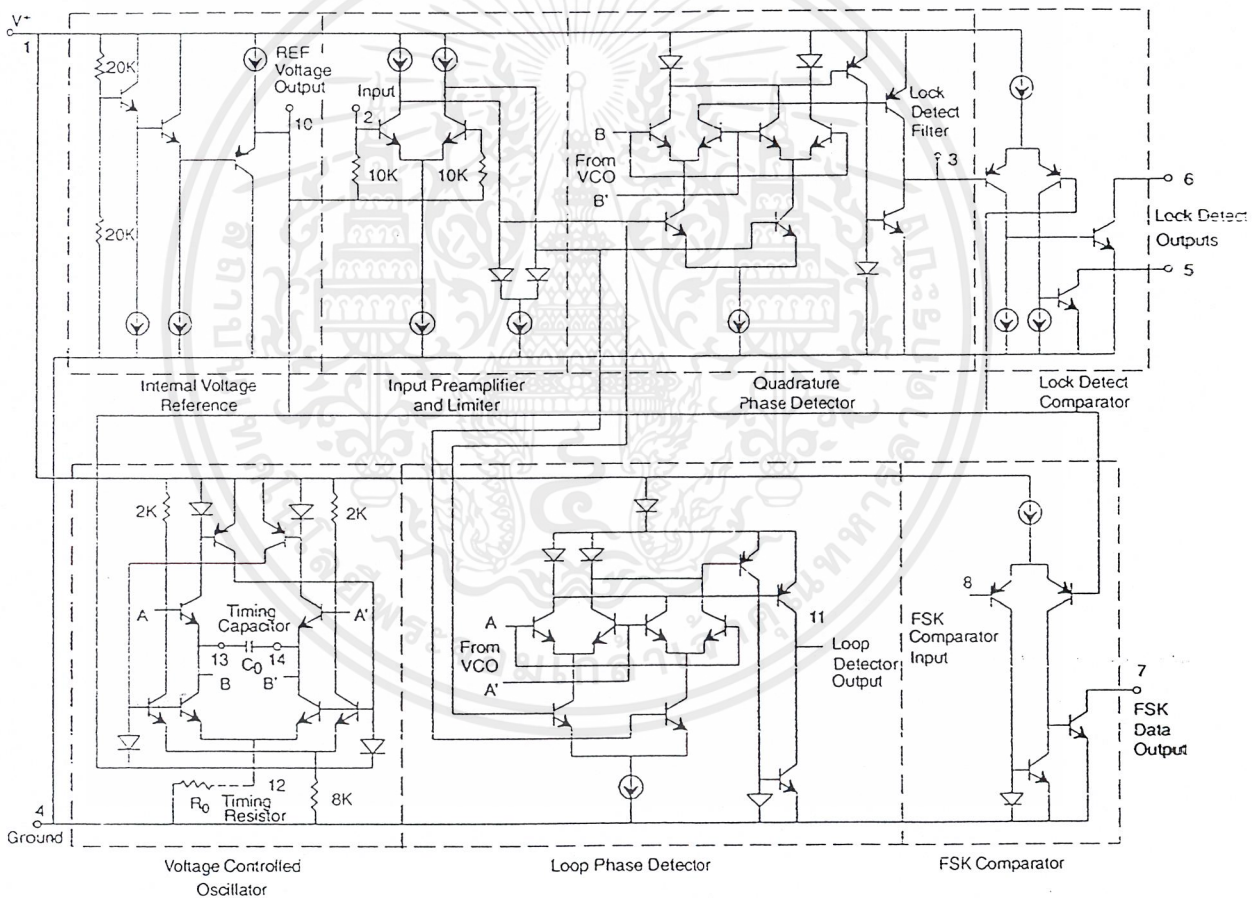
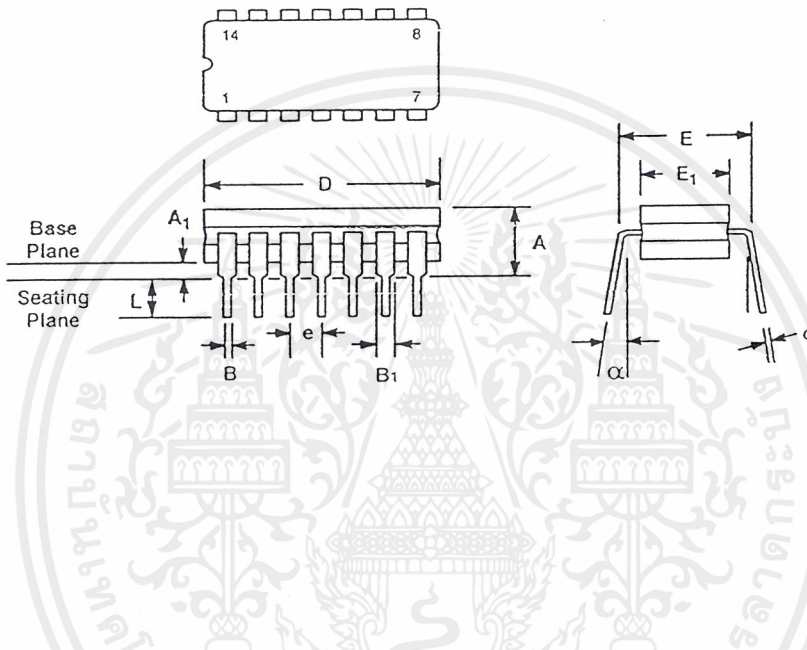


