

รถตรวจการณ์

OBSERVATION CAR



โดย

นายปิยพงศ์ ลิ้มโนคุณ

นายอรรจน์ ทองแสงจันทร์

เลขหนังสือ.....
เลขทะเบียน.....42144
วัน, เดือน, ปี 14 พ.ค. 2545

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

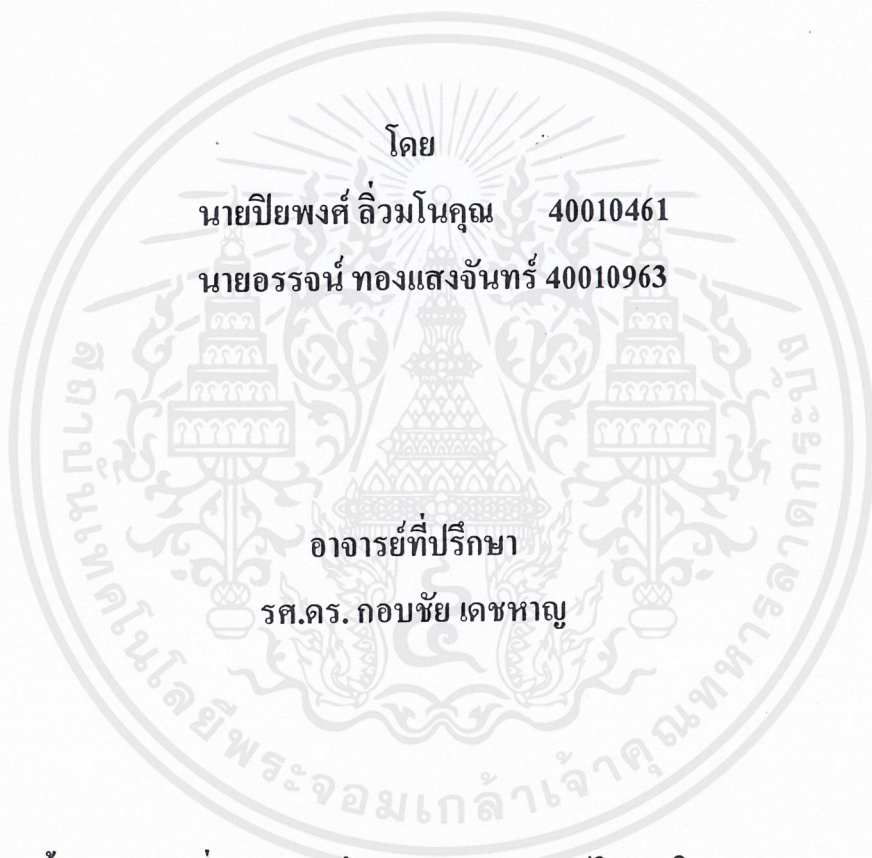
ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

รถตรวจการณ์
OBSERVATION CAR



โดย
นายปิยพงศ์ ลิ้มโนคุณ 40010461
นายอรรจน์ ทองแสงจันทร์ 40010963

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถตรวจการณ์

OBSERVATION CAR

ผู้จัดทำ

1. นายปิยพงศ์ ลิ้มโนคุณ 40010461
2. นายอรรจน์ ทองแสงจันทร์ 40010963

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถตรวจการณ์

OBSERVATION CAR

โดย นายปิยพงศ์ ลิ้มโนคุณ 40010461

นายอรรจน์ ทองแสงจันทร์ 40010963

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เฉลยหาญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอ รถขนาดเล็กติดกล้องวิดีโอ ควบคุมการขับเคลื่อนของรถจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้รถเข้าไปตรวจการณ์บริเวณที่ต้องการ สามารถปรับมุมเงยของกล้องได้ สัญญาณภาพที่ได้ถูกส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์ สามารถบันทึกภาพให้อยู่ในรูปของไฟล์ เพื่อประโยชน์ในการนำภาพกลับมาใช้ภายหลัง สัญญาณที่ใช้ควบคุมรถและส่งสัญญาณภาพใช้คลื่นวิทยุ

ABSTRACT

This project presents an attached video camera to a small car. This car is controlled by computer to observe the desired area. The camera elevation angle is also controlled by computer. The video signal is sent to computer, it can be saved to be the files for next using. The RF signal is used for controlling and video signal sending.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 มาตรฐาน RS-232-C	2
2.1.1 สัญญาณที่ใช้ใน RS-232	2
2.1.2 สัญญาณทางไฟฟ้าของ RS-232-C	3
2.2 Frequency Shift Keying (FSK)	4
2.3 การมอดูเลชันทางมุม (Angle Modulation)	6
2.3.1 การมอดูเลชันทางความถี่ (Frequency Modulation)	6
2.3.2 การมอดูเลชันทางเฟส (Phase Modulation)	7
2.3.3 ความถี่ข้างเคียงและดัชนีการมอดูเลชัน	8
2.4 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitter)	9
2.5 เครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Receiver)	10
2.6 สเต็ปป์มอเตอร์	11
2.6.1 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดมัลติสแต็กวารีเอเบิลรีลักแตนซ์ (Multi-stack Variable-reluctance Stepping Motors)	12
2.6.2 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดซิงเกิลสแต็กวารีเอเบิลรีลักแตนซ์ (Single-stack Variable-reluctance Stepping Motors)	13
2.6.3 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด (Hybrid Stepping Motors)	14
2.6.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์	16
2.6.5 การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single Phase Excitation)	16
2.6.6 การกระตุ้นแบบสองเฟส (Two Phase Excitation)	16
2.6.7 การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half Step Operation)	17
2.6.8 การเกิดออสซิลเลตของสเต็ปป์มอเตอร์	17
2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)	18
2.7.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	18
2.7.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	20
2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วที่สถานะคงตัว (Steady State Speed Torque Relation)	21
2.8 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์	22
2.9 หลักการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงโทรทัศน์	23
2.9.1 หลักการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 หลักการส่งสัญญาณเสียงโทรศัพท์	25
2.10 หลักการรับสัญญาณโทรศัพท์	26
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	27
3.1 หลักการออกแบบ	27
3.2 ไอซีแปลงระดับแรงดัน	28
3.3 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	28
3.4 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	28
3.5 วงจรขับสเต็ปป์มอดูเลเตอร์	32
3.6 วงจรปริ้มิก (Pre Mic)	33
3.7 วงจรขับมอดูเลเตอร์กระแสตรง	33
3.8 การโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.9 ซอฟต์แวร์ในการส่งสัญญาณควบคุมและแสดงผล	37
3.10 การออกแบบตัวตรวจการณ	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 วงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL	43
4.2 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	44
4.3 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	47
4.4 การทดลองรับส่งสัญญาณผ่านเครื่องรับส่งวิทยุ	48
4.5 วงจรขับสเต็ปป์มอดูเลเตอร์	50
4.6 วงจรขับมอดูเลเตอร์กระแสตรง	50
4.7 วงจรปริ้มิก	53
4.8 การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	54
4.9 ส่วนของการส่งและรับสัญญาณภาพ	56
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	58
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการใช้ RS-232-C เชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE กับ DCE	2
รูปที่ 2.2 แสดงหลักการมอดูเลตแบบ FSK	4
รูปที่ 2.3 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน Bell 103 Full Duplex	5
รูปที่ 2.4 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน CCITT V.21	5
รูปที่ 2.5 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน Bell 202 Half Duplex	6
รูปที่ 2.6 แสดงแถบความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม	8
รูปที่ 2.7 แสดงสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์แบบ 3 สเตก	12
รูปที่ 2.8 แสดงภาพตัดขวางของแต่ละสเตกในแนวตั้งฉากกับเพลลาของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์แบบสามเฟส	13
รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดซิงเกิลวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ เมื่อกระตุ้นที่เฟส A	14
รูปที่ 2.10 แสดงภาพตัดขวางตามแนวแกนเพลลาของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด	14
รูปที่ 2.11 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริดระนาบ X และ Y	15
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	18
รูปที่ 2.13 แสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	20
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรสมมูลย์ที่สถานะคงตัวของอาร์เมเจอร์	21
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	22
รูปที่ 2.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการส่งโทรททัศน์	24
รูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการรับสัญญาณโทรททัศน์	26
รูปที่ 3.1 แสดงการส่งสัญญาณควบคุมรถ	27
รูปที่ 3.2 แสดงการรับสัญญาณควบคุมรถ	27
รูปที่ 3.3 แสดงไอซี MAX 232	28
รูปที่ 3.4 แสดงการต่อใช้งานไอซี XR 2206 เป็นเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	29
รูปที่ 3.5 แสดงการต่อใช้งานไอซี XR 2211 เป็นเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์	30
รูปที่ 3.6 แสดงการป้อนกระแสให้กับสเต็ปป์มอเตอร์	32
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์	32
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรปริ้นท์	33
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	34
รูปที่ 3.10 แสดงแผนภูมิการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1	35
รูปที่ 3.11 แสดงแผนภูมิการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2	36
รูปที่ 3.12 (a) แสดงหน้าต่างแรกของโปรแกรมวิซวลเบสิก	37
รูปที่ 3.12 (b) แสดงหน้าต่างควบคุมและรับสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 (c) แสดงหน้าต่างภาพวิดีโอเก่า	39
รูปที่ 3.12 (d) แสดงหน้าต่างภาพจากไฟล์ BMP	40
รูปที่ 3.12 (e) แสดงหน้าต่างวิธีใช้โปรแกรมควบคุมรถตรวจการณ	40
รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายของรถตรวจการณเมื่อประกอบเสร็จแล้ว	41
รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่ายการจัควางอุปกรณ์ภายในรถตรวจการณ	42
รูปที่ 4.1 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL	43
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL	44
รูปที่ 4.3 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์	45
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟ 5 V	45
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟ 0 V	46
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมแรงดัน TTL	46
รูปที่ 4.7 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์	47
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองของวงจรเอพเอสเคมอดูเลเตอร์	48
รูปที่ 4.9 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบเครื่องรับส่งวิทยุย่านความถี่ 145 MHz	49
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองเมื่อรับ-ส่งสัญญาณเอพเอสเคมอดูเลเตอร์ผ่านเครื่องรับส่งวิทยุ	49
รูปที่ 4.11 แสดงการต่อวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	51
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่พอร์ต 2.0 และ 2.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	52
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณจากพอร์ต 2.1 เทียบกับสัญญาณที่จุด V_1	52
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรปริโมคเมื่อป้อนอินพุตเป็นเสียงกริ่งโทรศัพท์	54
รูปที่ 4.15 แสดงเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็นอินพุต 1 ของวงจรขับมอเตอร์ตัว ทางซ้ายและขวาเมื่อได้รับคำสั่งเดินหน้า	55
รูปที่ 4.16 แสดงเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็นอินพุต 1 ของวงจรขับมอเตอร์ตัว ทางซ้ายและขวาเมื่อได้รับคำสั่งถอย	56
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณภาพจากกล้องซีซีดีเมื่อส่งผ่านเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ และรับด้วย การ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความถี่ที่ใช้ใน CCITT V.23 โหมด 1 และโหมด 2	6
ตารางที่ 2.2 แสดงแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและสัญญาณไซด์แบนด์ตามค่าดัชนีการมอดูเลชัน คำนวณตามฟังก์ชันเบสเชลล์	9
ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสไฟฟ้ากับทิศทางสนามแม่เหล็ก	15
ตารางที่ 2.4 แสดงการกระตุ้นขดลวดแบบเฟสเดียว	16
ตารางที่ 2.5 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแบบสองเฟส	16
ตารางที่ 2.6 แสดงการกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งสเต็ป	16



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว จึงมีการนำเครื่องจักรมาใช้ในการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ในงานต่างๆ มากมาย ทั้งงานที่ต้องการความรวดเร็ว เช่น ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ความแม่นยำ เช่น งานกลึงโลหะ งานที่ต้องใช้กำลังมาก งานที่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทำงาน เช่น ต้องสัมผัสกับสารเคมี เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพของตัวเครื่องจักร และการควบคุม ทั้งในด้านการติดต่อ วิธีการควบคุมรวมถึงความสามารถในการทำงาน เพื่อที่จะทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานแทนมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการนี้นำเสนอตรวจสอบการ จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอซึ่งทำงานแทนมนุษย์ ในด้านการสังเกตการณ์ ข้อดีคือไม่มีข้อจำกัดเหมือนคน ก็คือความเหนื่อยล้า และต้องการการพักผ่อน ได้เปรียบกว่าการใช้กล้องวิดีโอซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ ซึ่งจำเป็นต้องติดตั้งหลายตำแหน่ง ในกรณีที่ต้องสังเกตการณ์ในบริเวณกว้าง ดังนั้นในโครงการนี้จะนำกล้องวิดีโอ ติดตั้งบนรถ ควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปไปบริเวณที่ต้องการ เช่น ในศูนย์การค้า ในโกดังเก็บของ นอกจากนี้ยังสามารถปรับมุมมองได้ เพื่อเพิ่มโอกาสในการสังเกตการณ์มากขึ้น ผู้ที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์เพียงแต่ควบคุมการทำงานของรถ และกล้องจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการติดต่อกับตัวรถและสัญญาณภาพที่ส่งมานั้นเป็นการสื่อสารไร้สายโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ทำให้มีความคล่องตัว

ส่วนประกอบของโครงการนี้ แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการควบคุม และส่วนของรถ ในส่วนการควบคุมนั้นประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้ในการควบคุมรถ และตัวกล้อง ส่วนรับสัญญาณภาพ และส่วนส่งสัญญาณควบคุมผ่านเครื่องส่งวิทยุ ในส่วนของตัวรถนั้นประกอบด้วย ส่วนรับสัญญาณควบคุม ส่วนคอนโทรลเลอร์ใช้ควบคุมการทำงานทั้งกล้องและการขับเคลื่อน อุปกรณ์ส่งสัญญาณภาพ ส่วนการขับเคลื่อนรถและปรับมุมมอง

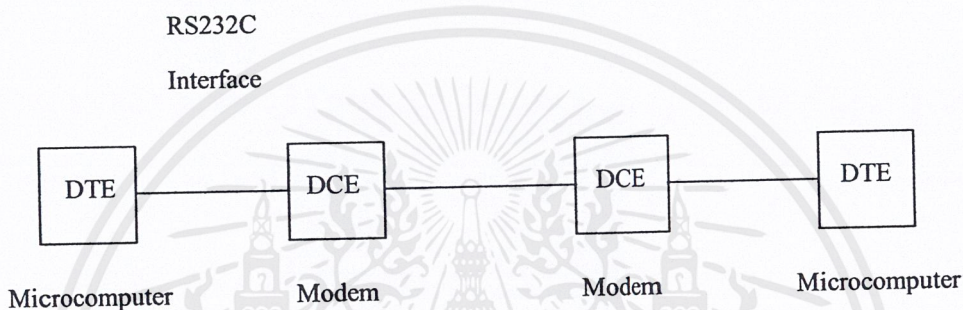
บทที่ 2

ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 มาตรฐาน RS-232-C

มาตรฐาน RS-232-C ถูกประกาศใช้ในปี ค.ศ.1969 โดย Electronic Industries Association (EIA) เพื่อกำหนดการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE) RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบอกถึงมาตรฐานตัวนี้ C แสดงถึงฉบับสุดท้ายของมาตรฐาน

สำหรับผู้ใช้งานไมโครคอมพิวเตอร์ DTE หมายถึงเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE หมายถึงโมเด็ม



รูปที่ 2.1 แสดงการใช้ RS-232-C เชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE กับ DCE

2.1.1 สัญญาณที่ใช้ใน RS-232

-Protective Ground (PG ขาที่ 1)

เป็นตัวถังของเครื่องหรือสายดิน

-Transmit Data (TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DTE ไปยังโมเด็ม หรือต่อเข้ากับ DTE ตัวอื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออก สถานภาพของลอจิกเป็น “1” ไม่ว่าจะเป็นระบบใด DTE จะไม่ส่งข้อมูลออกไปจนกว่าสัญญาณ RTS, CTS, DSR และ DTR อยู่ในสถานะ “ON”

-Receive Data (RD ขาที่ 3)

เป็นทางที่สัญญาณส่งเข้าไปยัง DTE ถ้าไม่มีสัญญาณเข้าจะมีสถานภาพลอจิกเป็น “1”

-Request to Send (RTS ขาที่ 4)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DTE ไปยัง DCE

สถานะ “ON” คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Transmitting Mode ต่อไป

สถานะ “OFF” คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Receiving Mode ต่อไป

การเปลี่ยนจากสถานะ “OFF” เป็น “ON” คือ การสั่งให้ DCE จัดการกับระบบสื่อสาร เพื่อให้ช่องทางการเชื่อมต่อสัญญาณ และให้สัญญาณ CTS กลับมาเป็นการบอกกว่าส่งได้

การเปลี่ยนจากสภาวะ “ON” เป็น “OFF” คือ การสั่งให้ DCE ส่งข้อมูลผ่านช่องสื่อสารให้หมด แล้วกลับไปอยู่ใน Receiving Mode พร้อมกับให้ CTS เป็น 0

-Clear To Send (CTS ขาที่ 5)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DCE ไปยัง DTE

สภาวะ “ON” คือ ข้อมูลจาก DTE จะถูกส่งต่อไปในช่องทางสื่อสารทันที CTS จะอยู่ในสภาวะ “ON” หลังจาก DSR และ RTS อยู่ในสภาวะ “ON” และการเชื่อมต่อของวงจรสื่อสารเสร็จสิ้นแล้ว

-Data Set Ready (DSR ขาที่ 6)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DCE ไปยัง DTE

สภาวะ “ON” คือ การบอก DTE ว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่ง

สภาวะ “OFF” คือ การบอกให้ DTE ตรวจสอบ Ring Indicator

-Signal Ground (SG ขาที่ 7)

คือ สายสัญญาณร่วมของสัญญาณทุกตัว

-Carrier Detect (CD ขาที่ 8)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DCE ไปยัง DTE

สภาวะ “ON” คือ DCE จับสัญญาณพาหะในช่องทางสื่อสารที่จะทำการคิโมดูลेटได้

สภาวะ “OFF” คือ รับสัญญาณอะไรไม่ได้เลย หรือรับได้แต่ไม่สามารถคิโมดูลेटออกมาได้

-Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20)

เป็นสัญญาณจาก DTE ไปยัง DCE

สภาวะ “ON” คือ DCE เตรียมพร้อมที่จะเชื่อมกับ DCE ตัวอื่น และรักษาช่องทางติดต่อไว้ต่อไป ถ้า DCE สามารถตอบรับสัญญาณเรียกได้ ก็ให้ตอบรับ เมื่อมีสัญญาณเรียก ในขณะที่ RI และ DTR อยู่ในสภาวะ “ON”

สภาวะ “OFF” คือ การวางหู และไม่ต้อง ON อีก จนกว่า DSR จะ OFF

-Ring Indicator (RI ขาที่ 22)

เป็นสัญญาณที่ส่งจาก DCE ไปยัง DTE เหมือนสัญญาณเรียกของโทรศัพท์ แต่เป็นดิจิทัล ใช้ในระบบตอบรับอัตโนมัติ

สภาวะ “ON” คือ มีสัญญาณกระดิ่งเข้ามา

สภาวะ “OFF” คือ ช่วงเงียบระหว่างสัญญาณกระดิ่ง

2.1.2 สัญญาณทางไฟฟ้าของ RS-232-C

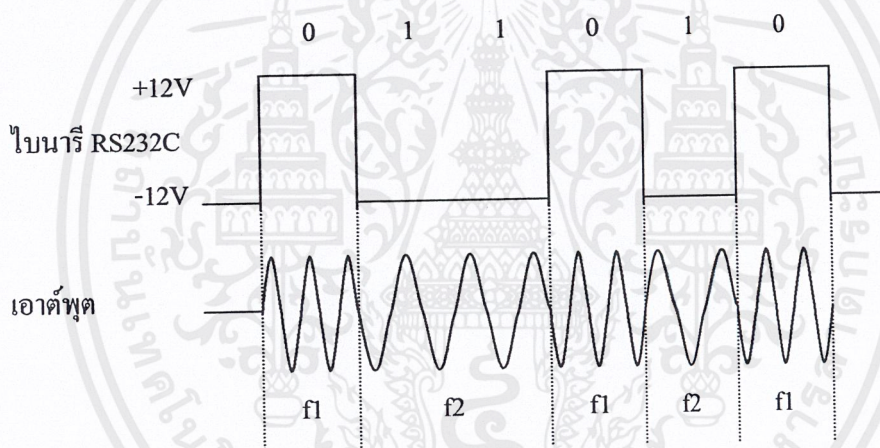
มาตรฐาน RS-232-C กำหนดคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่ออนุกรมโดยตรงเพียงสองลักษณะ คือ SPACE หรือแรงดันไฟบวก แสดงถึงไบนารี 0 และ MARK หรือแรงดันไฟลบ แสดงถึงไบนารี 1 ระดับของแรงดันไฟบวกมีค่าระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์ สำหรับเอาต์พุต และระหว่าง +3 ถึง +15 โวลต์ สำหรับอินพุต ความแตกต่างมีไว้เพื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณ ส่วนระดับแรงดันไฟลบมีค่าระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์ สำหรับเอาต์พุต และ -3 ถึง -15 โวลต์ สำหรับอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสังเกตพบว่า ถ้าสายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกเป็นลบไม่ชัดเจน RS-232-C ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้ในการสื่อสารระยะทางไกล โดยทั่วไปที่ความยาว 50 ฟุต เป็นระยะที่ไกลที่สุดในกรณีที่ใช้สายสัญญาณปกติ ที่อัตราการส่งข้อมูลปกติ RS-232-C สามารถถ่ายโอนข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 110 ถึง 9,600 บิตต่อวินาที ถ้าอุปกรณ์ DTE อยู่ห่างกันมาก อาจจำเป็นต้องใช้โมเด็มหรือวิธีการอื่น

2.2 Frequency Shift Keying (FSK)

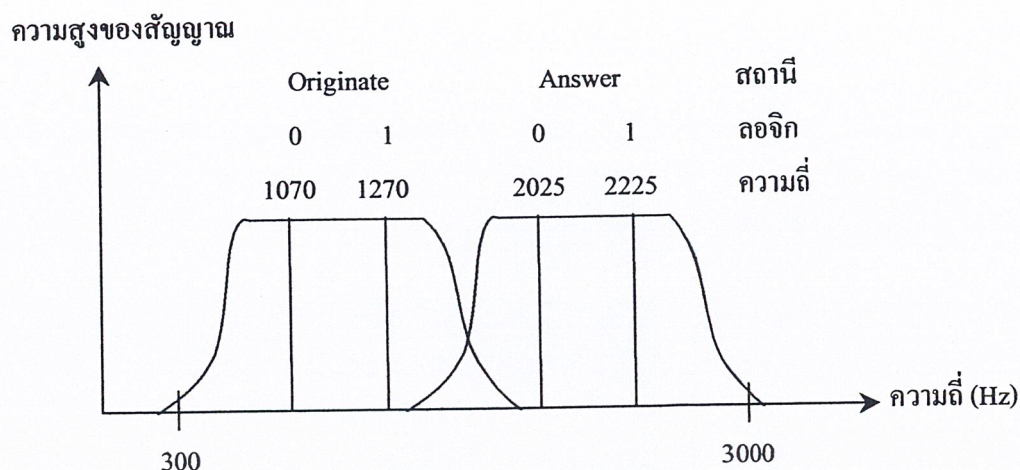
ในระยะแรกของการแปลงสัญญาณลอจิก ให้เหมาะกับการส่งผ่านไปในสายโทรศัพท์ที่ใช้วิธีการ FSK นี้ คือ การใช้ความถี่เสียงสองความถี่แทนสัญญาณลอจิก “1” และลอจิก “0” ทางด้านรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่ว่ามีมาแปลงเป็นสัญญาณลอจิกกลับคืน ความถี่ของเสียงทั้งสองเสียงต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่ก็ต้องไม่ห่างกันจนตกขอบความสามารถของสายโทรศัพท์ที่จะนำพาไปได้



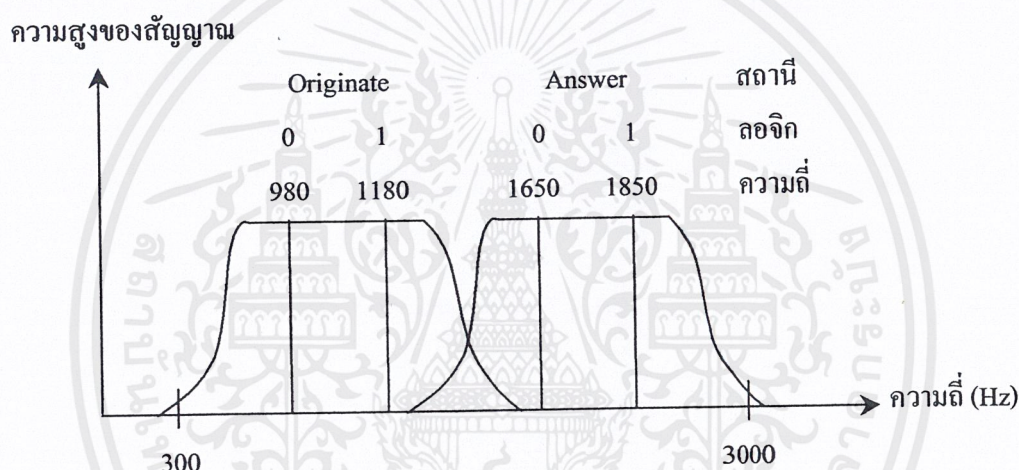
รูปที่ 2.2 แสดงหลักการมอดูเลตแบบ FSK

เนื่องจากแถบความถี่ที่สายโทรศัพท์ยอมให้ผ่านไปได้ อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3400 Hz จึงได้แบ่งความถี่ในย่านดังกล่าวออกเป็น 4 คลื่นความถี่เสียง ใช้สำหรับสถานีส่งสองเสียง สถานีรับสองเสียง เพื่อให้การติดต่อเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ คือทั้งรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน จำเป็นต้องแยกสถานีออกเป็นสองฝ่าย ฝ่ายหนึ่งเรียกว่า Originate หรือฝ่ายเริ่มการติดต่อ อีกฝ่ายเรียกว่า Answer หรือฝ่ายตอบรับ ฝ่าย Originate ใช้ความถี่ส่งสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และลอจิก “1” ฝ่าย Answer จะใช้ความถี่อีกสองความถี่ที่แตกต่างกันไปจากฝ่ายส่ง สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และลอจิก “1”

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ในกรณีที่ความเร็วไม่เกิน 300 บอด ของ Bell 103 และ CCITT V.21 แสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน Bell 103 Full Duplex



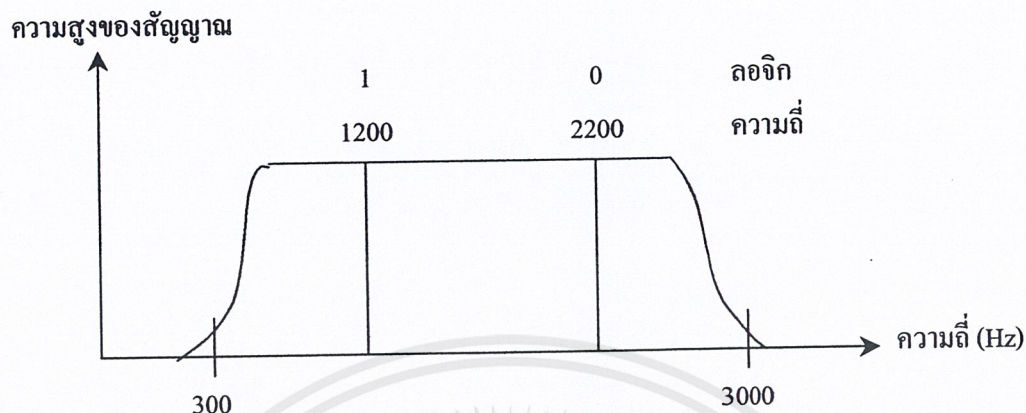
รูปที่ 2.4 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน CCITT V.21

จากรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 พบว่า สถานีรับและสถานีส่ง ใช้ความถี่ที่แตกต่างกันในการมอดูเลตสัญญาณลอจิก "0" และลอจิก "1" การดีมอดูเลตต้องให้ตรงกับความถี่ที่ฝ่ายตรงข้ามส่งเข้ามา เช่น โมเด็มชนิด Bell 103 ถ้าหากใช้เป็นฝ่าย Originate จะส่งสัญญาณลอจิก "1" ด้วยความถี่ 1270 Hz และลอจิก "0" ด้วยความถี่ 1070 Hz ขณะเดียวกันต้องมีวงจรกรองความถี่เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามารบกวน โดยสามารถแยกความถี่ของฝ่ายรับและส่งออกออกจากกัน

การมอดูเลตแบบ FSK จะยอมให้ทำการถ่ายโอนข้อมูลได้ช้ากว่าความถี่ที่ใช้ เนื่องจากวงจรรับจะต้องดีเทก (detect) ให้ได้ว่ามีความถี่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยความถี่จะต้องปรากฏให้เห็น 2 ถึง 3 ลูกคลื่น ความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในโมเด็มชนิด Bell 103 คือ 1070 Hz จะเห็นว่าการถ่ายโอนข้อมูลจะเร็วกว่า 600 บิตต่อวินาที จะทำได้ยาก

กรณีที่ใช้การมอดูเลตแบบ FSK เหมือนเดิม แต่แยกความถี่ของเสียงที่ใช้แทนลอจิก "0" และลอจิก "1" ให้ห่างกันมากขึ้น จำนวนลูกคลื่นที่ใช้จะน้อยลง ในการแยกความถี่ให้ห่างกัน ทำให้สามารถส่งได้

ทีละข้าง หรือฮาร์ฟดูเพล็กซ์ ระบบ Bell 102 ใช้เทคนิคนี้ในการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1200 บอด โดยใช้ความถี่ 1200 Hz แทนลอจิก “1” และความถี่ 2200 Hz แทนลอจิก “0”



รูปที่ 2.5 แสดงความถี่ตามมาตรฐาน Bell 202 Half Duplex

กรณีของ CCITT V.23 ซึ่งตรงกับ Bell 202 แตกต่างกันตรงที่มีโหมดให้เลือก 2 โหมด คือ 600 บอด และ 1200 บอด ในแต่ละโหมคนั้นใช้ความถี่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

โหมด	ความเร็ว	ความถี่มาร์ค (Mark)	ความถี่สเปส (Space)
1	600 บอด	1,300 Hz	1,700 Hz
2	1,200 บอด	1,300 Hz	2,100 Hz

ตารางที่ 2.1 แสดงความถี่ที่ใช้ใน CCITT V.23 โหมด 1 และโหมด 2

นอกเหนือไปจาก V.23 ยังสามารถให้ฝ่ายรับทำการส่งข้อมูลกลับมาได้ ด้วยความเร็ว 75 บอด โดยใช้การมอดูเลตแบบ FSK โดยความถี่ 390 Hz แทนมาร์ค และ 450 แทนสเปส ซึ่งเหมาะสำหรับการติดต่อกับเทอร์มินอลที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด

2.3 การมอดูเลชันทางมุม (Angle Modulation)

การมอดูเลชันทางมุม สามารถแบ่งออกเป็นสองวิธี คือ การมอดูเลชันทางความถี่ (Frequency Modulation) และการมอดูเลชันทางเฟส (Phase Modulation)

2.3.1 การมอดูเลชันทางความถี่ (Frequency Modulation)

การมอดูเลชันทางความถี่ คือ การที่ความถี่ของสัญญาณพาหะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข้อมูล โดยที่ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณยังคงที่ การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะจะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ เช่น เมื่อสัญญาณข้อมูลมีแอมพลิจูดสูง สัญญาณพาหะก็จะมีค่าความถี่สูงขึ้นด้วย ขณะที่ไม่มีสัญญาณข้อมูลเข้ามาทำการมอดูเลต สัญญาณพาหะจะมีความถี่คงเหลืออยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าเซ็นเตอร์เฟรเควนซี (Center Frequency) เมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้เกิดความถี่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกว่าความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) ค่าสูงสุดของความถี่เบี่ยงเบนจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณข้อมูลมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดสูงสุด ความถี่ของสัญญาณข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดให้ทราบถึงจำนวนครั้งในหนึ่งวินาที ที่เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่ขึ้นไปสูงและต่ำกว่าความถี่กลาง อัตราดังกล่าวถูกเรียกว่า อัตราความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation Rate) ความถี่ของสัญญาณข้อมูลจะมีผลต่ออัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่ดังกล่าว แต่จะไม่มีผลต่อปริมาณของความถี่เบี่ยงเบนไปจากค่าความถี่กลางซึ่งขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น

2.3.2 การมอดูเลชันทางเฟส (Phase Modulation)

การมอดูเลชันทางเฟส คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณของการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของความถี่ของสัญญาณพาหะตามสัญญาณข้อมูล การเลื่อนเฟสหมายถึง เวลาที่แตกต่างกันระหว่างคลื่นขาสัญญาณสองลูกที่มีความถี่เดียวกัน คลื่นลูกหนึ่งที่มีเฟสนำ หมายความว่า เป็นสัญญาณที่เวลาก่อนหน้าสัญญาณอีกลูกหนึ่ง ส่วนการมีเฟสตาม (Lagging) หมายถึง สัญญาณที่เกิดขึ้นที่เวลาหลังจากสัญญาณอีกลูกหนึ่ง

สำหรับการมอดูเลตทางเฟสนั้น การเปลี่ยนแปลงทางเฟสของสัญญาณพาหะ จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล โดยการเปลี่ยนแปลงทางบวกของสัญญาณข้อมูลอาจทำให้เกิดการเลื่อนเฟสตาม ส่วนสัญญาณทางลบอาจทำให้เกิดการเลื่อนเฟสนำ เมื่อสัญญาณข้อมูลเพิ่มขึ้นทางบวก ปริมาณของเฟสตามก็จะเพิ่มขึ้น พร้อมกับแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลสัญญาณพาหะก็จะถูกทำให้หน่วงเวลาไป เป็นผลให้สัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณพาหะที่มีความถี่ที่ซึ่งถูกบีบคั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความถี่ต่ำลง เมื่อสัญญาณข้อมูลลดลงทางลบเฟส ก็จะเปลี่ยนเป็นเฟสนำ ในช่วงนี้สัญญาณพาหะจะถูกเร่งความเร็วขึ้น นั่นคือความถี่ของพาหะก็จะสูงขึ้น จากปริมาณการเลื่อนเฟสซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ของสัญญาณพาหะ เกิดเป็นการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM) ที่ได้จากการมอดูเลตทางเฟส แต่การมอดูเลตทางความถี่จะเกิด เมื่อการเลื่อนเฟสมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เท่านั้น หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟส การเปลี่ยนแปลงทางความถี่ก็จะไม่เกิดขึ้น หากพิจารณาสัญญาณข้อมูลขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดแอมพลิจูด การเปลี่ยนแปลงทางความถี่จะเกิดขึ้นจากตัวมอดูเลตทางเฟส หรือตัวเลื่อนเฟส และหากสัญญาณข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด สัญญาณพาหะจะไม่มีค่าเปลี่ยนแปลง จะเป็นสัญญาณความถี่เดิมที่ถูกเลื่อนเฟสไปค่าหนึ่งเท่านั้น

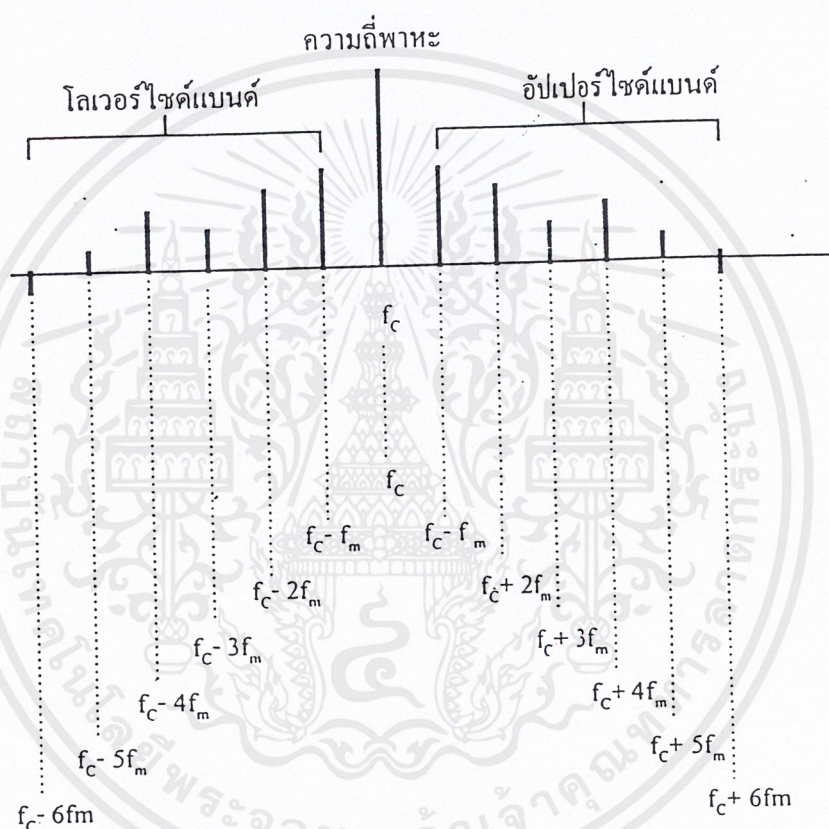
จากการมอดูเลตทางเฟส ค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุด จะปรากฏในช่วงที่สัญญาณข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราสูงสุด เช่น ณ จุดที่สัญญาณข้อมูลรูปขาค้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์จากบวกไปหาลบ หรือจาก ลบไปหาบวก หรือจุดที่สัญญาณติดกับแกนเวลา และมีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์นั่นเอง แต่สำหรับการมอดูเลตทางความถี่ ค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุดจะเกิดในช่วงที่แอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล มีค่าสูงสุดทั้งทางบวกและทางลบ ถึงแม้ว่าตัวมอดูเลตทางเฟสจะสร้างสัญญาณแบบมอดูเลตทางความถี่ แต่ค่าเบี่ยงเบนความถี่จะปรากฏที่คนละช่วงเวลากัน นั่นคือความแตกต่างของการมอดูเลตทั้งสองแบบ

