สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC

APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE

โดย

นายเพิ่มพงศ์ หวลธรรม

นายโยธิน พันธ์พุฒ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62745
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC

APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE

ผู้จัดทำ นายเพิ่มพงศ์ หวลธรรม 46015316

นายโยธิน พันธ์พุฒ 46015318

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ธวัชชัย คำศรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC

APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE

โดย

นายเพิ่มพงศ์ หวลธรรม 46015316

นายโยธิน พันธ์พุฒ 46015318

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ธวัชชัย คำศรี

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาขั้นตอนการสร้าง และการออกแบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟเอซี โดยจะส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมในการส่ง การทำงานคือทำการมอดูเลตสัญญาณแบบเฟสชิฟคีย์อิ้ง จากนั้นผ่านหม้อแปลง เพื่อทำการปรับสัญญาณแล้วส่งเข้าสายไฟ ส่วนภาครับใช้หม้อแปลงและวงจรเฟสล็อคลูป ในการดีมอดูเลตสัญญาณออกมา โครงงานนี้สามารถเคลื่อนย้ายในการควบคุมได้สะดวก และไม่ต้องเสียเวลาเดินสายไฟที่เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล เพราะมีการเดินสายไฟบ้านอยู่แล้ว ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องสายส่งได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLIANCE CONTROL VIA AC POWER LINE

Mr. Permpong Huantham 46015316

Mr. Yothin Phanphut 46015318

Advisor

Mr. Thawatchai Kamsri

ABSTRACT

This project studies and implements procedure of electric equipment control through AC using microcontroller as data signal controller. The digital data and carrier signal are modulated by using Frequency Shift Keying means (FSK). Then the modulating signal tranferred by using transformer coupling through AC line. At the terminal, another transformer coupling will transfer the modulating signal form the same AC line. After that it is demodulated by using Phase Lock Loop method (PLL) to keep the data signal for electric equipment control. The benefits of this project are the user can move the controller conveniently and safe the time for making control line. It can be concluded that this project will help the user safe the expense of control line.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาอย่างสูง จาก อาจารย์ธวัชชัย คำศรี อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ ที่ได้ให้ความกรุณา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้การสนับสนุนให้โอกาสผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้ และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้ง ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นายเพิ่มพงศ์ หวลธรรม

นายโยธิน พันธ์พุฒ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	3
2.1.1 คุณสมบัติ	3
2.1.2 การจัดวางขา	3
2.1.3 การจัดหน่วยความจำ	5
2.1.4 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์	10
2.1.5 กระบวนการอินเตอร์รัปต์	15
2.1.6 พอร์ตอนุกรม	18
2.2 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอล	24
2.2.1 การมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	25
2.2.2 การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	25
2.2.3 การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่	27
2.3 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน	28
2.4 เฟสล็อคลูป	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ	30
3.1 ส่วนเครื่องส่ง	30
3.1.1 ส่วนประมวลผล	30
3.1.2 ส่วนมอดูเลเตอร์	31
3.1.3 ส่วนดีมอดูเลเตอร์	33
3.1.4 วงจรคัปปลิ้ง	35
3.2 ส่วนเครื่องรับ	36
3.2.1 ส่วนประมวลผล	36
3.2.2 ส่วนมอดูเลเตอร์	36
3.2.3 ส่วนดีมอดูเลเตอร์	37
3.2.4 วงจรคัปปลิ้ง	37
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	38
4.1 ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์	38
4.1.1 วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง	38
4.1.2 วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องรับ	40
4.2 ส่วนของวงจรดีมอดูเลเตอร์	43
4.2.1 วงจรดีมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง	43
4.2.2 วงจรดีมอดูเลเตอร์ของเครื่องรับ	44
4.3 ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์และดีมอดูเลเตอร์ที่ต่อร่วมกัน	46
4.4 ส่วนของการส่งข้อมูลเข้าสายเอซี	48
4.5 ส่วนของวงจรที่ใช้งานจริง	49
4.6 การทดลองด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ	51
4.6.1 การแสดงผลของการกดคีย์ด้านเครื่องส่ง	51
4.6.2 การแสดงผลของการกดคีย์ด้านเครื่องรับ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและบทวิจารณ์	57
5.1 สรุปผล	57
5.2 บทวิจารณ์	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก ก. โปรแกรม	60
ภาคผนวก ข. คู่มือไอซี	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx	4
2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	6
2.3 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	7
2.4 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	7
2.5 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 0 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	13
2.6 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	13
2.7 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	14
2.8 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	14
2.9 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	19
2.10 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1	21
2.11 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	25
2.12 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	26
2.13 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK	26
2.14 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่	27
2.15 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน	28
2.16 วงจรเฟสล็อคลูป	29
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เครื่องส่ง	31
3.2 วงจรมอดูเลตของเครื่องส่ง	33
3.3 วงจรดีมอดูเลตของเครื่องส่ง	35
3.4 วงจร AC Coupling	35
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เครื่องรับ	36
4.1 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz	38
4.2 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามา	39
4.3 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามา	39
4.4 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามา	41
4.6 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามา	41
4.7 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์	42
4.8 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 90 kHz	43
4.9 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 100 kHz	44
4.10 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 130 kHz	44
4.11 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 150 kHz	45
4.12 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 1200 บิตต่อวินาที	46
4.13 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 2400 บิตต่อวินาที	46
4.14 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 4800 บิตต่อวินาที	47
4.15 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที	47
4.16 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน	48
4.17 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้านซึ่งทำการขยายครั้งที่ 1	48
4.18 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้านซึ่งทำการขยายครั้งที่ 2	49
4.19 แสดงรูปวงจรมอดูเลเตอร์	49
4.20 แสดงรูปวงจรดีมอดูเลตที่ใช้งานโดยมีการปรับออฟเซต	50
4.21 แสดงรูปวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลตที่ใช้งาน 2 ชุดต่อร่วมกัน	50
4.22 แสดงการกดคีย์หมายเลข 2	51
4.23 แสดงการกดคีย์หมายเลข 5	52
4.24 แสดงการกดคีย์หมายเลข 8	52
4.25 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 2	53
4.26 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 5	53
4.27 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 8	54
4.28 วงจรเครื่องส่ง	55
4.29 วงจรเครื่องรับ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง	8
2.2 การเลือกอัตราบอดของพอร์ตอนุกรม	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โครงงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC เป็นการออกแบบและทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ให้มีความสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โดยได้สร้างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ สำหรับการควบคุมนั้นทำได้โดยป้อนคำสั่งการทำงานให้เครื่องส่ง โดยคำสั่งนั้นมาจากสวิตช์คีย์แพด เมื่อกดปุ่มสวิตช์เครื่องส่งจะทำการประมวลผลและทำการส่งสัญญาณที่ประมวลผลได้ไปผสมสัญญาณ ซึ่งจะอาศัยหลักการผสมสัญญาณในทางดิจิตอลแบบ FSK แล้วส่งเข้าไปในสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ เครื่องรับจะรับสัญญาณควบคุมจากสายไฟฟ้ากระแสสลับ และทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ

1.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดโครงงานนี้

1.1.1 ระยะทางและเวลา

เนื่องจากการจะเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะทำการเปิดปิดนั้นอยู่ห่างจากผู้ใช้งาน เช่น กรณีผู้ใช้งานต้องการปิดพัดลมในห้องนอนที่ชั้น 2 ผู้ใช้งานต้องเดินขึ้นไปยังชั้น 2 เพื่อที่จะปิดพัดลม เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่าทำให้เกิดเสียเวลา หรือในบางครั้งอาจกำลังทำงานอยู่ชั้นล่าง แล้วนึกขึ้นได้ว่าลืมปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชั้นบน ก็สามารถใช้โครงงานนี้ช่วยในการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการได้ ซึ่งสามารถช่วยทำให้ประหยัดเวลาในการเดินขึ้นไปปิดอุปกรณ์นั้นและยังสามารถทำงานที่กำลังทำอยู่ต่อไปได้ในทันทีโดยเสียเวลาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

1.1.2 สายควบคุม

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผู้ใช้งานจำเป็นต้องกดสวิตช์หรือรีโมท (Remote) เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานหรือหยุดทำงาน จะเห็นว่าสวิตช์หรือรีโมทจะต้องอยู่ในระยะที่เหมาะสมกับการควบคุม กรณีผู้ใช้งานต้องการปิดพัดลมในห้องนอนที่ชั้น 2 ผู้ใช้งานต้องเดินขึ้นไปกดสวิตช์ ถ้าจะทำให้ระยะทางในการควบคุมไกลขึ้น ก็จำเป็นต้องเพิ่มสายควบคุม แต่การเพิ่มสายควบคุมจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการเดินสาย และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินสายเพิ่มขึ้น