Figure 14. Equivalent Schematic Diagram

14 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL CDIP)

Rev. 1.00

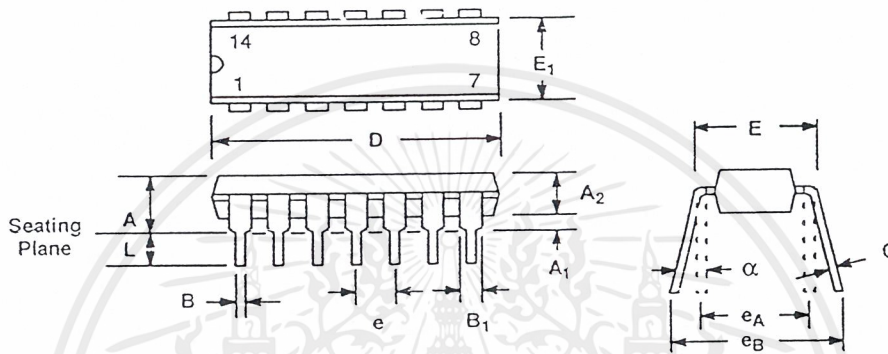


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.685	0.785	17.40	19.94
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

14 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL PDIP)

Rev. 1.00

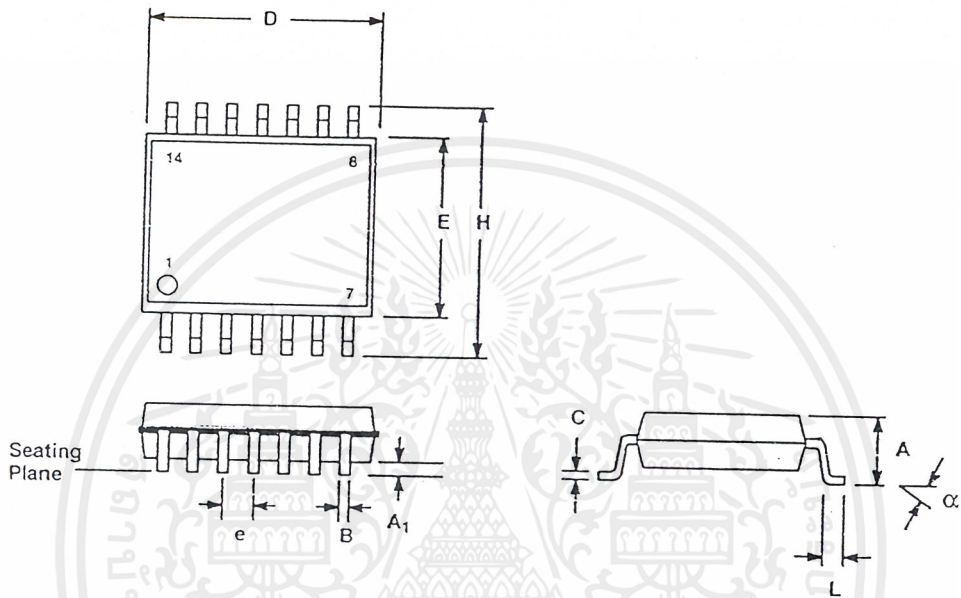


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.725	0.795	18.42	20.19
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300 BSC		7.62 BSC	
e _B	0.310	0.430	7.87	10.92
L	0.115	0.160	2.92	4.06
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

14 LEAD SMALL OUTLINE
(150 MIL JEDEC SOIC)

Rev. 1.00



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A ₁	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.013	0.020	0.33	0.51
C	0.007	0.010	0.19	0.25
D	0.337	0.344	8.55	8.75
E	0.150	0.157	3.80	4.00
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.228	0.244	5.80	6.20
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เพราะความตั้งใจจริงของพวกเราทุกคน และการให้คำปรึกษาของบุคคลต่างๆ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ , อาจารย์เชื้อ นกอยู่ และพี่ๆ บัณฑิตทุกท่านในห้องโปรเจก สำหรับคำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ รวมถึงเพื่อนๆ ที่ได้เป็นกำลังใจในการทำงานโครงการนี้จนสำเร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์, พื้นฐานการสื่อสาร, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์ครั้งที่ 4

ไพโรจน์ ไววานิช, กมล เขมะรังษิ, เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย, บริษัท ซีเอ็ค-
ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

ปิยรัตน์ ม่วงพานิช, สุวิทย์ แร่ทอง, รดสำรวจติดกล้องวิดีโอความคมโดยคอมพิวเตอร์
ปริญญาานิพนธ์ ปี 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้