ในการมอดูเลตทางเฟส ค่าของเฟสนำและเฟสตามที่มากที่สุดจะปรากฏที่แอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณข้อมูล และค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่สัญญาณขาออกของวงจรเลื่อนเฟสจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล ยิ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีค่าสูงมาก ค่าเบี่ยงเบนความถี่จะยิ่งมาก ทำให้สรุปได้ว่า ในการมอดูเลตทางเฟส การเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยสอง

อย่าง คือ ความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล ในขณะที่การมอดูเลตทางความถี่ จะมีค่าเบี่ยงเบนความถี่ ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลเพียงอย่างเดียว

2.3.3 ความถี่ข้างเคียงและดัชนีการมอดูเลชัน

ผลจากการมอดูเลต ไม่ว่าจะด้วยวิธีการใด จะทำให้เกิดความถี่ข้างเคียงขึ้น ในการมอดูเลตทางความถี่และทางเฟส ก็เกิดความถี่ข้างเคียงที่เป็นความถี่ ที่เป็นผลรวมและผลต่างของสัญญาณพาหะกับสัญญาณข้อมูล ตามทฤษฎีแล้ว จะเกิดคู่ของความถี่ข้างเคียงขึ้นเป็นจำนวนอนันต์คู่ทั้งด้านบน และด้านล่างของความถี่กลาง ทำให้สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่และเฟส มีการใช้แถบความถี่มากกว่าสัญญาณที่มอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 2.6 แสดงแถบความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าแถบความถี่ของสัญญาณมอดูเลตทางความถี่โดยทั่วไป ที่สัญญาณพาหะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณซายน์ที่มีความถี่เดียว มีความถี่ข้างเคียงเว้นระยะห่างจากสัญญาณความถี่พาหะและความถี่ข้างเคียงด้วยกันเป็นระยะเท่าๆกัน เท่ากับความถี่ของสัญญาณข้อมูล ส่วนแอมพลิจูดของสัญญาณข้างเคียงจะไม่เท่ากัน หากสมมติว่าสัญญาณความถี่ข้างเคียงต่างๆ เป็นสัญญาณรูปซายน์ที่มีความถี่และแอมพลิจูดเฉพาะตัว เมื่อนำมารวมกันจะได้เป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่นั่นเอง

ลักษณะต่างของจำนวนความถี่ข้างเคียง แอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียง และระยะห่างระหว่างความถี่ จะขึ้นอยู่กับค่าเบี่ยงเบนความถี่ และความถี่ของสัญญาณข้อมูล แม้ว่าสัญญาณมอดูเลชันทางความถี่ จะมีความถี่ข้างเคียงจำนวนอนันต์ แต่ความถี่ข้างเคียงที่มีแอมพลิจูดสูงเพียงพอเท่านั้น จึงจะถือว่าเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่มีข้อมูลอยู่ โดยปกติ สัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของสัญญาณพาหะที่ยังไม่ถูกมอดูเลต ถือว่าไม่มีความสำคัญ

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ทำให้เกิดอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนความถี่ กับความถี่ของสัญญาณข้อมูล เรียกว่าดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)

$$m = f_d / f_m$$

f_d คือ ค่าความถี่เบี่ยงเบน

f_m คือ ความถี่ของสัญญาณข้อมูล

ดัชนี มอดูเลชัน	พาหะ	ไซด์แบนด์ (เป็นคู่)															
		1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.00	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
6.00	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.25	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-
7.00	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.34	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-
8.00	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.34	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-	-	-
9.00	-0.03	0.24	0.14	-0.18	-0.27	0.20	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	-	-	-
10.00	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.01	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	-	-
12.00	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.00	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

ตารางที่ 2.2 แสดงแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและสัญญาณไซด์แบนด์ตามค่าดัชนีการมอดูเลชันคำนวณตามฟังก์ชันเบสเซลส์

ค่าเบี่ยงเบนความถี่และความถี่ของสัญญาณข้อมูลมักจะใช้ค่ามากที่สุด เพื่อนำมาคำนวณดัชนีการมอดูเลต นอกจากนั้นค่าดัชนีดังกล่าวก็ถูกเรียกว่า อัตราการเบี่ยงเบนด้วย

สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่ จะใช้แถบความถี่กว้างเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลต หากดัชนีการมอดูเลตมาก ก็จะใช้แถบความถี่กว้างมาก ดังนั้นสามารถประหยัดแถบความถี่ได้ด้วยการจำกัดค่าของดัชนีการมอดูเลต ความกว้างของแถบความถี่ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$BW = 2 \times f_m \times n$$

BW คือ แถบความกว้างของความถี่ (Bandwidth)

f_m คือ ความถี่ของสัญญาณข้อมูล

n คือ จำนวนของความถี่ข้างเคียงที่สำคัญ

2.4 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitter)

จุดเริ่มต้นของการส่งคลื่นวิทยุ นั้น ประกอบด้วย การสร้างสัญญาณที่เป็นสื่อหรือพาหะ เรียกว่า แคร

เรียอร์เจเนอเรชัน (Carrier Generation) นำสัญญาณพาหะมามอดูเลตกับสัญญาณข้อมูล แล้วทำการขยาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเพื่อส่งออกไปยังสายอากาศ หรือตัวนำคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุ เช่น เครื่องส่งสัญญาณรหัสมอร์ส ที่ให้สัญญาณแบบสั้นและยาว โดยมีวงจรสร้างสัญญาณพาหะ ต่อเข้ากับวงจรขยายเพื่อส่งไปยังสายอากาศ ส่วนที่สร้างสัญญาณข้อมูลเพียง ใช้สวิตช์ต่อเข้าไป เพื่อควบคุมให้สัญญาณพาหะนั้น ต่อลงกราวด์หรือไปที่สายอากาศ ส่วนประกอบของเครื่องส่งสัญญาณโดยทั่วไปมีดังนี้

วงจรสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier Generator) โดยส่วนใหญ่จะเป็นวงจรคริสตัลลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) ซึ่งจะให้สัญญาณความถี่ที่ต้องการที่ตรงและมีเสถียรภาพดี ระหว่างวงจรออสซิลเลเตอร์กับโหลด จะมีวงจรบัฟเฟอร์ต่อคั่นอยู่ เพื่อป้องกันความถี่เปลี่ยนแปลงเนื่องค่าของโหลด

วงจรมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมคุณสมบัติของสัญญาณพาหะ ให้มีลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล การมอดูเลตมีหลายอย่าง เช่น แอมพลิจูดมอดูเลชัน (Amplitude Modulation) ฟรีแควนซีมอดูเลชัน (Frequency Modulation)

วงจรขยาย (Amplifier) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณรูปแบบต่างๆ ซึ่งแตกต่างกัน สามารถแบ่งได้ดังนี้

วงจรขยายคลาสเอ (Class A Amplifier) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสให้กระแสไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์ (Collector) หรือเรียกว่า กระแสเดรน (Drain Current) ตลอดเวลา การขยายสัญญาณมีลักษณะเป็นเชิงเส้น สัญญาณที่ขาออกของวงจร จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณขาเข้า แต่วงจรขยายแบบนี้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวงจรต้องทำการขยายสัญญาณอยู่ตลอด หรือเรียกว่าครบ 360 องศา วงจรคลาสเอ จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวงจรขยายกำลัง โดยปกติมักใช้ในวงจรขยายชั้นต้น ที่มีสัญญาณความถี่ต่ำ หรือวงจรขยายกำลังต่ำ เช่น วงจรขยายแบบบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier)

วงจรขยายคลาสบี (Class B Amplifier) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟ (Cutoff) เมื่อไม่มีสัญญาณขาเข้า ก็จะไม่มีการไหลที่ขาคอลเลกเตอร์ ตัวทรานซิสเตอร์จะทำงาน นำกระแสเพียงช่วงครึ่งลูกคลื่นของสัญญาณขาเข้าที่ต้องการขยาย ในกรณีที่ต้องการขยายสัญญาณเต็มลูกคลื่น จะต้องต่อวงจรในลักษณะพุชแอนด์พูล (Push and Pull) โดยใช้วงจรขยายคลาสบีสองชุด ทำงานทั้งในช่วงสัญญาณบวก และสัญญาณลบสลับต่อเนื่องกันไป วงจรขยายคลาสบีมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาสเอ เนื่องจากการไหลของกระแสจะเกิดเพียงช่วงหนึ่งของสัญญาณเท่านั้น เหมาะสำหรับวงจรขยายกำลัง แต่สัญญาณที่ได้ยังมีความผิดเพี้ยน จึงต้องต่อวงจรแบบพุชแอนด์พูล

วงจรขยายคลาสเอบี (Class AB Amplifier) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงเกือบจะคัทออฟ จึงมีกระแสไหลที่ขาคอลเลกเตอร์เพียงเล็กน้อย วงจรขยายจะขยายสัญญาณ ในช่วงที่มากกว่า 180 องศา แต่ไม่ถึง 360 องศา มักมีการต่อใช้ในแบบพุชแอนด์พูล ซึ่งจะมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยกว่าในแบบคลาสบี แต่ประสิทธิภาพจะดีกว่า

วงจรขยายคลาสซี (Class C Amplifier) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ ให้สามารถขยายสัญญาณในช่วงที่น้อยกว่า 180 องศา วิธีการไบอัสทรานซิสเตอร์สำหรับคลาสซี มี 3 วิธี คือ ไบเอสด้วยสัญญาณ, ไบเอสด้วยวงจรภายนอก, ไบเอสด้วยตนเอง โดยปกติช่วงการทำงานจะอยู่ระหว่าง 90 องศา ถึง 150 องศา แสดงว่ามีเพียงสัญญาณพัลส์เล็กๆ เท่านั้นที่ออกมาจากขาออกของวงจร การทำให้สัญญาณขยายเต็มลูกคลื่น ต้องมีการนำวงจรจูนรีโซแนนซ์ (Resonant Tuned Circuit) มาต่อเข้าที่ขาออกเพื่อให้ได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเต็มลูกคลื่น เช่น การทำงานของวงจรจูนแบบคู่ขนาน (Parallel Tuned Circuit) ที่จะกำเนิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยาย วงจรประกอบด้วย ตัวเก็บประจุและลวดตัวนำ เมื่อมีสัญญาณพัลส์เข้าไปยังวงจร จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างตัวเก็บประจุและลวดตัวนำ เรียกว่า ปรากฏการณ์ฟลายวีล (Fly Wheel Effect) ซึ่งจะสร้างสัญญาณชาขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์สามารถใช้เป็นวงจรคุมความถี่ได้ โดยการต่อเข้ากับวงจรเรโซแนนซ์ที่สร้างความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของสัญญาณขาเข้า ข้อดีของวงจรขยายคลาสซี คือ มีการขยายสัญญาณเพียงช่วงสั้นเท่านั้น จึงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการขยายสัญญาณทั้งหมด

วงจรอิมพีแดนซ์แมต칭 (Impedance Matching Circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อ วงจรขยายความถี่วิทยุแต่ละภาคเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้กำลังส่งมากที่สุด การที่จะทำให้การถ่ายพลังงานมากที่สุดจากวงจรขยายชุดหนึ่ง ไปยังอีกชุดหนึ่ง ต้องทำให้อิมพีแดนซ์ขาออกของวงจรแรก เท่ากับอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรถัดไป วงจรอิมพีแดนซ์แมต칭โดยทั่วไป ประกอบด้วย ขดลวดตัวนำและตัวเก็บประจุ ที่มีรูปแบบการต่อต่าง ๆ กัน เช่น โครงข่ายรูปตัวแอล โครงข่ายรูปตัวที หรืออาจเป็นหม้อแปลงแกนผงเหล็กรูปโดนัท เรียกว่า ทออยด์ (Toroid)

วงจรกระบวนการเสียง (Speech Processing Circuit) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเสียงในระบบเครื่องส่ง เช่น วงจรที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดโอเวอร์มอดูเลชัน (Over Modulation) วงจรจำกัดขนาดของสัญญาณเสียง (Voice Clipper) ซึ่งใช้ไดโอดในการลดแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง ในการมอดูเลต

2.5 เครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Receiver)

หน้าที่ของเครื่องรับสัญญาณ คือ ทำการเลือกแยกสัญญาณข้อมูล ออกจากสัญญาณพาหะที่ได้รับได้ และทำการขยายสัญญาณนั้น เพื่อนำไปใช้งานได้ต่อไป คุณสมบัติ 2 ประการที่สำคัญของเครื่องรับ มีดังนี้

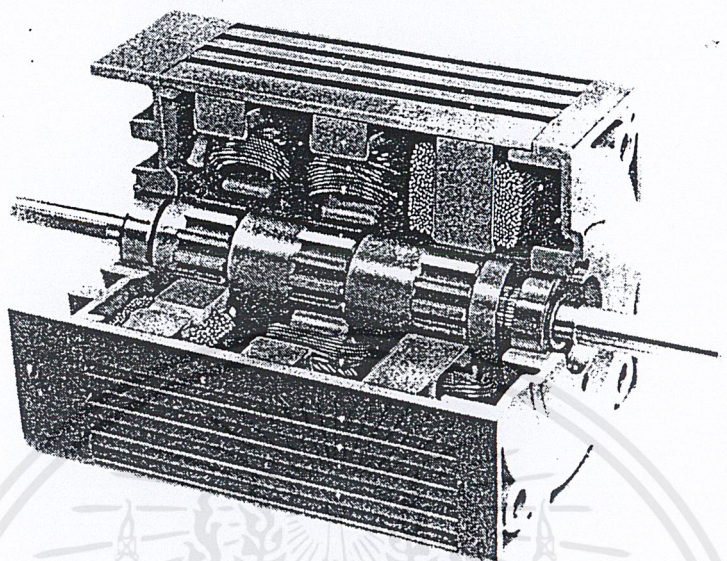
ค่าซีเล็กติวิตี (Selectivity) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการเลือกรับสัญญาณ เฉพาะสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น หากเครื่องรับมีค่าซีเล็กติวิตีที่ดี จะสามารถรับสัญญาณที่ต้องการ และกำจัดสัญญาณข้างเคียงออกไปได้

ค่าเซนซิวิตี (Sensitivity) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการรับสัญญาณอ่อนๆ แล้วนำมาขยายให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากขึ้น โดยปกติค่าเซนซิวิตีจะแสดงถึงการขยายสัญญาณด้วย นั่นคือยังมีกำลังขยายมากค่าเซนซิวิตีก็ยิ่งดี และจะแสดงอยู่ในรูปของค่าแรงดันของสัญญาณขาเข้าที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถขยายสัญญาณได้มากกว่า 10 เท่า ของสัญญาณรบกวน

2.6 สเต็ปป์มอเตอร์

ในปัจจุบันการพัฒนาของสเต็ปป์มอเตอร์ มีมากมายหลายรูปแบบให้ใช้งาน แต่สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบหลักๆ คือ แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance) กับแบบไฮบริด (Hybrid) คุณสมบัติที่สำคัญของสเต็ปป์มอเตอร์คือ การที่สามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์ได้ เนื่องจาก การที่สเตเตอร์และโรเตอร์ มีซี่เหล็กเป็นจำนวนมาก

2.6.1 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดมัลติสแต็กวารีเอเบิลรีลักแตนซ์ (Multi-stack Variable-reluctance Stepping Motors)

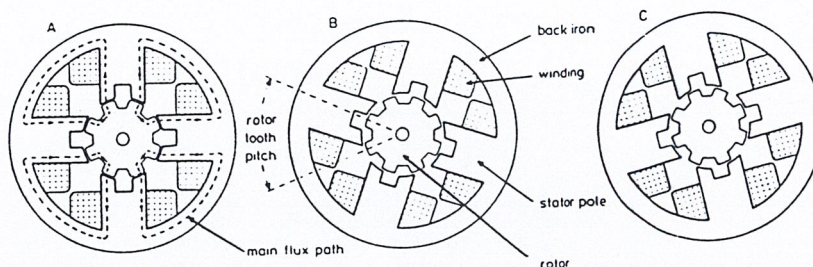


รูปที่ 2.7 แสดงสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดวารีเอเบิลรีลักแตนซ์แบบ 3 สแต็ก

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้ แบ่งออกได้เป็นหลายสแต็ก ตามแนวแกนของมัน โดยที่แต่ละสแต็กถูกกระตุ้นโดยขดลวดซึ่งแยกอิสระกัน แต่ละขดเรียกว่า เฟส ดังรูปที่ 2.7 แสดงมอเตอร์ชนิด 3 สแต็ก 3 เฟส แต่ในความเป็นจริงสามารถมีได้สูงถึง 7 สแต็ก 7 เฟส ก็เป็นไปได้

แต่ละสแต็กจะประกอบด้วย ส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) และส่วนหมุนเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ตัวสเตเตอร์และโรเตอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆหลายๆแผ่น เพื่อป้องกันการเกิดการสูญเสียกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current Loss)

ส่วนสเตเตอร์ของแต่ละสแต็กจะมีจำนวนของขั้วอยู่ ดังรูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสเตเตอร์ 4 ขั้ว ขดลวดที่พันรอบขั้วของสเตเตอร์นั้นจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น โดยสนามแม่เหล็กที่สร้างจากขั้วที่ติดกันจะมีทิศทางตรงข้ามกัน วงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์ในแต่ละสแต็กนั้น กระแสแม่เหล็กจะเริ่มจากขั้วของสเตเตอร์อันหนึ่ง ผ่านอากาศไปยังส่วนโรเตอร์ แล้วผ่านอากาศไปยังขั้วที่อยู่ใกล้ หลังจากนั้นจะกลับเข้ายังขั้วเริ่มต้น โดยผ่านทางเหล็กด้านหลัง ดังนั้นจะได้ว่ามีเส้นทางฟลักซ์แม่เหล็กอยู่ 4 เส้นทาง



รูปที่ 2.8 แสดงภาพตัดขวางของแต่ละสเตกในแนวตั้งฉากกับเพลลาของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์แบบสามเฟส

สเต็ปป์มอเตอร์ดังรูปที่ 2.8 นั้น ที่สเตเตอร์และโรเตอร์จะมีซี่อยู่อย่างละ 8 ซี่ ถ้ามองตามแนวยาวของสเต็ปป์มอเตอร์ ซี่ของสเตเตอร์ในแต่ละสเตกนั้นจะไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน จากรูปแสดงว่ากำลังกระตุ้นที่สเตก A อยู่ ถ้ากระตุ้นต่อที่สเตก B จะทำให้ตัวโรเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และถ้ากระตุ้นที่สเตก C อีก ก็จะทำให้โรเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาอีก

ถ้าต้องการให้สเต็ปป์มอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่องในทิศทางตามเข็มนาฬิกา สามารถทำได้โดยการกระตุ้นตามลำดับที่สเตก A, B, C, A, ... ส่วนกรณีต้องการให้หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาทำได้โดยกระตุ้นในทิศทางกลับกันคือ A, C, B, A, ... ซึ่งถ้าต้องการให้หมุนกลับทางได้ในสเต็ปป์มอเตอร์แบบนี้จะต้องมีอย่างน้อย 3 สเตก ถึงจะแยกความแตกต่างของการหมุนได้

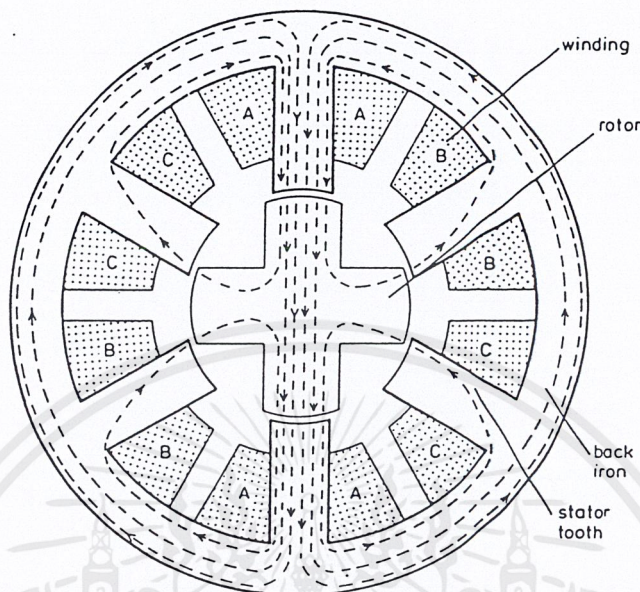
ถ้าสเต็ปป์มอเตอร์มีจำนวน N สเตก มีจำนวนซี่ของโรเตอร์ p ซี่ ซึ่งหนึ่งสเต็ปของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับ $360 / Np$ องศา จากตัวอย่างเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มี 3 สเตก 8 ซี่ ก็จะมีสเต็ปการเคลื่อนที่เป็น 15 องศา การเพิ่มจำนวนสเต็ปมากขึ้นมักจะทำได้โดยการเพิ่มจำนวนสเตกเข้าไป แต่จะทำให้ยุ่งยากมากขึ้นในการใช้งาน เนื่องจากต้องใช้วงจรจับจำนวนมากขึ้น

2.6.2 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดซิงเกิลสแตควาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Single-stack Variable-reluctance Stepping Motors)

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าจำนวนซี่ของสเตเตอร์ จะมากกว่าซี่ของโรเตอร์และแต่ละซี่จะมีขดลวดพันอยู่ ซึ่งจะทำให้สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเมื่อกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรง สเตเตอร์มีซี่จำนวน 6 ซี่ ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกันจะพันด้วยขดลวดเส้นเดียวกัน เรียกซี่ของสเตเตอร์ที่ถูกพันด้วยขดลวดเส้นเดียวกันว่าเฟส ดังนั้นสเตเตอร์ 6 ซี่ จะมีอยู่ 3 เฟส

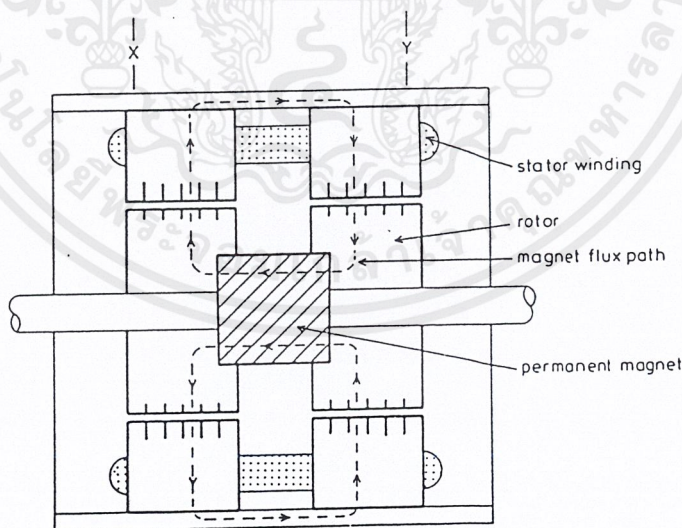
การที่สเต็ปป์ชนิดนี้หมุนได้ เนื่องจากการที่ซี่ของสเตเตอร์และโรเตอร์ไม่เท่ากัน ในขณะที่เฟสหนึ่งถูกกระตุ้น จะมีเพียง 2 ซี่ของโรเตอร์ที่เป็นเส้นทางของฟลักซ์แม่เหล็กหลัก เมื่อมีการกระตุ้นเฟสถัดไป ก็จะทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่ไป จากรูปที่ 2.9 แสดงสถานะที่กระตุ้นที่เฟส A ต่อมาเมื่อกระตุ้นที่เฟส B โรเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กจากเฟส B ไหลผ่านโรเตอร์ได้ และถ้ากระตุ้นที่เฟส C อีก โรเตอร์ก็จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาอีกหนึ่งสเต็ป ถ้าทำการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องที่เฟส A, B, C, A, ... ก็จะทำให้โรเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้ากระตุ้นที่เฟส A, C, B, A, ... ก็จะทำให้โรเตอร์หมุนในทิศทางกลับกัน

ค่าของการเคลื่อนที่หนึ่งสเต็ปขึ้นอยู่กับจำนวนเฟส และจำนวนขั้วของโรเตอร์ สมมติสเต็ปมอเตอร์มีจำนวน N เฟส และจำนวนขั้วของโรเตอร์เป็น p จะได้ว่าหนึ่งสเต็ปการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ $360/Np$ องศา



รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปมอเตอร์ชนิดขึงเกลวารีโอเบลิรีลักแทนซ์ เมื่อกระตุ้นที่เฟส A

2.6.3 สเต็ปมอเตอร์ชนิดไฮบริด (Hybrid Stepping Motors)



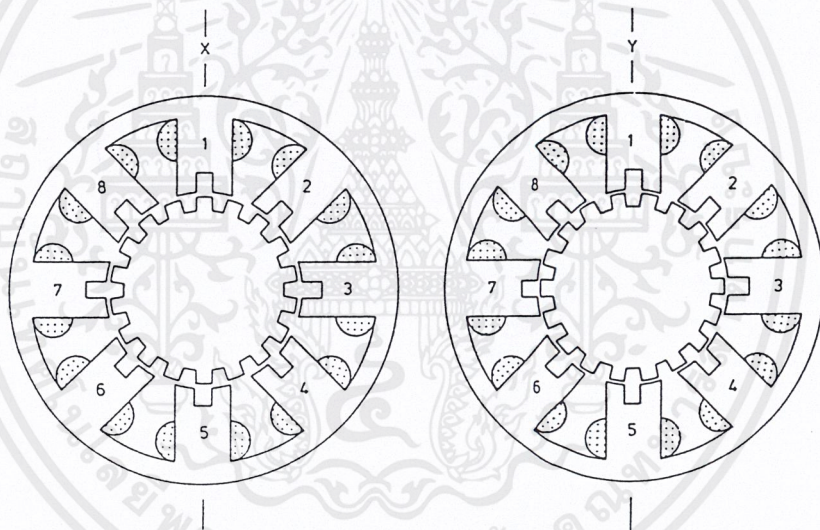
รูปที่ 2.10 แสดงภาพตัดขวางตามแนวแกนเพลลาของสเต็ปมอเตอร์ชนิดไฮบริด

ไฮบริดสเต็ปมอเตอร์ จะมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ที่โรเตอร์ เส้นทางฟลักซ์แม่เหล็กหลักแสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งจะไหลจากแม่เหล็กถาวรขั้วเหนือ ผ่านฝ่าปิดทำด้วยเหล็กอ่อน ผ่านช่องว่างอากาศไปยังขั้วของสเตเตอร์ส่วนระนาบ X ไปตามเหล็กค้ำหลัง ต่ไปยังขั้วของสเตเตอร์ส่วนระนาบ Y โดยทั่วไปแล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตเตอร์จะมีอยู่ 8 ขั้ว แต่ละขั้วจะมี 2 – 6 ซึ่ง ตัวสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดเพื่อสร้างฟลักซ์แม่เหล็กให้เสริมหรือหักล้างกับ การไหลของฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขั้วที่ต้องการเพื่อการบังคับโรเตอร์ ขั้ว 1, 3, 5, 7 จะถูกพันด้วยลวดทองแดงเส้นเดียวกัน เรียกว่าเฟส A ขั้ว 2, 4, 6, 8 ถูกพันด้วยลวดทองแดงเส้นเดียวกันเรียกว่าเฟส B ซึ่งมีทิศทางการพันตรงข้ามกับ A เมื่อเฟส A ถูกกระตุ้นด้วยกระแสค่าบวก สนามแม่เหล็กลัพธ์จะมีทิศทางออกจากขั้ว 3, 7 แต่จะมีทิศทางเข้าไปที่ขั้ว 1, 5 เฟส B ก็มีลักษณะคล้ายกัน โดยสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

เฟส	ทิศทางกระแส	ขั้วที่สนามแม่เหล็กพุ่งออก	ขั้วที่สนามแม่เหล็กพุ่งเข้า
A	+	3, 7	1, 5
A	-	1, 5	3, 7
B	+	4, 8	2, 6
B	-	2, 6	4, 8

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสไฟฟ้ากับทิศทางสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.11 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปโป้มอเตอร์ชนิดไฮบริดระนาบ X และ Y

จากรูปที่ 2.11 พิจารณาระหว่างระนาบ X และระนาบ Y จะเห็นว่า จำนวนขั้วของสเตเตอร์ และจำนวนขั้วของโรเตอร์ มีค่าเท่ากัน ขั้วของสเตตอร์นั้นอยู่ในแนวเดียวกัน แต่โรเตอร์ไม่ใช่ เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดที่ขั้วกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น โรเตอร์จะพยายามวางตัวให้เกิดช่องว่างอากาศน้อยที่สุด

การทำให้มอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่อง ต้องกระตุ้นแต่ละเฟสเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง จากรูปเป็นการกระตุ้นเฟส A ซึ่งจะเห็นว่าโรเตอร์วางตัวในแนวเดียวกับขั้ว 3, 7 ของระนาบ X และขั้ว 1, 5 ของระนาบ Y ต่อมาถ้ากระตุ้นที่เฟส B โรเตอร์ก็จะหมุนตามเข็มนาฬิกาและวางตัวแนวเดียวกับขั้ว 4, 8 ของระนาบ X และขั้ว 2, 6 ของระนาบ Y

ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาอย่างต่อเนื่องต้องป้อนกระแสดังนี้ A+, B+, A-, B-, A+, B+, ... ส่วนการหมุนทวนเข็มนาฬิกาต้องป้อนกระแสดังนี้ A+, B-, A-, B+, A+, B-, ... ค่าของการหมุนหนึ่งสเต็ปขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วของโรเตอร์ (p) โดยมีค่าเท่ากับ $90 / p$ องศา

2.6.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปป้อนมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีควเินเชียล (Sequential) ในรูปแบบที่ถูกต้อง โดยเรียงกันไปเรื่อยๆ ทางใดทางหนึ่ง ถ้าต้องการให้หมุนกลับก็กระตุ้นเฟสในทิศทางกลับกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

- 1.การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single Phase Excitation)
- 2.การกระตุ้นแบบสองเฟส (Two Phase Excitation)
- 3.การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half Step Operation)

2.6.5 การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single Phase Excitation)

การกระตุ้นแบบเฟสเดียว เป็นรูปแบบการกระตุ้นที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลานึง และเรียงถัดกันไป ดังเช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1, ... หรือ 1, 4, 3, 2, 1, ... ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลานึงที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบนี้จึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงาน แสดงดังตารางที่ 2.4

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน			
2		ทำงาน		
3			ทำงาน	
4				ทำงาน

ตารางที่ 2.4 แสดงการกระตุ้นขดลวดแบบเฟสเดียว

2.6.6 การกระตุ้นแบบสองเฟส (Two Phase Excitation)

เป็นการกระตุ้นอีกแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบแรก แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบแรก คือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12, 23, 34, 41, 12, ... หรือ 14, 43, 32, 21, 14, ... ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบแรก โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และหมุนต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป ข้อเสียสำหรับการกระตุ้นแบบนี้คือ ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.5

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน		
2		ทำงาน	ทำงาน	
3			ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน			ทำงาน

ตารางที่ 2.5 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแบบสองเฟส

2.6.7 การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half Step Operation)

แบบครึ่งสเต็ปนี้เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบที่ 1 กับแบบที่ 2 เพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบ อีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1, ... ในกรณีหมุนกลับทิศทางจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1, ... แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องระวังไว้ว่า เมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปของการกระตุ้นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับแบบ 2 เฟส จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังตารางที่ 2.6

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน			
2	ทำงาน	ทำงาน		
3		ทำงาน		
4		ทำงาน	ทำงาน	
5			ทำงาน	
6			ทำงาน	ทำงาน
7				ทำงาน
8	ทำงาน			ทำงาน

ตารางที่ 2.6 แสดงการกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งสเต็ป

2.6.8 การเกิดออสมิลเลตของสเต็ปปึงมอเตอร์

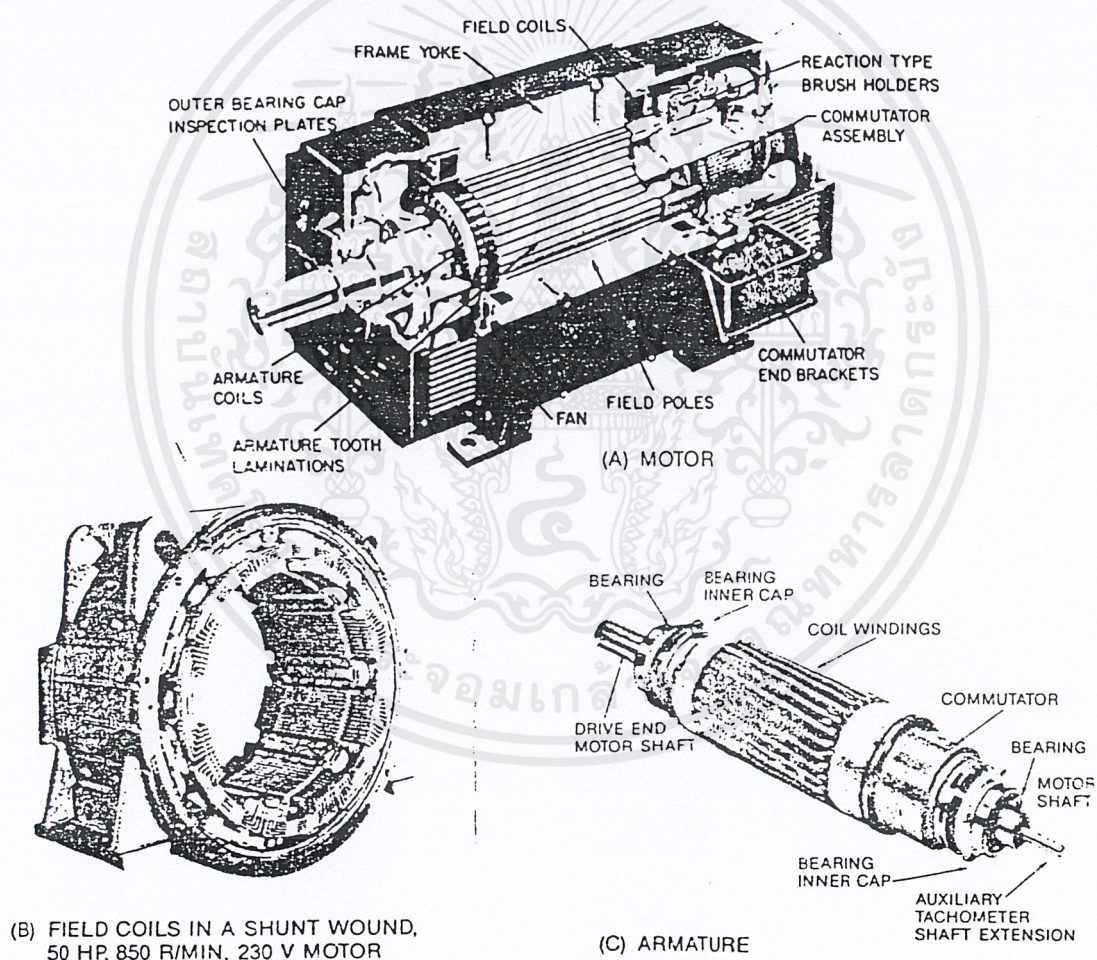
ความเร็วของการหมุนสเต็ปปึงมอเตอร์เป็นเชิงเส้นกับความถี่ที่ป้อนให้สเต็ปปึงมอเตอร์ แต่เมื่อทำการป้อนความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความถี่ค่าหนึ่ง สเต็ปปึงมอเตอร์ก็จะหยุดหมุน เนื่องจากการที่โรเตอร์หมุนตามฟลักซ์แม่เหล็กไม่ทัน เรียกว่า มอเตอร์เกิดการออสมิลเลต ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวจะออสมิลเลตที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่างกันไป โดยทั่วไปจะออกแบบที่ความถี่ประมาณ 500 Hz ในการกระตุ้นแบบ 1 หรือ 2 เฟส และจะออกแบบที่ความถี่ประมาณ 1 kHz เมื่อกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป แต่เมื่อลดความถี่ให้ต่ำลง มอเตอร์จะไม่หมุนทันที จนเมื่อลดความถี่ลงจนถึงความถี่หนึ่ง มอเตอร์จึงจะเริ่มหมุนอีกครั้ง ซึ่งมอเตอร์จะเริ่มหมุนที่ความถี่ประมาณ 200 Hz ในการกระตุ้นแบบ 1 หรือ 2 เฟส และที่ความถี่ประมาณ 150 Hz เมื่อกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

มอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างกันที่พลังงานป้อนเข้า (Input Power) มอเตอร์เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายออก (Out Power) เป็นพลังงานกล แต่พลังงานที่ป้อนเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและพลังงานที่จ่ายออกเป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าก็ต่างกันด้วย คือมอเตอร์รับกระแสจากภายนอก ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสออกไปภายนอก

2.7.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.7.1.1 ส่วนที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย

ก. เปลือกนอก (Frame หรือ Yoke) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากขั้วแม่เหล็กวิ่งได้ครบวงจร นอกจากนี้เปลือกนอกนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักรรวมถึงเป็นแป้นยึดลูกปืน (bearing) สำหรับเพลลาของตัวหมุน การทำเปลือกนอกทำได้โดยการขึ้นรูป การใช้เหล็กหล่อขึ้นหรือใช้วิธีม้วนเหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง

ข. แกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก (Pole-core and Pole-shoe) ทั้งสองส่วนนี้ประกอบขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนและขั้วของแท่งแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นหลังจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำที่พันรอบแกนเหล็ก

ค. ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก (Pole Coils) ก็คือ Field Coil ที่ประกอบด้วยขดลวดกลมหรือขดลวดแบนที่ทำด้วยทองแดงหลายๆเส้นนำมาทำให้เป็นรูปร่างของขดตัวนำที่ต้องการ แล้วนำขดลวดตัวนำนี้สวมทับลงไปบนแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดนี้ ก็ทำให้แท่งแม่เหล็กมีอำนาจเป็นแม่เหล็กขึ้นมาโดยการผลิตเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น เส้นแรงแม่เหล็กนี้จะถูกตัดผ่านโดยตัวนำภายในอาร์เมเจอร์อีกทีหนึ่ง