จากสาเหตุทั้งสองประการจึงทำให้เกิดแนวคิดที่ว่า จะทำอย่างไรถึงจะปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปิดอยู่บนชั้น 2 โดยที่ไม่ต้องเดินขึ้นไปซึ่งต้องเสียเวลา และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินสายหรือค่าสายควบคุม แต่เสียค่าวงจรเพิ่มเติมนิดหน่อย อีกทั้งยังเล็งเห็นว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกอย่างจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็ต้องต่อกับสายไฟฟ้า AC อยู่แล้ว ดังนั้นจึงคิดว่าน่าจะใช้สายไฟดังกล่าวให้เป็นประโยชน์ จึงเกิดโครงงานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC ขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า(AC Line)

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบที่ส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล

1.2.3 เพื่ออำนวยความสะดวกในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

1.2.4 สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถทำการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า

1.3.2 สามารถรับข้อมูลเข้ามาได้อย่างถูกต้อง

1.3.3 สามารถนำข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาได้รวบรวมจากการศึกษาทดลองตลอดหนึ่งภาคการศึกษา แบ่งเป็นบทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดโครงงาน วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

บทที่ 3 การออกแบบ จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบหาค่าตัวแปร พร้อมทั้งวงจรที่ใช้งาน

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองทั้งหมด

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะเป็นการสรุปภาพรวมที่ได้ทำมา ปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไข พร้อมทั้งแนวทางในการพัฒนาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต หน่วยความจำ วงจรขับสัญญาณเอาท์พุต วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ

2.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง หน่วยความจำพื้นฐานเป็นแบบแรม ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทางใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 อย่างน้อย 2 ตัว สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และมีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัว

2.1.2 การจัดวางขา

ดังแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

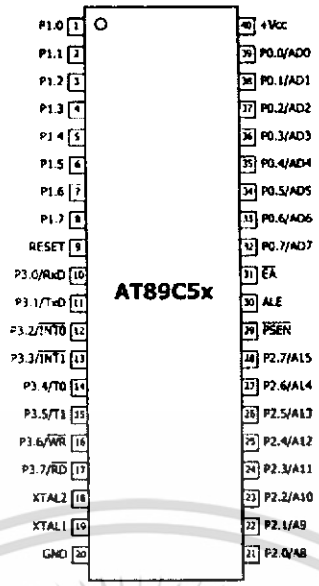
ขา Vcc ไฟเลี้ยง +5 โวลต์

ขา GND เป็นขากราวด์ (ground)

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตยังใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์ (multiplex) ช่วย เพื่อสลับการทำงาน

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลชในอนุกรม AT89Cxx

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตนั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตนั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังมีหน้าที่การใช้งานพิเศษ มีดังต่อไปนี้

P3.0 เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

P3.3 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{WR}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณรีเซตต้องมีช่วงสัญญาณอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องตามปกติ

ขา $\overline{\text{ALE}}$/PROG (Address Latch Enable / Program pulse input) ใช้ในการควบคุมการแลชต์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก

ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัว ก็จะส่งสัญญาณออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา $\overline{\text{EA}}$/Vpp (External Access Enable / Programming voltage input) ใช้เลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่ถ้าหากเป็น "1" เป็นการเลือกให้ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัว

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาที่ใช้ต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1.3 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล

2.1.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียว หรือรวมกับภายนอก หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ ภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน ก็จะสามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำภายนอกส่วนมากบรรจุในหน่วยความจำชนิดชนิดอีพรอม (EPROM : Erasable programmable read-only memory) ซึ่งสามารถทำการอ่านได้เพียงอย่างเดียว หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูเริ่มต้นการทำงาน จะต้องเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอก ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

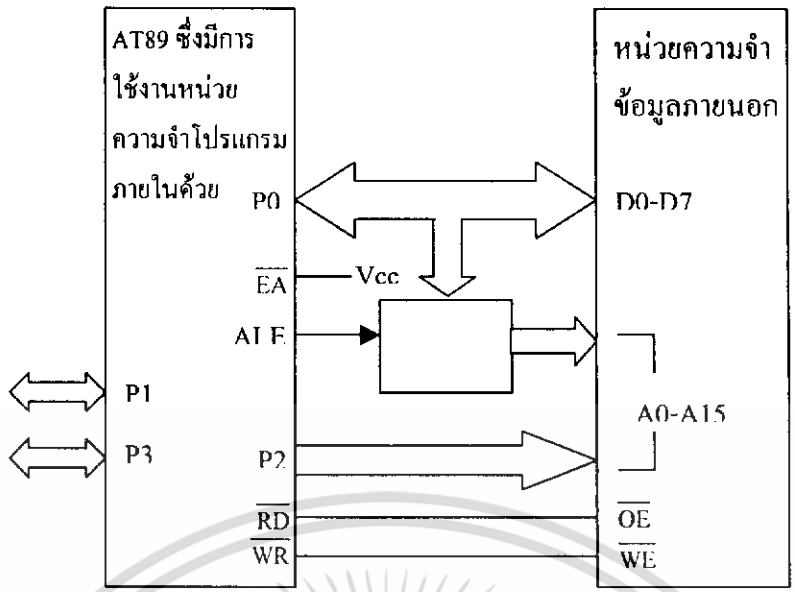
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสาร กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

รูปที่ 2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

2.1.3.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

มี 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและภายนอก ในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก รูปที่ 2.3 เป็นการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower) หน่วยความจำข้อมูลส่วนบน (upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (SFR : Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ แสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รูปที่ 2.4 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.1.3.3 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register : SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีด้วยกัน 22 ตัว มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน มีรายละเอียดดังนี้

1. รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW) สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีขนาด 8 บิต กำหนดค่าได้อย่างอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ D0H ทำหน้าที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรม เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลจะมาปรากฏที่บิตต่างๆของรีจิสเตอร์ PSW นอกจากนี้ บิต RS0 และ RS1 ยังใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วย ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H-07H
0	1	แบงก์ 1	08H-0FH
1	0	แบงก์ 2	10H-17H
1	1	แบงก์ 3	18H-1FH

2. แอคคิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC) มีขนาด 8 บิต แอดเดรสอยู่ที่ E0H เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่เกิดจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะการคำนวณทางลอจิกและคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นก็จะส่งผลลัพธ์ที่ได้ให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อ เรียกสั้นๆว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

3. รีจิสเตอร์ B มีขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงในระดับบิตได้ มีแอดเดรสอยู่ที่ F0H ทำหน้าที่พิเศษคือ หากทำการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งการคูณหรือการหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป ถ้าไม่ต้องการคูณหรือหารสามารถใช้รีจิสเตอร์ B ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ

4. โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC ขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือไม่

5. สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP) มีแอดเดรสอยู่ที่ 81H ใช้เก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือกระโดดจากโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลัก เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H ดังนั้นแอดเดรสแรกของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กเท่ากับ 08H

6. รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล (Data Pointer : DPTR) มีขนาด 16 บิต ใช้เก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการที่จะติดต่อด้วย แบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต DPL มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H และ DPH มีแอดเดรสอยู่ที่ 83H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. รีจิสเตอร์พอร์ต (Port register) มีขนาด 8 บิต ใช้เก็บค่าข้อมูลแต่ละพอร์ต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง มี 4 ตัวคือรีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 แอดเดรสอยู่ที่ 90H รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวเข้าถึงได้ในระดับบิต

8. รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF) มีขนาด 8 บิต แอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้เก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรม โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์รับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งไปที่บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกผ่านทางขา TxD หรือ P3.1 การรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านทางขา RxD หรือ P3.0 เมื่อมีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

9. รีจิสเตอร์ไทเมอร์ (Timer register) มีขนาด16 บิต แบ่งเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำ ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา จับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน รีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตัวแบ่งเป็น T0 หรือ Timer 0 และ T1 หรือTimer1 ในรีจิสเตอร์แบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์ต่ำ (TL) และรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์สูง (TH)

10. รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรม

รีจิสเตอร์ TCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

รีจิสเตอร์ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ที่กำหนดโหมดหรือลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.1.4.1 การทำงานเป็นไทเมอร์

เมื่อทำงานเป็นไทเมอร์ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆแมชชีนไซเคิล แมชชีนไซเคิลประกอบด้วยคาบเวลาของ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 12 คาบเวลา ดังนั้นอัตราการนับจึงเท่ากับ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

2.1.4.2 การทำงานเป็นเคาน์เตอร์

เมื่อทำงานเป็นเคาน์เตอร์ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" เกิดขึ้นที่ขาอินพุตของวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ซึ่งก็คือขา T0(P3.4) และขา T1(P3.5) โดยจะสุ่มรับสัญญาณจากขาอินพุตในทุกๆคาบเวลาที่ 2 ของสเตทที่ 5 (S5P2)ในแต่ละแมชชีนไซเคิล

เมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" เป็นเวลาหนึ่งไซเคิล ไซเคิลต่อมา ค่าการนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า และไปปรากฏในรีจิสเตอร์ภายในคาบเวลาที่ 1 ของสเตทที่ 3 (S3P1) ของแมชชีนไซเคิลต่อไป หลังจากตรวจจับพบการเปลี่ยนแปลงที่ขาไทเมอร์อินพุตแล้ว กระบวนการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขาไทเมอร์จะใช้ 2 แมชชีนไซเคิล อัตราการนับจึงเท่ากับ 1/24 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ดังนั้น ความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ที่ตรวจจับได้จึงเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหารด้วย 24

2.1.4.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ1

มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องเป็นพื้นฐานอยู่ 6 ตัว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. รีจิสเตอร์ไทเมอร์ มี 4 ตัว คือ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AH,TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH, TL1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH,TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8DH แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกันโดยจัดเป็นคู่คือ TL0 กับ TH0 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ Timer 0 ขนาด 16 บิตและ TL1 กับ TH1 รวมเป็นรีจิสเตอร์ Timer 1 ขนาด 16 บิต โดยใน TL0 และ TL1 เก็บข้อมูล 8 บิตล่าง ส่วน TH0 และ TH1 เก็บข้อมูล 8 บิตบน รีจิสเตอร์ทั้งสองคู่จะเก็บค่าของการนับได้สูงสุด 65536 หรือ FFFFH เมื่อนับถึงค่านี้แล้วจะวนไปเริ่มนับ 0000H ใหม่ เมื่อนับรอบใหม่ บิต TF0 หรือ TF1 ที่ควบคุมการทำงานของไทเมอร์จะเซตเพื่อแจ้งให้ทราบว่า นับเกินค่าสูงสุดแล้ว

2. รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์หรือ TCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 88H สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TF1 (Timer 1 overflow flag) : จะเซตเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 1 นับเกิน การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยฮาร์ดแวร์ โดยเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์

TR1 (Timer 1 run control bit) : ใช้เปิดปิดการทำงานของไทเมอร์ 1 หากต้องการให้ไทเมอร์1 ทำงานต้องเซตให้เป็น "1" การเซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

TF0 (Timer 0 overflow flag) : จะเซตเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 0 นับเกิน การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยฮาร์ดแวร์ โดยเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์

TR0 (Timer 0 run control bit) : ใช้เปิดปิดการทำงานของไทเมอร์ 0 หากต้องการให้ไทเมอร์1 ทำงานต้องเซตให้เป็น "1" การเซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

IE1 (External Interrupt 1 edge flag) : ใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ เมื่อสามารถตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินเตอร์รัปต์1 (INT1) ได้ เซตด้วยฮาร์ดแวร์ และเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์

IT1 (Interrupt 1 type control bit) : ใช้เลือกลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกให้ตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเตอร์รัปต์1 (INT1) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยซอฟต์แวร์

IE0 (External Interrupt 0 edge flag) : ใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ เมื่อสามารถตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินเตอร์รัปต์1 (INT0) ได้ เซตทางฮาร์ดแวร์ และเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์

IT0 (Interrupt 0 type control bit) : ใช้เลือกลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินเตอร์รัปต์ 0 (INT0) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยซอฟต์แวร์

"0" เลือกขอบขาลงของสัญญาณ (falling edge)

"1" เลือกระดับลอจิกต่ำ (low level triggered)

3. รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์หรือ TMOD มีแอดเดรสอยู่ที่ 89H มีขนาด 8 บิตไม่สามารถเข้าถึงในระดับบิตได้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ 4 บิตล่างใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 0 และ 4 บิตบนใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 1

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GATE	**C/T**	**M1**	**M0**	**GATE**	**C/T**	**M1**	**M0**
ไทเมอร์ 1				**ไทเมอร์ 0**			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GATE : ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"0" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" เรียกการควบคุมนี้ว่า การควบคุมทางซอฟต์แวร์

"1" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" และสถานะทางลอจิกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ INT0 และ INT1 เป็น "1" เรียกการควบคุมนี้ว่า การควบคุมทางฮาร์ดแวร์

C/T (Timer and Counter selector) : ใช้เลือกลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

""0 เลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ โดยใช้สัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายใน

"1" เลือกให้ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตทางขา T0 หรือ T1

M1,M0 (Mode selector bit) : ใช้เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"00" เลือกให้ทำงานในโหมดของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต

"01" เลือกให้ทำงานในโหมดของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต

"10" เลือกให้ทำงานในโหมดของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต แบบตั้งค่าอัตโนมัติ

"11" เลือกทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน โดยแยกเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต 2 ตัว รีจิสเตอร์ TL0 จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจากบิต TR0 ในรีจิสเตอร์ TCON และรีจิสเตอร์ TH0 จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจากบิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON ในกรณีของไทเมอร์ 1 เป็นการสั่งให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 หยุดการทำงาน

2.1.4.4 โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ1

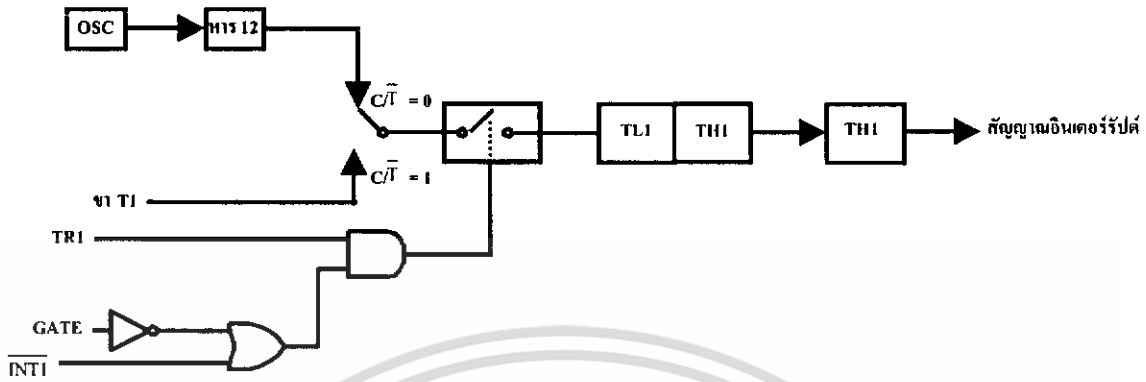
ไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมด คือ โหมด 0 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต , โหมด 1 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต ,โหมด 2 : ตั้งค่าอัตโนมัติขนาด 8 บิต และโหมด 3 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน ในขณะที่ไทเมอร์ 2 มีโหมดการทำงาน 3 โหมดคือ โหมดตรวจจับสัญญาณ (capture) , โหมดตั้งค่าอัตโนมัติ (auto-reload) , และโหมดกำเนิดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหรืออัตราบอด(baud rate generator)

การเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ1 สามารถทำได้ที่รีจิสเตอร์ TCON และ TMOD ร่วมกัน โดย TCON ใช้ในการเอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิลไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ส่วน TMOD ใช้ในการเลือกโหมดและลักษณะการทำงาน

1. การทำงานในโหมด 0 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต กำหนดให้ใช้งานรีจิสเตอร์ TL1 เพียง 5 บิต และ TH1 ครบ 8 บิต โดย TL0 การนับจะเลือกจากสัญญาณนาฬิกาภายในหรือภายนอกผ่านทางขา T1 ขึ้นอยู่กับการควบคุมของบิต C/T และGATE ในรีจิสเตอร์ TMOD ,บิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

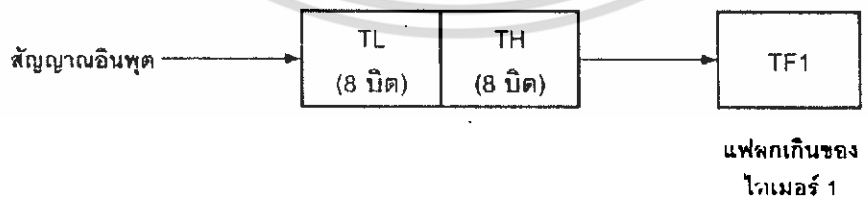
และสถานะลอจิกที่ขาอินพุต INT1 เมื่อ TL1 นับครบ 32 คือจาก 0-31 ก็จะส่งสัญญาณไปยัง TH1 เพื่อทำการเพิ่มค่า ดังนั้นค่าการนับจะมีขนาด 13 บิต เมื่อนับครบรอบก็จะเซตบิต TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 0 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

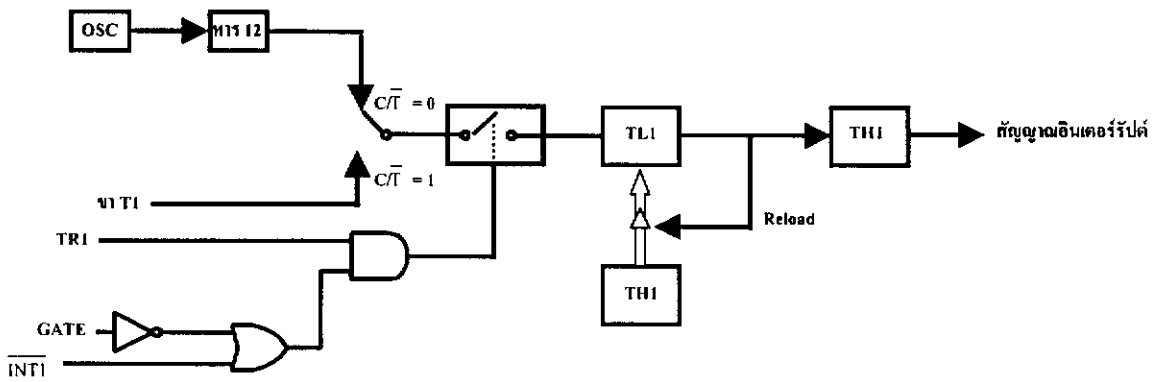
2. การทำงานในโหมด 1 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต การทำงานคล้ายกับโหมด 0 แต่จะใช้งานรีจิสเตอร์ TL1 และ TH1 ครบ 8 บิต ค่าการนับมีขนาด 16 บิต คือ 0000H-FFFFH เมื่อทำการนับครบรอบ ค่าของการนับเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H ก็จะเซตบิต TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON

3. การทำงานในโหมด 2 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ การทำงานจะแยกรีจิสเตอร์ไทเมอร์ออกเป็น 2 ตัว ตัวละ 8 บิต โดยรีจิสเตอร์ TL1 ทำหน้าที่เป็นตัวนับค่า ส่วน TH1 ใช้ในการเก็บค่าเริ่มต้นของการนับ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ค่าของรีจิสเตอร์ TH1 จะถูกส่งไปยังรีจิสเตอร์ TL1 ทำให้เมื่อเริ่มต้นทำงานค่าของรีจิสเตอร์ TL1 และ TH1 จะเหมือนกัน เมื่อ TL1 นับถึง FFH จะเริ่มต้นนับรอบใหม่ จะเซตบิต TF1 พร้อมๆกับรับค่าการนับเริ่มต้นจาก TH1 ใหม่โดยอัตโนมัติ แม้ว่าจะมีการส่งค่าเริ่มต้นไปยัง TL1 แล้วก็ตาม ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ TH1 ก็ยังคงเป็นค่าเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกว่าจะกำหนดค่าใหม่ด้วยซอฟต์แวร์



รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

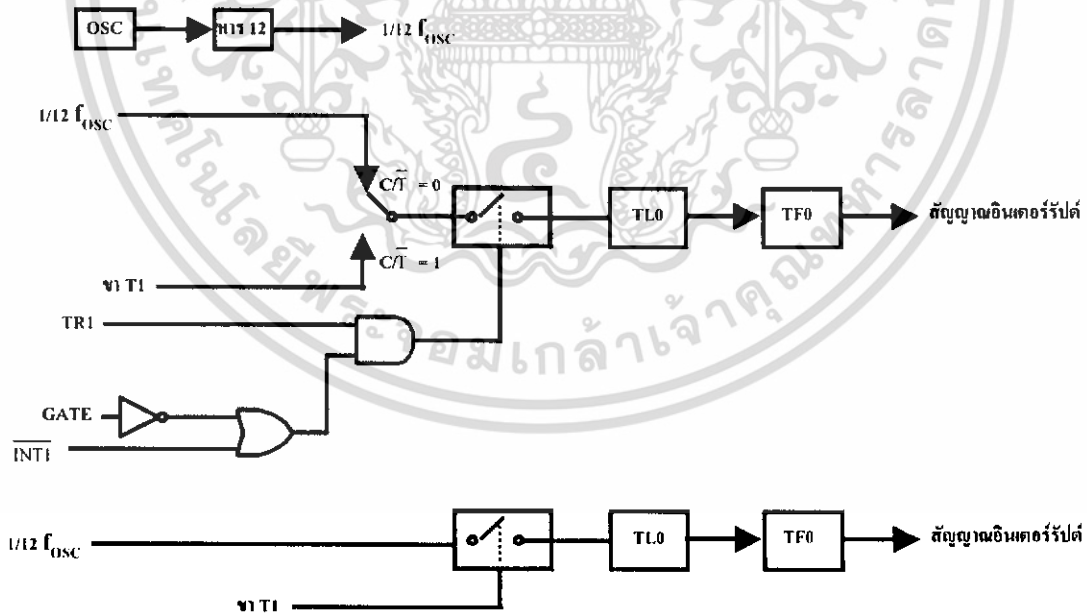
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

4. การทำงานในโหมด 3 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วนหรือไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต การทำงานไทเมอร์ 1 เป็นการสั่งให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์หยุดนับ ค่าที่นับก่อนหน้านี้จะเก็บไว้ใน รีจิสเตอร์ไทเมอร์ 1

ส่วนการทำงานของไทเมอร์ 0 จะแยกรีจิสเตอร์ไทเมอร์ 0 ออกเป็น 2 ตัว ตัวละ 8 บิต คือ รีจิสเตอร์ TL0 และ TH1 โดยแยกทำงานกัน รีจิสเตอร์ TL0 เลือกการทำงานได้เหมือนกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ตามปกติ ส่วนรีจิสเตอร์ TH0 ทำงานในโหมดไทเมอร์ได้เพียงอย่างเดียว คือ สามารถรับสัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายในเพียงทางเดียวเท่านั้น แต่การแจ้งการนับเกิน TL0 แจ้งผ่านบิต TF0 ในขณะที่ TH0 จะแจ้งผ่านทางบิต TF1



รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 กระบวนการอินเตอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การอินเตอร์รัปต์ (Interrupt) คือการขัดจังหวะการทำงานโดยปกติของไมโครคอนโทรลเลอร์ การอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นจาก 5 แหล่งกำเนิด ประกอบด้วย การรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกผ่านทางขา $\overline{\text{INT0}}$ และ $\overline{\text{INT1}}$, สัญญาณอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ T0 และ T1 และสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1.5.1 การจัดการอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นและมีการเปิดตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ไว้ ซีพียูจะกระโดดไปแอดแดรสในหน่วยความจำที่กำหนดไว้ เรียกตำแหน่งนี้ว่า แอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ (Interrupt vector address) จะต้องมีการเขียนโปรแกรมย่อยการบริการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่แอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์นี้ ค่าของอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา $\overline{\text{INT0}}$ มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 0003H

การอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 000BH

การอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา $\overline{\text{INT1}}$ มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 0013H

การอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 001BH

การอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรม มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 0023H

การอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวคเตอร์อยู่ที่ 002BH

2.1.5.2 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. รีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์หรือ IE (Interrupt Enable register) มีแอดเดรสอยู่ที่ A8H มีขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงในระดับบิตได้ ใช้เปิดการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ในแบบต่างๆมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

EA (Global enable/disable interrupt) : ใช้เปิดและปิดการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด

"0" กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"1" กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิด

ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ไม่ว่าจะแหล่งกำเนิดใด ต้องเซตบิตนี้ก่อนเสมอ สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

ET2 (Timer 2 interrupt enable) : เปิดการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีเฉพาะในเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

ES (Serial port interrupt enable bit) : ใช้เปิดการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งเกิดจากการรับ หรือส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

ET1 (Timer 1 interrupt enable) : เปิดการอินเตอร์รัปต์ ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 สามารถเซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

EX1 (External interrupt 1 enable bit) : ใช้เปิดการอินเตอร์รัปต์ ที่เกิดจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT1}$ เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

ET0 (Timer 0 interrupt enable) : เปิดการอินเตอร์รัปต์ ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 บิตนี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

EX0 (External interrupt 0 enable bit) : ใช้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ซึ่งเกิดจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT0}$ สามารถเซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

สำหรับบิต 6 ของรีจิสเตอร์ IE ไม่มีการใช้งาน ต้องกำหนดให้เป็น "0" เสมอ

2. รีจิสเตอร์การจัดลำดับความสำคัญการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์หรือ IP (Interrupt priority register) มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 0B8H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ หรือ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต ใช้เลือกลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า ต้องการให้ตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดใดก่อนหรือหลัง ถ้าต้องการให้การอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดใดมีความสำคัญสูงสุด ให้กำหนดที่บิตนั้นเป็น 1 มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