2.7.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่หมุนไปได้รอบตัว (Rotor) ประกอบด้วย

ก. แกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำจากแผ่นซิลิกอนหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ผิวทั้งสองข้างจะฉาบฉนวน แล้วนำมาอัดซ้อนเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอร์ซิสและกระแสไหลวนในแกนเหล็ก ผิวด้านนอกของทรงกระบอกทำเป็นร่อง (Slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกของแกนเหล็กเพื่อใช้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนตรงกลางก็เจาะรูเป็นวงกลมเพื่อเอาไว้ใส่แกนเหล็ก (Shaft) แล้วก็บากเป็นช่องสี่เหลี่ยมของรูที่เจาะนั้นช่องหนึ่งเพื่อใส่ตัวยึด ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นระหว่างอาร์เมเจอร์กับแกนเหล็ก นอกจากนั้นยังเจาะรูอากาศ (Air hole) เล็กๆทะลุผ่านอาร์เมเจอร์เพื่อระบายความร้อนด้วย

ข. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ก็คือขดลวดที่พันอยู่ในร่องอาร์เมเจอร์

ค. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) มีหน้าที่คือ เป็นตัวเพิ่มความสะดวกในการนำกระแสออกมาจากตัวนำที่พันอยู่ในอาร์เมเจอร์และเป็นตัวกลับกระแสไฟสลับที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ให้เป็นกระแสไฟตรงหรือกระแสที่ไหลไปยังวงจรภายนอกในทิศทางเดียวกัน รูปร่างของมันเป็นรูปทรงกระบอกที่ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายซี่มาต่อรวมกันเป็นรูปทรงกระบอก ซี่ต่อซี่ที่ติดกันนั้นดันไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรง แต่ละซี่ต่อไปยังขั้วต่อของคอมมิวเตเตอร์เพื่อให้ตัวนำที่ฝังอยู่ในอาร์เมเจอร์ยึดเกาะได้มั่นคงอีกทีหนึ่ง การป้องกันไม่ให้ซี่คอมมิวเตเตอร์ต่างๆเหล่านี้กระเด็นหลุดออกไปอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางจึงใช้ห่วงวงแหวนที่ทำด้วยไมก้ายึดซี่คอมมิวเตเตอร์ทั้งหมดไว้

ง. แกนหมุน (Shaft) เป็นตัวรับน้ำหนักในส่วนต่างๆของโรเตอร์ทั้งหมด โดยถ่ายทอดน้ำหนักนี้ไปยังลูกปืน (Bearing) ที่รองรับแกนอีกทีหนึ่งและมีหน้าที่เป็นตัวรับหรือถ่ายทอดการหมุนหรือการเคลื่อนที่ต่างๆที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ แกนหมุนนี้เป็นที่ยึดเกาะของคอมมิวเตเตอร์ด้วยโดยมีฉนวนที่ทำด้วยไมก้ากั้นไว้ระหว่างคอมมิวเตเตอร์กับแกนหมุน

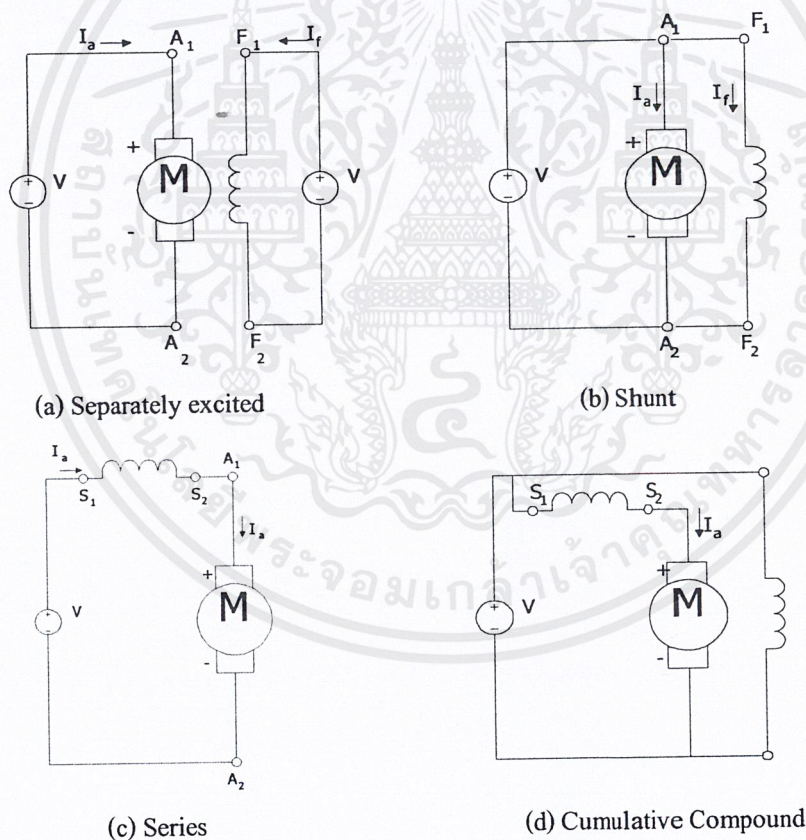
จ. แปรงถ่านและลูกปืน (Brushes and Bearings) แปรงถ่านมีหน้าที่รวบรวมกระแสที่ได้จากคอมมิวเตเตอร์เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภายนอก รูปร่างของแปรงถ่านเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งทำด้วยผงถ่านอัดเป็นก้อน แท่งถ่านเหล่านี้ถูกยึดติดกับที่จับแท่งถ่าน (Brush Holder) ซึ่งเป็นกล่องสำหรับใส่แท่งถ่านลงไปที่ยึดติดกับเปลือกนอกอีกทีหนึ่ง ฉะนั้นหน้าสัมผัสของแท่งถ่านด้านหนึ่งก็จะสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์

ส่วนด้านตรงข้ามก็จะถูกคดจากสปริงอีกทีหนึ่ง ตรงด้านที่ถูกคดของแปรงถ่านต่อเข้ากับเส้นลวดทองแดงเล็กๆ ที่ถักเป็นเปียเพื่อส่งต่อกระแสที่ได้จากแท่งถ่านไปยังวงจรภายนอก จำนวนแท่งถ่านที่ใช้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับว่า กระแสที่ได้รับจากคอมมิวเตเตอร์นั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด ส่วนลูกป็นนั้นเป็นตัวที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้จากตัวหมุนและยังช่วยลดแรงเสียดทานที่แกนหมุนของตัวหมุนกระทำกับลูกป็นนั้น ปกติแล้วลูกป็นนี้จะยึดติดอยู่ที่ฝารอบทั้งสองด้านที่จะต้องยึดติดกับเปลือกนอกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

2.7.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Cumulative Compound DC Motor)



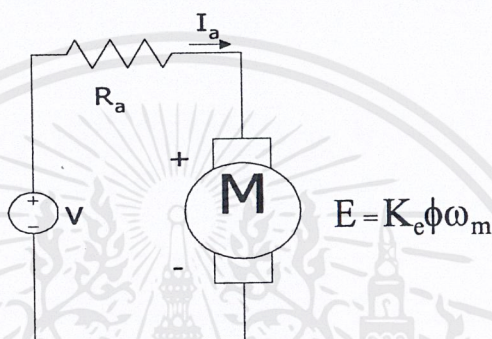
รูปที่ 2.13 แสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกการควบคุมสัปดาห์ที่ตกคร่อมอาร์เมเจอร์และขดสนาม (Filed) นั้นแยกอิสระต่อกัน ส่วนมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน ขดสนามและอาร์เมเจอร์ต่อกัน

แหล่งจ่ายไฟเดียวกัน การที่จะควบคุมแยกกันทำได้โดยวิธีเดียวคือ การเพิ่มความต้านทานภายในวงจรแต่เป็นวิธีการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมกระแสที่ไหลผ่านขดสนามคือ กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดสนาม (Filed Flux) จึงขึ้นกับกระแสอาร์เมเจอร์ด้วย ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force ; mmf) ของขดสนามที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ย่อมมีผลต่อกระแสอาร์เมเจอร์ด้วยและมีทิศทางเดียวกันกับแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดสนามที่ต่อขนานกับมอเตอร์

2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วที่สถานะคงตัว (Steady State Speed Torque Relation)



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรสมมูลย์ที่สถานะคงตัวของอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 2.14 ความต้านทาน R_a ความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก คือความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ สมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

$$E_g = K_a \phi N \quad (2.1)$$

$$E_a = E_g + I_a R_a \quad (2.2)$$

$$T = K_a \phi I_a \quad (2.3)$$

ซึ่ง ϕ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Flux per Pole), Webers

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature Current), A

E_a คือ ศักไฟฟ้าตกคร่อมอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage), V

R_a คือ ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (Resistance of The Circuit), Ω

N คือ ความเร็วของอาร์เมเจอร์ (Speed of Armature), rpm

T คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้าง (Torque Developed by The Motor), N-m

K_a คือ ค่าคงที่ (Constant)

จากสมการ (2.1) ถึง (2.3) ข้างต้น จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = E_a / K_a \phi - R_a I_a / K_a \phi \quad (2.4)$$

$$= E_a / K_a \phi - R_a T / (K_a \phi)^2 \quad (2.5)$$

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ถ้าศักดาไฟฟ้าที่ขดสนาม (Field Voltage) คงที่เราจะสามารถสมมติให้เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ขณะที่แรงบิดเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะได้ว่า

$$K_a \phi = K \quad (2.6)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.1), (2.3) และ (2.4) ถึง (2.6) จะได้ว่า

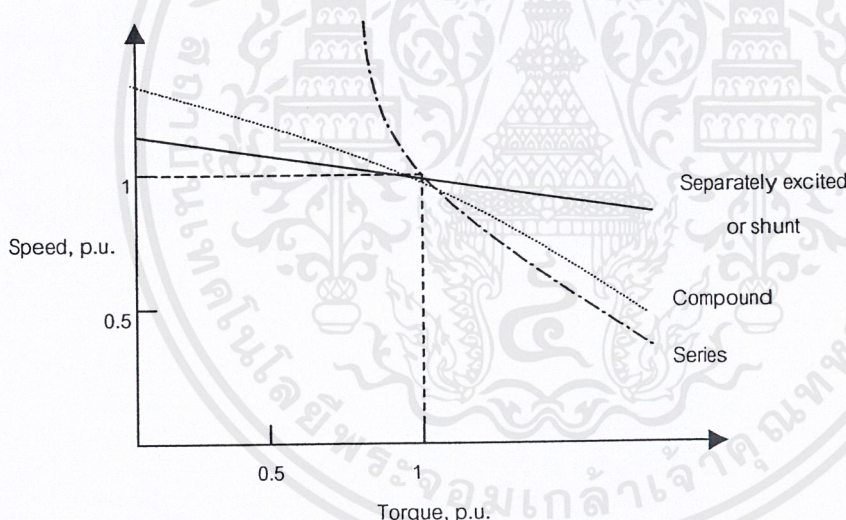
$$T = K I_a \quad (2.7)$$

$$E = K \omega_m \quad (2.8)$$

$$N = E_a / K - R_a I_a / K \quad (2.9)$$

$$= E_a / K - R_a T / K^2 \quad (2.10)$$

ดังนั้นจากสมการจะได้กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงบิดและความเร็ว (Speed Torque Characteristic) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.8 กล้องถ่ายโทรทัศน์

กล้องถ่ายโทรทัศน์ (Video Camera หรือ TV Camera) เป็นอุปกรณ์ ที่จะเปลี่ยนภาพที่มองเห็นในแสงสว่างให้เป็นสัญญาณภาพซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าความถี่ประมาณ 0-5 MHz สัญญาณภาพนี้เป็นสัญญาณอนาลอกซึ่งอาจจะแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลก็ได้ สามารถนำสัญญาณภาพนี้ไปผสมกับสัญญาณพาหะเพื่อส่งออกอากาศเป็นสัญญาณโทรทัศน์ หรือจะบันทึกเก็บไว้ในเทปบันทึกภาพ เก็บไว้ในแผ่นเลเซอร์ดิสก์ หรือจะเก็บไว้ในแผ่นดิสเกตต์และหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ก็ได้

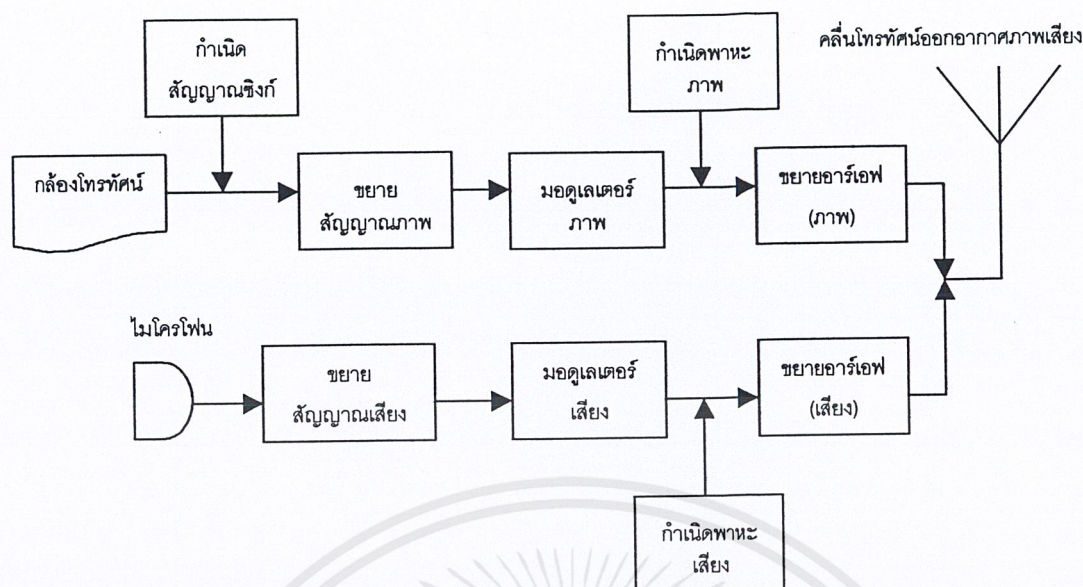
กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์โดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ขาวดำกับกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์สี แบบขาวดำยังมีใช้อยู่ในงานบางอย่างแบบวงจรปิด (CCTV; close circuit TV) เช่น งานเฝ้าดูสังเกตการณ์เกี่ยวกับระบบรักษาความปลอดภัยและสังเกตการณ์ในระบบผลิตด้วยเครื่องจักร เป็นต้น สำหรับกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์สีนั้นจะใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในสตูดิโอของผู้ผลิตรายการที่สถานีส่งโทรทัศน์และช่างภาพทั่วไป อุปกรณ์ที่สำคัญภายในกล้องโทรทัศน์คืออุปกรณ์เก็บสัญญาณภาพ (Image Sensor) ซึ่งมีการพัฒนามานานพอสมควร และในปัจจุบันสามารถสร้างอุปกรณ์เก็บสัญญาณภาพจากสารกึ่งตัวนำได้ เรียกย่อๆว่า CCD (Charge Coupled Device) เราจึงมีโอกาสดูเห็นและได้ใช้กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ที่มีขนาดเล็กคุณภาพดีที่สามารถถ่ายภาพได้แสงสว่างน้อยๆได้

กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์แบบใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์เก็บสัญญาณภาพจะมีเลนส์สามารถรับภาพขนาดต่างๆให้โฟกัสบนแผ่นรับภาพซึ่งทำจากตัวนำไวแสงในขณะเดียวกันป็นอิเล็กทรอนิกส์จะสแกนลำอิเล็กตรอนไปบนภาพที่อยู่บนแผ่นไวแสงทีละเส้นด้วยความเร็วสูง ได้สัญญาณไฟฟ้าที่แปรตามค่าความเข้มของแสงที่ประกอบเป็นภาพนั้น ออกมาเป็นสัญญาณภาพเส้นต่อเส้น กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ขาวดำจะมีอุปกรณ์เก็บสัญญาณภาพเพียงชุดเดียว และกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์สีคุณภาพปานกลางก็จะใช้อุปกรณ์เก็บสัญญาณภาพเพียงชุดเดียวทำหน้าที่เก็บสัญญาณแม่สีทั้ง 3 สีคือ สีเขียว สีแดง และสีน้ำเงินส่วนกล้องโทรทัศน์สีที่มีคุณภาพสูงจะใช้อุปกรณ์เก็บสัญญาณภาพ 3 ชุดแยกเก็บสัญญาณภาพที่เป็นแม่สีทั้ง 3 สี

กล้องโทรทัศน์แบบใช้ CCD เป็นตัวอิมเมจเซนเซอร์สำหรับเก็บสัญญาณภาพได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2531 CCD ที่นำมาใช้เก็บสัญญาณภาพทำจากสารกึ่งตัวนำไดโอดไวแสงและมอสประกอบกันอยู่ในรูปของซิงเกิลชิปไอซีมีช่องเปิดรับแสงบนตัวเพื่อรับภาพ แบ่งพื้นที่การรับภาพเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ ซึ่งเรียกว่าพิกเซล อาจจะมีมากกว่า 1,000,000 พิกเซล จำนวนพิกเซลสูงภาพจะละเอียดคมชัด พิกเซลเหล่านี้จะต่อกันทั้งแนวนอนและแนวตั้ง มีชิพรีจิสเตอร์สำหรับเก็บสัญญาณภาพ เมื่อให้แสงของภาพตกกระทบบนแผ่นรับภาพของ CCD จะมีฟิเตอร์กรองแสงสีต่างๆ ตามหน้าที่ของพิกเซลนั้นๆ ความเข้มของแสงสีในพิกเซลนั้นจะถูกกำหนดเป็นกระแสอิเล็กตรอนส่งเข้าไปเก็บและส่งผ่านชิพรีจิสเตอร์แนวนอนและแนวตั้งออกไปเป็นสัญญาณภาพทางเอาต์พุต เมื่อนำ CCD มาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์จึงทำให้สามารถทำกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ขนาดเล็กที่รวมเอาอุปกรณ์วิดีโอและระบบอัตโนมัติรวมทั้งรีโมทคอนโทรล โดยทั่วไปเรียกว่ากล้องถ่ายภาพวิดีโอ

2.9 หลักการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงโทรทัศน์

หลักการส่งโทรทัศน์ตามบล็อกไดอะแกรมในรูป 2.16 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่จัดการส่งสัญญาณภาพกับส่วนที่จัดการส่งสัญญาณเสียง ซึ่งจะแยกอธิบายหลักการทำงานที่ละส่วนดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการส่งโทรทัศน์

2.9.1 หลักการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์

กล้องถ่ายโทรทัศน์ (Video Camera) จะมีเลนส์รับภาพที่ต้องการส่งแล้วโฟกัสภาพมาให้ตัวอิมเมจเซนเซอร์ภายในกล้องโทรทัศน์ เปลี่ยนความเข้มแสงที่ได้จากภาพให้เป็นสัญญาณภาพความถี่อยู่ระหว่าง 0-5 MHz ส่งให้ภาพขยายสัญญาณภาพ

ภาคกำเนิดสัญญาณซิงก์ (Synchronous Generator) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณซิงก์แนวตั้งและซิงก์แนวนอนเพื่อเป็นสัญญาณควบคุมจังหวะการเกิดภาพของกล้อง ซึ่งสัญญาณซิงก์จะถูกผสมอยู่ในสัญญาณภาพเพื่อส่งไปให้เครื่องรับใช้อ้างอิงในการสร้างภาพที่ตรงกับทางเครื่องส่ง

ภาคขยายสัญญาณภาพ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณภาพที่มีสัญญาณซิงก์อยู่ด้วยให้มีขนาดแอมพลิจูดสูงขึ้น

ภาคกำเนิดพาหะภาพ ทำหน้าที่กำเนิดความถี่อาร์เอฟย่าน VHF หรือ UHF ตามมาตรฐานของช่องและระบบที่ส่ง ความถี่ที่กำเนิดได้ส่งให้ภาคมอดูเลเตอร์ภาพ

ภาคมอดูเลเตอร์ภาพ (Video Modulator) เป็นการเอาสัญญาณภาพมาผสมกับสัญญาณพาหะแบบ AM ซึ่งปกติทั่วไปจะผสมทางลบ ซึ่งหมายถึงระดับค่าของภาพจะมีแอมพลิจูดสูงและระดับขาวของภาพจะมีแอมพลิจูดต่ำ สัญญาณภาพที่ผสมกับพาหะแล้วส่งเข้าภาคขยายอาร์เอฟ

ภาคขยายอาร์เอฟภาพ ทำการขยายคลื่นสัญญาณภาพโทรทัศน์ให้แรงขึ้นแล้วส่งออกอากาศทางสายอากาศ

ภาคสายอากาศ ทำหน้าที่แพร่กระจายสัญญาณภาพโทรทัศน์ให้กระจายออกในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณภาพกับความถี่พาหะ จะเกิดไซด์แบนด์ทั้งด้านบนและล่าง การส่งโทรทัศน์จะไม่ส่งไซด์แบนด์ไปทั้งหมดแต่จะส่งแบบเวสติจัลไซด์แบนด์ (Vestigial Sideband) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmission) คือส่งไซด์แบนด์บนเต็มในส่วนไซด์แบนด์ล่างจะถูกจำกัดไว้ให้ส่งออกเพียง 1.25 MHz เท่านั้น เมื่อสัญญาณภาพมีความถี่สูงสุด 5 MHz ดังนั้นไซด์แบนด์บนที่สูงกว่าพาหะภาพอยู่ 5 MHz จึงถูกส่งออกอากาศไปทั้งหมด

2.9.2 หลักการส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์

การส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์มีหลักการเหมือนเครื่องส่งวิทยุ FM ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ไมโครโฟน ทำหน้าที่รับคลื่นเสียงที่สัมพันธ์กับภาพเข้ามาแปลงเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้าด้วยความถี่เสียง แล้วส่งเข้าภาคขยายสัญญาณเสียง

ภาคขยายสัญญาณเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟนให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น รวมถึงการปรับแต่งเสียงแล้วส่งเข้าภาคมอดูเลเตอร์เสียง

ภาคกำเนิดพาหะเสียง ทำหน้าที่กำเนิดความถี่พาหะเสียง ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงกว่าพาหะของภาพอยู่ 5.5 MHz ในระบบ 625 เส้น หรือ 4.5 MHz ในระบบ 525 เส้น ส่งเข้าภาคมอดูเลเตอร์เสียง

ภาคมอดูเลเตอร์เสียง ทำการผสมคลื่นเสียงเข้ากับพาหะทางความถี่แบบ FM ซึ่งยอมให้มีความถี่เบี่ยงเบนได้ 50 kHz เป็นสัญญาณเสียงโทรทัศน์

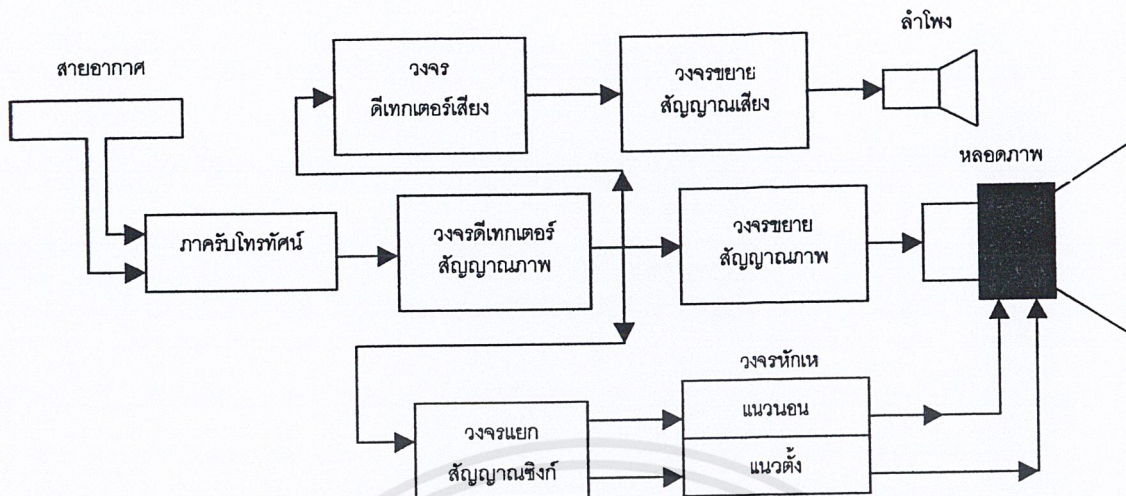
ภาคขยายอาร์เอฟเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงโทรทัศน์ให้มีขนาดแอมพลิจูดสูงขึ้นส่งเข้าสายอากาศ

ภาคสายอากาศ ทำหน้าที่กระจายคลื่นเสียงโทรทัศน์ออกอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์แบบ FM อาจจะมีสัญญาณรบกวนทางความถี่สูงได้ทางเครื่องส่งจึงต้องการพรี-เอมฟาสิส (Pre Emphasis) โดยขั้วกระตุ้นของสัญญาณเสียงด้านความถี่สูงให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นกว่าปกติ ซึ่งค่าคงตัวทางเวลาในวงจรพรี-เอมฟาสิสมีค่า 50 μ s อัตราส่วนความแรงของสัญญาณเสียงที่ส่งออกอากาศนั้นจะต้องต่ำกว่าสัญญาณภาพประมาณ 1:5

สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่ใช้ส่งเป็นสัญญาณโทรทัศน์นั้นหากเป็นรายการสดและรายการจากฟิล์มสไลด์หรือภาพยนตร์จะใช้สัญญาณภาพที่ถ่ายจากกล้องโดยตรงส่วนรายการที่ไม่ใช่รายการสดมักใช้สัญญาณภาพจากวิดีโอเทปที่ตัดต่อรายการสำเร็จและผ่านการตรวจสอบแล้ว ซึ่งอาจจะผสมภาพจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน

2.10 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์



รูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการรับสัญญาณโทรทัศน์

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.17 สามารถอธิบายหลักการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดังนี้
สายอากาศโทรทัศน์ จะทำการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงโดยเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นคลื่นไฟฟ้า ส่งเข้าวงจรรับคลื่นโทรทัศน์

ภาครับคลื่นโทรทัศน์ ทำหน้าที่รับคลื่นโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียง เลือกช่องที่ต้องการแล้วขยายสัญญาณให้แรงขึ้น ส่งเข้าภาคดีเทกเตอร์ภาพ

ภาคดีเทกเตอร์สัญญาณภาพ ทำหน้าที่แยกสัญญาณภาพ สัญญาณเสียงและสัญญาณซิงค์ออกจากพาหะ

ภาคขยายสัญญาณภาพ รับสัญญาณภาพจากภาคดีเทกเตอร์มาขยายให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น ส่งเข้าไปในหลอดภาพ

ภาคแยกสัญญาณซิงค์ ทำหน้าที่รับสัญญาณภาพมาแยกเอาเฉพาะสัญญาณซิงค์ ซึ่งมีทั้งสัญญาณซิงค์แนวนอนและแนวตั้ง เพื่อส่งไปควบคุมวงจรหักเหให้ทำงานสัมพันธ์กับทางสถานีส่ง

ภาคหักเห ทำหน้าที่สร้างสัญญาณหักเหทั้งแนวตั้งและแนวนอนตามจังหวะควบคุมของสัญญาณซิงค์ สัญญาณหักเหจะส่งเข้าคลวดหักเหที่หลอดภาพ

ภาคหลอดภาพ จะทำหน้าที่สร้างภาพที่หน้าจอ โดยการควบคุมจังหวะของซิงค์ให้เกิดภาพที่ถูกต้องตรงกับสถานีส่ง

ภาคดีเทกเตอร์เสียง จะทำการดีเทกเตอร์แบบ FM ให้ได้สัญญาณเสียงส่งเข้าภาคขยายเสียง
ภาคขยายเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นส่งเข้าลำโพง

ลำโพง ทำหน้าที่แปลงเสียงตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนจากภาคขยายเสียง

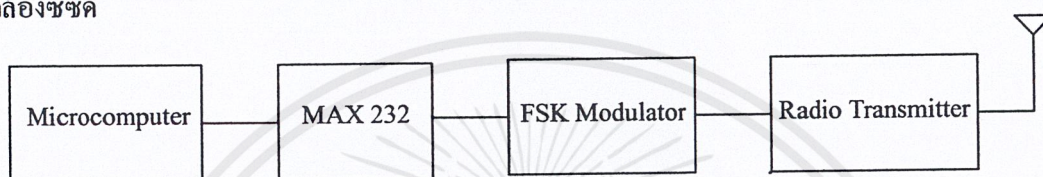
จากการทำงานดังกล่าวมาจะได้ภาพเกิดขึ้นหน้าจอภาพพร้อมกับ ได้ยินเสียงออกมาทางลำโพง ทั้งภาพและเสียงเป็นลักษณะเดียวกับที่ทางสถานีส่ง ได้ส่งออกอากาศมา

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

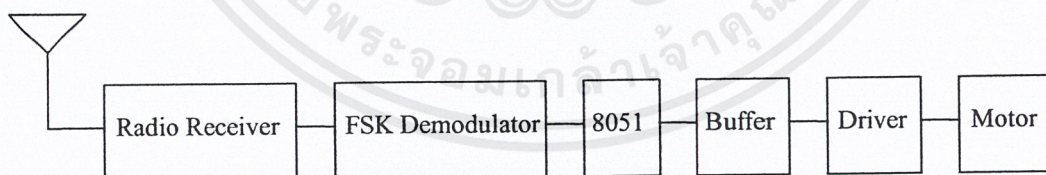
3.1 หลักการออกแบบ

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานรดสำรวจ อุปกรณ์หลักๆ ประกอบด้วย รดสำรวจ ส่วนควบคุม รด และส่วนประมวลสัญญาณภาพ โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมรด และสัญญาณภาพใช้วิธีการส่งผ่านคลื่นวิทยุ เพื่อให้มีอิสระในการใช้งานมากกว่าใช้สายสัญญาณ โดยสัญญาณภาพจะส่งผ่านเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ (Video Sender) ส่วนสัญญาณควบคุมรदनนั้นจะใช้การส่งผ่านเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ ในส่วนของตัวรดสำรวจนั้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ในการควบคุมการขับเคลื่อนรด และควบคุมทิศทางของตัวกล้องซีซีดี



รูปที่ 3.1 แสดงการส่งสัญญาณควบคุมรด

จากรูปที่ 3.1 สัญญาณดิจิทัลที่ใช้ควบคุมรด จะออกจากคอมพิวเตอร์ทางคอมพิวเตอร์ โดยลอจิก 1 จะมีค่าแรงดันประมาณ -12 โวลต์ ส่วนลอจิก 0 จะมีค่าแรงดันประมาณ +12 โวลต์ ขนาดแรงดันดังกล่าวไม่สามารถให้วงจรมอดูเลเตอร์ ทำงานได้อย่างถูกต้อง จึงต้องผ่านไอซี MAX 232 ซึ่งทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันขนาดดังกล่าวให้เป็นระดับที่ที่แอล คือ ลอจิก 1 จะมีค่าแรงดัน 5 โวลต์ ส่วนลอจิก 0 จะมีค่าแรงดัน 0 โวลต์ เมื่อได้สัญญาณดิจิทัลที่มีระดับแรงดันที่ที่แอลแล้ว สัญญาณควบคุมรดจะถูกส่งไปยังวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค โดยลอจิก 1 จะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงความถี่ 1,200 Hz ลอจิก 0 ถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงความถี่ 2,200 Hz เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตเป็นสัญญาณเสียง จึงสามารถนำไปต่อเข้ากับช่องรับสัญญาณเสียงของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุได้ แล้วถูกส่งออกอากาศผ่านทางสายอากาศไป

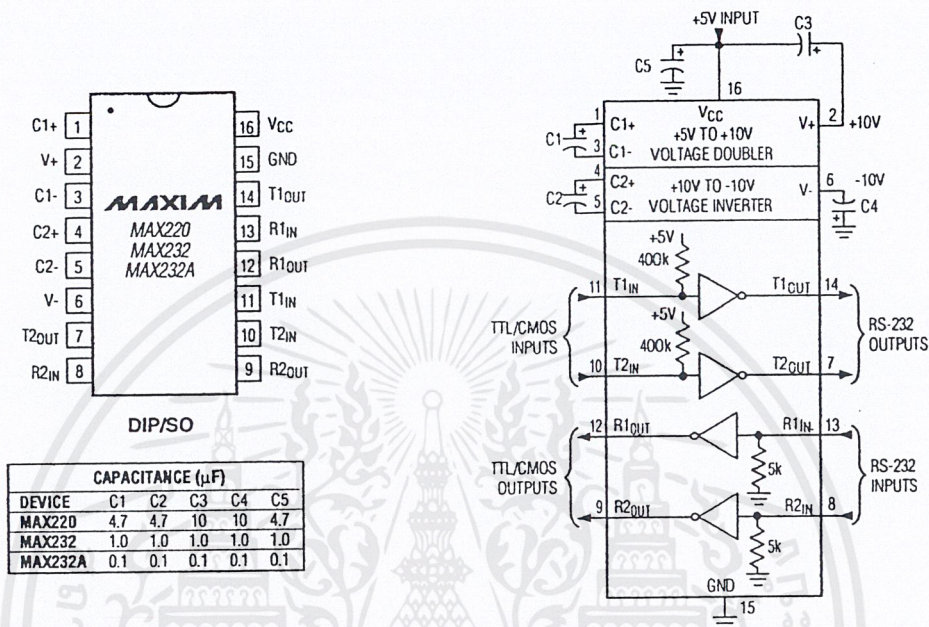


รูปที่ 3.2 แสดงการรับสัญญาณควบคุมรด

จากรูปที่ 3.2 สัญญาณวิทยุซึ่งรับได้จากสายอากาศจะถูกแยกเอาสัญญาณเสียงออกมาโดยเครื่องรับสัญญาณวิทยุ หลังจากนั้นจะผ่านวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเค ได้เป็นสัญญาณดิจิทัลออกมา สัญญาณดิจิทัลนี้จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ ตัวฟเฟอร์จะทำหน้าที่รับสัญญาณลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งต่อไปยังวงจรที่ขับเคลื่อนให้กับสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) และมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้ทำงานตามคำสั่ง

3.2 ไอซีแปลงระดับแรงดัน

จากความต้องการในการแปลงระดับ -12 โวลต์ เป็น +5 โวลต์ และ +12 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ นั้นมี ไอซีที่สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้ คือไอซีเบอร์ MAX 232 การใช้งานไม่ยุ่งยาก เพียงแค่ป้อนแรงดันไฟเลี้ยงให้กับตัวไอซีขนาด +5 โวลต์ และมีตัวเก็บประจุต่ออยู่ภายนอกตัวไอซีเพียง 5 ตัวเท่านั้น รูปที่ 3.3 แสดงการต่อใช้งานไอซี MAX 232



รูปที่ 3.3 แสดงไอซี MAX 232

3.3 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

ไอซีที่เลือกใช้ในการทำหน้าที่เป็นเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ คือ ไอซีเบอร์ XR 2206 ซึ่งมีความสามารถในการผลิตสัญญาณซายน์, สัญญาณสามเหลี่ยม, สัญญาณสี่เหลี่ยม, สัญญาณแรมพ์ ได้ โดยความถี่ของสัญญาณที่ได้ที่เอาต์พุตของตัวไอซีนั้น ถูกกำหนดได้จากค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ที่ต่ออยู่ภายนอกตัวไอซี

3.3.1 คุณสมบัติของไอซี XR 2206

- ต้องการไฟเลี้ยงตัวไอซีขนาดแรงดัน +10 ถึง +26 โวลต์ หรือ ± 5 ถึง ± 13 โวลต์
- กินกระแสไฟฟ้าสูงสุด 17 mA
- ความถี่ของออสซิลเลเตอร์สูงสุด 1 MHz
- ค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกำหนดความถี่แนะนำให้ใช้ในช่วง 0.001 – 100 μF
- ค่าความต้านทาน R1 และ R2 ที่แนะนำให้ใช้ในช่วง 1 – 2000 k Ω

3.3.2 สิ่งที่ต้องการจากวงจรมอดูเลเตอร์

1. เมื่อสัญญาณอินพุตของวงจรมีค่าเป็นลอจิก 1 หรือแรงดัน +5 โวลต์ ให้วงจรผลิตสัญญาณซายน์ความถี่ 1,200 Hz แล้วส่งออกจากเอาต์พุต

3.4 วงจรเฟสล็อกคิมมอดูเลเตอร์

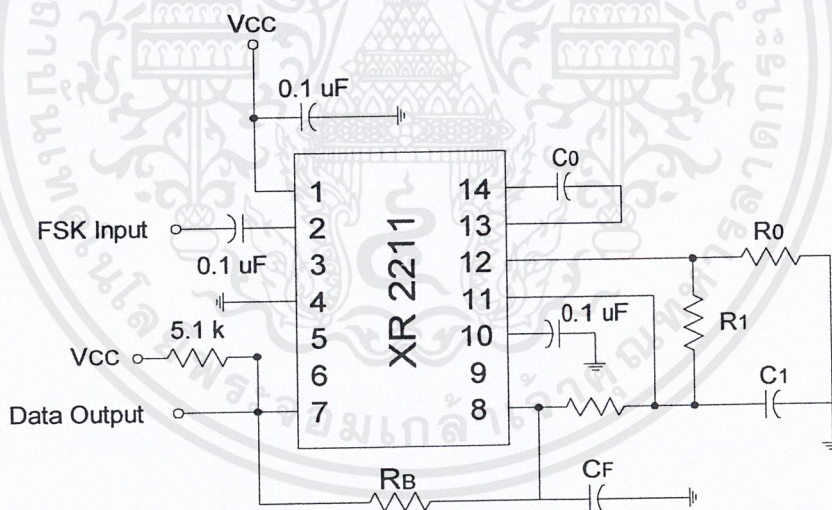
ไอซีที่เลือกใช้ในการทำหน้าที่เป็นเฟสล็อกคิมมอดูเลเตอร์ คือ ไอซีเบอร์ XR 2211 ซึ่งเป็นไอซีที่มีการทำงานแบบเฟสล็อกคิมมอดูเลเตอร์ (Phase Lock Loop) สามารถทำงานได้เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าแรงดัน 10 mV ถึง 3 V อุปกรณ์ภายนอกตัวไอซีจะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่กลาง แบนด์วิดท์ และค่าเอาต์พุตดีเลย์