PT2 (Timer 2 interrupt priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีเฉพาะในเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx

PS (Serial port interrupt priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากการรับหรือส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมภายใน เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PT1 (Timer 1 interrupt priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

PX1 (External interrupt 1 priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญการอินเตอร์รัปต์ ที่เกิดจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT1}$ เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

PT0 (Timer 0 interrupt priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากการนับเกินในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 เซตและเคลียร์ทางซอฟต์แวร์

PX0 (External interrupt 0 priority bit) : ใช้กำหนดความสำคัญการอินเตอร์รัปต์ ที่เกิดจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT0}$ สามารถเซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

สำหรับบิต 6 และ 7 ของรีจิสเตอร์ IP ไม่มีการใช้งาน ต้องกำหนดให้เป็น "0" เสมอ

2.1.5.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

1. สัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก เป็นการตรวจสอบสัญญาณที่ส่งเข้ามายังขา $\overline{INT0}$ และ $\overline{INT1}$ ถ้าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ โดยการเปิดการอินเตอร์รัปต์ทำได้โดยกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ IE ที่บิต EX0 สำหรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{INT0}$ และบิต EX1 สำหรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{INT1}$ และเลือกเงื่อนไขการตรวจสอบสัญญาณในรีจิสเตอร์ TCON ที่บิต EX0 สำหรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{INT0}$ และบิต EX1 สำหรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{INT1}$

2. การอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ใช้สัญญาณที่เกิดจากการนับค่าในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไทเมอร์ 0 เกิดการนับค่าเกินก็จะเซตบิต TF0 ในรีจิสเตอร์ TCON และถ้าไทเมอร์1 เกิดการนับค่าเกินก็จะเซตบิต TF1 ในรีจิสเตอร์TCONค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 000BH สำหรับไทเมอร์ 0 และ 001BH สำหรับไทเมอร์ 1 อย่างไรก็ตามการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ จะมีการตอบสนองก็ต่อเมื่อมีการเปิดการอินเตอร์รัปต์ โดยการเซตบิต EA, ET0 และ ET1 ในรีจิสเตอร์ IE

3. การอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรม ในกรณีรับข้อมูล บิต RI จะเซต เมื่อวงจรพอร์ตอนุกรมรับข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ และในกรณีส่งข้อมูล บิต TI จะเซต เมื่อวงจรพอร์ตอนุกรมส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ โดยการเซตบิตทั้งสองจะเปรียบเสมือนเป็นการกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์

62745
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 พอร์ตอนุกรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุดโดยใช้ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P 3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือTxD วงจรสื่อสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรมเป็นแบบอะซิโครนัส

2.1.6.1 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

ใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากันซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second: bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือ บิตหยุด (stop bit)

รูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสเมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) ข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือ บิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย บิตพาริตี้ (parity bit) ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิต หยุด โดยทำให้ขา DATA มีสถานะเป็นลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต,1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

รูปที่ 2.9 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) , แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมพาริตี้ว่าจำนวนเป็นเลขคู่หรือคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 รีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรม มีรีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว คือ

1. รีจีสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serail data buffer register) มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจีสเตอร์บัฟเฟอร์ส่งข้อมูล (tranmit buffer register) และรีจีสเตอร์บัฟเฟอร์รับข้อมูล (resive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจีสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลเพื่อส่งออกผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 การรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านทางขา RxD หรือ P3.0 เมื่อมีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

2. รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial Port Control Register) มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0-SM1 (Serail port mode bit 0-1) : ใช้เลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายใน

SM2 : ใช้เปิดการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (multiprocesssor) การทำงานของโหมด 2 และ3 ของพอร์ตอนุกรม ถ้าบิตนี้เป็น "1" บิต RI จะไม่แอกทีฟ (Active) ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น "0" (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ในที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซตบิต RI จะไม่แอกทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN : (Enable serial reception) : ใช้เปิดการรับข้อมูลพอร์ตอนุกรม เซตและเคลียร์ทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตเป็น "1"

TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม แต่หากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น "0" ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (Stop bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน เซตและเคลียร์ด้วยซอฟแวร์

TI : (Transmit Interrupt flag) : เซตบิตทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 เป็นการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม ส่วนการทำงานโหมดอื่นบิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้แสดงการอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

2.1.6.3 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจีสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจีสเตอร์ SCON แต่ในโครงงานนี้จะเลือกใช้โหมด 1

การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

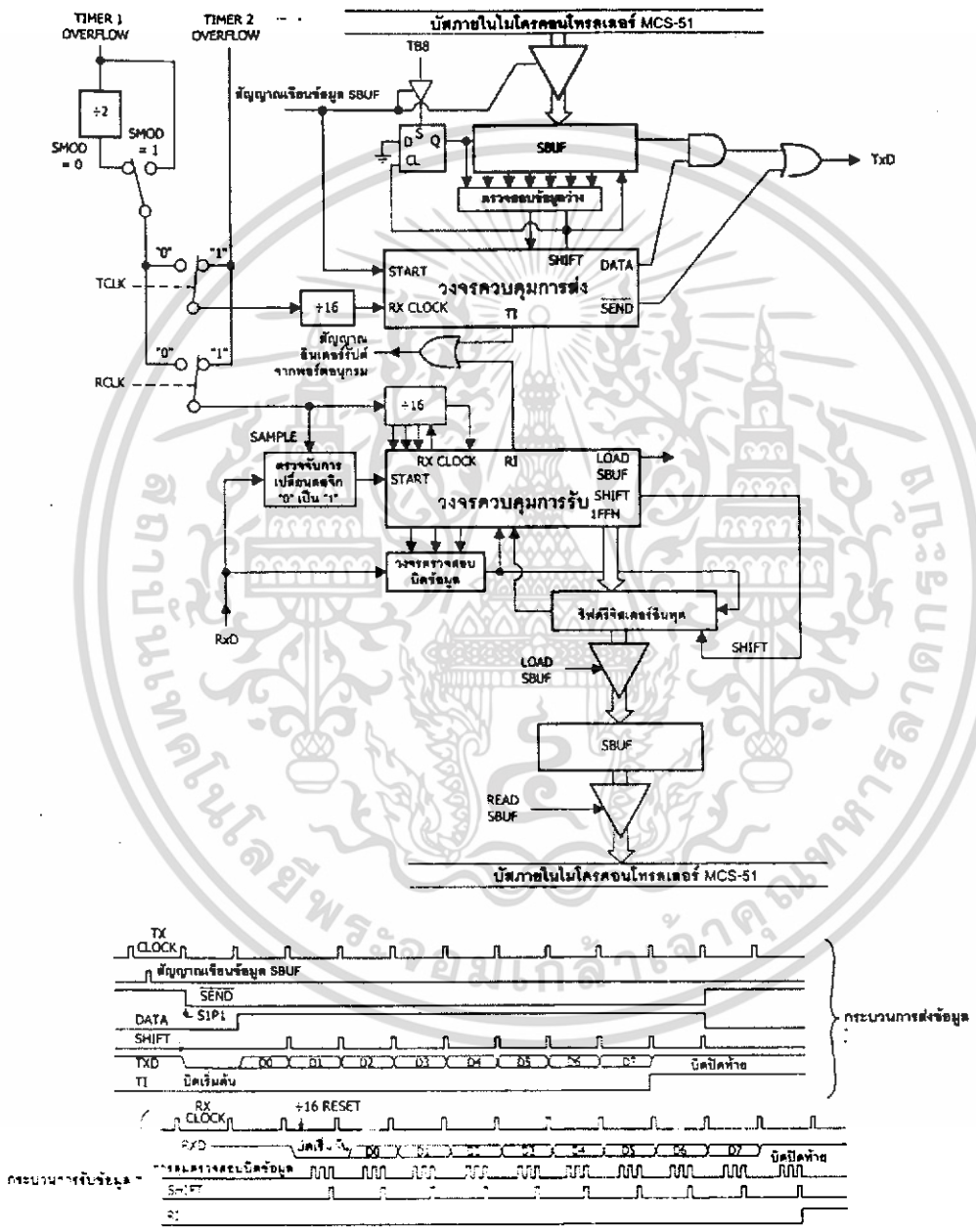
ไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 ประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น “0”) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อนและบิตหยุด (มีค่าเป็น “1”) เริ่มต้นส่งข้อมูลด้วยการแอกทีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจีสเตอร์ SBUF ส่งมายังวงจรควบคุมการส่ง จากนั้นวงจรควบคุมจะแอกทีฟสัญญาณส่ง ที่สเตท1 เฟส 1ของแมชชีนไซเกิล ต่อมาโดยสัญญาณส่งจะเป็น “0” ตลอดการส่ง เมื่อสัญญาณส่งแอกทีฟ จะส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรก โดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 แมชีนไซเกิล จากนั้นตามด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิต เรียงตามลำดับจาก LSB และบิตหยุด หลังจากส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิตTI ก่อนเสมอ

ส่วนการรับข้อมูลจะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” ที่ขา RxD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากัน 1/16 เท่าของอัตราบอดเมื่อตรวจจับพบ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ใช้กำหนดอัตราบอดจะรีเซตและทำการเขียนข้อมูล 1FFFH ไปยังชิฟต์รีจีสเตอร์(shift register) ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา RxD ในการตีความหมายบิตที่เข้ามาเป็น “0” หรือ “1” จะใช้ผลการสุ่มข้างมากโดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งเป็น 16 สเตท

ลำดับการรับข้อมูลคือ เริ่มด้วยบิตเริ่มต้นก่อนตามด้วยบิตข้อมูลและบิตปิดท้ายในทุกๆ การรับข้อมูลได้ 1 บิตจะมีพัลส์เกิดขึ้น เพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าสู่รีจีสเตอร์บัฟเฟอร์การรับข้อมูล การกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิการับข้อมูล (RX clock) หลังจากสัญญาณนาฬิกาลูกสุดท้าย คือรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะส่งข้อมูลจากรีจีสเตอร์บัฟเฟอร์ไปยังรีจีสเตอร์ SBUF และ บิต RB8 ในรีจีสเตอร์ SCON โดยข้อมูลในบิต RB8 ก็คือข้อมูลของบิตหยุดนั่นเอง พร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต RI ในรีจีสเตอร์ SCON ด้วย หลังจากรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อนเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.4 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรม มีอยู่หลายโหมดด้วยกัน แต่โครงงานนี้จะเลือกใช้โหมด 1

โหมด 1

สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งกำเนิดคือ จากการนับค่าเกินของไทม์เมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้งานอัตรานับค่าเกินของไทม์เมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าบิต SMODในรีจีสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด =$(2^{\text{ค่าของบิต SMOD}}/32)$ x อัตราโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1

ถ้าหากในไทเมอร์ 1 ไม่ได้เปิดการอินเตอร์รัปต์ไว้สามารถคำนวณอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด =$(2^{\text{ค่าของบิต SMOD}}/32)$ x (ความถี่สัญญาณนาฬิกา/{12x[256-(TH1)]})

ในตารางที่ 2 แสดงการกำหนดอัตราบอดโดยใช้ไทเมอร์ 1

ในกรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดโดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอด (baud rate generator) สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 2/16 หน่วยเป็น บิตต่อวินาที

ถ้ากำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติสามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา / (32 x (65536-(RCAP2H,RCAP2L)))

โดยที่ (RCAP2H,RCAP2L) เป็นค่าของรีจีสเตอร์ RCAP2H และRCAP2L มีขนาด 16 บิตไม่คิดเครื่องหมาย

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจีสเตอร์ PCON ถ้า SMODเป็น "0" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/64 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น "1" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าของบิต SMOD}}/64)$ x ความถี่สัญญาณนาฬิกา

2.1.6.5 การกำหนดค่าไทเมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

การกำหนดอัตราบอดขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือ โหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดการนับเกินในอัตราที่สูงมากเท่าใด อัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม

ในการใช้ไทเมอร์ 1 เพื่อกำหนดอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดไทเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือ โหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติและการกำหนดค่ารีโหลดให้แก่รีจีสเตอร์ TH1 จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดให้แก่พอร์ตอนุกรม

เริ่มต้นด้วยการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็น บิต 7 ของรีจีสเตอร์ PCON ให้เป็น "0" ค่าของการรีโหลดให้แก่ TH1 สามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล / 384) / อัตราบอด)

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดการเซตจะเป็นการเปิดการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล / 192) / อัตราบอด)

ตารางที่ 2.2 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรม

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่สัญญาณนาฬิกา	SMOD	ไทเมอร์ 1		
			C/T	โหมด	ค่ารีโหลด
โหมด 0 : สูงสุด 1 MHz	12 MHz	x	x	x	x
โหมด 2 : สูงสุด 375 kHz	12 MHz	1	x	x	x
โหมด 1,3 : 62.5 kHz	12 MHz	1	0	2	FFH
19200	11.059 MHz	1	0	2	FDH
9600	11.059 MHz	0	0	2	FDH
4800	11.059 MHz	0	0	2	FAH
2400	11.059 MHz	0	0	2	F4H
1200	11.059 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.059 MHz	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

2.1.6.6 การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม

ข้อมูลส่งออกทุกค่าต้องเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์พอร์ตอนุกรม ซึ่งก็คือรีจิสเตอร์ SBUF

```
MOV    SBUF, # '@'
```

จากคำสั่งข้างต้นเป็นการสั่งข้อมูลของตัวอักขระ @ ออกไปยังพอร์ตอนุกรม ก่อนส่งข้อมูลทุกครั้งต้องแน่ใจว่าบิต TI เคลียร์หรือมีค่าเป็น “0” และเมื่อส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็จะเกิดการเซตบิต TI เพื่อแจ้งให้ทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLR   TI          ; เคลียร์บิต TI เพื่อเตรียมการส่งข้อมูลออก
MOV   SBUF, # '@' ; ส่งข้อมูลของตัวอักษร @ ไปยังพอร์ตอนุกรม
JNB   TI, $       ; รอการเซตของบิต TI เพื่อแจ้งการส่งข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์
```

2.1.6.7 การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม โดยการตรวจสอบว่าบิต RI เกิดการเซตขึ้นหรือไม่ ถ้าพบว่ามีการเซตเกิดขึ้นแล้ว ให้ทำการอ่านค่ารีจีสเตอร์ SBUF โดยโอนย้ายข้อมูลผ่านทางรีจีสเตอร์ A