3.4.1 คุณสมบัติของไอซี XR 2211

- ต้องการไฟเลี้ยงตัวไอซีขนาดแรงดัน +4.5 ถึง 20 โวลต์
- กินกระแสไฟฟ้าสูงสุด 7 mA
- ความถี่สูงสุดที่สามารถคิมมอดูเลตได้ คือ 300 kHz
- ค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกำหนดความถี่แนะนำให้ใช้ในช่วง 0.0002 – 10 μF
- ค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่แนะนำให้ใช้ในช่วง 10 – 100 $\text{k}\Omega$

3.4.2 สิ่งที่ต้องการจากวงจรคิมมอดูเลเตอร์

1. เมื่อสัญญาณอินพุตของวงจรเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1,200 Hz ให้วงจรผลิตสัญญาณลอจิก 1 หรือแรงดันไฟขนาด +5 โวลต์
2. เมื่อสัญญาณอินพุตของวงจรเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 2,200 Hz ให้วงจรผลิตสัญญาณลอจิก 0 หรือแรงดันไฟขนาด 0 โวลต์



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อใช้งานไอซี XR 2211 เป็นเฟสล็อกคิมมอดูเลเตอร์

จากรูปที่ 3.5 สามารถคำนวณค่าของอุปกรณ์ภายนอกตัวไอซี XR 2211 ได้ดังนี้

1. เนื่องจากความถี่ของสัญญาณอินพุตมีค่า 1,200 Hz และ 2,200 Hz คำนวณค่าความถี่กลางของเฟสล็อกคิมมอดูเลเตอร์ (f_0) ได้จาก

$$f_0 = (f_1 \times f_2)^{0.5}$$

$$f_0 = (1200 \times 2200)^{0.5}$$

$$f_0 = 1624 \text{ Hz}$$

2. เนื่องจากค่าความถี่กลางของเฟสล็อกคูลูปมีค่าเท่ากับ $1 / (R_0 \times C_0)$ คำนวณหาค่า R_0 เมื่อกำหนดค่า C_0 เท่ากับ $0.022 \mu\text{F}$ ซึ่งอยู่ในช่วงที่แนะนำ หาค่า R_0 ได้จาก

$$f_0 = 1 / (R_0 \times C_0)$$

$$1624 = 1 / (R_0 \times 0.022 \times 10^{-6})$$

$$R_0 = 1 / (1624 \times 0.022 \times 10^{-6})$$

$$R_0 = 27.99 \text{ k}\Omega$$

3. คำนวณหาค่า R_1 ซึ่งเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดธ์ของระบบได้จาก

$$R_1 = (2 \times R_0 \times f_0) / (f_1 - f_2)$$

$$R_1 = (2 \times 27.99 \times 10^3 \times 1624) / (2200 - 1200)$$

$$R_1 = 90.91 \text{ k}\Omega$$

4. คำนวณหาค่า C_1 ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าคงตัวทางเวลาของลูปฟิลเตอร์ และตัวประกอบของลูปเฟคเตอร์ได้จาก

$$C_1 = (1250 \times C_0) / (R_1 \times 0.5^2)$$

$$C_1 = (1250 \times 0.022 \times 10^{-6}) / (90.91 \times 10^3 \times 0.25)$$

$$C_1 = 0.0012 \mu\text{F}$$

5. ค่า R_F แนะนำให้ใช้อย่างน้อยมีค่าเป็น 5 เท่า ของ R_1 ดังนั้นใช้ค่า R_F เท่ากับ

$$R_F = 5 \times 91 \times 10^3$$

$$R_F = 455 \text{ k}\Omega$$

6. ค่า R_B แนะนำให้ใช้อย่างน้อยมีค่าเป็น 5 เท่าของ R_F ดังนั้นใช้ค่า R_B เท่ากับ

$$R_B = 5 \times 455 \times 10^3$$

$$R_B = 2.275 \text{ M}\Omega$$

7. คำนวณหาค่า R_{SUM} จาก

$$R_{SUM} = (R_F + R_1) \times R_B / (R_F + R_1 + R_B)$$

$$R_{SUM} = (455 + 91) \times 2275 / (2275 + 91 + 455) \text{ k}\Omega$$

$$R_{SUM} = 440 \text{ k}\Omega$$

8. คำนวณหาค่า C_F จาก

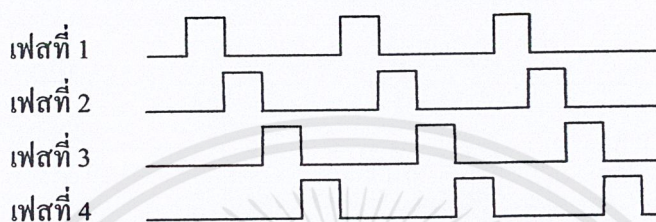
$$C_F = 0.25 / (R_{SUM} \times \text{Baud Rate})$$

$$C_F = 0.25 / (440 \times 10^3 \times 1200)$$

$$C_F = 473 \text{ pF}$$

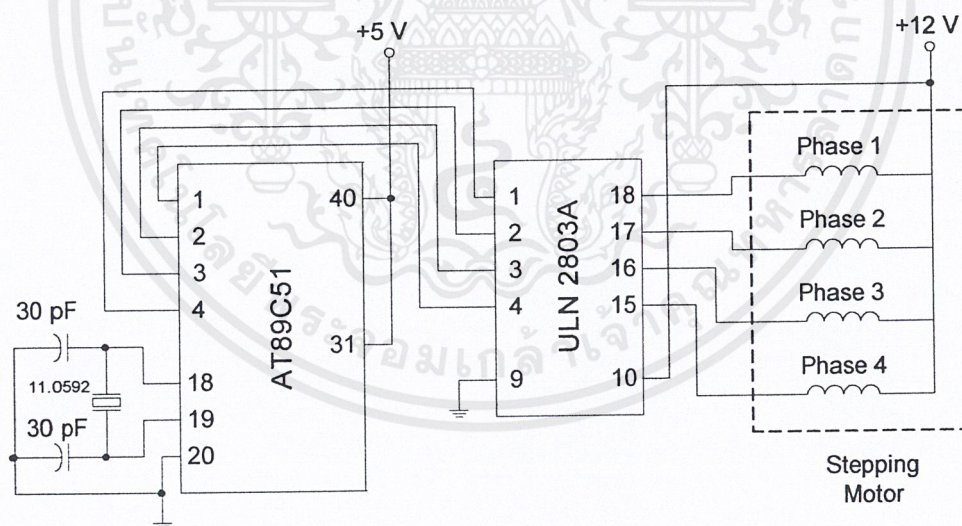
3.5 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

สเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้นั้น เป็นชนิด 6 สาย 4 เฟส มีสเตร็ปการหมุนสเต็ปละ 7.5 องศา การจะทำให้สเต็ปปีงทำงานนั้น ต้องป้อนกระแสให้แต่ละเฟสของตัวสเต็ปปีงมอเตอร์ ในลักษณะวนเรียงกันไปตั้งแต่เฟสที่ 1 จนถึงเฟสที่ 4 แล้ววนกลับมาเฟสที่ 1 อีกครั้ง แล้ววนไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการป้อนกระแสให้กับสเต็ปปีงมอเตอร์

จากความจำเป็นในการป้อนกระแสทั้ง 4 เฟส จึงนำไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มาควบคุมการป้อนกระแส โดยการให้สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ต 1 ของ 8051 ต่อเข้ากับไอซีที่ใช้ไครฟ์มอเตอร์เบอร์ ULN 2803A ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

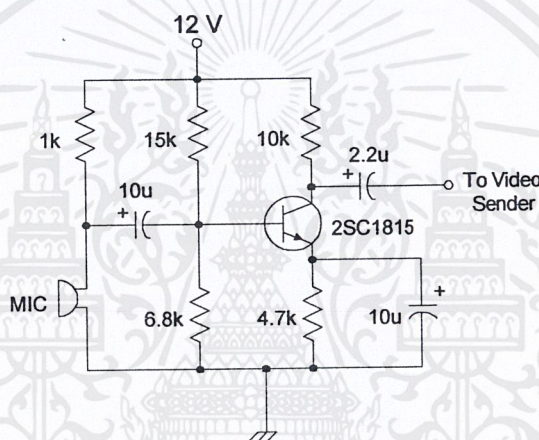
จากรูปที่ 3.7 อธิบายการทำงานได้ดังนี้ สัญญาณลอจิกจากเอาต์พุตพอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งค่าลอจิก 1 ออกมาครั้งละบิต วนกันไปตามลักษณะการป้อนกระแสให้ตัว สเต็ปปีงมอเตอร์ทำงาน สัญญาณลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อเข้ากับไอซี ULN 2803A ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ไครฟ์สเต็ปปีงมอเตอร์ ภายในเป็นวงจรทรานซิสเตอร์อาร์เรย์กันตามแบบดาไล่งตันแพร์ (Darlington Pair)

โดยทนกระแสได้ประมาณ 500 mA ที่ขาคอลเลกเตอร์ในแต่ละบิต ตัวไอซีสามารถต่อใช้งานได้ถึง 8 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่าไอซี 1 ตัว สามารถใช้กับสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟสได้ถึง 2 ตัว การต่อใช้งานโดยการนำแต่ละเฟสของสเต็ปป์มอเตอร์ ต่อเข้ากับขา 11 ถึง 18 ของตัวไอซี ถ้าต้องการป้อนกระแสให้กับเฟสใดของสเต็ปป์มอเตอร์ ก็ทำได้โดยการป้อนสัญญาณลอจิก 1 เข้าไปที่ด้านตรงข้ามของตัวไอซี คือ ขา 1 ถึง 8 เมื่อสเต็ปป์มอเตอร์ ได้รับการป้อนกระแสอย่างถูกต้องแล้ว สเต็ปป์มอเตอร์ก็จะทำงานได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เขียน ถ้าความถี่ของบิต 1 ที่เอาต์พุตมีความถี่สูงเกินไป ก็จะทำให้ตัวสเต็ปป์มอเตอร์ทำงานไม่ทันได้

3.6 วงจรปริ๊มค์ (Pre Mic)

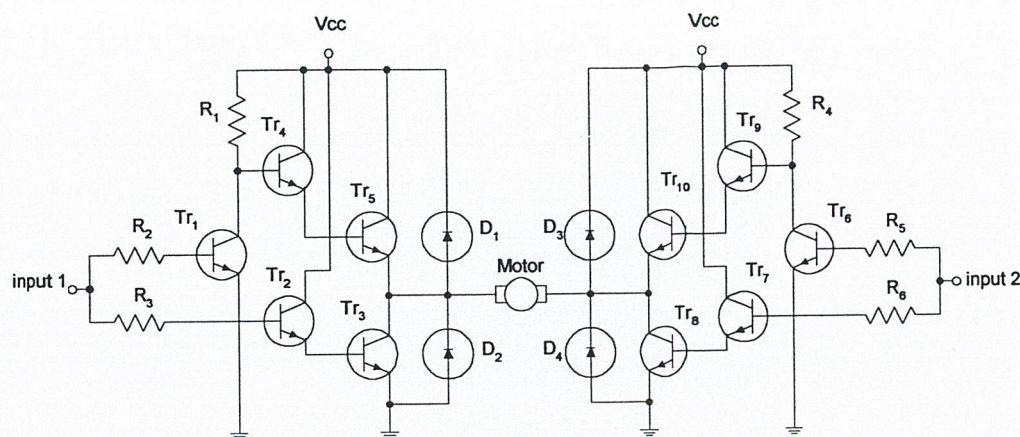
เนื่องจากตัวเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ นั้นสามารถส่งได้ทั้งภาพและเสียง เพื่อไม่ให้เป็นการเสียประโยชน์ นอกจากจะนำสัญญาณวิดีโอจากกล้องซีซีดี ต่อเพื่อส่งภาพมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว ยังสามารถส่งเสียงกลับมามีพร้อมกันได้ด้วย โดยการนำคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ซึ่งมีขนาดเล็ก ต่อเข้ากับวงจรปริ๊มค์ ดังรูปที่ 3.8 เพื่อให้สัญญาณเสียงถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และมีระดับของสัญญาณพอเหมาะกับเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรปริ๊มค์

3.7 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ ระบุไว้ว่าแรงดัน 24 โวลต์ และกินกระแสประมาณ 2 แอมป์ ในสถานะที่มีแรงบิดสูง นอกจากนี้ในมอเตอร์ตัวเดียวกันต้องสามารถหมุนไปและกลับได้ ดังนั้นวงจรที่นำมาขับมอเตอร์ จะต้องสามารถควบคุมมอเตอร์ และทนการใช้งานในสภาวะดังกล่าวได้ วงจรที่นำมาขับมอเตอร์ กระแสตรงจึงใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งสามารถทนกระแสได้สูง ต่อกันในลักษณะดังรูปที่ 3.9 เพื่อให้กระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ถูกควบคุมได้ด้วยสัญญาณอินพุตจากภายนอกวงจร ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ก็ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุตทั้งสองนี้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

จากรูปที่ อธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ สมมติที่อินพุต 1 เป็น 0 โวลต์ ทำให้ Tr_1 , Tr_2 , Tr_3 อยู่ในสถานะ OFF กระแสจะจาก V_{cc} ไหลผ่าน R_1 เป็นการไบอัสให้กับ Tr_4 ทำให้ Tr_4 อยู่ในสถานะ ON กระแสจำกัดเตอร์จาก Tr_4 จะไหลเข้าขาเบสของ Tr_5 ทำให้ Tr_5 อยู่ในสถานะ ON กระแสจำกัดเตอร์จาก Tr_5 จะไหลเข้าสู่มอเตอร์ โดยปริมาณกระแสที่ไหลขึ้นอยู่กับกระแสที่ไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ จะเห็นว่ากระแสได้ไหลเข้าสู่หัวหนึ่งของมอเตอร์แล้ว ต้องต่ออีกหัวหนึ่งของมอเตอร์ลงกราวด์เพื่อให้มอเตอร์หมุน ดังนั้นจึงป้อนอินพุต 2 เป็น 5 โวลต์ ทำให้ Tr_7 อยู่ในสถานะ ON กระแสจำกัดเตอร์จาก Tr_7 จะไหลเข้าขาเบส Tr_8 ทำให้ Tr_8 อยู่ในสถานะ ON และเนื่องจากหัวของมอเตอร์ต่อกับขาคอลเลกเตอร์ของ Tr_8 ทำให้กระแสไหลจากมอเตอร์ผ่าน Tr_8 ลงกราวด์ แรงดันที่ตกคร่อมหัวของมอเตอร์จะมีค่าประมาณ $V_{cc} - 2V_{be}$

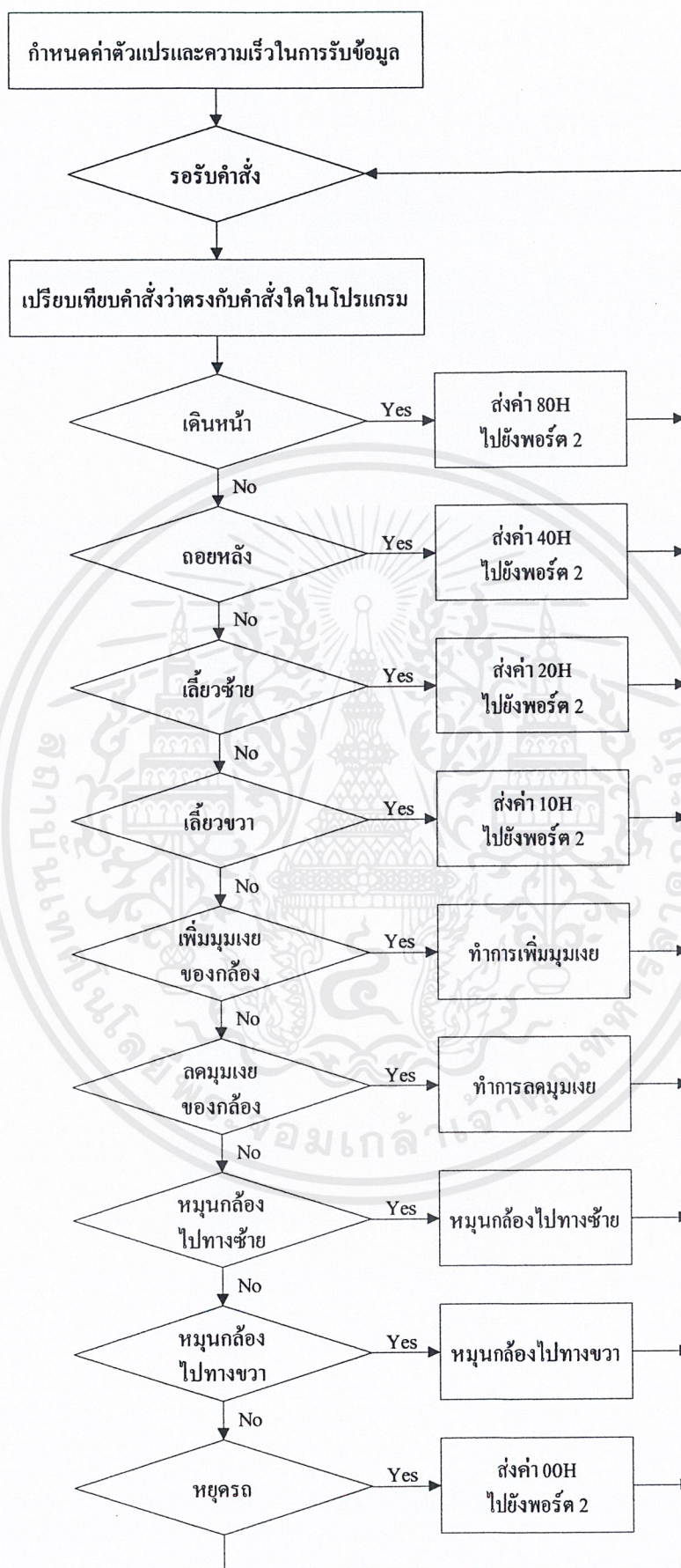
กรณีต้องการให้มอเตอร์หมุนจะต้องป้อนอินพุตหนึ่งเป็น 0 โวลต์ และอีกอินพุตหนึ่งเป็น 5 โวลต์ และถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตรงกันข้าม ก็ต้องป้อนอินพุตสลับจากเดิมคือ ที่ป้อน 0 โวลต์ ก็เปลี่ยนเป็นป้อน 5 โวลต์ และที่ป้อน 5 โวลต์ ก็เปลี่ยนเป็นป้อน 0 โวลต์ กรณีที่อินพุตทั้งสองมีค่าเท่ากันทั้งคู่ จะมีผลทำให้ความต่างศักย์ระหว่างหัวทั้งสองของมอเตอร์มีค่าเท่ากัน กระแสไม่เกิดการไหลผ่านมอเตอร์ทำให้มอเตอร์ไม่ทำงาน ในการต่อใช้งานจริงระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ วงจรขับมอเตอร์ กระแสตรงนั้น จะใช้บัฟเฟอร์กันระหว่างสองวงจรเอาไว้ โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS244 ซึ่งรองรับการใช้งานได้ถึง 8 บิต

3.8 การโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จำเป็นต้องกำหนดหน้าที่ของแต่ละพอร์ตให้เรียบร้อยเสียก่อนว่าจะนำสัญญาณลอจิกจากพอร์ตต่างๆ ไปควบคุมอะไร เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมลงไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างถูกต้อง

ในการออกแบบการทำงานในส่วนนี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สองตัว เพื่อให้การควบคุมกลิ้งและการควบคุมแยกอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังทำให้ไม่ต้องส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา แม้ในช่วงที่ไม่มีคำสั่ง ลักษณะของโปรแกรมการทำงานที่จะเขียนลงไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตัวนั้น จะมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

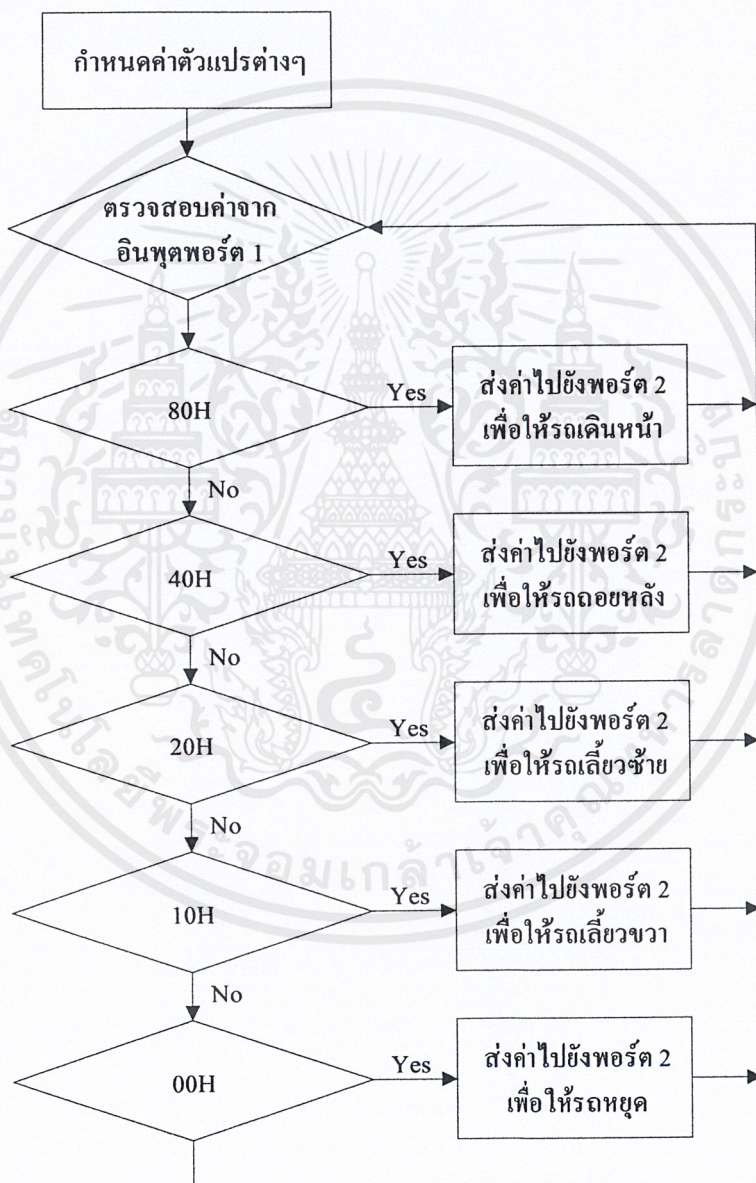
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงแผนภูมิการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นลักษณะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่ในการรับคำสั่งมาจากวงจรเฟสเคสเคมอดูเลเตอร์ เมื่อมีคำสั่งเข้ามาจะทำการตรวจสอบว่าเป็นคำสั่งอะไร ถ้าเป็นคำสั่งที่ใช้ควบคุมกล้อง ก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังพอร์ต 1 ดังที่โปรแกรมไว้ เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์ทำงานสัมพันธ์กับคำสั่ง แต่ถ้าเป็นคำสั่งที่ใช้บังคับรถ ก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังพอร์ต 2 เพื่อควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองต่อไป โปรแกรมที่เขียนลงไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่งนี้ จะต้องมีการกำหนดค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ เพื่อกำหนดโหมดการสื่อสาร, ความเร็วในการรับข้อมูล, สถานะเริ่มต้นของแต่ละพอร์ต ดังแสดงในภาคผนวก



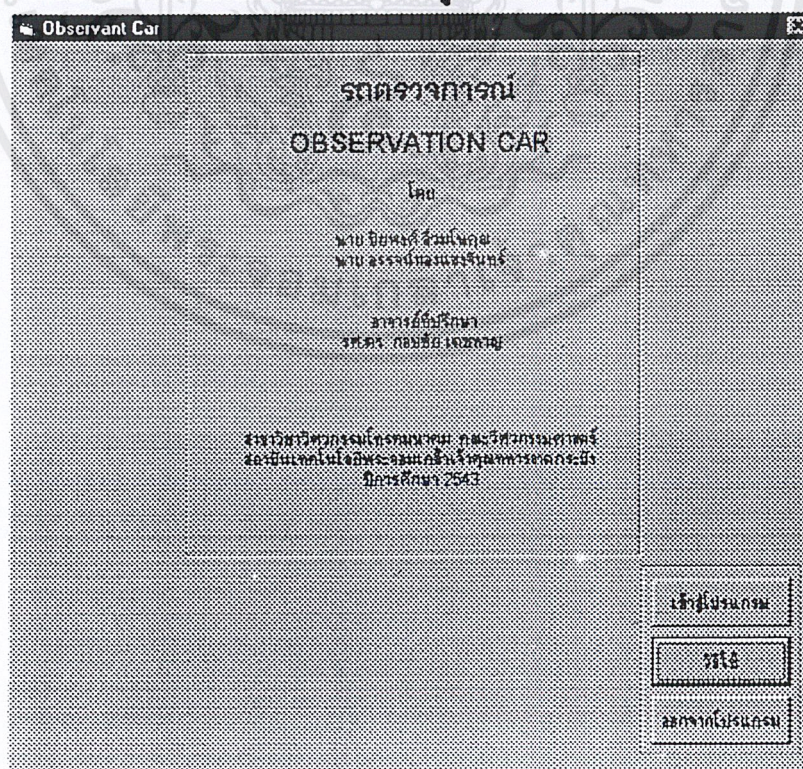
รูปที่ 3.11 แสดงแผนภูมิการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นลักษณะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สอง ซึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบอินพุตพอร์ต 1 ซึ่งรับค่าจากเอาต์พุตพอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่ง ถ้าทุกบิตของอินพุตพอร์ต 1 เป็น 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่ส่งเอาต์พุตไปยังพอร์ต 2 ทำให้วงจรที่ต่ออยู่กับพอร์ต 2 ไม่ทำงาน รถก็จะไม่เคลื่อนที่ แต่ถ้ามีค่าอินพุตเข้ามา ก็จะทำงานโดยส่งค่าไปยังพอร์ต 2 เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ ตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้ ดังแสดงในภาคผนวก

3.9 ซอฟต์แวร์ในการส่งสัญญาณควบคุมและแสดงผล

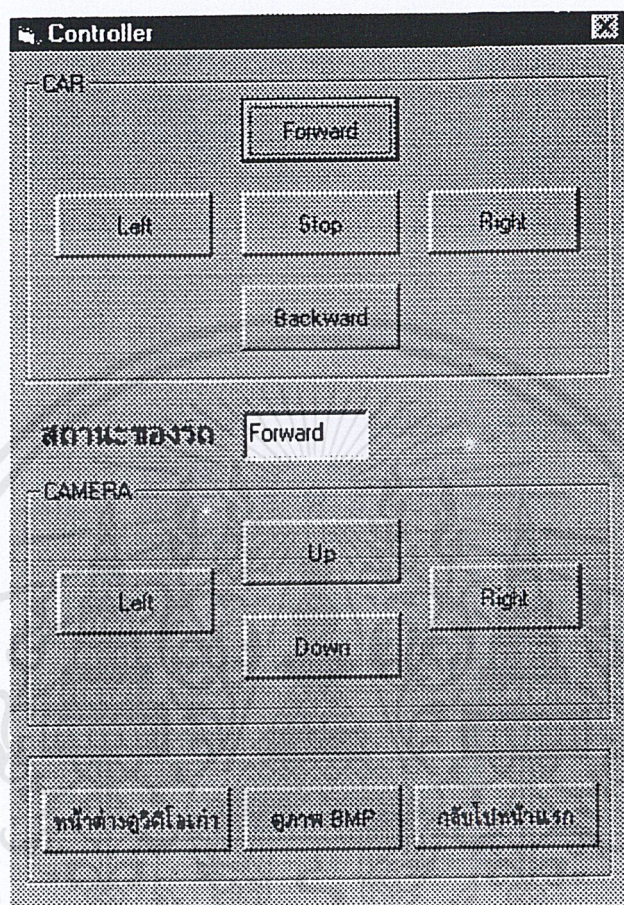
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมรถเขียนมาจากโปรแกรมวิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 โดยมีหน้าต่างการทำงานต่างๆ ดังรูปที่ 3.12 ในหน้าต่างควบคุมรถและกล้องนั้น จะมีปุ่มกดซึ่งได้บอกไว้บนปุ่มแล้วว่าทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังคัมไให้รถหรือกล้องทำงานอะไร เมื่อมีการกดปุ่มเกิดขึ้น โปรแกรมที่เขียนไว้จะเปิดพอร์ตคอมพอร์ต 1 ของเครื่องคอมพิวเตอร์ มีผลให้เครื่องส่งวิทยุเริ่มส่งสัญญาณ เนื่องจากการส่งหรือหยุดส่งของเครื่องส่งวิทยุ นั้น ใช้การตรวจสอบขา RTS ของคอมพอร์ต 1 เมื่อเครื่องส่งวิทยุทำงานแล้ว ก็จะหน่วงเวลาไว้ แล้วส่งคำสั่งด้วยความเร็ว 1,200 บอด ออกมาทางคอมพอร์ต 1 ผ่านวงจรเฟสแอสเคมอดูเลเตอร์ แล้วส่งออกอากาศผ่านเครื่องส่งวิทยุต่อไป หลังจากนั้นจะหน่วงเวลาไว้แล้วโปรแกรมก็จะทำการปิดพอร์ตคอมพอร์ต 1 มีผลให้เครื่องส่งทำการหยุดส่งด้วย จะเห็นว่า ในการควบคุมรถนั้น เพียงแค่เอาเมาส์คลิกที่ปุ่มคำสั่งเพียงปุ่มเดียว ซอฟต์แวร์ก็จะทำงานเองทั้งหมด ตั้งแต่คำสั่งที่ส่งออกไป รวมทั้งการทำงานของเครื่องส่งด้วย

เนื่องจากการรับสัญญาณภาพนั้นใช้การ์ดทีวีจูนเนอร์ ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ให้มาด้วยนั้น สามารถทำการบันทึกภาพในลักษณะของไฟล์นามสกุล AVI และ BMP ได้ จึงเขียนซอฟต์แวร์ขึ้นมาเพื่อรองรับการใช้งานในส่วนดังกล่าว โดยสามารถทำการเปิดและแสดงภาพที่ถูกบันทึกเอาไว้ได้

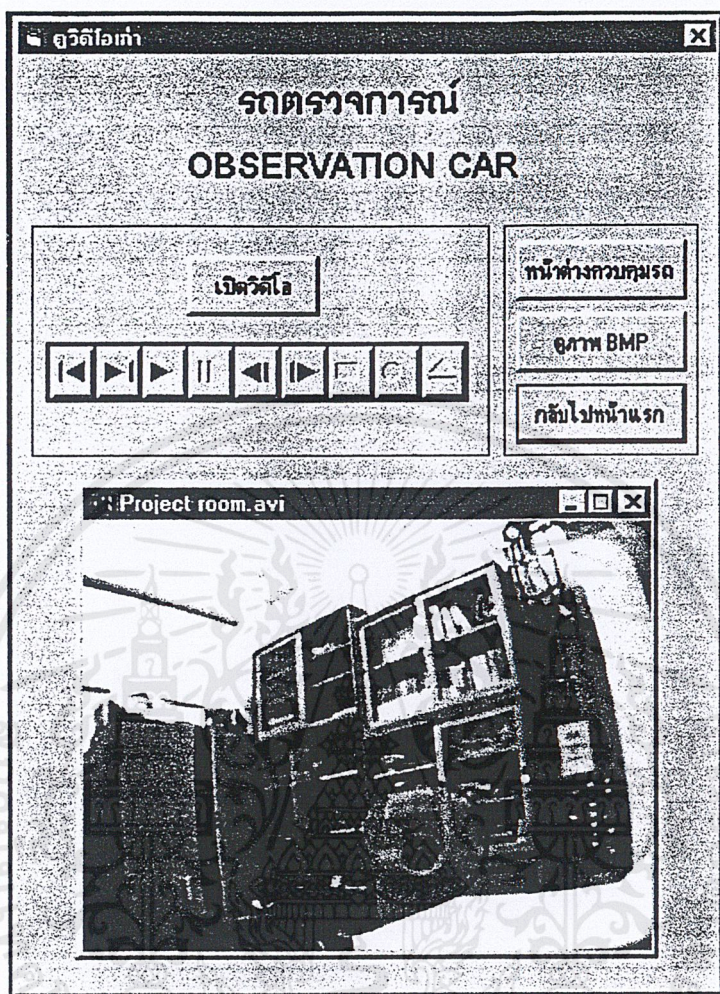


รูปที่ 3.12 (a) แสดงหน้าต่างแรกของโปรแกรมวิซวลเบสิก

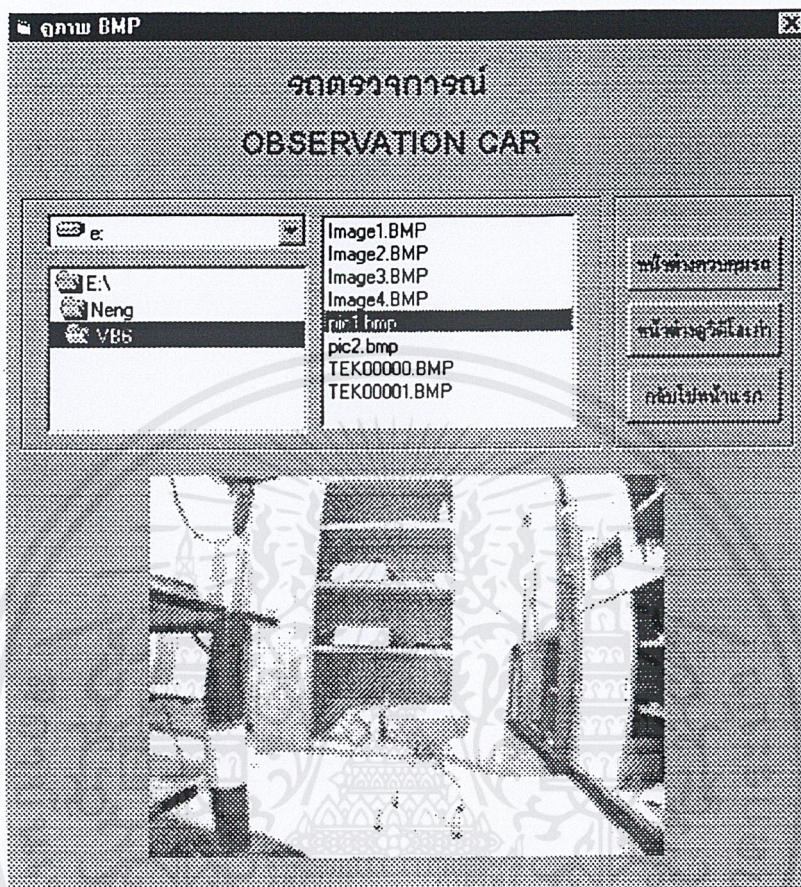
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



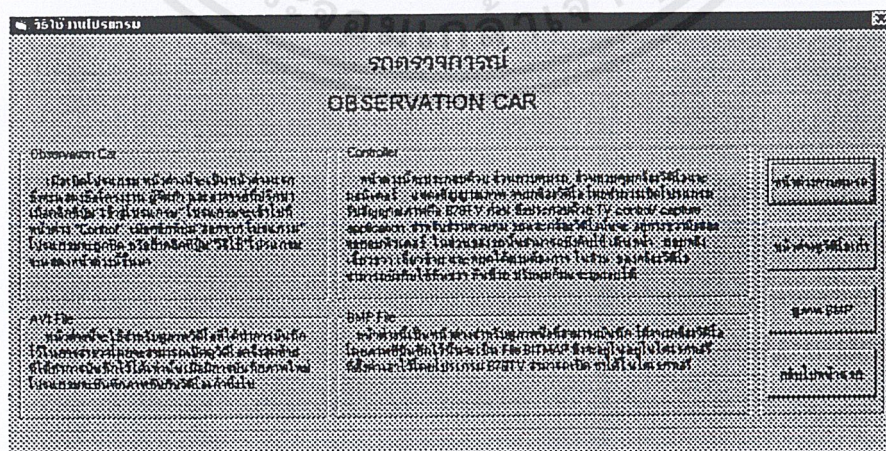
รูปที่ 3.12 (b) แสดงหน้าต่างควบคุมรถและกล้องวิดีโอ



รูปที่ 3.12 (c) แสดงหน้าต่างรูปภาพวิดีโอที่บันทึกไว้



รูปที่ 3.12 (d) แสดงหน้าต่างรูปภาพจากไฟล์ BMP

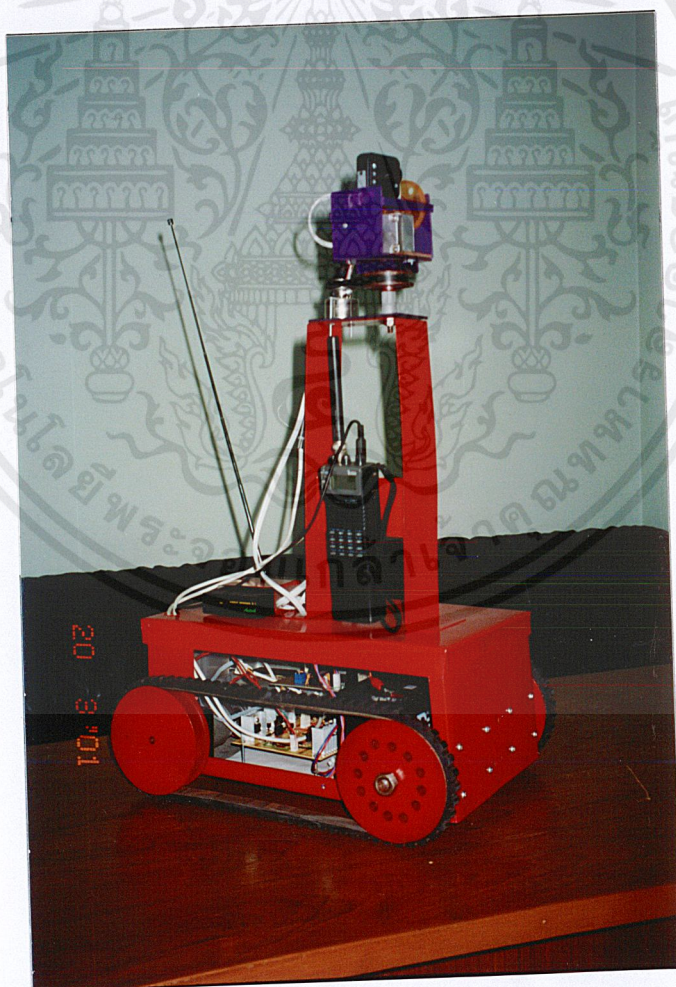


รูปที่ 3.12 (e) แสดงหน้าต่างวิธีใช้โปรแกรมควบคุมรถตรวจการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