```
CLR   RI          ; เคลียร์บิต RI เพื่อเตรียมการรับข้อมูล
JNB   RI, $       ; รอการเซตของบิต RI เพื่อแจ้งการรับข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์
MOV   A, SBUF     ; อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ โดยการโอนย้ายข้อมูลผ่านทางรีจิสเตอร์ A
CLR   RI          ; หลังจากอ่านข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI เสมอ
```

2.2 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอล

การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอล มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี คือ การมอดูเลตแบบ ASK FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันออกไป

1.การมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด (Amplitude Shift Keying : ASK)

2.การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying : FSK)

3.การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying : FSK)

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของรูปคลื่นซายน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

$$e = A\sin(\omega t + \phi) \tag{2.1}$$

คุณสมบัติประจำตัวคลื่นรูปซายน์ที่สำคัญมี 3 ประการ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้ คือ แอมปลิจูด(A) , ความถี่เชิงมุม(ω) และเฟส (ϕ) สัญญาณดิจิตอลข้อมูลเป็นรูปสี่เหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี่ “1” และ “0” จากคุณสมบัติประจำตัวคลื่นรูปซายน์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ แอมปลิจูด ความถี่เชิงมุม และเฟส จะเปลี่ยนไปตามสถานะ ”1” และ “0” ของสัญญาณข้อมูล

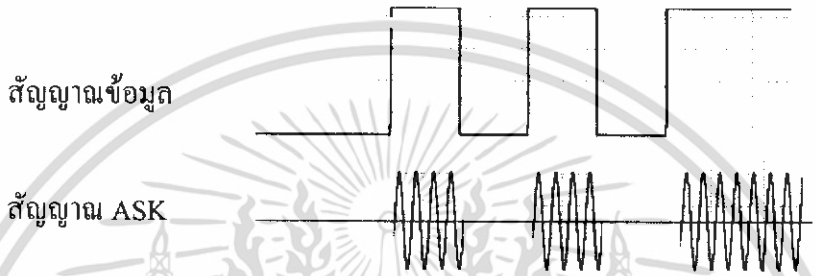
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด (Amplitude Shift Keying: ASK)

ในการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาดบางครั้งเรียกว่า OOK (On-Off Keying) เพราะว่าคลื่นพาหะถูก on/off ตามสัญญาณที่เป็น "1" หรือ "0" ถ้าคลื่นพาหะกำหนดโดยสมการที่ 2.1 ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

$$e = A\sin(2\pi f_1 t) \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "1"} \tag{2.2}$$

$$e = 0 \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.11 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด

การมอดูเลตดิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำสุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลสูง และใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ น้อยกว่า 100 บิตต่อวินาที ส่วนหลักการอื่นๆจะเหมือนกับการมอดูเลตแบบเอเอ็มในทางอะนาล็อก

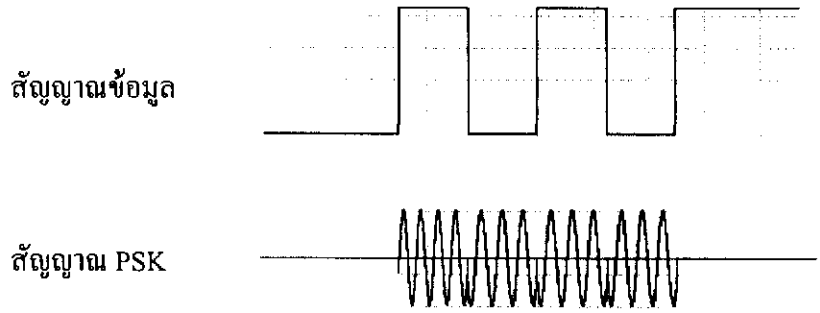
2.2.2 การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK)

การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอะนาล็อกแทนสัญญาณดิจิตอล สัญญาณลอจิก "1" จะให้เฟสของสัญญาณอะนาล็อกเฟสหนึ่ง สัญญาณลอจิก "0" จะให้เฟสของสัญญาณอะนาล็อกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 2.1 ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดได้เป็น

$$e = A\sin(2\pi f_c t) \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "1"} \tag{2.4}$$

$$e = A\sin(2\pi f_c t + \pi) \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"} \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



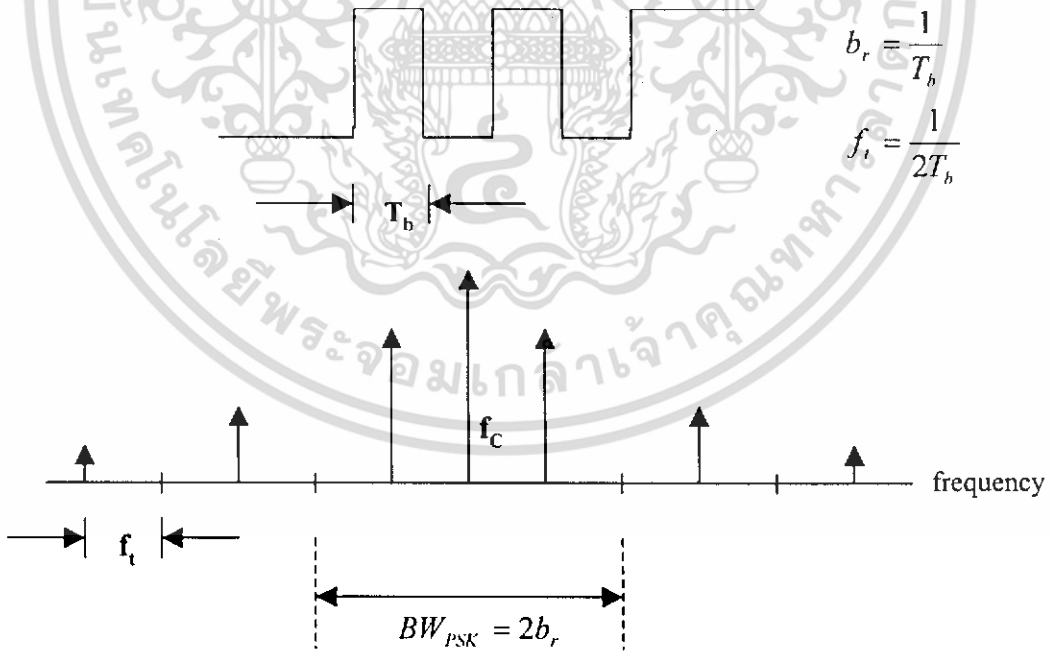
รูปที่ 2.12 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการมอดูเลตแบบ PSK คือ Binary PSK (BPSK) แสดงดังรูปที่ 2.13 ที่ค่าเฟสของสัญญาณจะมีค่า 2 ค่า คือ 0 องศา และ 180 องศา

สมการของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแล้วได้เป็น

$$V_{PSK} = V_b \sin(2\pi f_C \cdot t) + V_b \sin(2\pi f_C t + \pi) \qquad (2.6)$$

เมื่อ V_b แทนค่าสถานะของบิต คือ "1" และ "0"



รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

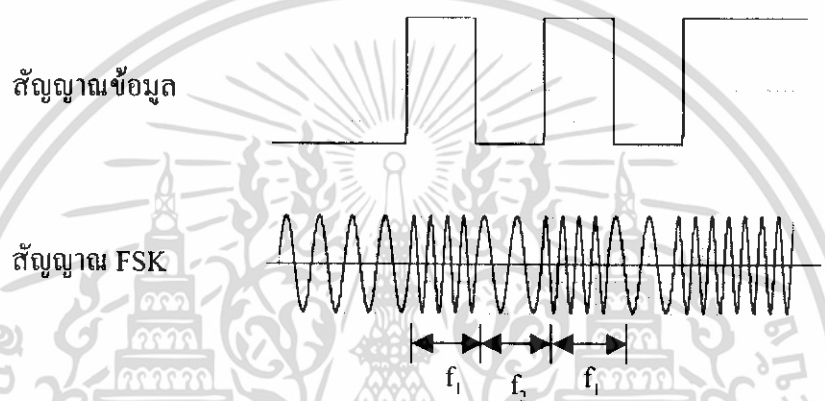
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK)

เมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้ามาเป็นลอจิก "1" จะได้สัญญาณความถี่หนึ่ง และเมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้ามาเป็นลอจิก "0" ก็จะได้สัญญาณอีกความถี่หนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 2.1 ดังนั้นการมอดูเลตแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ คือ ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "1" และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "0"

$$e = A\sin(2\pi f_1 t) \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "1"} \tag{2.7}$$

$$e = A\sin(2\pi f_2 t) \quad \text{; เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"} \tag{2.8}$$



รูปที่ 2.14 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน (Band Pass Filter)

วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน มีรูปแบบทั่วไปของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน(Transfer Function) ของวงจรเท่ากับ

$$H(s)=\frac{K_{BP}\left(\frac{\omega_C}{Q}\right)s}{s^2+\left(\frac{\omega_C}{Q}\right)s+\omega_C^2} \qquad (2.9)$$

โดยที่ K_{BP} = อัตราขยายช่วงสัญญาณผ่าน (pass band gain)

ω_C = ความถี่กึ่งกลาง(center frequency , r/s)

$$Q = \frac{\omega_C}{BW} = \frac{f_C}{f_H - f_L}$$

$$f_C = \sqrt{f_L f_H}$$

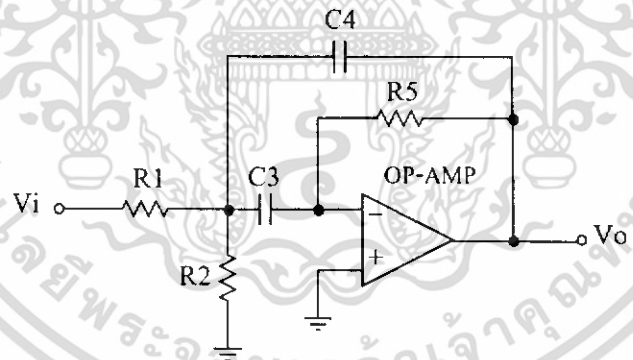
f_L = ความถี่คัทออฟต่ำ (low cutoff frequency)