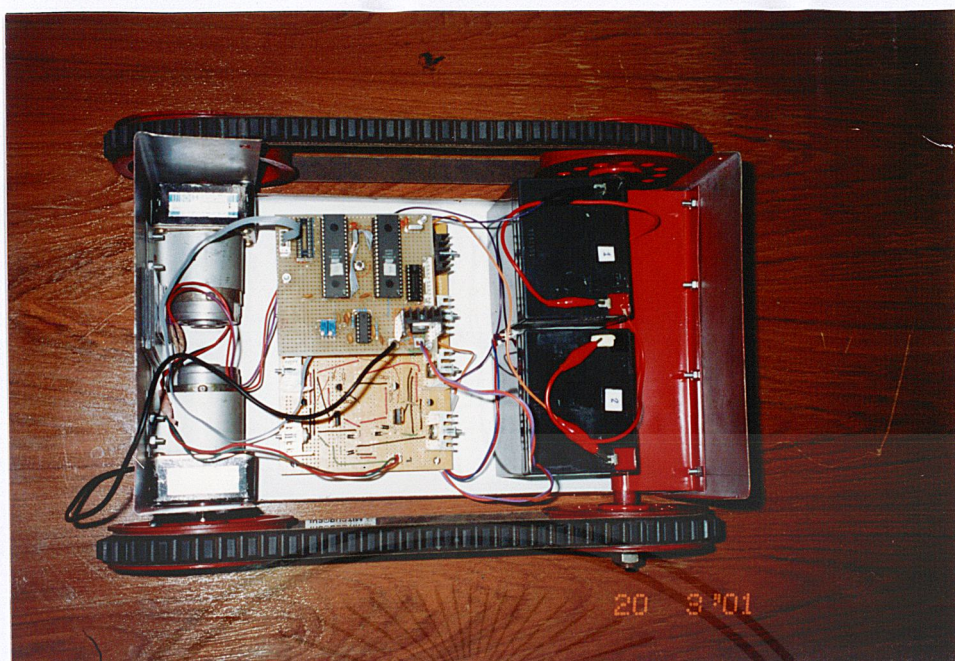
3.10 การออกแบบตัวรถตรวจการณ์

ในส่วนของตัวรถนั้น ได้ทำการออกแบบโดยใช้ตัวถังที่ทำจากเหล็กบาง ทำการพับให้ได้ตามแบบที่ต้องการ และเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมความร้อน โดยมีพื้นที่และขนาดเพียงพอที่จะติดตั้งวงจร และอุปกรณ์ต่างๆลงไปในตัวรถได้ ในส่วนของการขับเคลื่อนนั้น ได้ออกแบบให้ล้อเป็นแบบดินตะขบ ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการเคลื่อนที่ของรถ โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงสองตัว แต่ละตัวทำหน้าที่ขับเคลื่อนสายพานแต่ละข้างแยกอิสระกัน โดยในการเดินหน้าและถอยหลัง ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมให้มอเตอร์ทั้งสองตัวหมุนด้วยความเร็วเท่ากันในทิศทางที่สัมพันธ์กับการเดินหน้าหรือถอยหลัง ส่วนในการเลี้ยว นั้น ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ถ้าเป็นการเลี้ยวซ้าย ก็ให้มอเตอร์ที่อยู่ทางด้านซ้ายของตัวรถ หมุนช้ากว่ามอเตอร์ที่อยู่ทางด้านขวาของตัวรถ ส่วนการเลี้ยวขวา ก็ทำในลักษณะตรงข้ามกับการเลี้ยวซ้าย รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายของรถตรวจการณ์เมื่อประกอบเสร็จแล้ว รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่ายการจัดวางอุปกรณ์ภายในรถตรวจการณ์

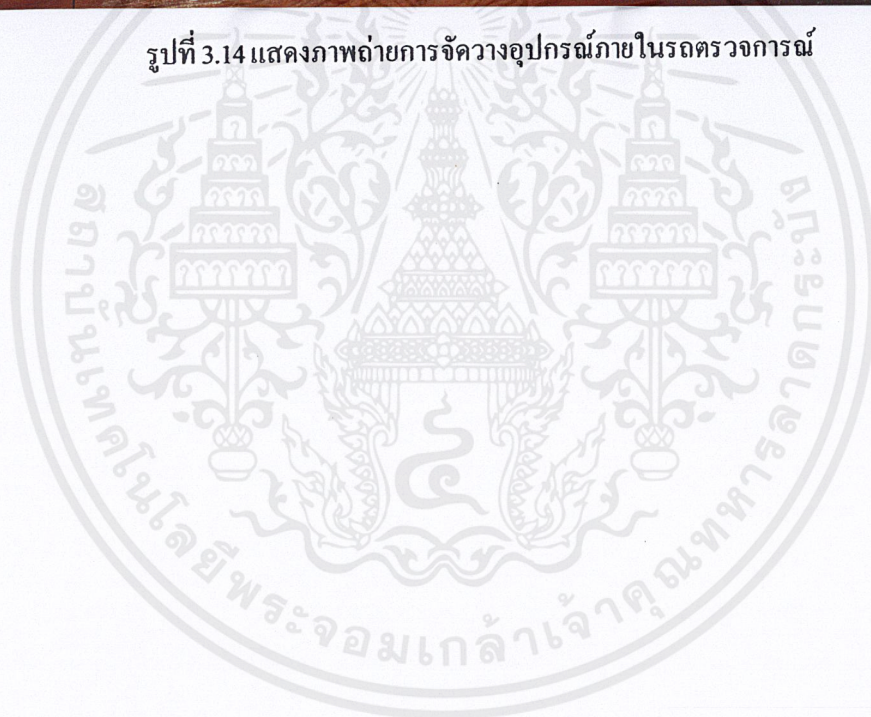


รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายของรถตรวจการณ์เมื่อประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่ายการจัดวางอุปกรณ์ภายในรถตรวจการณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL

จุดประสงค์

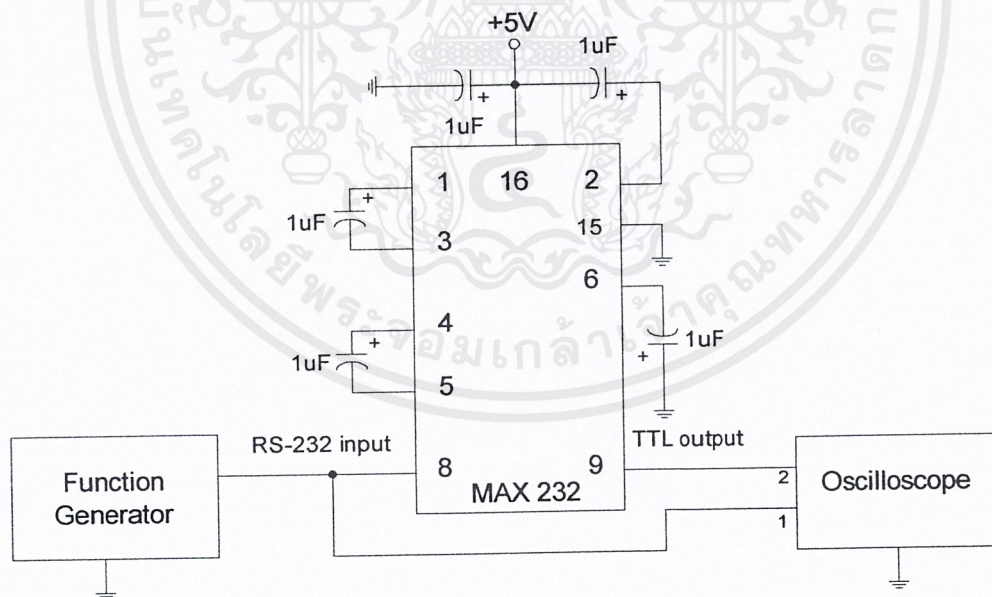
เพื่อทดสอบการทำงานของไอซีแปลงระดับแรงดัน ไอซี MAX 232

อุปกรณ์

1. ออสซิลโลสโคป
2. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
3. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL โดยใช้ไอซี MAX 232

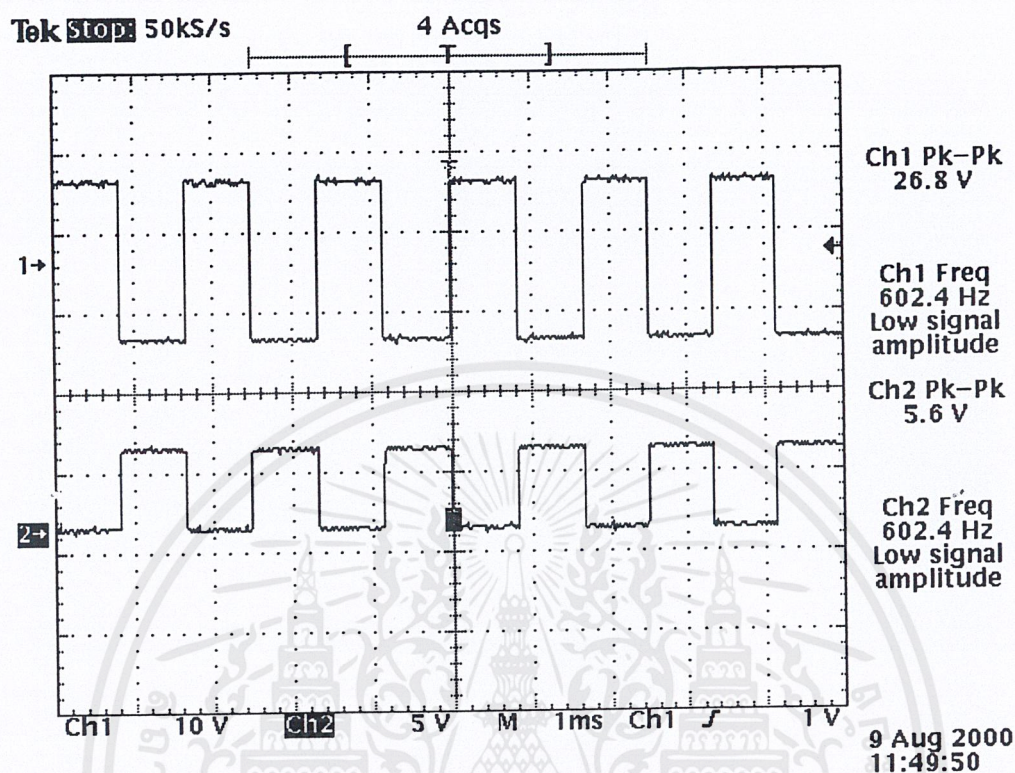
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรแปลงระดับแรงดันโดยใช้ไอซี MAX 232 ดังรูปที่ 4.1 และจ่ายไฟให้วงจรขนาด 5 V
2. ปรับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 600 Hz ขนาดแรงดัน 20 Vp-p
3. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1
4. ตรวจสอบสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเทียบกับสัญญาณอินพุต



รูปที่ 4.1 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันจาก RS-232 เป็น TTL

สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำตัวเก็บประจุค่า $1 \mu\text{F}$ 5 ตัว ต่อเข้ากับขาต่างๆของไอซี MAX 232 ตามรูปที่ 4.1 จะได้เป็นวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS-232 ไปเป็น TTL ได้ โดยค่าแรงดันอินพุตของวงจรเป็น -10 V จะได้เอาต์พุตเป็นแรงดัน $+5 \text{ V}$ ส่วนแรงดันอินพุตเป็น $+10 \text{ V}$ ได้แรงดันเอาต์พุตเป็น 0 V

4.2 วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

จุดประสงค์

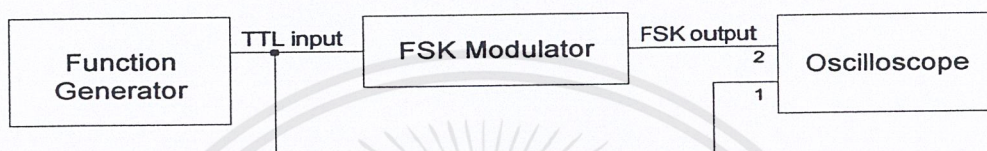
1. เพื่อทดสอบวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์
2. เพื่อปรับค่าความต้านทานในวงจร ทำให้ได้ความถี่ตามต้องการ

อุปกรณ์

1. ออสซิลโลสโคป
2. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
3. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
4. วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

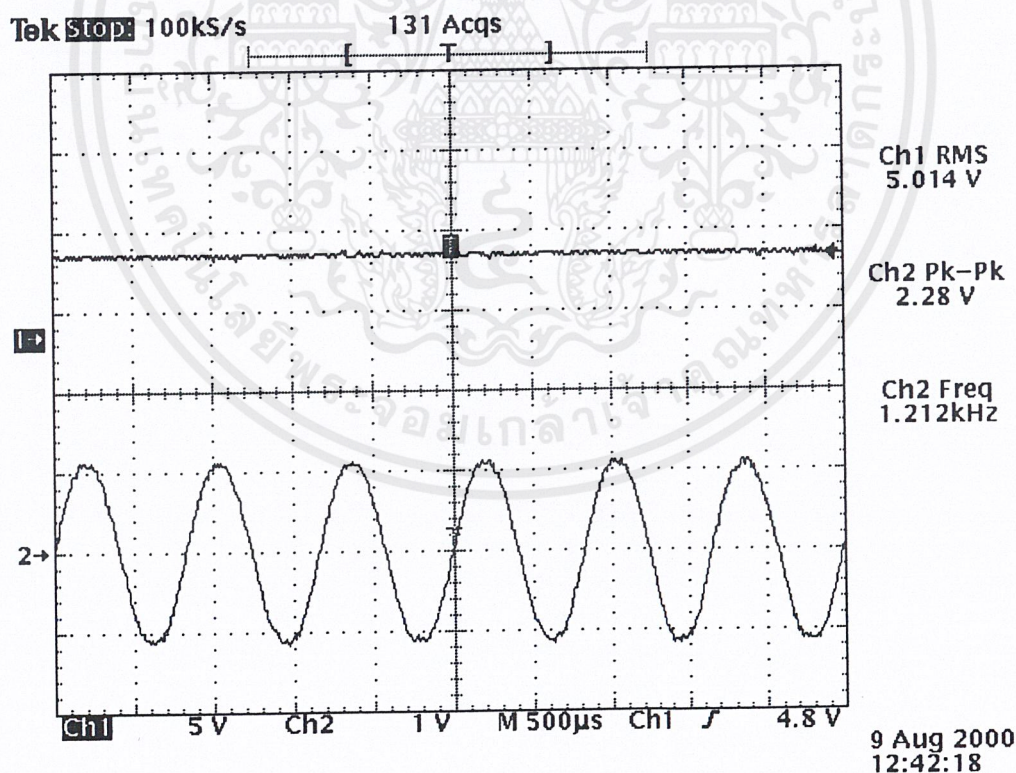
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรเฟสแอมพลิฟายเออร์ดังรูปที่ 3.4
2. ป้อนแรงดัน 5 V ที่ขา 9 ของไอซี XR 2206 วัดสัญญาณที่ขา 2 ปรับค่า R_1 จนได้ความถี่ 1.2 kHz
3. ต่อขา 9 ของไอซี XR 2206 ลงกราวด์ วัดสัญญาณที่ขา 2 ปรับค่า R_2 จนได้ความถี่ 2.2 kHz
4. ปรับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 600 Hz แรงดัน TTL
5. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.3
6. ตรวจสอบสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร

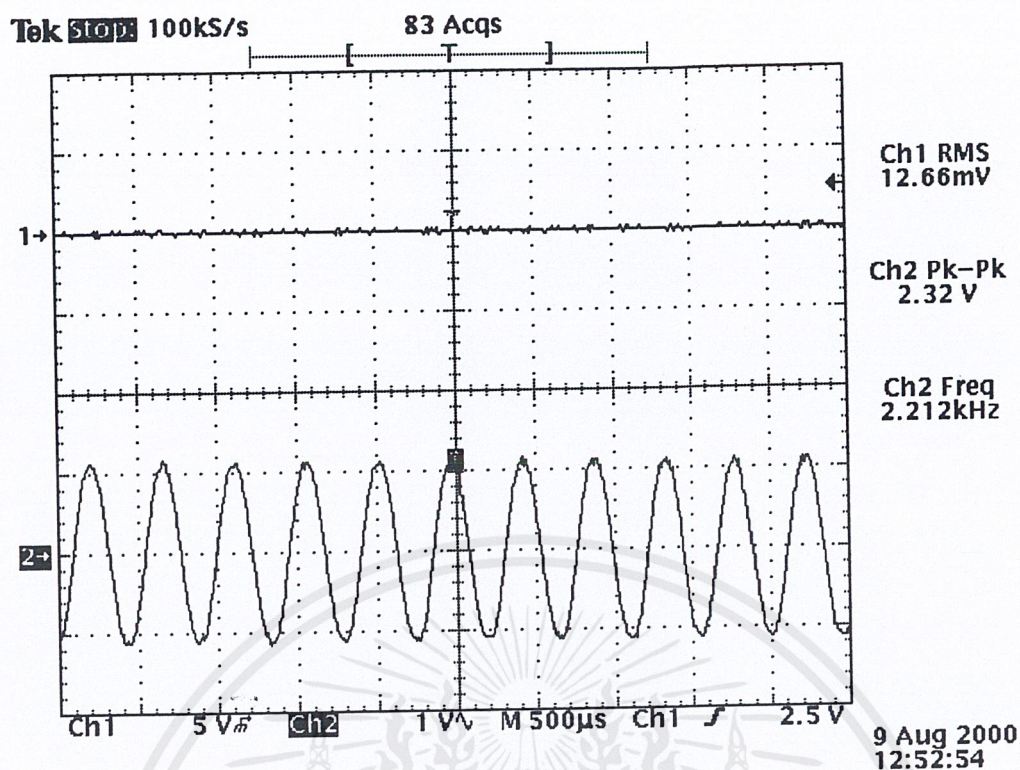


รูปที่ 4.3 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรเฟสแอมพลิฟายเออร์

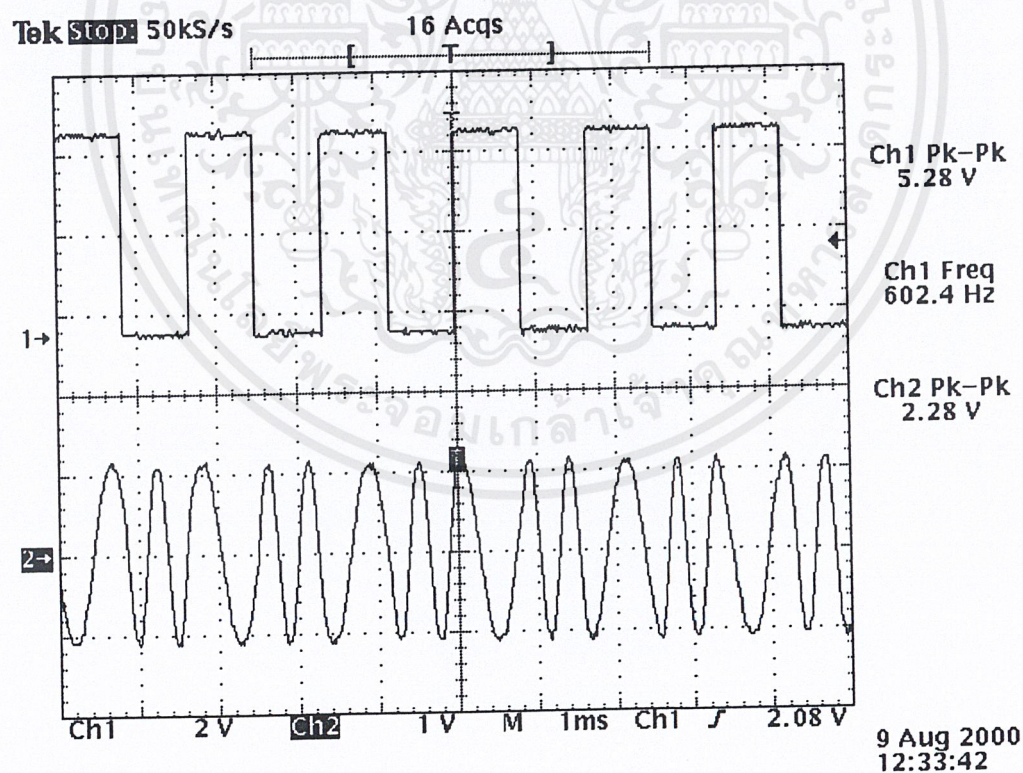
ผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรเฟสแอมพลิฟายเออร์เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟ 5 V



รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟ 0 V



รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมแรงดัน TTL

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลอจิก 1 ขึ้นอยู่กับค่า R_1 โดยสามารถปรับให้ได้ค่าที่ต้องการคือ 1,200 Hz

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลอจิก 0 ขึ้นอยู่กับค่า R_2 โดยสามารถปรับให้ได้ค่าที่ต้องการคือ 2,200 Hz

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการทำงานของวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลอจิก 1 เอาต์พุตจะเป็นความถี่ 1,200 Hz เมื่ออินพุตเป็นลอจิก 0 เอาต์พุตจะเป็นความถี่ 2,200 Hz

4.3 วงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์

จุดประสงค์

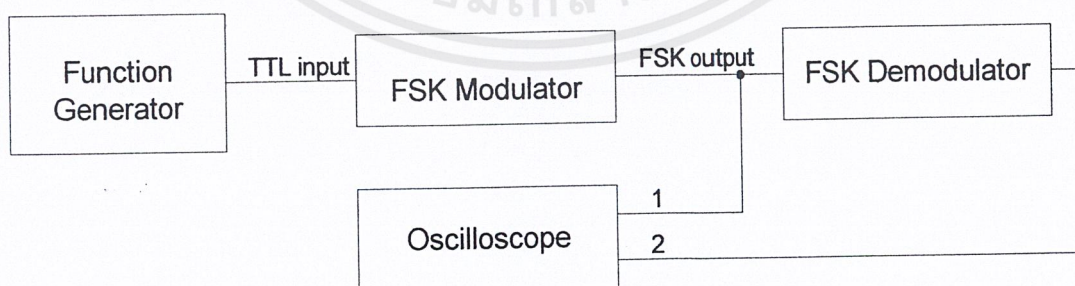
1. เพื่อทดสอบวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์
2. เพื่อปรับแต่งให้วงจรสามารถทำงานได้ดีที่สุด

อุปกรณ์

1. ออสซิลโลสโคป
2. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
3. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
4. วงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์
5. วงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์

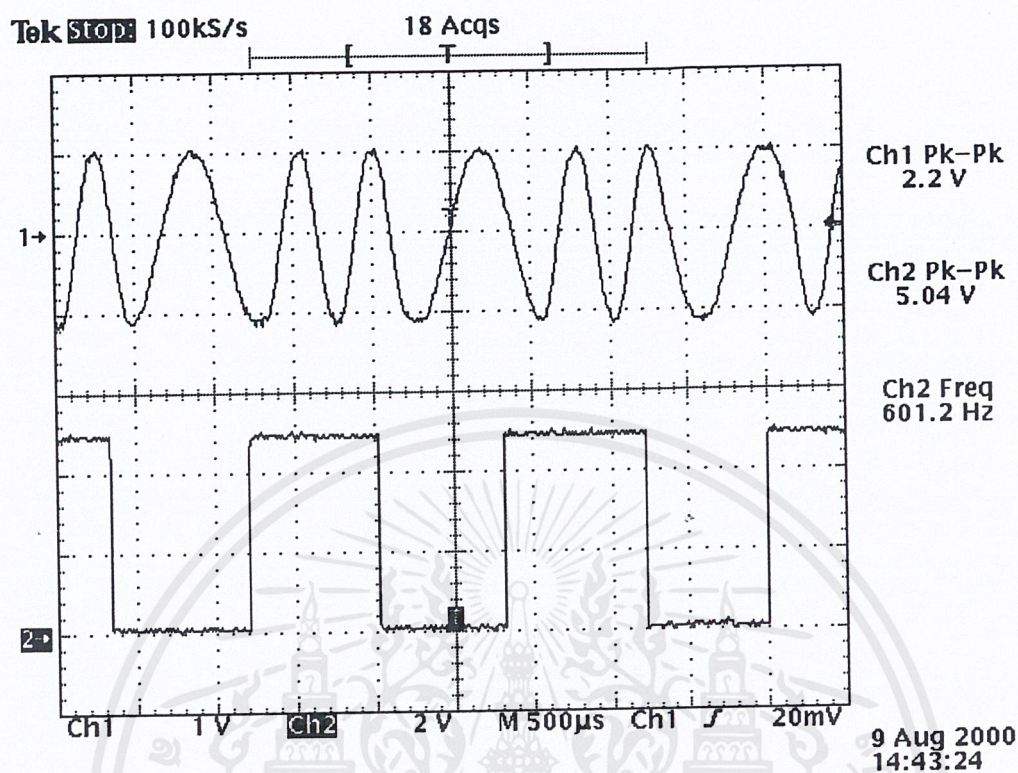
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์ดังรูปที่ 3.5
2. นำสัญญาณเฟสเคมอดูเลเตอร์ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 ต่อเข้าขา 7 ของไอซี XR 2211
3. วัดสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์เทียบกับสัญญาณอินพุต
4. ปรับค่า R_1 เพื่อให้สัญญาณออกมาใกล้เคียงสมมาตรมากที่สุด



รูปที่ 4.7 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรเฟสเคมอดูเลเตอร์

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองของวงจรเอฟเอสเคเอ็มมอดูเลเตอร์

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าวงจรเอฟเอสเคเอ็มมอดูเลเตอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และจากการทดลองพบว่า การปรับค่า R_1 ของวงจรมอดูเลเตอร์ จะมีผลต่อความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตด้วย

4.4 การทดลองรับส่งสัญญาณผ่านเครื่องรับส่งวิทยุ

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องส่งวิทยุ เมื่อข่าวสารที่ส่งคือสัญญาณเอฟเอสเค
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับวิทยุ เมื่อข่าวสารที่รับคือสัญญาณเอฟเอสเค

อุปกรณ์

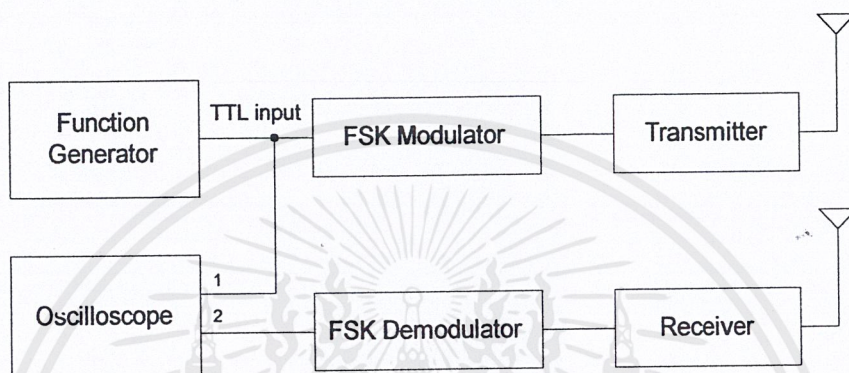
1. ออสซิลโลสโคป
2. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
3. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
4. วงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์
5. วงจรเอฟเอสเคดีมอดูเลเตอร์
6. เครื่องรับส่งวิทยุย่านความถี่ 145 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

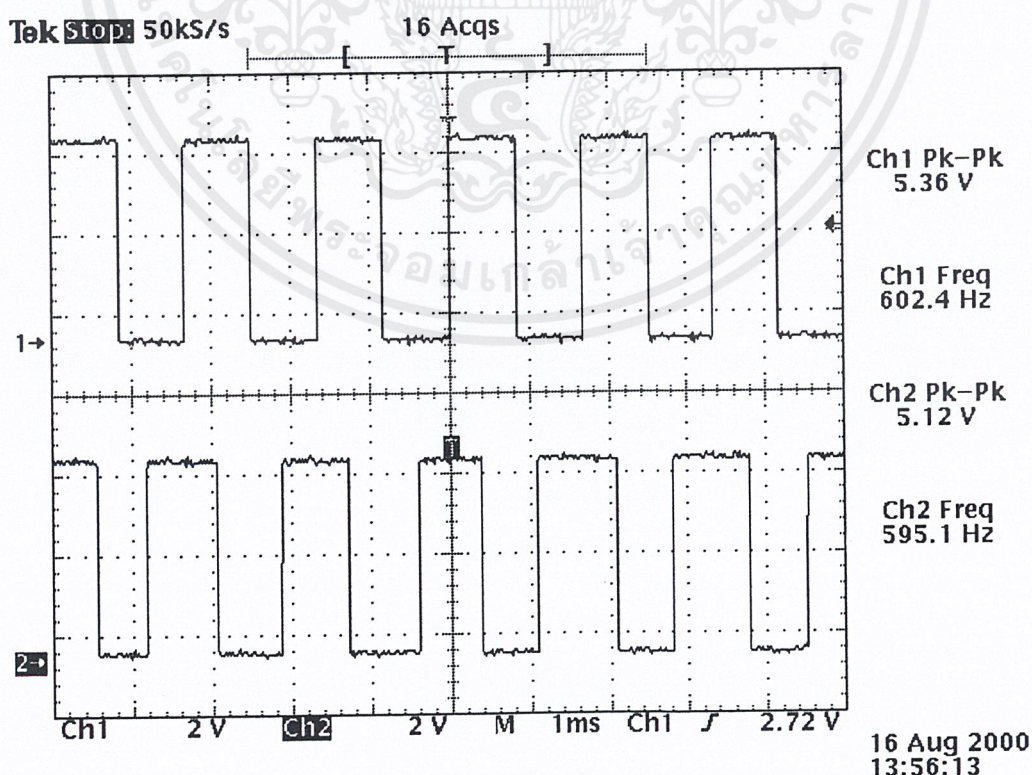
1. ตั้งความถี่ของเครื่องรับส่งวิทยุสองเครื่องให้ตรงกัน
2. นำสัญญาณเอฟเอสเคทีที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ต่อเข้าเครื่องส่งวิทยุ
3. นำสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องรับวิทยุต่อกับวงจรเอฟเอสเคดีมอดูเลเตอร์
4. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.9
5. วัดสัญญาณอินพุตของวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเอฟเอสเคดีมอดูเลเตอร์

เคมอดูเลเตอร์



รูปที่ 4.9 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบเครื่องรับส่งวิทยุย่านความถี่ 145 MHz

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองเมื่อรับ-ส่งสัญญาณเอฟเอสเคผ่านเครื่องรับส่งวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า สัญญาณเอฟเอสเคทีความถี่ 1,200 และ 2,200 Hz สามารถรับ-ส่งผ่านเครื่องรับส่งวิทยุได้

4.5 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบวงจรขับสเต็ปมอเตอร์
2. เพื่อทดสอบโปรแกรมควบคุมการขับสเต็ปมอเตอร์

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องเบิร์นโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
3. วงจรขับสเต็ปมอเตอร์
4. สเต็ปมอเตอร์
5. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งค่าลอจิก 1 ออกที่พอร์ต 1.0–1.3 ในลักษณะวนลูป
2. ทำการเบิร์นโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.7
4. สังเกตการหมุนของสเต็ปมอเตอร์
5. ทดลองเปลี่ยนค่าการหน่วงเวลาแล้วทดลองซ้ำข้อ 1–4

ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า สเต็ปมอเตอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่กระตุ้นแต่ละเฟสของสเต็ปมอเตอร์ ถ้าเขียนโปรแกรมให้หน่วงเวลาของลอจิก 1 แต่ละบิตนาน มอเตอร์ก็จะหมุนครบรอบซ้ำ ถ้าหน่วงเวลาน้อยไปมอเตอร์ก็ไม่หมุนเนื่องจากทำงานไม่ทัน

สรุปผลการทดลอง

ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับความถี่ของพัลส์ที่ป้อนให้ในแต่ละเฟส ถ้าความถี่สูงก็จะหมุนเร็ว ถ้าความถี่ต่ำก็จะหมุนช้า และถ้าความถี่สูงเกินค่าหนึ่งแล้วสเต็ปมอเตอร์จะหยุดทำงาน เรียกว่าเกิดการออสซิลเลต เนื่องจากตัวโรเตอร์หมุนตามฟลักซ์แม่เหล็กไม่ทัน

4.6 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

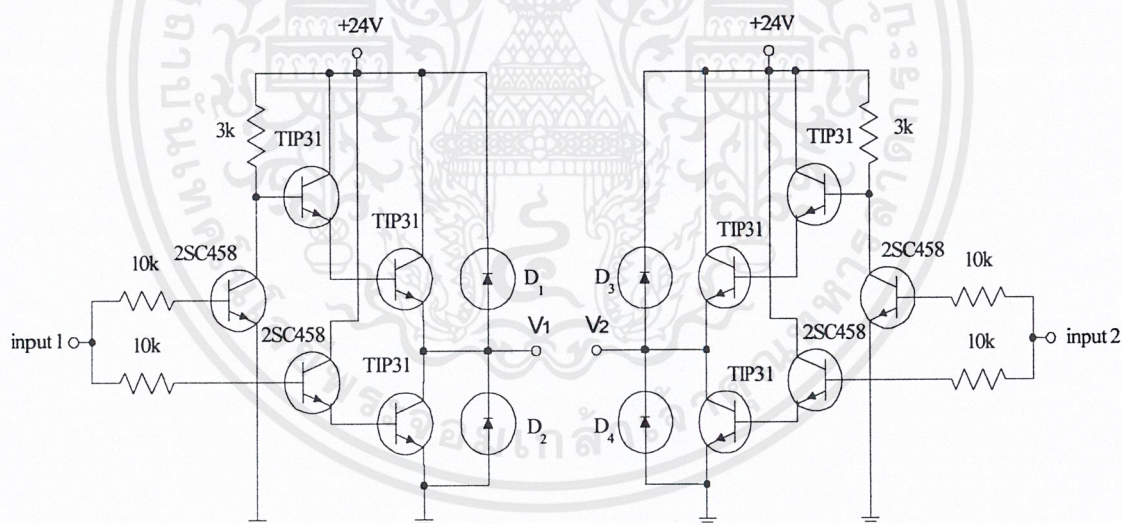
อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องเบิร์นโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
3. วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

4. มอเตอร์กระแสตรง
5. ออสซิลโลสโคป
6. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

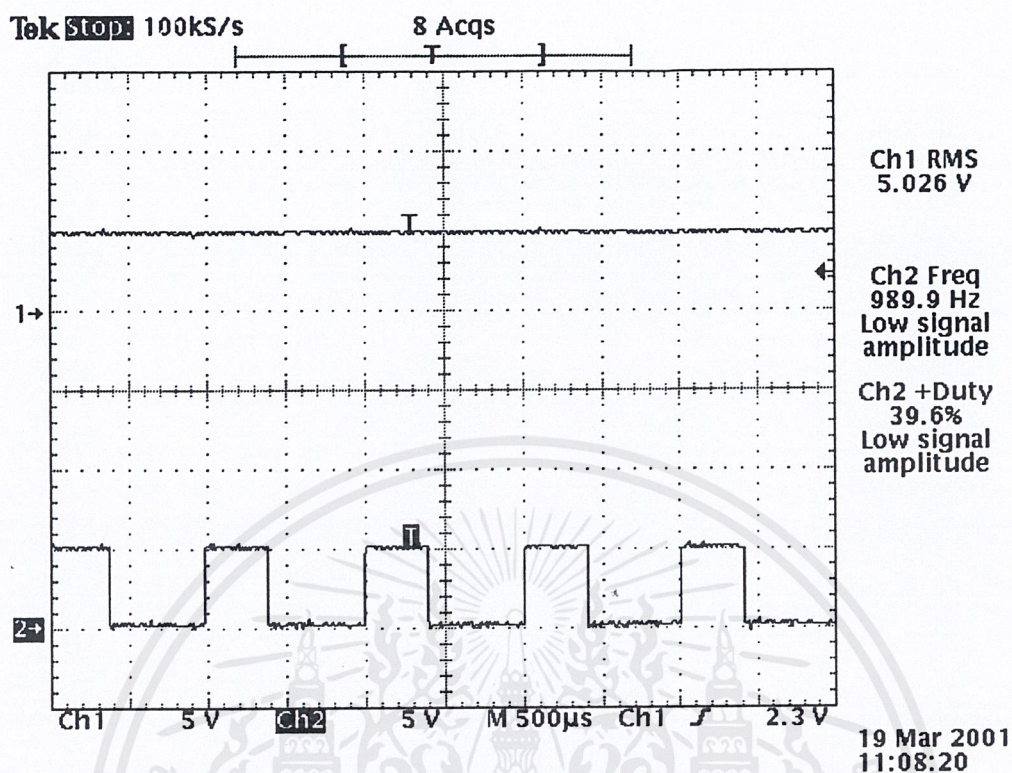
ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งค่าลอจิก 1 กับสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ประมาณ 1 kHz ค่าความถี่ 40% ออกพอร์ต 2.0 และ 2.1 ตามลำดับ
2. ทำการเบิร์นโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ต่อวงจรจับมอเตอร์กระแสตรงดังรูปที่ 4.11
4. นำสัญญาณลอจิก 1 ป้อนที่อินพุต 2 และสัญญาณสี่เหลี่ยมป้อนที่อินพุต 1
5. วัดสัญญาณที่ออกจากพอร์ต 2.0 และ 2.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์
6. วัดสัญญาณที่อินพุต 1 เทียบกับสัญญาณที่จุด V_1
7. ทำการต่อมอเตอร์ที่จุด V_1 และ V_2
8. สังเกตการหมุนของมอเตอร์
9. นำสัญญาณที่ป้อนให้อินพุต 1 และอินพุต 2 สลับกัน
10. สังเกตการหมุนของมอเตอร์

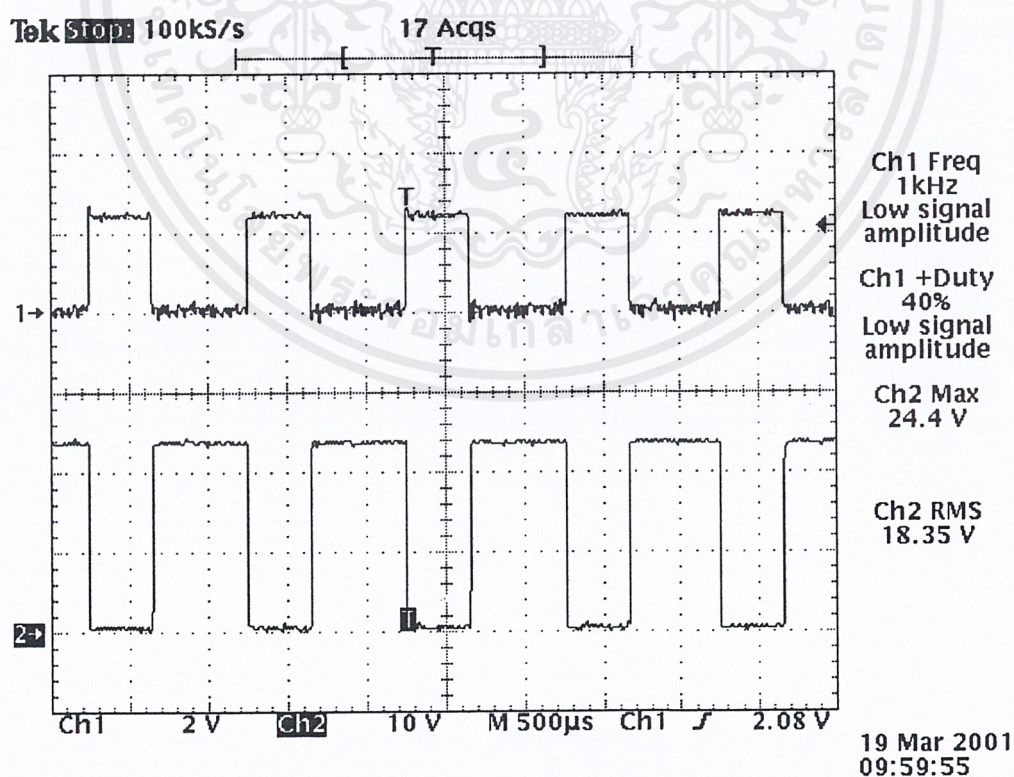


รูปที่ 4.11 แสดงการต่อวงจรจับมอเตอร์กระแสตรง

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่พอร์ต 2.0 และ 2.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณจากพอร์ต 2.1 เทียบกับสัญญาณที่จุด V₁

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า แรงดันที่จุด V_1 จะขึ้นอยู่กับอินพุต 1 และ 2 ของวงจรรูปที่ 4.11 จากการทดลอง ให้อินพุต 2 มีค่าคงที่คือลอจิก 1 และให้อินพุต 1 เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีวัดส่วน 40% จะได้สัญญาณที่ V_1 เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีวัดส่วน 60 % ทำให้รู้ว่าวงจรขั้วมอเตอร์กระแสตรงจะทำงานในสภาวะที่อินพุต 1 และ 2 แตกต่างกัน โดยจะมีแรงดันสูงในด้านที่อินพุตเป็น 0 ตามหลักการที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.7

จากการทดลองพบว่า แรงดันที่ได้จากวงจรขั้วมอเตอร์จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณที่อินพุต 1 และ 2 จึงสามารถป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมให้กับมอเตอร์แต่ละตัวโดยให้ค่าวัดส่วนต่างกัน เป็นผลให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ขั้วของมอเตอร์เปลี่ยนไปด้วย โดยสามารถนำไปใช้ในการเลี้ยงของรถ โดยป้อนอินพุตของวงจรขั้วกระแสตรงมอเตอร์ในทิศทางที่จะเลี้ยวไป ให้ได้เอาต์พุตที่มีระดับแรงดันเฉลี่ยลดลง ความเร็วของมอเตอร์ก็จะลดลงด้วย รถก็จะเลี้ยวไปในทิศทางนั้น

เมื่อทำการต่อมอเตอร์เข้าไปที่จุด V_1 และ V_2 แล้วจะพบว่ามอเตอร์เกิดการหมุนขึ้นไปในทิศทางหนึ่ง เมื่อทำการสลับอินพุต 1 และ 2 จะพบว่ามอเตอร์เกิดการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม สรุปได้ว่า วงจรขั้วมอเตอร์กระแสตรงสามารถ ขับกระแสให้มอเตอร์ได้ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ด้วย

4.7 วงจรปริโมค

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบวงจรปริโมค

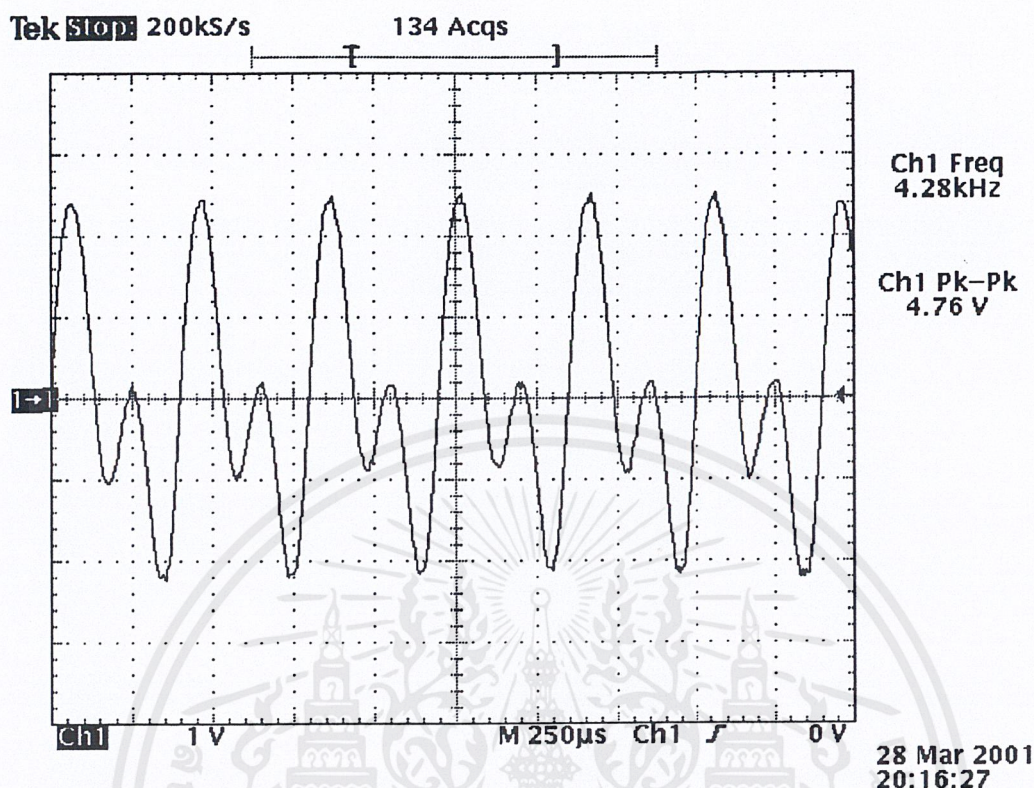
อุปกรณ์

1. ออสซิลโลสโคป
2. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
3. วงจรปริโมค

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรปริโมคดังรูปที่ 3.8
2. ป้อนเสียงให้กับไมโครโฟนโดยใช้เสียงกริ่งโทรศัพท์
3. วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรด้วยออสซิลโลสโคป

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรปริโมคเมื่อป้อนอินพุตเป็นเสียงกริ่งโทรศัพท์

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าวงจรปริโมคสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดการขลิบของสัญญาณ และสัญญาณที่ได้มีแอมพลิจูดสูงเนื่องจากได้นำไมโครโฟนไปจ่อใกล้กับลำโพงของโทรศัพท์มาก

4.8 การทดสอบการทำงานส่วนของซอฟต์แวร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมรถ
2. เพื่อตรวจสอบโปรแกรมที่เบิร์นลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์

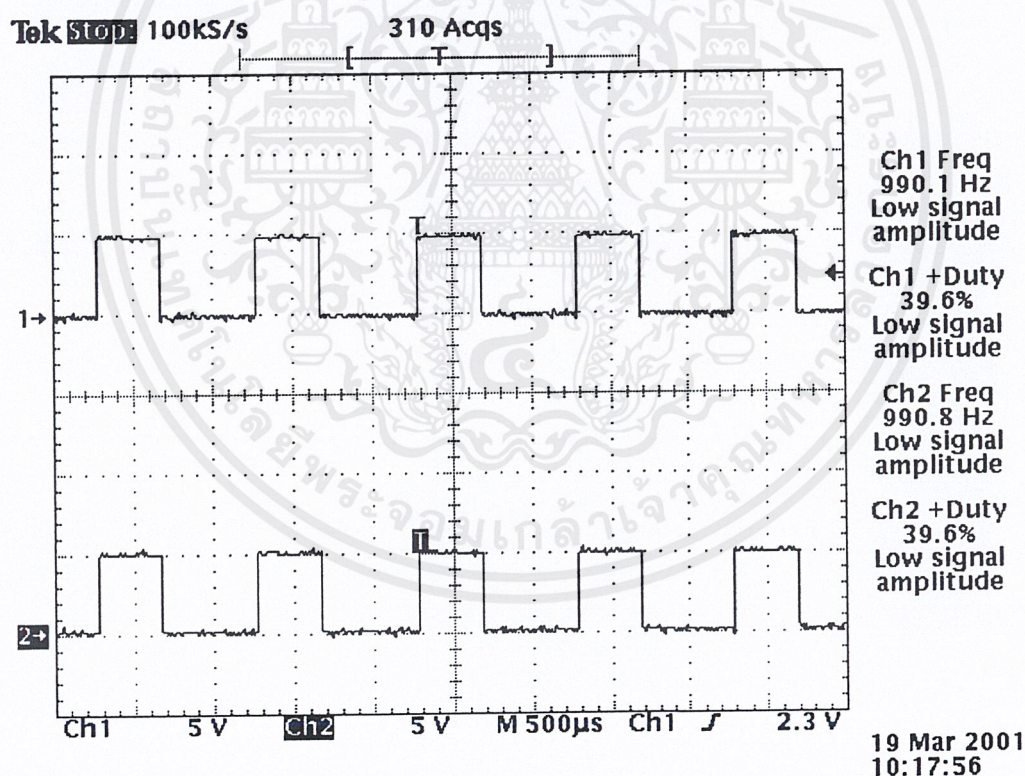
1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องเบิร์นโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
3. มัลติมิเตอร์
4. ออสซิลโลสโคป

ขั้นตอนการทดลอง

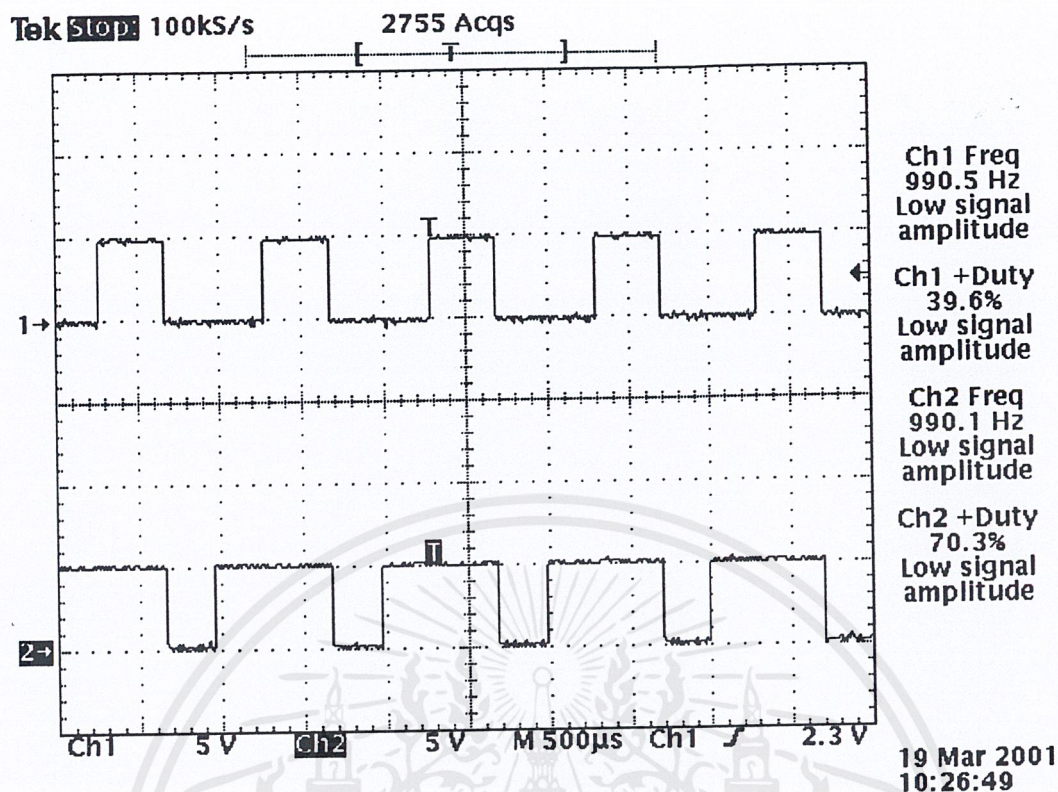
1. ทำการเบิร์นโปรแกรมดังที่แสดงไว้ในภาคผนวกลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตัว
2. เปิดซอฟต์แวร์ควบคุมรถขึ้นมาและต่อสายจากคอมพิวเตอร์ 1 ผ่านวงจรแปลงแรงดันดังรูปที่ 4.1 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแรก
3. ทดลองคลิกที่คำสั่งในซอฟต์แวร์ควบคุมรถที่ละคำสั่ง และตรวจสอบแรงดันที่ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแรก
4. วัดสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองด้วยออสซิลโลสโคป

ผลการทดลอง

1. เมื่อคลิกคำสั่งเดินหน้า สัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็น อินพุต 1 ของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ตัวทางซ้ายและขวาของรถ แสดงดังรูปที่ 4.15
2. เมื่อคลิกคำสั่งเลี้ยว สัญญาณเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็น อินพุต 1 ของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ตัวทางซ้ายและขวาของรถ แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็อินพุต 1 ของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ตัวทางซ้ายและขวาเมื่อได้รับคำสั่งเดินหน้า



รูปที่ 4.16 แสดงเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็นอินพุต 1 ของวงจรจับมอเตอร์ตัวทางซ้ายและขวาเมื่อได้รับคำสั่งเลี้ยว

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้อัปเดตโปรแกรมเอาไว้ โดยถ้าได้รับคำสั่งเดินหน้า หรือถอยหลัง จะส่งสัญญาณเอาต์พุตที่มีควิตีไซเคิลเท่ากัน ทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่เท่ากัน ส่วนคำสั่งเลี้ยว นั้น ก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตที่มีควิตีไซเคิลสูงกว่า ไปยังมอเตอร์ทางด้านที่จะเลี้ยว เพราะเมื่อผ่านวงจรจับมอเตอร์แล้ว สัญญาณจากวงจรจับมอเตอร์จะกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต 1 ทำให้ควิตีไซเคิลต่ำกว่า มีผลให้แรงดันเฉลี่ยต่ำกว่า มอเตอร์หมุนช้ากว่า จึงทำให้รถเกิดการเบนขึ้น

4.9 ส่วนของการส่งและรับสัญญาณภาพ

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานของกล้องซีซีดี
2. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอ
3. เพื่อทดสอบการทำงานของการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์
4. เพื่อทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์รับสัญญาณโทรทัศน์

อุปกรณ์

1. กล้องซีซีดี

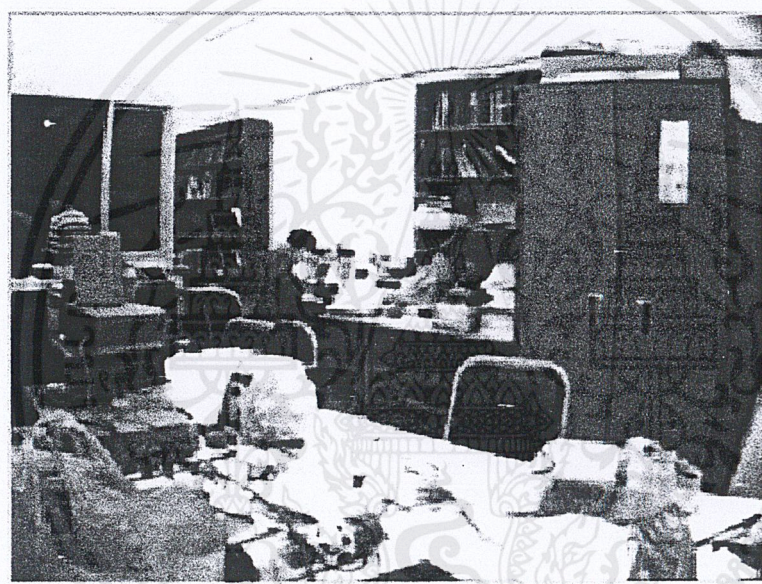
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ
3. การ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์
4. เครื่องคอมพิวเตอร์
5. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อกำลังซีซีดีเข้ากับเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ
2. ติดตั้งการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์และซอฟต์แวร์ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
3. เปิดซอฟต์แวร์รับสัญญาณโทรทัศน์ขึ้นมาแล้วตั้งไว้ที่ช่อง 33 ซึ่งตรงกับช่องส่งของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ แล้วปรับความถี่อย่างละเอียดจนได้ภาพที่ชัดเจน

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณภาพจากกล้องซีซีดีเมื่อส่งผ่านเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ และรับด้วยการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์

ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่ากล้องซีซีดี เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ และการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถทำงานได้อย่างดี กล้องซีซีดีสามารถรับภาพได้ เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ สามารถส่งสัญญาณวิดีโอที่ได้จากกล้องซีซีดีมายังสายอากาศรับของการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ และการ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถจูนและรับสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 33 ได้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

โปรเจกต์นี้เป็นโปรเจกต์ที่ต้องทำงานในหลายส่วนทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ นั้นจะค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องทำตัวรถขึ้นมาเองเป็นส่วนใหญ่ ทำให้รู้จักอุปกรณ์ และเครื่องมือในงาน ทางฮาร์ดแวร์มากขึ้น ทั้งเรื่องพับ ดัด เหล็ก เครื่องเชื่อมด้วยความร้อน ฯลฯ หลังจากที่ทำได้ตัวรถเสร็จแล้ว ปัญหาที่ตามมาคือการติดตั้งมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนรถ หลังจากที่ได้ติดตั้งไปแล้วทดลองให้รถวิ่งก็พบว่า รถ ไม่ได้วิ่งตรงง่ายอย่างที่คิด สาเหตุเนื่องจากการยึดมอเตอร์นั้นไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้สายพานทั้งสอง ข้าง ดึงเท่ากันพอดี ทำให้เมื่อรถวิ่งไปแล้ว จะเลี้ยวไปทางด้านที่สายพานหย่อน การปรับความตึงของสาย พานถูกนำมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะต้องตรวจสอบโปรแกรมให้ดีกว่าใช้งานได้หรือไม่ เพราะถ้าเกิดความผิดพลาด เอาต์พุตที่ออกมาอาจส่งผลให้วงจรที่อยู่ในส่วนถัดไปเกิดความเสียหายได้ และ บัฟเฟอร์เป็นส่วนที่สำคัญมาก เป็นตัวแยกไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรภาคขับเคลื่อนให้แยกออกจาก กัน เมื่อเกิดความผิดพลาดจากวงจรส่วนใดส่วนหนึ่งจะได้ไม่ส่งผลความเสียหายให้เกิดขึ้นกับส่วนที่เหลือ

แผ่นวงจรพิมพ์เอกประสงค์ ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในวงจรที่มีกระแสสูงๆ อย่างเช่นวงจรขับเคลื่อนให้กับมอเตอร์กระแสตรง ควรใช้สายไฟที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงพอกับปริมาณกระแสที่ใช้ ได้ เพราะเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นกระแสจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทำให้ ลายทองแดงขนาดเล็กที่กระแสไหลผ่าน เกิดความร้อนสูงมาก จนลวกออกจากแผ่นได้ เกิดความเสียหาย และยากต่อการแก้ไข

การทำงานของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์จะต้องสัมพันธ์กัน เพื่อให้ได้ผลออกมาอย่างที่ต้องการ จำ เป็นจะต้องใช้ความละเอียดรอบคอบ ในการต่ออุปกรณ์ต่างๆ การทำสายเชื่อมระหว่างวงจร และการเขียน โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่เบิร์นลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่หนึ่ง

ORG 0000H

FORWARD EQU 55H
BACKWARD EQU 0AAH
STOP EQU 0CCH
LEFT EQU 99H
RIGHT EQU 66H
UP EQU 59H
DOWN EQU 0A6H
TLEFT EQU 96H
TRIGHT EQU 5AH

MOV PCON,#00H
MOV SCON,#50H
MOV TMOD,#20H
MOV TH1,#0E8H
MOV P0,#00H
MOV P1,#00H
MOV P2,#00H

SETB TR1
WAIT: JNB RI, WAIT
LOOP: CLR RI
MOV A, SBUF

START: CJNE A, #FORWARD, NEXT1
MOV P2, #80H
JNB RI, START
JMP LOOP

NEXT1: CJNE A, #BACKWARD, NEXT2
MOV P2, #40H
JNB RI, NEXT1
JMP LOOP

NEXT2: CJNE A, #STOP, NEXT3
MOV P2, #00H
JMP LOOP

NEXT3: CJNE A, #LEFT, NEXT4
MOV P2, #20H
JNB RI, NEXT3
JMP LOOP

NEXT4: CJNE A, #RIGHT, NEXT5
MOV P2, #10H
JNB RI, NEXT4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JMP LOOP

NEXT5: CJNE A,#UP,NEXT6

MOV P1,#0CH

CALL DELAY5

MOV P1,#06H

CALL DELAY5

MOV P1,#03H

CALL DELAY5

MOV P1,#09H

CALL DELAY5

JNB RI,NEXT5

JMP LOOP

NEXT6: CJNE A,#DOWN,NEXT7

MOV P1,#09H

CALL DELAY5

MOV P1,#03H

CALL DELAY5

MOV P1,#06H

CALL DELAY5

MOV P1,#0CH

CALL DELAY5

JNB RI,NEXT6

JMP LOOP

NEXT7: CJNE A,#TLEFT,NEXT8

MOV P1,#0C0H

CALL DELAY5

MOV P1,#60H

CALL DELAY5

MOV P1,#30H

CALL DELAY5

MOV P1,#90H

CALL DELAY5

JNB RI,NEXT 7

JMP LOOP

NEXT8: CJNE A,#TRIGHT,NEXT9

MOV P1,#90H

CALL DELAY5

MOV P1,#30H

CALL DELAY5

MOV P1,#60H

CALL DELAY5

MOV P1,#0C0H

CALL DELAY5

JNB RI,NEXT8

JMP LOOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
NEXT9: CLR RI
      JMP WAIT
```

```
DELAY5: MOV R1,#00H
DEL25:  MOV R0,#00H
DEL15:  DJNZ R0,DEL15
      DJNZ R1,DEL25
      RET
      END
```

โปรแกรมที่เบิร์นลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สอง

```
ORG 0000H

MOV P0,#00H
MOV P1,#0FFH
MOV P2,#00H

START: JNB P1.0,NEXT1
      MOV P2,#88H
      CALL DELAY1
      MOV P2,#0FFH
      CALL DELAY2
      JMP START

NEXT1: JNB P1.1,NEXT2
      MOV P2,#22H
      CALL DELAY1
      MOV P2,#0FFH
      CALL DELAY2
      JMP NEXT1

NEXT2: JNB P1.2,NEXT3
      MOV P2,#88H
      CALL DELAY3
      MOV P2,#8FH
      CALL DELAY3
      MOV P2,#0FFH
      CALL DELAY2
      JMP NEXT2

NEXT3: JNB P1.3,NEXT4
      MOV P2,#88H
      CALL DELAY3
      MOV P2,#F8H
      CALL DELAY3
      MOV P2,#0FFH
      CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JMP NEXT3

NEXT4: MOV P2,#00H
MOV P1,#00H
JMP START

DELAY1: MOV R1,#02H
DEL21: MOV R0,#88H
DEL11: DJNZ R0,DEL11
DJNZ R1,DEL21
RET

DELAY2: MOV R1,#02H
DEL22: MOV R0,#58H
DEL12: DJNZ R0,DEL12
DJNZ R1,DEL22
RET

DELAY3: MOV R1,#02H
DEL23: MOV R0,#42H
DEL13: DJNZ R0,DEL13
DJNZ R1,DEL23
RET
END

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 1

```
Private Sub Command1_Click()  
Form2.Show  
Form1.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form6.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Form4.Show  
Form1.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
Form6.Show  
Form1.Hide  
End Sub
```

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 2

```
Private Sub sendit(a)  
MSComm1.PortOpen = True  
num = 90000  
While num > 0  
num = num - 1  
Wend  
MSComm1.Output = Chr(a)  
num = 50000  
While num > 0  
num = num - 1  
Wend  
MSComm1.PortOpen = False  
End Sub
```

```
Private Sub Command5_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
Dim a As Integer  
Dim num As Long  
a = &H59  
Call sendit(a)  
End Sub
```

```
Private Sub Command6_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
Dim a As Integer  
Dim num As Long  
a = &HA6  
Call sendit(a)  
End Sub
```

```
Private Sub Command7_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
Dim a As Integer  
Dim num As Long  
a = &H96  
Call sendit(a)  
End Sub
```

```
Private Sub Command8_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
Dim a As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Dim num As Long
a = &H5A
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Form_Load()
MSComm1.Settings = "1200,n,8,1"
MSComm1.CommPort = 1
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Text1.Text = "Forward"
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &H55
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Text1.Text = "Backward"
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &HAA
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Text1.Text = "Left"
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &H99
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command4_Click()
Text1.Text = "Right"
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &H66
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command5_Click()
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &H59
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command6_Click()
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &HA6
Call sendit(a)
End Sub

Private Sub Command7_Click()
Dim a As Integer
Dim num As Long
a = &H96
Call sendit(a)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

```
Private Sub Command8_Click()  
Dim a As Integer  
Dim num As Long  
a = &H5A  
Call sendit(a)  
End Sub
```

```
Private Sub Command9_Click()  
Text1.Text = "Stop"  
Dim a As Integer  
Dim num As Long  
a = &HCC  
Call sendit(a)  
End Sub
```

```
Private Sub MSComm1_Click()  
MSComm1.PortOpen = False  
End Sub
```

```
Private Sub Command11_Click()  
Form5.Show  
Form2.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Command12_Click()  
Form1.Show  
Form2.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Command10_Click()  
Form3.Show  
Form2.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()  
PollJoystick  
End Sub
```

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 3

```
Private Sub Command1_Click()  
CommonDialog1.CancelError = True  
On Error GoTo errhandler:  
CommonDialog1.Flags = cdlOFNFileMustExist  
CommonDialog1.Filter = "video(*.avi)|*.avi"  
CommonDialog1.ShowOpen  
MMControl1.FileName = CommonDialog1.FileName  
MMControl1.Command = "open"  
errhandler:  
'if cancel click, then exit procedure  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form1.Show  
Form3.Hide  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Form5.Show
Form3.Hide
End Sub

Private Sub Command4_Click()
Form2.Show
Form3.Hide
End Sub

Private Sub Command5_Click()
Form4.Show
Form3.Hide
End Sub

Private Sub Form_Load()
MMControl1.Notify = False
MMControl1.Wait = True
MMControl1.Shareable = False
MMControl1.DeviceType = "avivideo"
End Sub

```

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 4

```

Private Sub Command1_Click()
Form1.Show
Form4.Hide
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Form2.Show
Form4.Hide
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Form3.Show
Form4.Hide
End Sub

Private Sub Command4_Click()
Form5.Show
Form4.Hide
End Sub

```

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 5

```

Private Sub Command1_Click()
Form2.Show
Form5.Hide
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Form3.Show
Form5.Hide
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Form1.Show
Form5.Hide
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Private Sub Dir1_Change()
File1.Path = Dir1.Path
End Sub

Private Sub Drive1_Change()
Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub

Private Sub File1_Click()
Set Image1.Picture = LoadPicture(Dir1.Path & "\" & File1.FileName)
End Sub

Private Sub Form_Load()
File1.Pattern = "*.bmp"
End Sub

```

โปรแกรมสำหรับฟอร์ม 6

```

Private Sub Command1_Click()
End
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Form6.Hide
Form1.Show
End Sub

```

โปรแกรมสำหรับโมดูล 1

```

Const MAXPNAMELEN = 32
Type JOYINFOEX
    dwSize As Long
    dwFlags As Long
    dwXpos As Long
    dwYpos As Long
    dwZpos As Long
    dwRpos As Long
    dwUpos As Long
    dwVpos As Long
    dwButtons As Long
    dwButtonNumber As Long
    dwPOV As Long
    dwReserved1 As Long
    dwReserved2 As Long
End Type

Type JOYCAPS
    wMid As Integer
    wPid As Integer
    szPname As String * MAXPNAMELEN
    wXmin As Long
    wXmax As Long
    wYmin As Long
    wYmax As Long
    wZmin As Long
    wZmax As Long
    wNumButtons As Long
    wPeriodMin As Long

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

wPeriodMax As Long
wRmin As Long
wRmax As Long
wUmin As Long
wUmax As Long
wVmin As Long
wVmax As Long
wCaps As Long
wMaxAxes As Long
wNumAxes As Long
wMaxButtons As Long
szRegKey As String * MAXPNAMELEN
End Type

```

```

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

```

```

Const JOYSTICKID1 = 0
Const JOYSTICKID2 = 1
Const JOY_RETURNBUTTONS = &H80&
Const JOY_RETURNCENTERED = &H400&
Const JOY_RETURNPOV = &H40&
Const JOY_RETURNR = &H8&
Const JOY_RETURNU = &H10&
Const JOY_RETURNV = &H20&
Const JOY_RETURNX = &H1&
Const JOY_RETURNY = &H2&
Const JOY_RETURNZ = &H4&
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)
Const JOYCAPS_HASZ = &H1&
Const JOYCAPS_HASR = &H2&
Const JOYCAPS_HASU = &H4&
Const JOYCAPS_HASV = &H8&
Const JOYCAPS_HASPOV = &H10&
Const JOYCAPS_POV4DIR = &H20&
Const JOYCAPS_POVCTS = &H40&
Const JOYERR_BASE = 160
Const JOYERR_UNPLUGGED = (JOYERR_BASE + 7)

```

```

Dim JI As JOYINFOEX
Dim Caps As JOYCAPS
Dim RC As Long
Dim I As Long
Dim Mask As Long
Dim xAxis As Label

```

```

Dim yAxis As Label
Dim zAxis As Label
Dim rAxis As Label
Dim uAxis As Label
Dim vAxis As Label
Dim pov As Label
Dim numAxes As Long
Dim axisY As Long
Const ySpacingFactor = 1.4

```

```

Public Const JoyDevice = 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Public Const KeyDevice = 1
Public Const MouseDevice = 2
Global DID As Integer
Global InputActive As Boolean
Global JoyStatus As String
Global ProgramReady As Boolean
Dim CmmCode As Integer

Sub Main()
    DID = KeyDevice
    InputActive = False
    RC = joyGetDevCaps(JOYSTICKID1, Caps, Len(Caps))
    Form2.MSComm1.Settings = "1200,n,8,1"
    Form2.MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub ProcessJoyUp()
    Dim a As Integer
    Dim num As Long
    a = &HA6
    Call sendit(a)
End Sub

Private Sub ProcessJoyDown()
    Dim a As Integer
    Dim num As Long
    a = &H59
    Call sendit(a)
End Sub

Private Sub ProcessJoyLeft()
    Dim a As Integer
    Dim num As Long
    a = &H96
    Call sendit(a)
End Sub

Private Sub ProcessJoyRight()
    Dim a As Integer
    Dim num As Long
    a = &H5A
    Call sendit(a)
End Sub

Function PollJoystick()
    JI.dwSize = Len(JI)
    JI.dwFlags = JOY_RETURNALL
    RC = joyGetPosEx(JOYSTICKID1, JI)
    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

    If Val(JI.dwXpos) < 10000 Then ProcessJoyLeft
    If Val(JI.dwXpos) > 50000 Then ProcessJoyRight
    If Val(JI.dwYpos) < 10000 Then ProcessJoyUp

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
If Val(JI.dwYpos) > 50000 Then ProcessJoyDown  
End Function
```

```
Sub sendit(a)  
Form2.MSComm1.PortOpen = True  
num = 90000  
While num > 0  
num = num - 1  
Wend  
Form2.MSComm1.Output = Chr(a)  
num = 50000  
While num > 0  
num = num - 1  
Wend  
Form2.MSComm1.PortOpen = False  
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

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

GENERAL DESCRIPTION

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

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

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

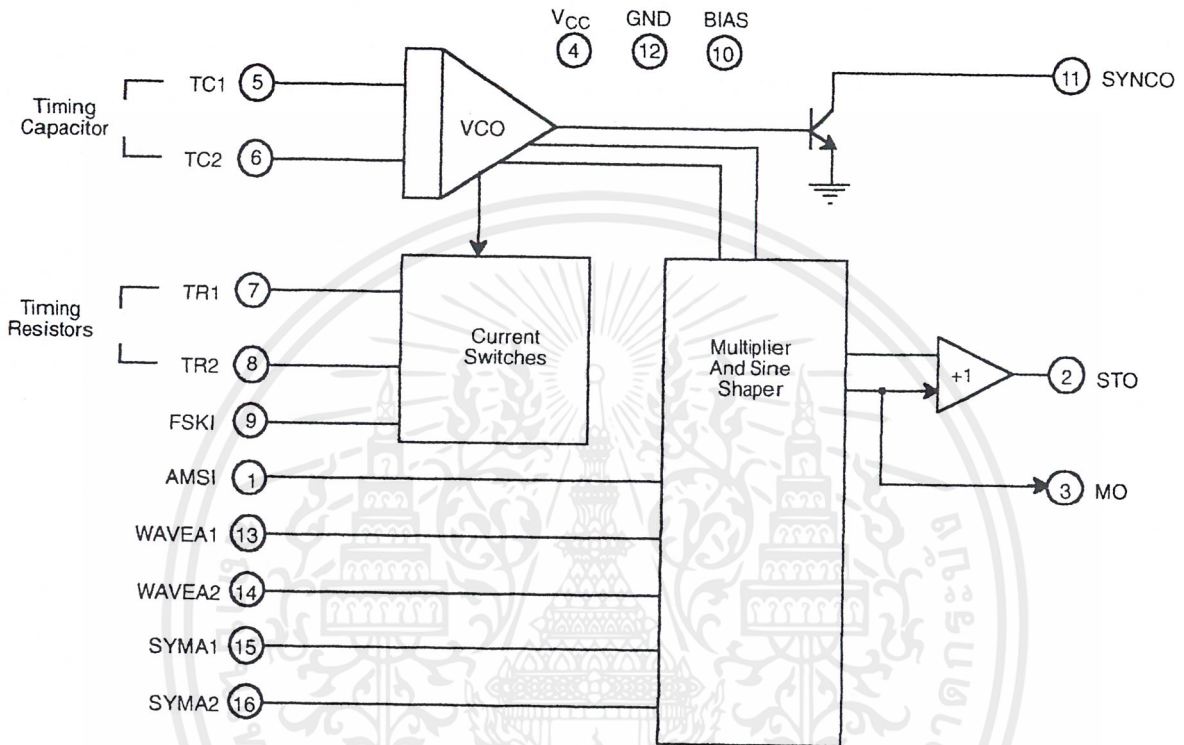
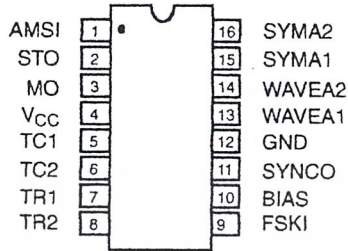
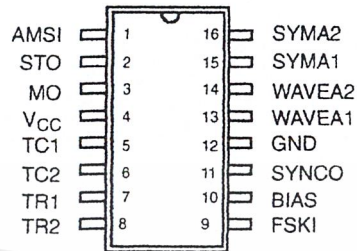


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	$R_1 \geq 10k\Omega$
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF, R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F, R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_o	$f_o = 1/R_1C$
Temperature Stability		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^{\circ}C$	$0^{\circ}C \leq T_A \leq 70^{\circ}C$
Frequency								$R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^{\circ}C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V, V_{HIGH} = 20V,$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz, f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz, f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output ¹								Figure 3
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7 and Figure 8

Notes

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

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

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		kΩ	For 95% modulation
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C _L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C _L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	I _L = 2mA
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	V _{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

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

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

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 26V

Power Dissipation 750mW

Derate Above 25°C 5mW/°C

Total Timing Current 6mA

Storage Temperature -65°C to +150°C

SYSTEM DESCRIPTION

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

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

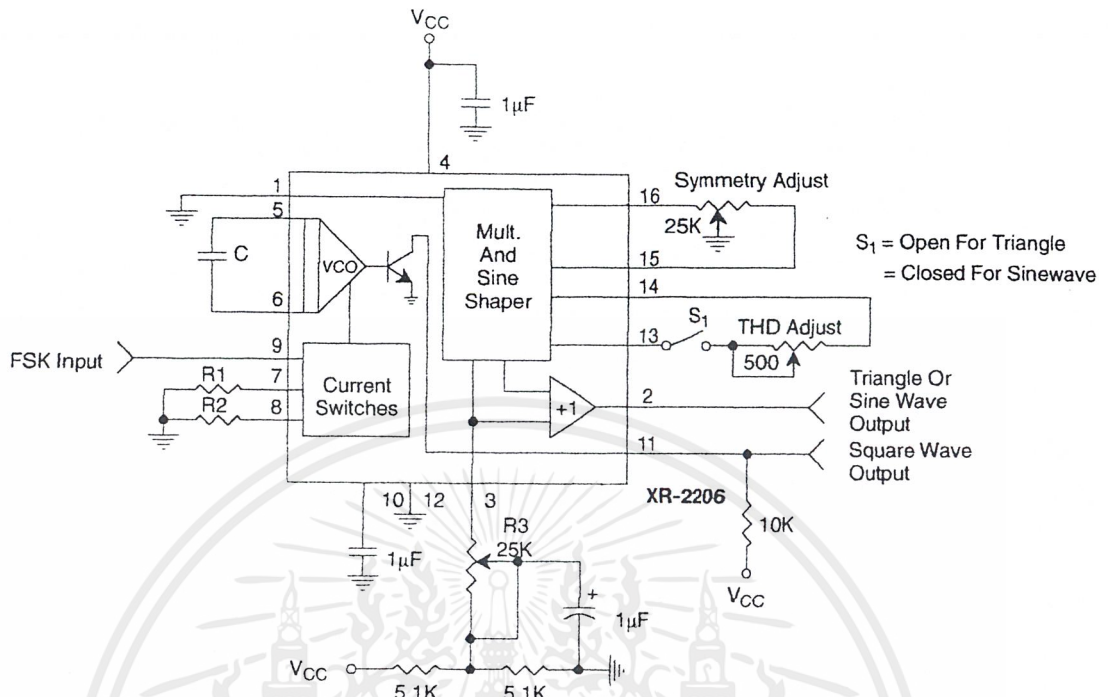


Figure 2. Basic Test Circuit

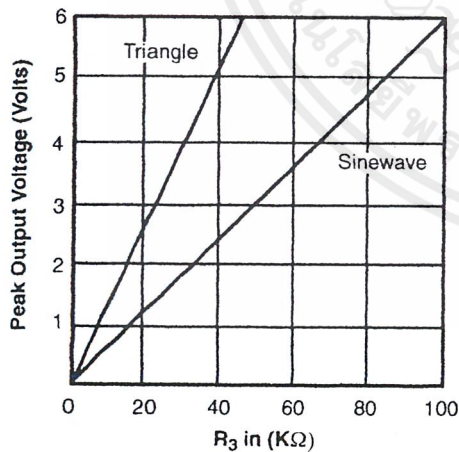


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

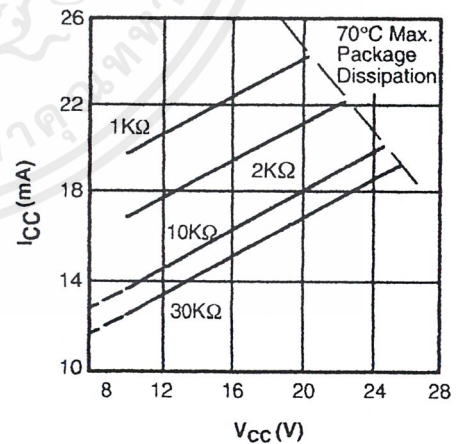


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

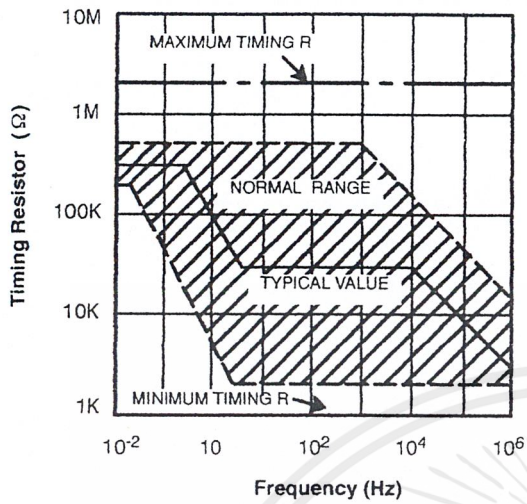


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

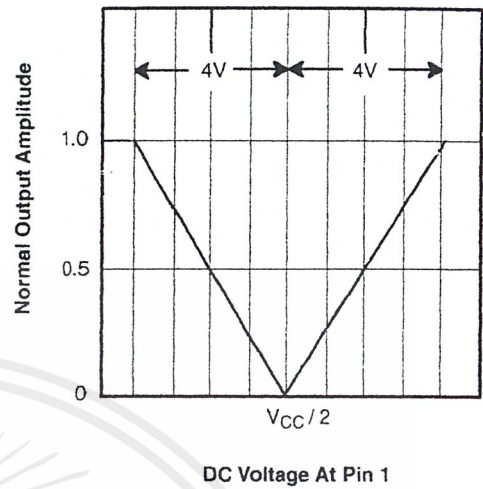


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

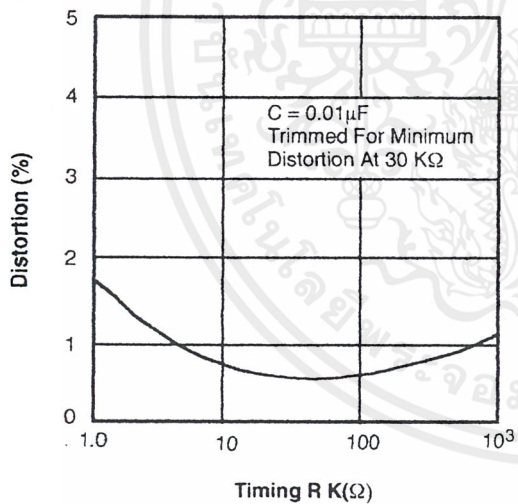


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

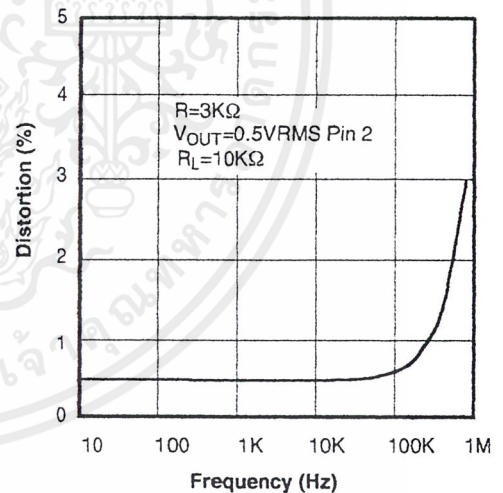


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

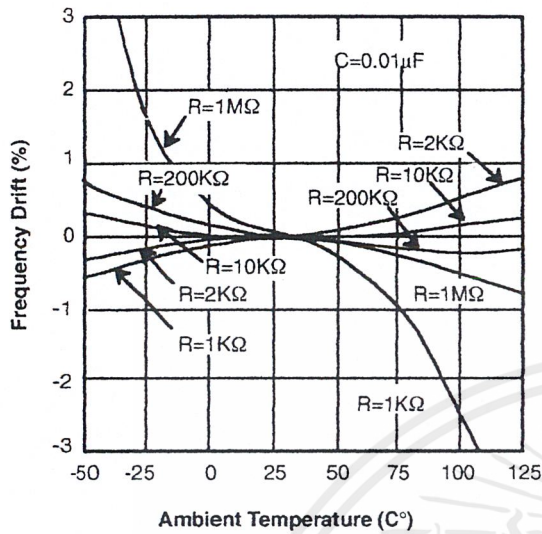


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

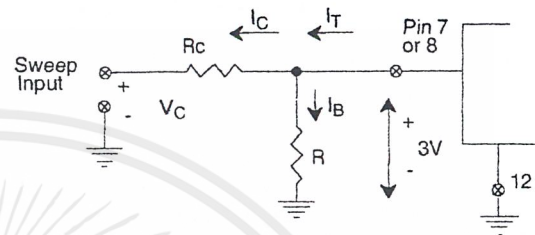


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

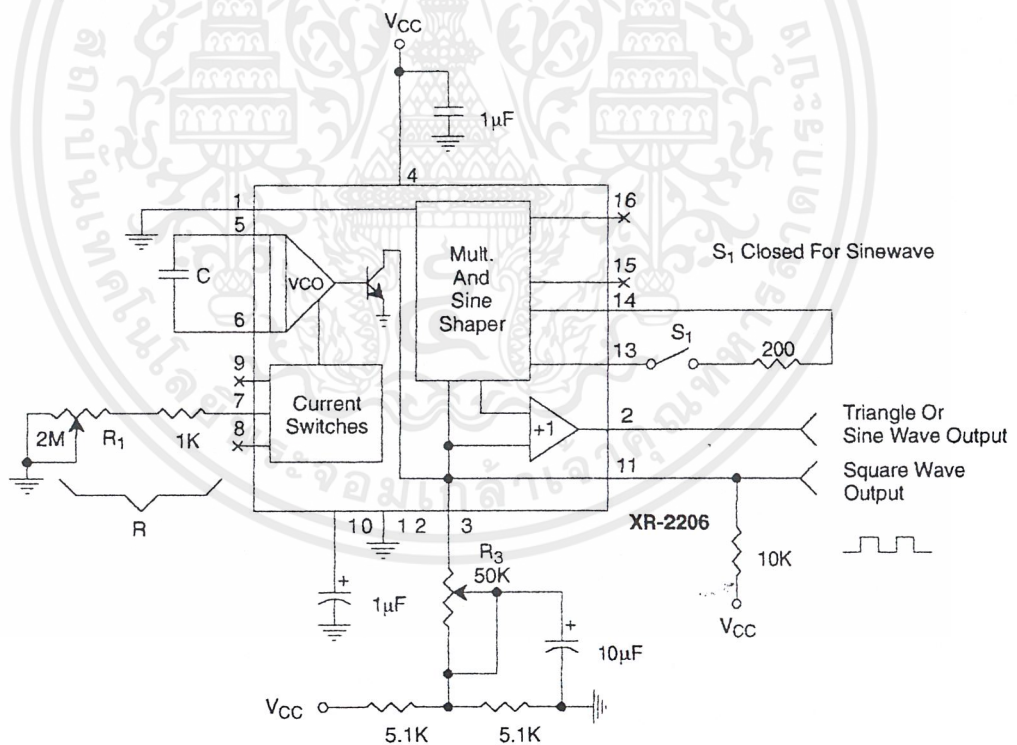


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment.
(See Figure 3 for Choice of R_3)

6. FSK Data filter time constant, t_F :

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

7. Loop phase detector conversion gain, K_d : (K_d is the differential DC voltage across pin 10 and pin11, 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):

$$K_o = \frac{-2\pi}{V_{REF} \cdot C_0 \cdot R_1} = \left(\frac{\text{radian/second}}{\text{volt}} \right)$$

9. The filter transfer function:

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

10. Total loop gain, K_T :

$$K_T = K_o \cdot K_d \cdot R(s) = \left(\frac{R_F}{5,000 \cdot C_0 \cdot (R_1 + R_F)} \right) \left[\frac{1}{\text{seconds}} \right]$$

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.

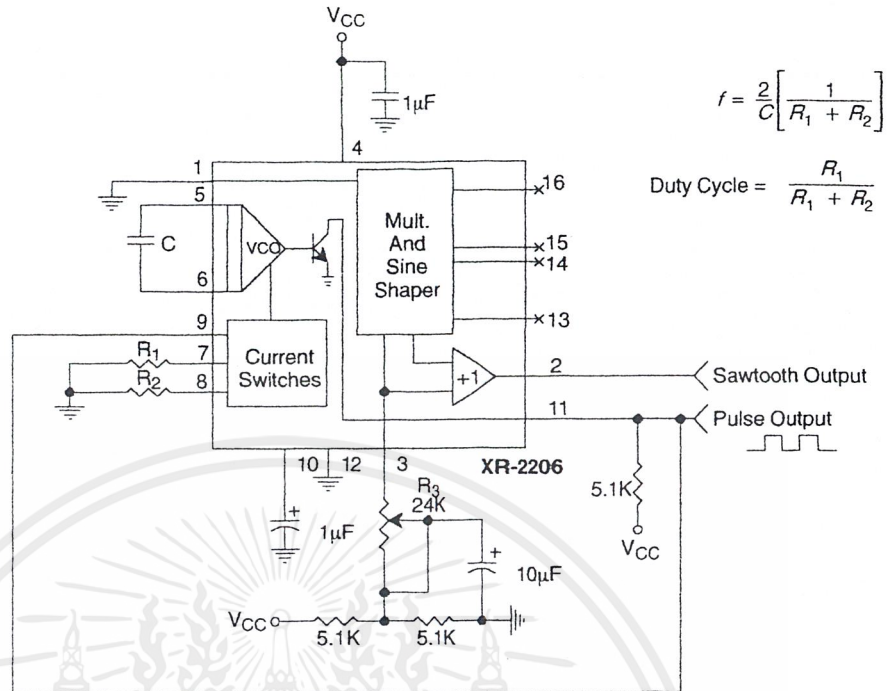


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels. f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1 C \text{ and } f_2 = 1/R_2 C$$

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

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11, Figure 12 and Figure 13, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in *Figure 12*. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

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

Triangle Wave Generation

The circuits of *Figure 11* and *Figure 12* can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V^- .

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of 1k Ω to 2M Ω .

PRINCIPLES OF OPERATION

Description of Controls

Frequency of Operation:

The frequency of oscillation, f_o , is determined by the external timing capacitor, C , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C . The recommended values of R , for a given frequency range, as shown in *Figure 5*. Temperature stability is optimum for 4k Ω < R < 200k Ω . Recommended values of C are from 1000pF to 100 μ F.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(\text{mA})}{C(\mu\text{F})} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T , over a wide range of current values, from 1 μ A to 3mA. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C , to the activated timing pin as shown in *Figure 10*. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = -\frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to $\leq 3\text{mA}$.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3 , connected to Pin 3 (see Figure 3). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per k Ω of R_3 ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per k Ω of R_3 . Thus, for example, $R_3 = 50\text{k}\Omega$ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100k Ω . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in Figure 6. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC} .

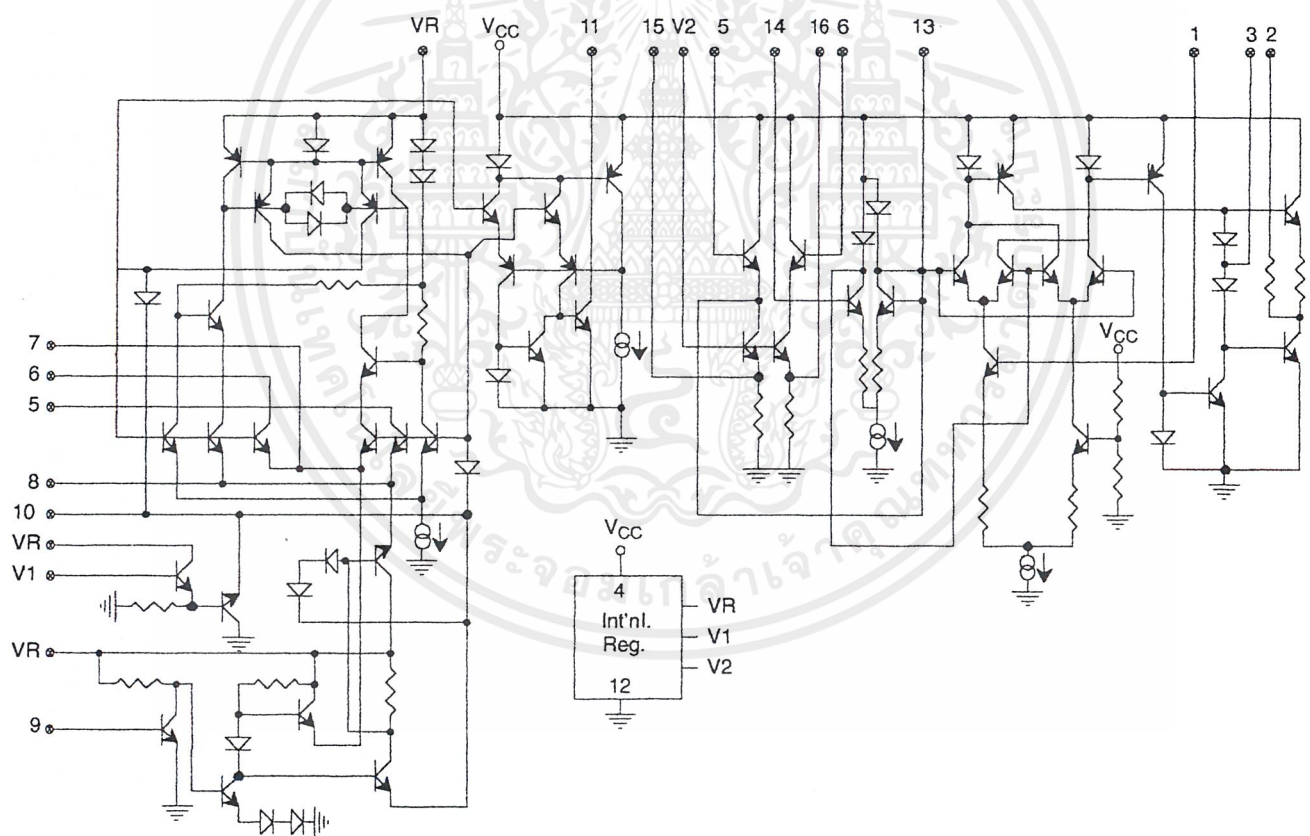
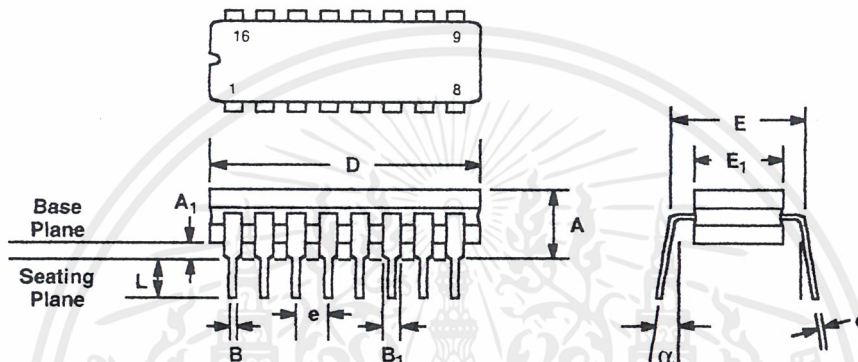


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

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

Rev. 1.00

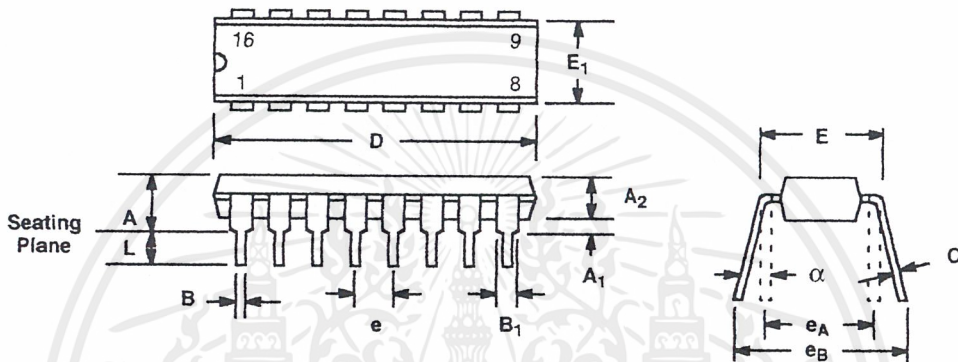


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.740	0.840	18.80	21.34
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

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

Rev. 1.00

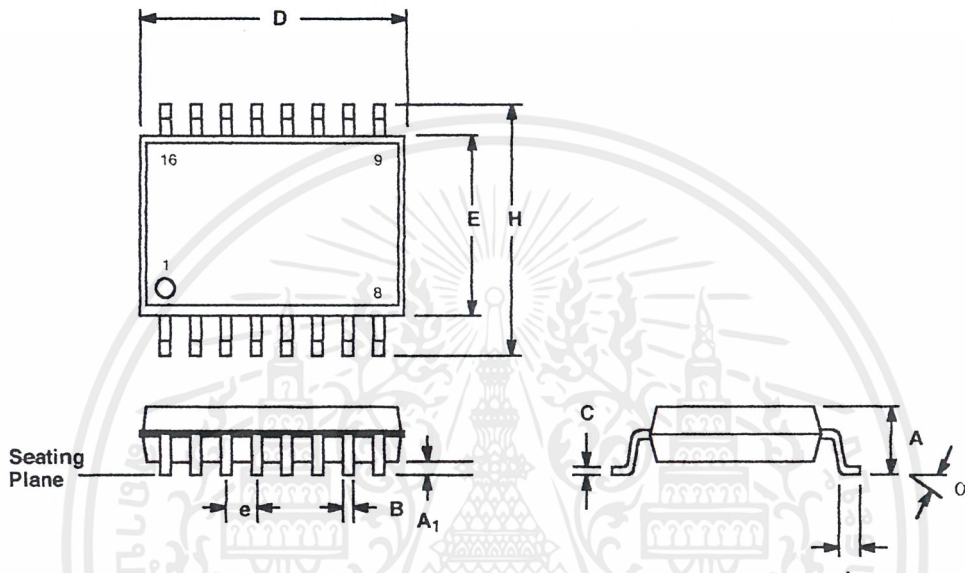


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.745	0.840	18.92	21.34
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300 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

16 LEAD SMALL OUTLINE (300 MIL JEDEC SOIC)

Rev. 1.00



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.093	0.104	2.35	2.65
A ₁	0.004	0.012	0.10	0.30
B	0.013	0.020	0.33	0.51
C	0.009	0.013	0.23	0.32
D	0.398	0.413	10.10	10.50
E	0.291	0.299	7.40	7.60
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.394	0.419	10.00	10.65
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column

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

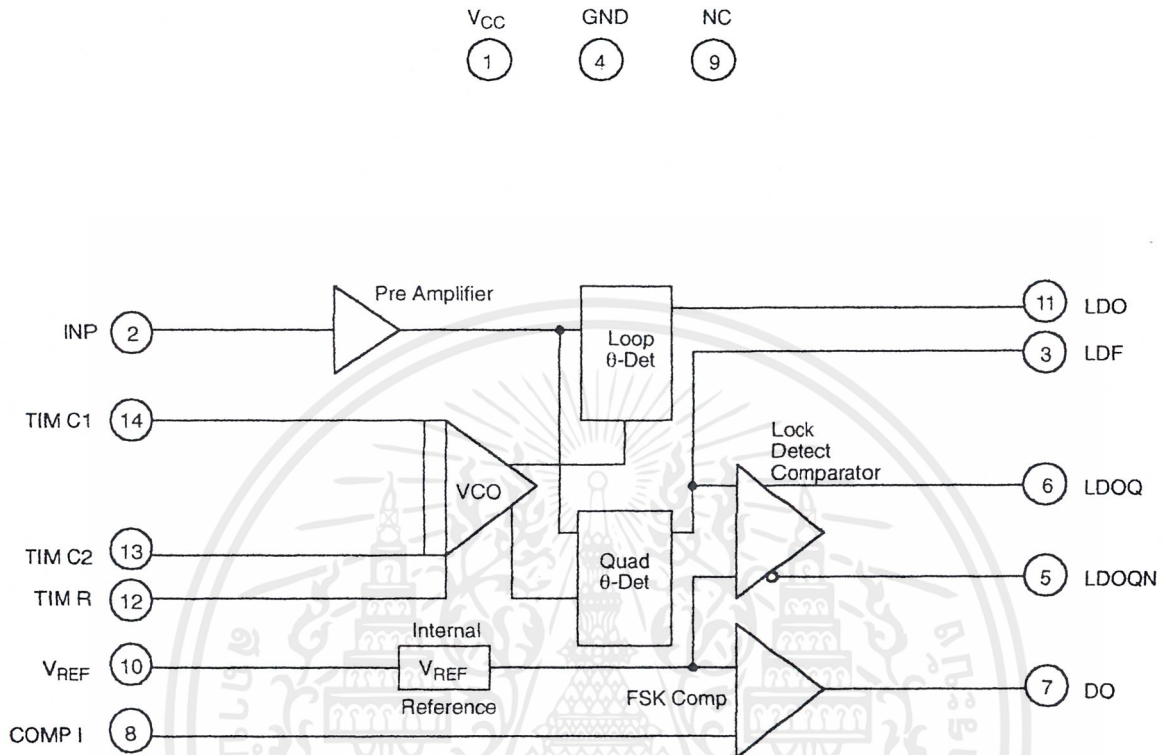
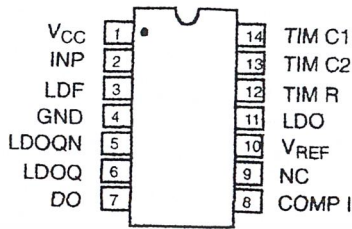
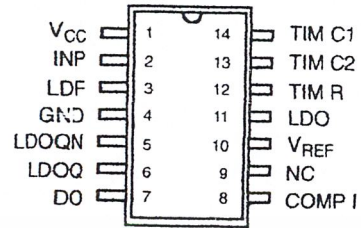


Figure 1. XR-2211 Block Diagram

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 Figure 4.
Oscillator Section					
Frequency Accuracy		± 1	± 3	%	Deviation from $f_0 = 1/R_0 C_0$
Frequency Stability					
Temperature		± 20	± 50	ppm/ $^\circ C$	See Figure 8.
Power Supply		0.05	0.5	%/V	$V_{CC} = 12 \pm 1V$. See Figure 7.
		0.2		%/V	$V_{CC} = \pm 5V$. See Figure 7.
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 Figure 5					
Operating Range	5		2000	$K\Omega$	
Recommended Range	5			$K\Omega$	See Figure 7 and Figure 8.
Loop Phase Detector Section					
Peak Output Current	± 150	± 200	± 300	μA	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		μA	
Output Impedance		1		$M\Omega$	
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		$M\Omega$	
Maximum Swing		11		V _{PP}	
Input Preempt Section					
					Measured at Pin 2
Input Impedance		20		$K\Omega$	
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		$M\Omega$	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 20KΩ. 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} : $V_{REF} = V_{CC}/2 - 650mV$. 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 0.1μF 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 10KΩ to 100KΩ (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 $\leq 3mA$ 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 10μF.

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.

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_0 :

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

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 :

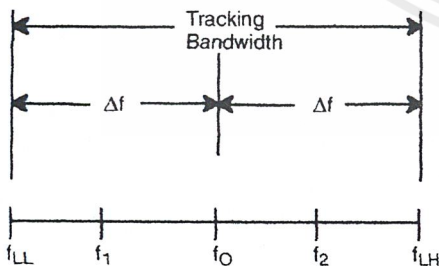
$$\zeta = \sqrt{\left(\frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot C_1} \right)}$$

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

5. Loop-tracking

bandwidth, $\pm = \frac{\Delta f}{f_0}$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{R_0}{R_1}$$



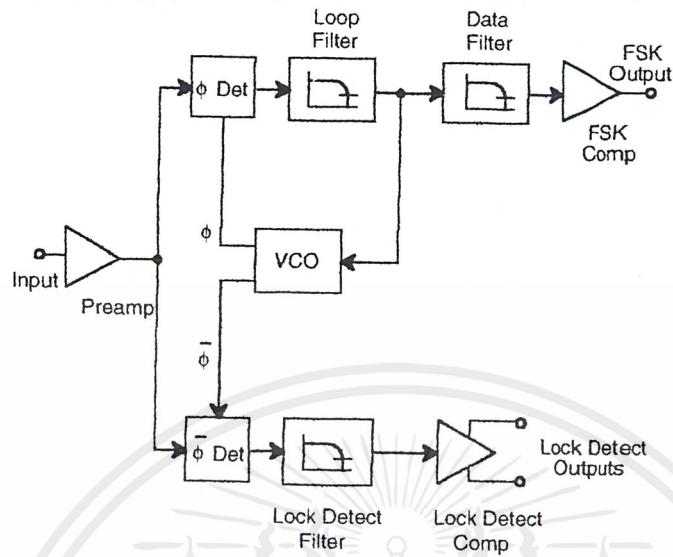


Figure 2. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211

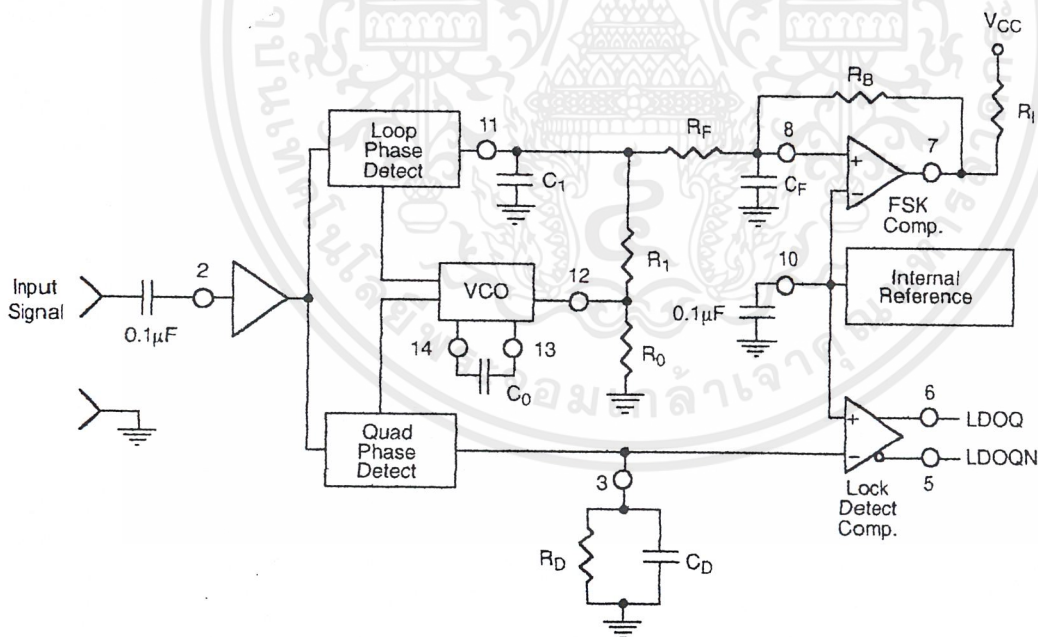


Figure 3. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection

6. FSK Data filter time constant, t_F :

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

7. Loop phase detector conversion gain, K_d : (K_d is the differential DC voltage across pin 10 and pin11, 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:

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

10. Total loop gain, K_T :

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

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 $10K\Omega$ to $100K\Omega$. 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 .

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

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

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

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

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

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

Normally, $\zeta = 0.5$ is recommended.

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

- 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)

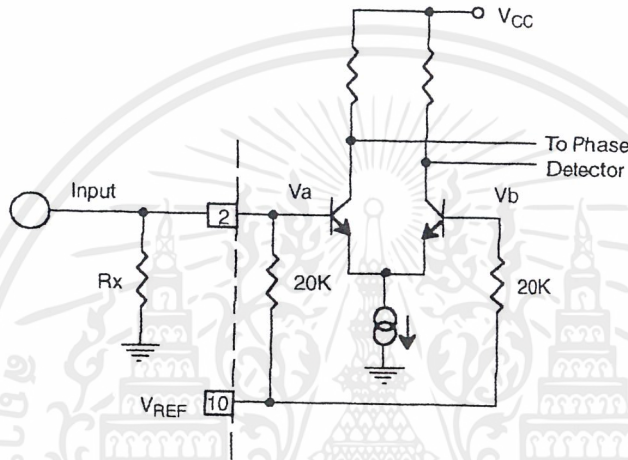


Figure 4. Desensitizing Input Stage

- 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.

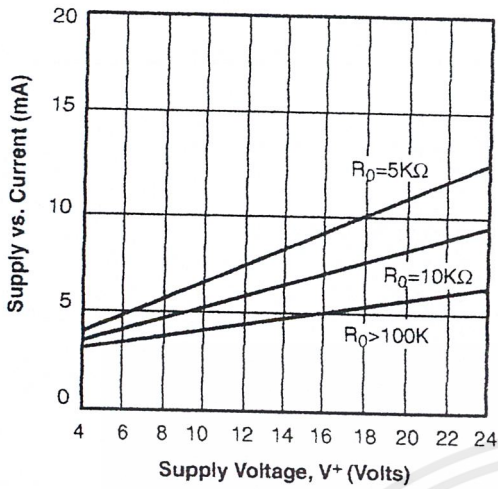


Figure 5. Typical Supply Current vs. V_+ (Logic Outputs Open Circuited)

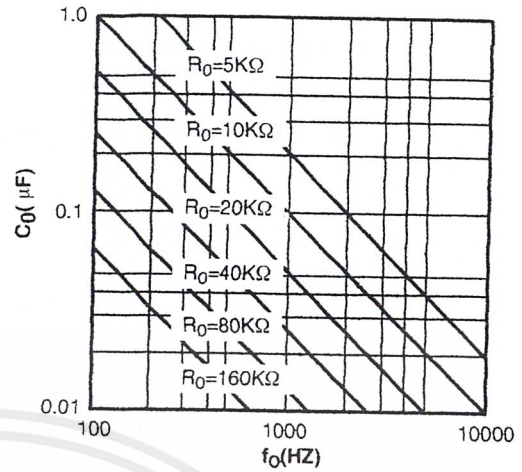


Figure 6. VCO Frequency vs. Timing Resistor

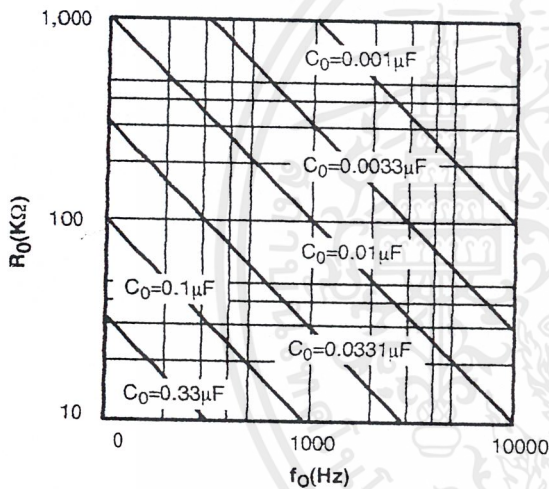


Figure 7. VCO Frequency vs. Timing Capacitor

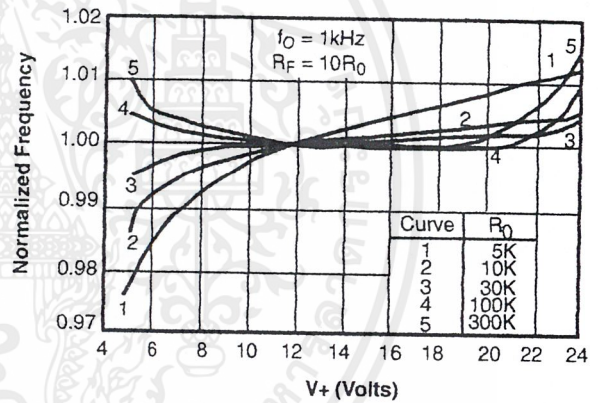


Figure 8. Typical f_0 vs. Power Supply Characteristics

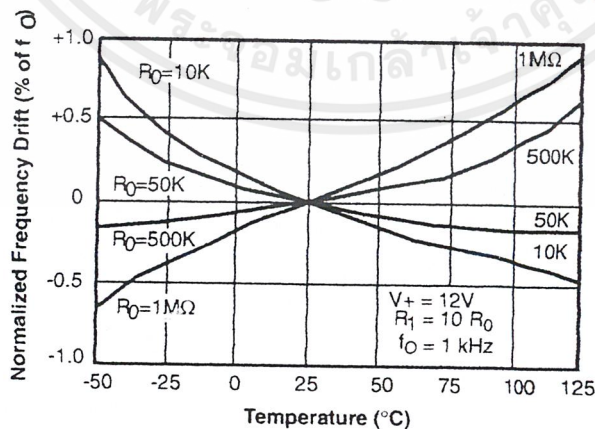


Figure 9. Typical Center Frequency Drift vs. Temperature

Design Example:

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

Step 1: Calculate f_o : from design instructions

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

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

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

Step 3: Calculate C_o from design instructions

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

Step 4: Calculate R_1 : from design instructions

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

Step 5: Calculate C_1 : from design instructions

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

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} :

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

Step 9: Calculate C_F :

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

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



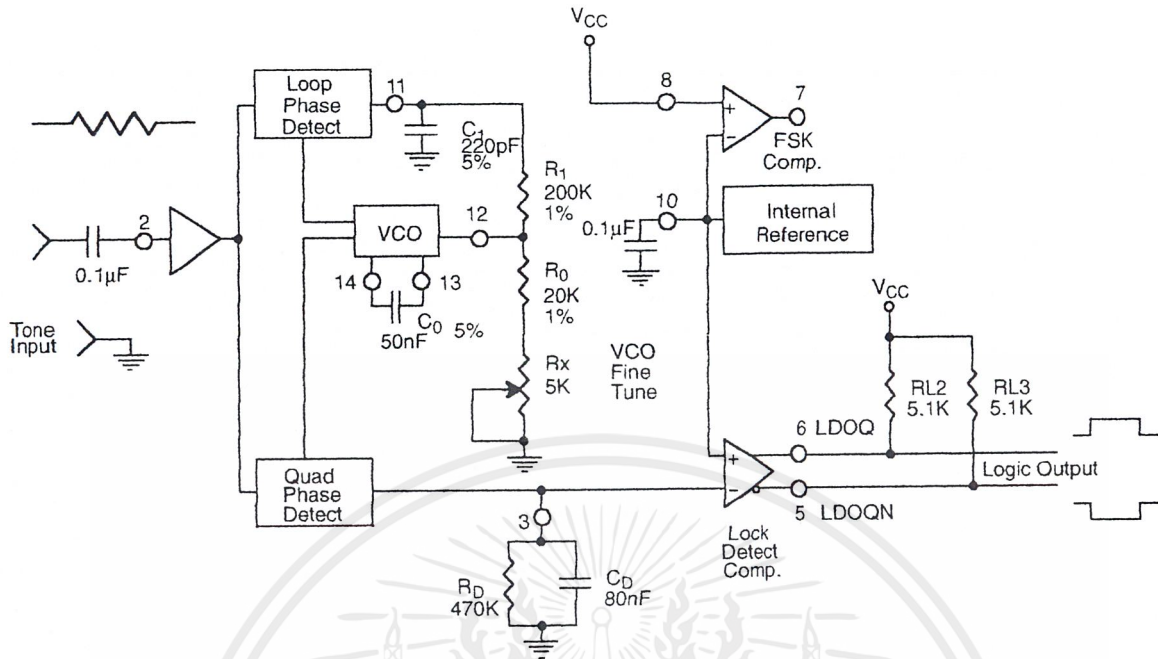


Figure 12. Circuit Connection for Tone Detection

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 C_D is inversely proportional to the capture range, $\pm\Delta f_c$. 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 C_1 . For most applications, $\Delta f_c > \Delta f/2$. For $R_D = 470K\Omega$, the approximate minimum value of C_D can be determined by:

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

C in μF and f in Hz.

With values of C_D 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 C_D will slow the response time of the lock detect output. For Caller I.D. applications choose $C_D = 0.1\mu F$.

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 R_{L2} and R_{L3} , 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: R_0 and C_0 set VCO center frequency; R_1 sets the detection bandwidth; C_1 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 $10K\Omega$ to $50K\Omega$. This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20K\Omega$. 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):

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f}$$

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 $R_D = 470K\Omega$, C_D must be:

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

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 $10K\Omega$ to $50K\Omega$. This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20K\Omega$. 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* $f_S = f_0$:

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

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

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

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 .

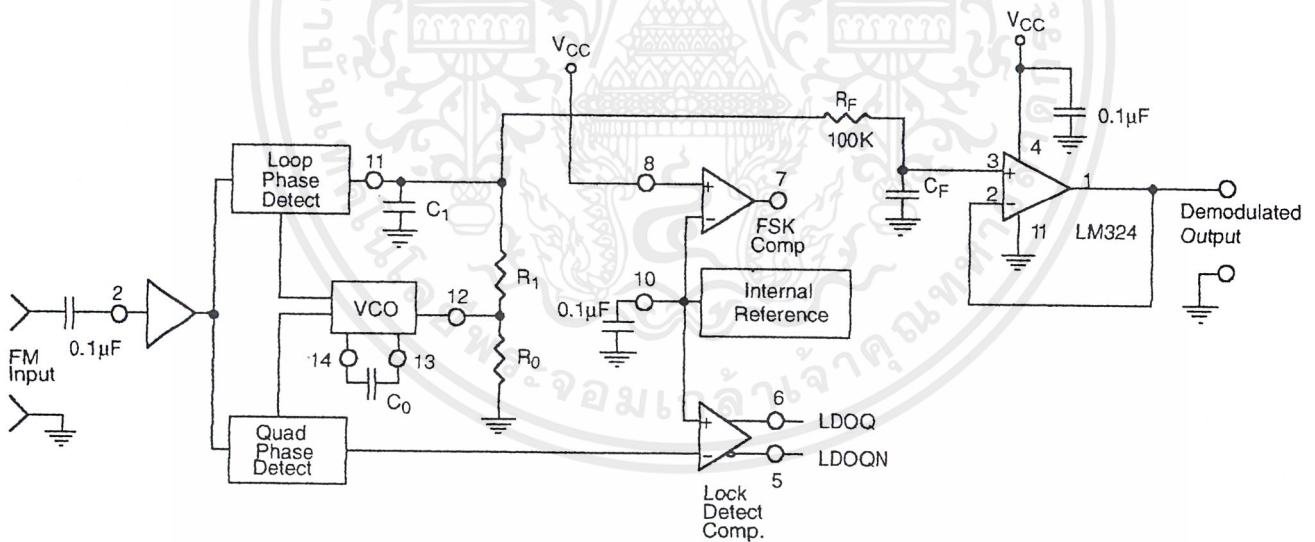


Figure 13. Linear FM Detector Using XR-2211 and an External Op Amp.
(See Section on Design Equation for Component Values.)

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:

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

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.

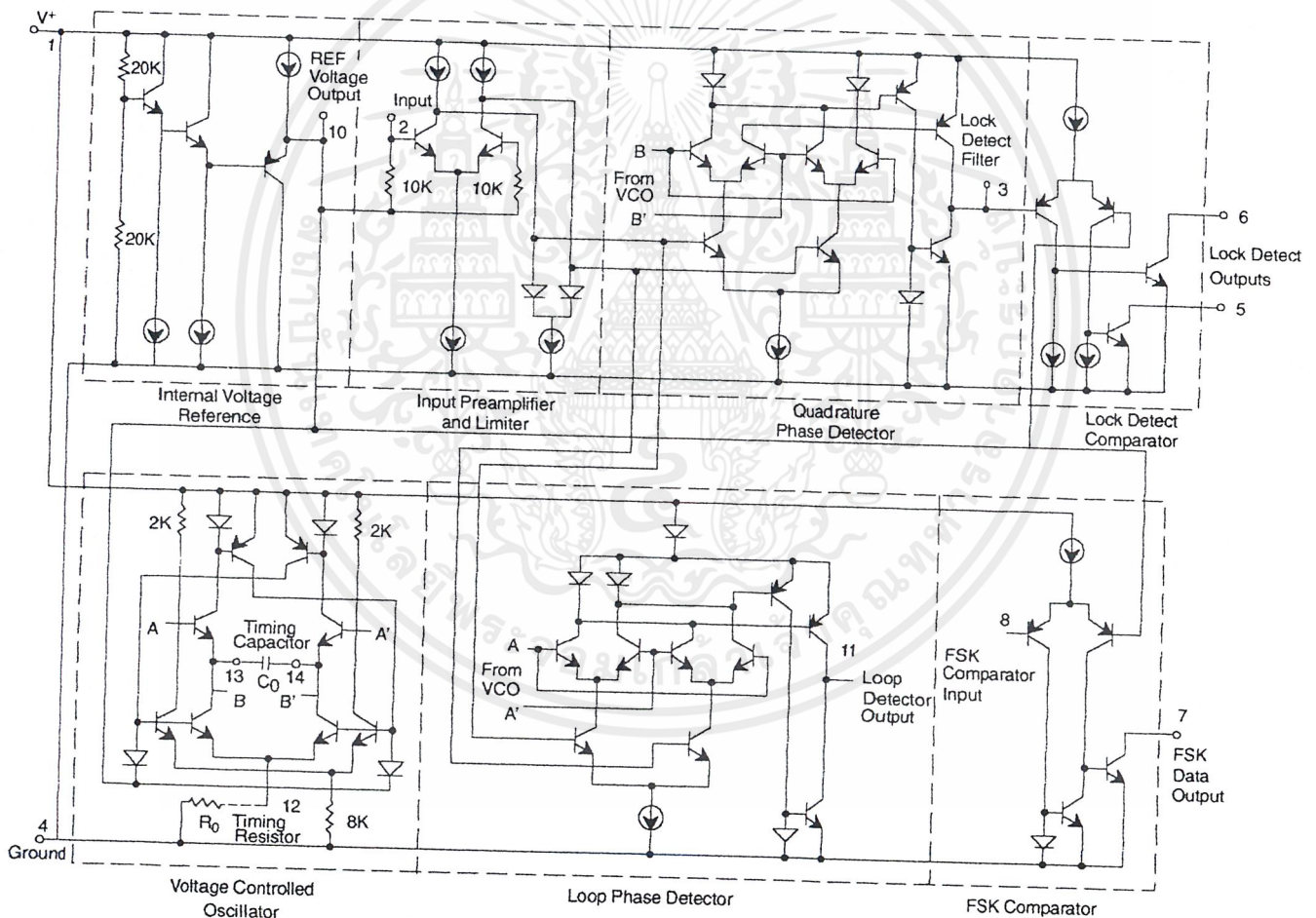
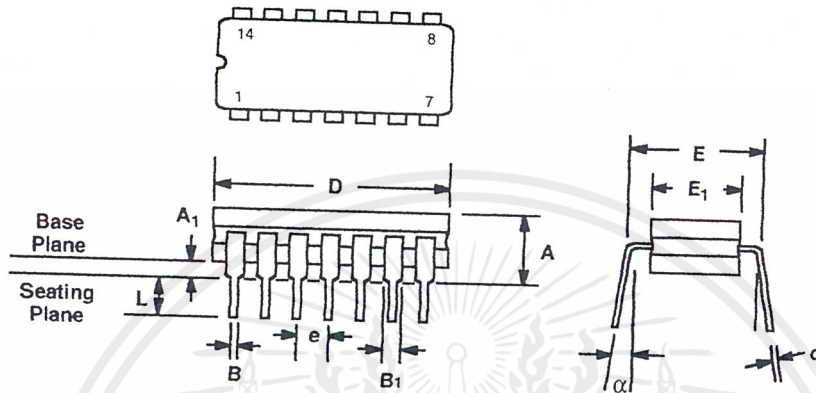


Figure 14. Equivalent Schematic Diagram

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

Rev. 1.00

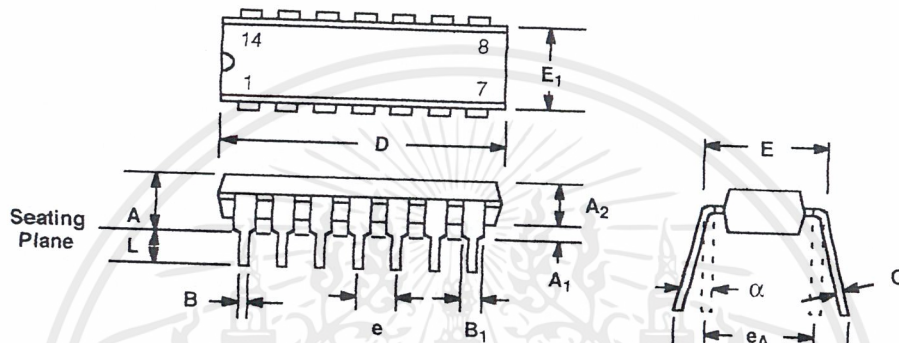


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.685	0.785	17.40	19.94
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0°	15°	0°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

Note: The control dimension is the inch column

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

Rev. 1.00

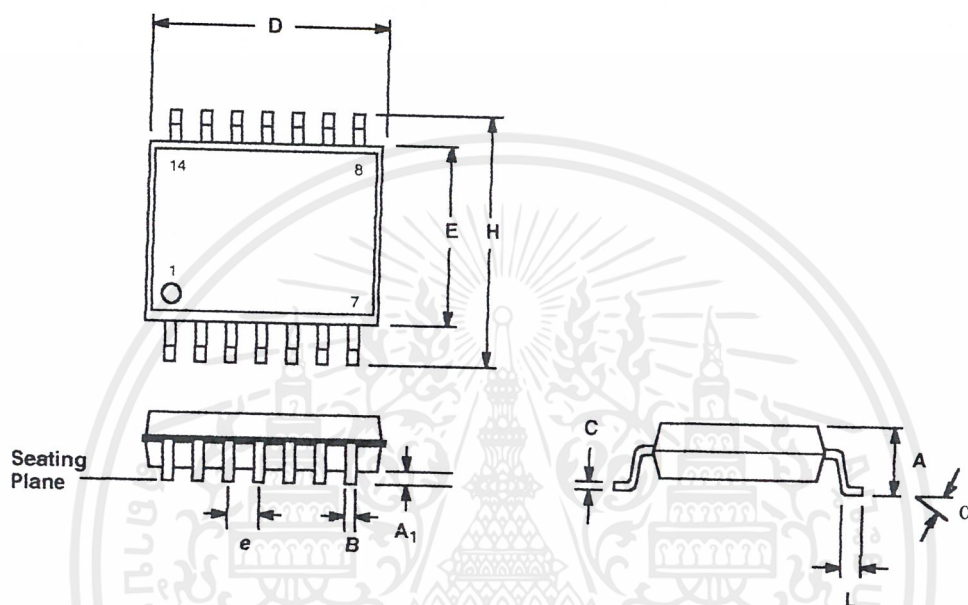


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.725	0.795	18.42	20.19
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300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

Features

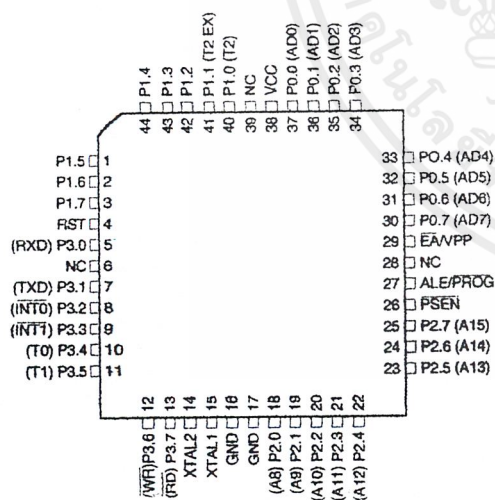
- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

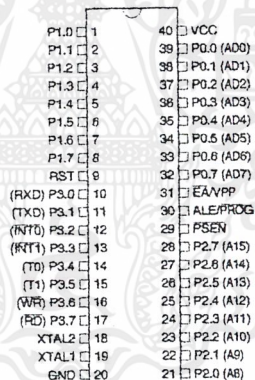
The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

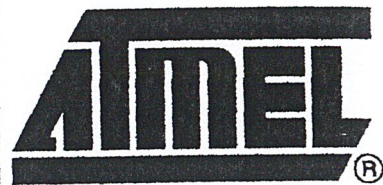
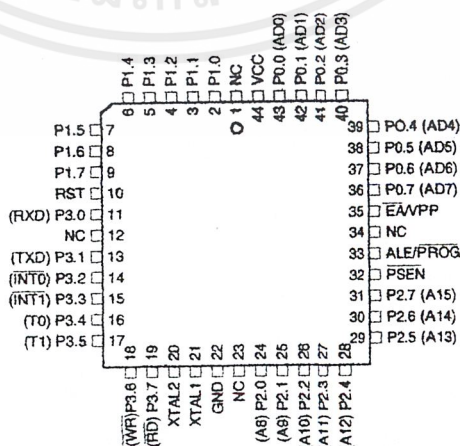
PQFP/TQFP



PDIP



PLCC



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

Rev. 0265G-02/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2



The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE

pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/VPP

External Access Enable. $\overline{EA}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{EA}$ will be internally latched on reset.

$\overline{EA}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP} .

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

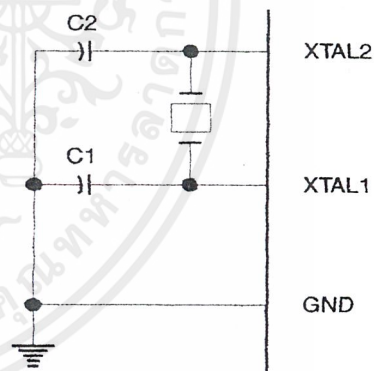
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

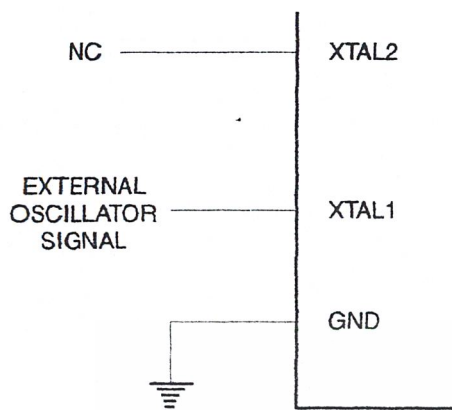


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{PSEN}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the $\overline{EA}$ pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of $\overline{EA}$ be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled



Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise $\overline{EA}/V_{PP}$ to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming Modes

Mode		RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	 (1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

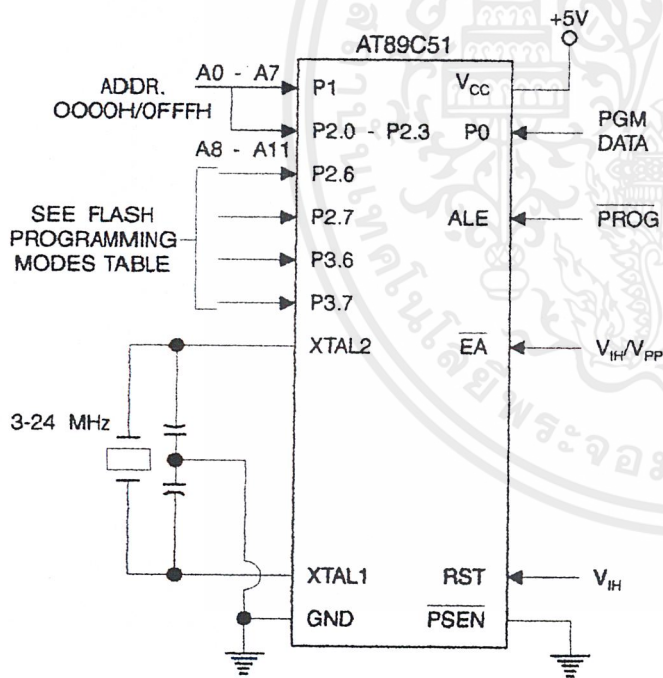
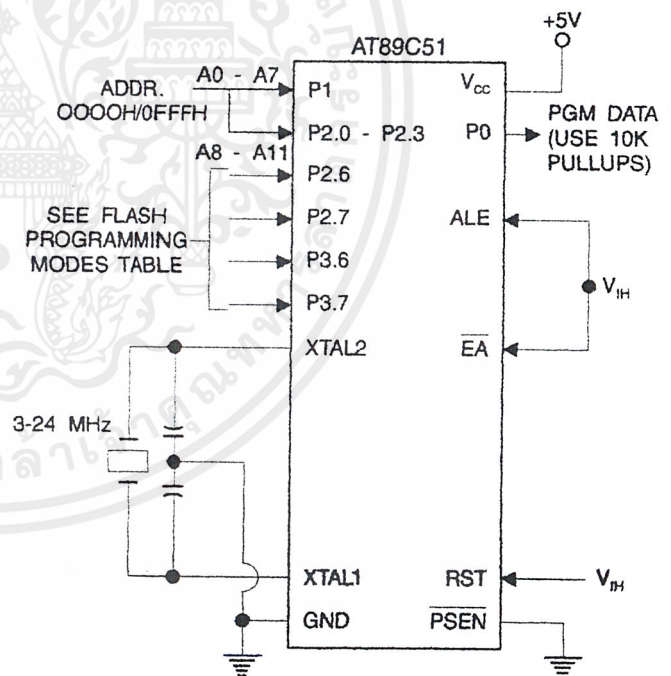
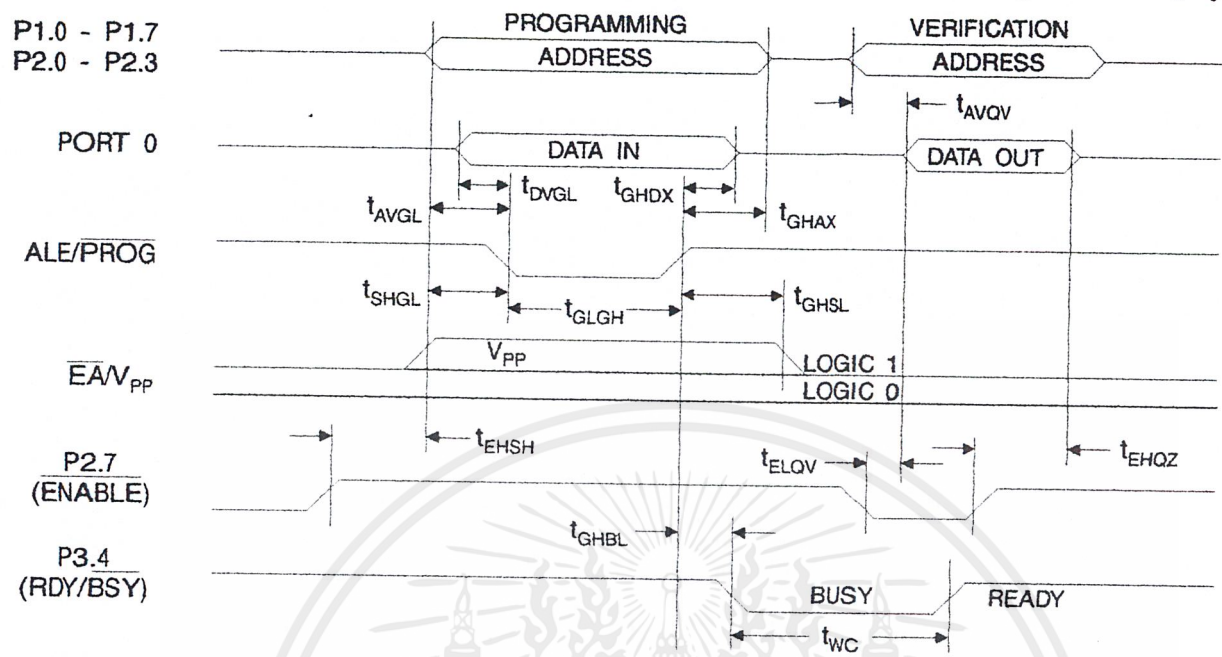


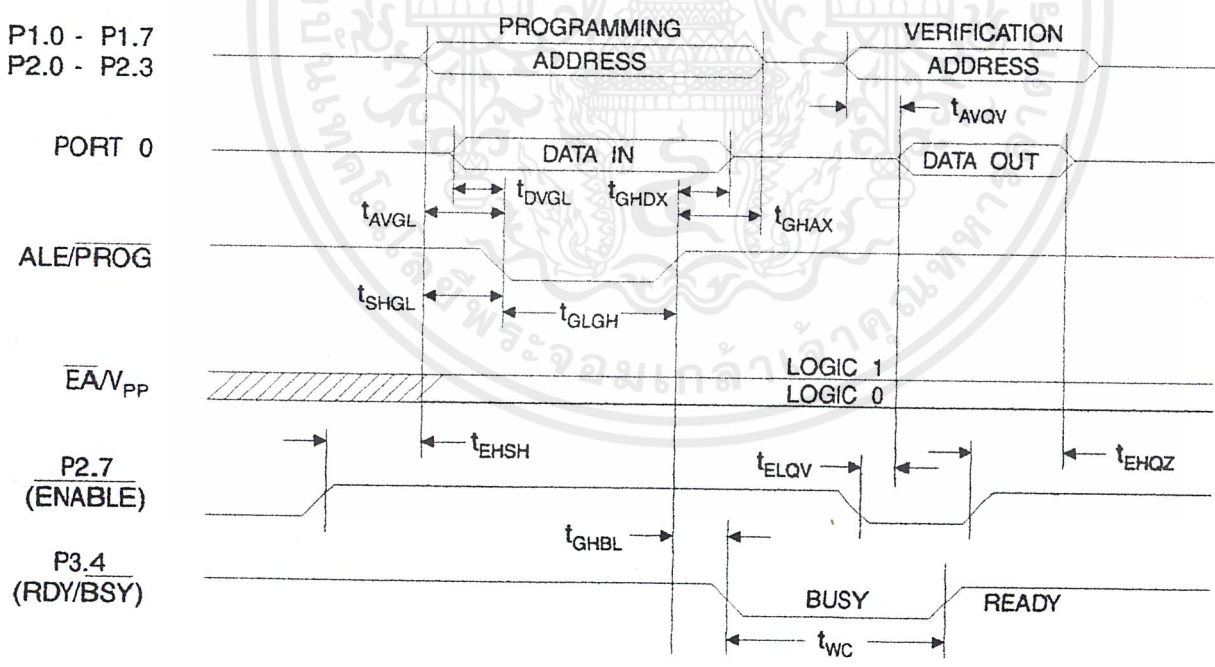
Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



AT89C51

Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Current		1.0	mA
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t _{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHDx}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{ESH}	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V _{PP}	48t _{CLCL}		
t _{SHGL}	V _{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t _{GHSL} ⁽¹⁾	V _{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t _{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t _{AVQV}	Address to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48t _{CLCL}	
t _{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t _{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

***NOTICE:** Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\overline{EA}$)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\overline{EA}$)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\overline{PSEN}$)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\overline{EA}$)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
Ports 1, 2, 3: 15 mA
Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics

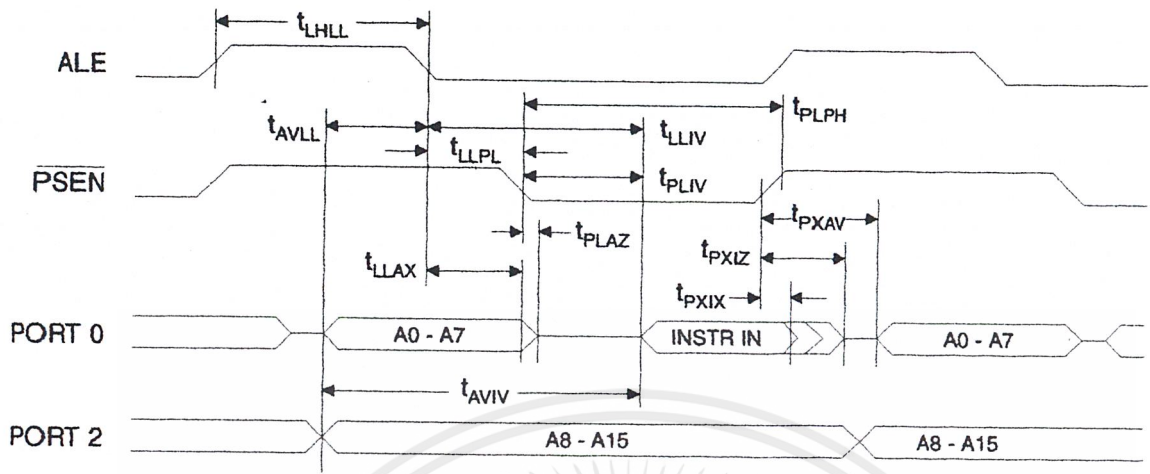
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

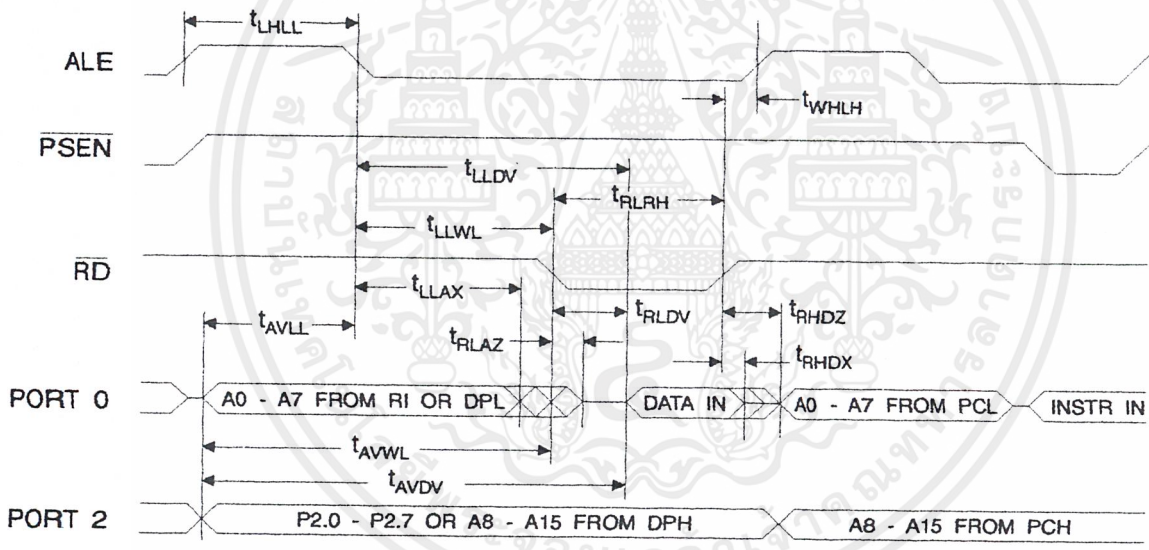
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to PSEN Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{PLPH}	PSEN Pulse Width	205		$3t_{CLCL}-20$		ns
t_{PLIV}	PSEN Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After PSEN	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After PSEN		59		$t_{CLCL}-10$	ns
t_{PXAV}	PSEN to Address Valid	75		$t_{CLCL}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}-55$	ns
t_{PLAZ}	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	RD Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{WLWH}	WR Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{RLDV}	RD Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}-90$	ns
t_{RHDZ}	Data Hold After RD	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After RD		97		$2t_{CLCL}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to RD or WR Low	200	300	$3t_{CLCL}-50$	$3t_{CLCL}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to RD or WR Low	203		$4t_{CLCL}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to WR Transition	23		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to WR High	433		$7t_{CLCL}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After WR	33		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{RLAZ}	RD Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	RD or WR High to ALE High	43	123	$t_{CLCL}-20$	$t_{CLCL}+25$	ns



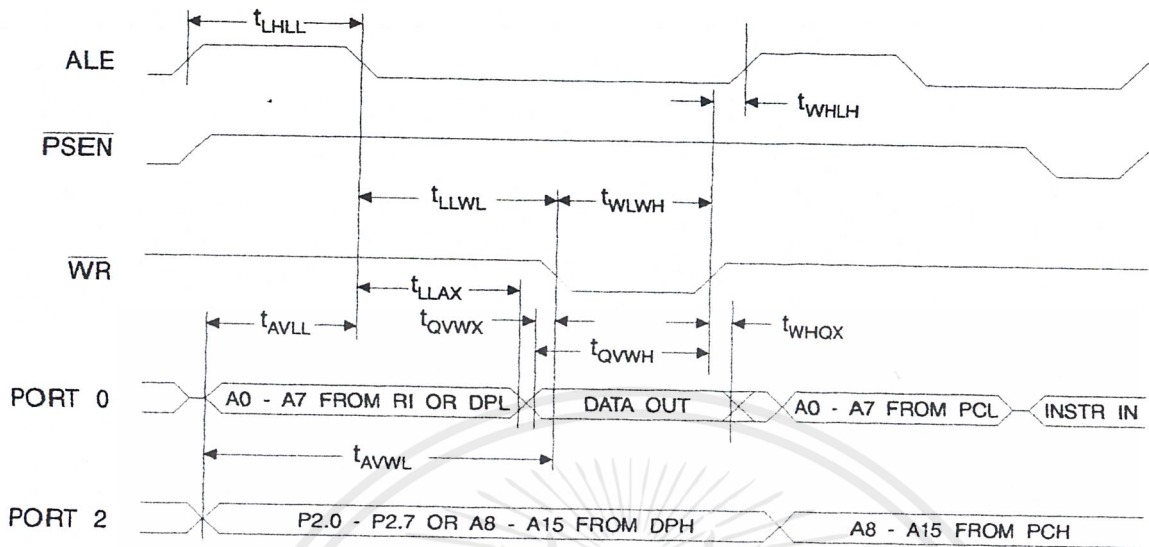
External Program Memory Read Cycle



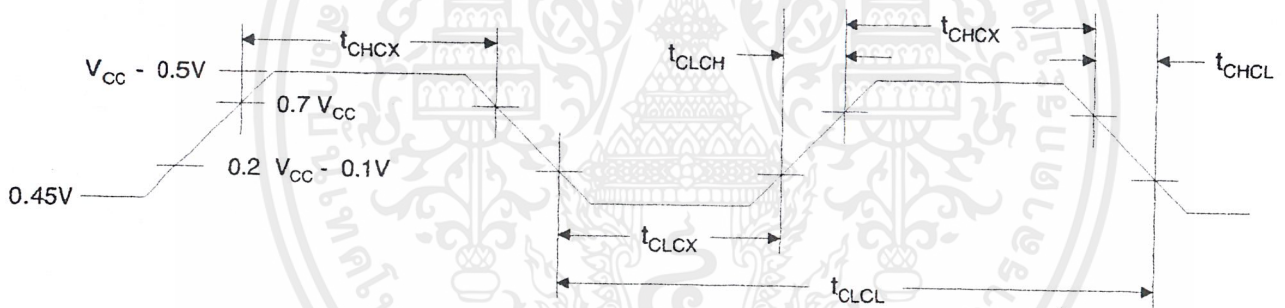
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

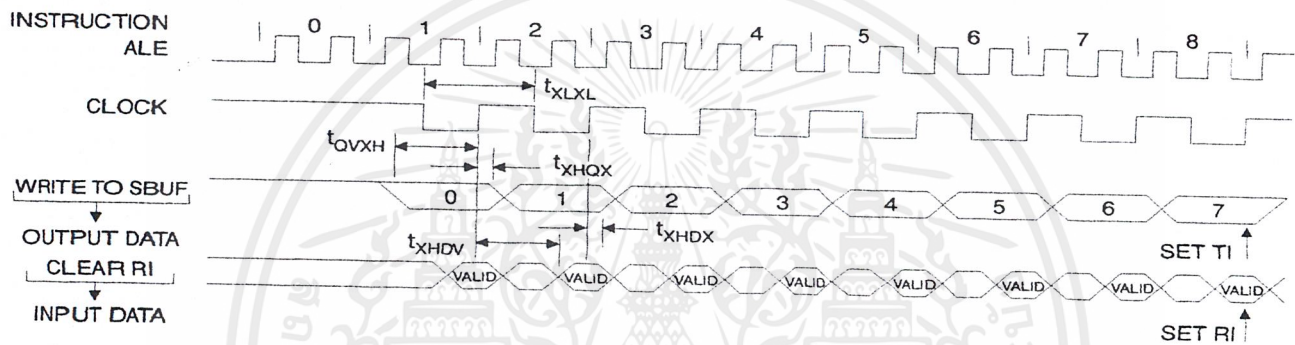


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

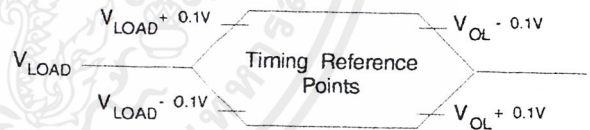
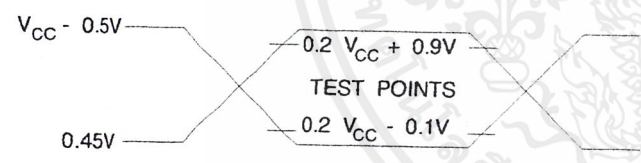
Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{V}$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

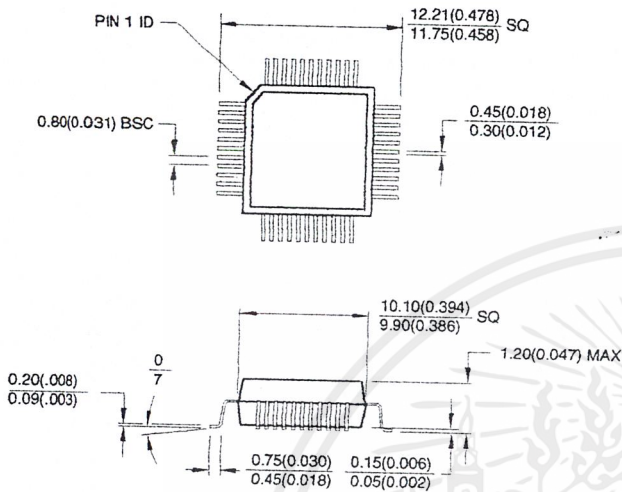
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)

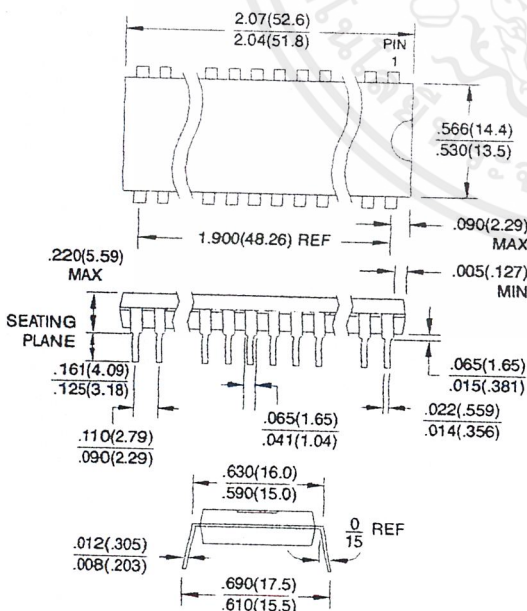
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 ACB



Controlling dimension: millimeters

40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)

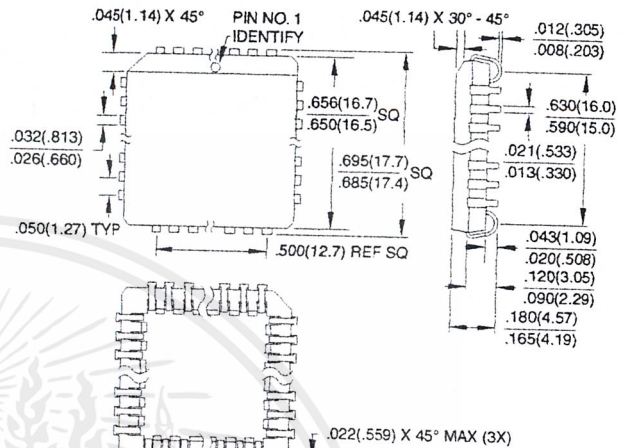
Dimensions in Inches and (Millimeters)



44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)

Dimensions in Inches and (Millimeters)

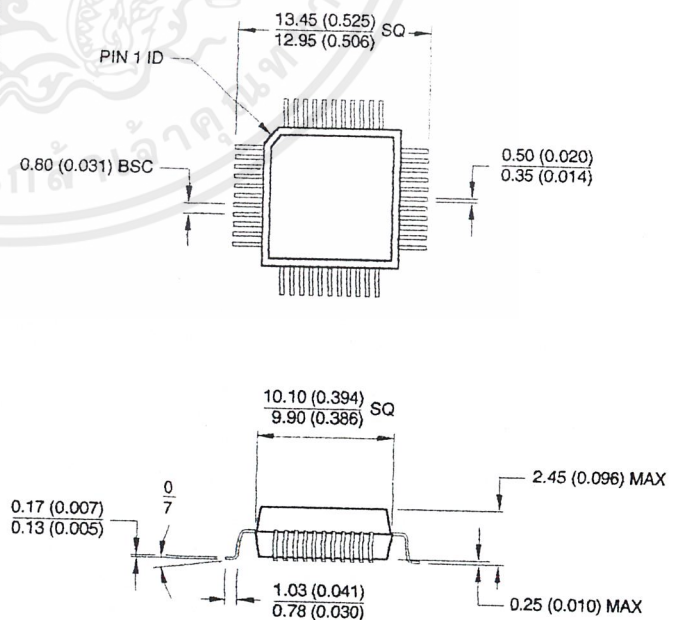
JEDEC STANDARD MS-018 AC



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)

Dimensions in Millimeters and (Inches)*

JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters

AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของหลาย ๆ ฝ่ายดังนี้
รศ.ดร. กอบชัย เฉลยหาญ และอาจารย์เชื้อ นกอยู่ ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำปรึกษาที่ดีและข้อมูลรวมถึงหนังสือต่าง ๆ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้