f_H = ความถี่คัทออฟสูง (high cutoff frequency)

วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

-วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านแบบช่วงกว้าง(Wide Band Pass Filter) มี Q<10

-วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่านแบบช่วงแคบ(Narrow Band Pass Filter) มี Q≥10

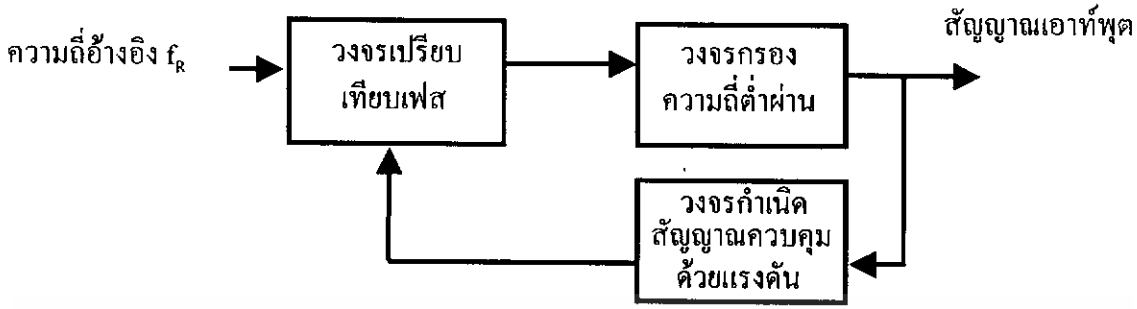


$$\frac{V_O}{Vi} = -\frac{s\left(\frac{1}{R_1C_4}\right)}{s^2+s\left(\frac{C_3+C_4}{R_5C_3C_4}\right)+\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_5C_3C_4}}$$

รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เฟสล็อกลูป(Phase Lock Loop)



รูปที่ 2.16 วงจรเฟสล็อกลูป

FSK Demodulator จะเป็นตัวแยกสัญญาณไบนารี่ออกจากสัญญาณ FSK ซึ่งจะใช้วงจรเฟสล็อกลูปจากรูปที่ 2.16 เฟสล็อกลูปมีส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนเปรียบเทียบความแตกต่างเฟส (Phase Comparator)
2. ส่วนสร้างความถี่ โดยใช้แรงดันควบคุม(Voltage Control oscillator: VCO)
3. ส่วนกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter : LPF)

ส่วนสร้างความถี่ จะผลิตความถี่ออกมาก็ต่อเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามา แรงดันไฟฟ้านี้ถูกสร้างขึ้นจากชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะเปลี่ยนความถี่ที่ป้อนเข้ามาให้เป็นแรงดันไฟตรง เพื่อไปควบคุมส่วนสร้างความถี่

เอาท์พุตของส่วนสร้างความถี่จะถูกส่งไปอินพุตของส่วนเปรียบเทียบความต่างเฟส อีกอินพุตหนึ่งของส่วนเปรียบเทียบความต่างเฟสจะต่ออยู่กับสัญญาณความถี่อ้างอิงที่ส่งมาจากภายนอก

เอาท์พุตของส่วนเปรียบเทียบความต่างเฟส จะเป็นสัญญาณของความแตกต่างเฟส ระหว่างสัญญาณอินพุตทั้งสอง ซึ่งเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมมีขนาดคงที่และความห่างของพัลส์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างเฟสของสัญญาณอินพุตทั้งสอง

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่พัลส์จากส่วนเปรียบเทียบความต่างเฟสให้เป็นแรงดันไฟตรง ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนตามความต่างเฟสของสัญญาณอินพุตทั้งสอง แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะเริ่มคงที่ทันทีเมื่อเฟสของสัญญาณอินพุตทั้งสองมีความต่างกัน 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในการออกแบบและการสร้าง สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนเครื่องส่ง และส่วนเครื่องรับ ในเครื่องส่งสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนประมวลผล ส่วนการมอดูเลเตอร์ ส่วนการดีมอดูเลเตอร์ และส่วนภาคขยายสัญญาณ ในเครื่องรับสามารถแบ่งได้เป็น ส่วนประมวลผล ส่วนการมอดูเลเตอร์ ส่วนการดีมอดูเลเตอร์ และส่วนภาคขยายสัญญาณ สำหรับความถี่ที่เครื่องส่งส่งออกและความถี่เครื่องรับส่งออกเพื่อตอบสนองต่อกัน จะเป็นความถี่ที่มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากป้องกันภาคดีมอดูเลตเอาข้อมูลที่กำลังจะส่งออกมาทำการดีมอดูเลตแล้วส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากจุดส่งและจุดรับข้อมูลเป็นจุดเดียวกัน

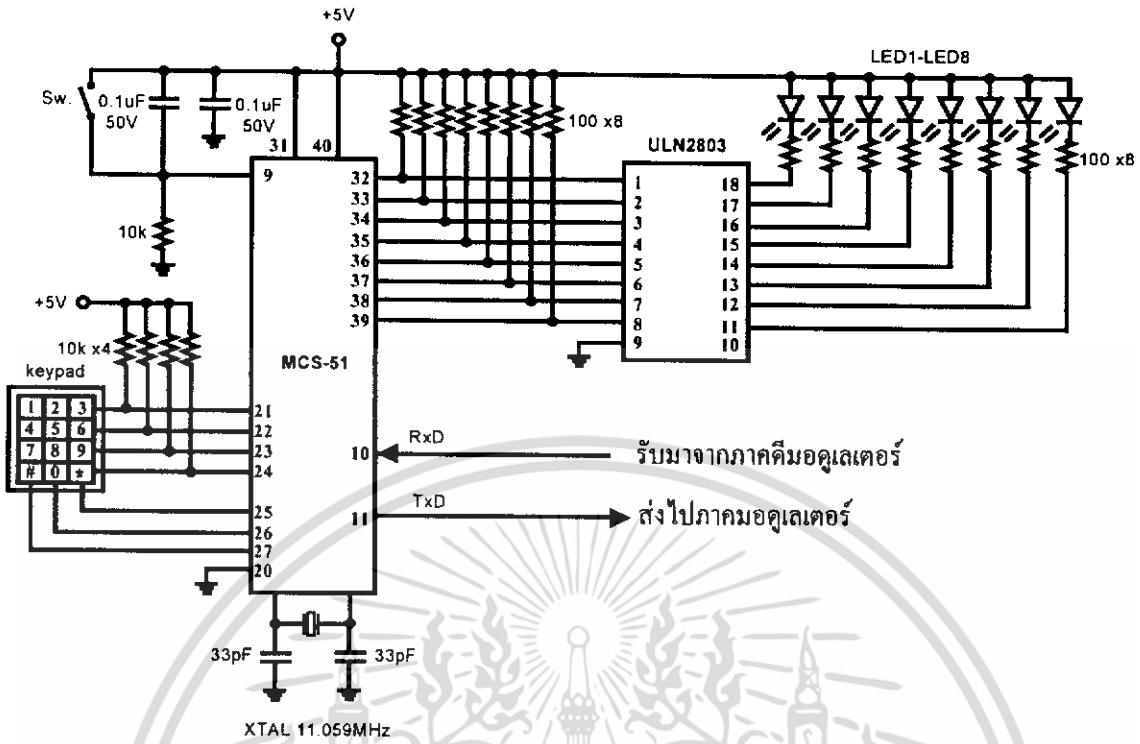
3.1 ส่วนเครื่องส่ง

3.1.1 ส่วนประมวลผล

เหตุผลในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาท์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
- ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม
- บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง
- ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถการป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี
- ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็นอินเทล ซีเมนต์ หรือ ดัลลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เครื่องส่ง

3.1.2 ส่วนการมอดูเลเตอร์

ในการออกแบบ FSK มอดูเลเตอร์ ได้นำเอาไอซีเบอร์ XR2206 ซึ่งเป็นไอซีกำเนิดรูปคลื่นเอาท์พุตได้ทั้งคลื่นซายน์ สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมหรือแรมป์ (Ramp) โดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 kHz ถึง 1 MHz ในกรณีนี้จะใช้ XR2206 เป็นตัวกำเนิดคลื่นซายน์ในลักษณะตัวกำเนิด FSK (FSK Generator) โดยใช้ไทม์มิ่ง รีซิสเตอร์ R1 และ R2 ที่ต่อระหว่างขา 7 และขา 8 กับกราวด์ตามลำดับ โดยสัญญาณดิจิตอลที่ป้อนมายังขา 9 เป็นตัวกำหนดสัญญาณเอาท์พุต ถ้าขา 9 อยู่ในสถานะวงจรเปิดหรือมี Vin > 2V แล้ว R1 จะเป็นตัวกำหนดไทม์มิ่งร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 กับขา 6 หรือในทางกลับกัน ถ้าขา 9 มี Vin < 2V แล้ว R2 จะเป็นตัวกำหนดไทม์มิ่งร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 กับขา 6 จึงทำให้ความถี่เอาท์พุตจะอยู่ในช่วงระหว่าง fm (mark frequency) กับ fs(space frequency) โดยทั้ง fm และ fs จะเป็นอิสระต่อกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้โดยเลือกค่า R1 หรือ R2 ตามสมการดังนี้

$$fm = \frac{1}{R1\,x\,C} \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$fs = \frac{1}{R2\,x\,C} \tag{3.2}$$

ตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 กับขา 6 จะอยู่ในช่วง 1000pF - 100μF และตัวต้านทาน R1 และ R2 จะอยู่ระหว่าง 4kΩ - 200 kΩ ในการออกแบบจากสมการเรากำหนดค่า C = 1 nF หาค่า R1 และ R2 เมื่อกำหนด fm = 100 kHz และ fs = 90 kHz

$$R1 = \frac{1}{fm \times C} = \frac{1}{100kHz \times 1nF} = 10k\Omega$$

$$R2 = \frac{1}{fs \times C} = \frac{1}{90kHz \times 1nF} = 11.1k\Omega$$

เลือกใช้โพเทนทิโอมิเตอร์(Potentiometer) 20 kΩ ทั้งสองตัว

ระดับแรงดันไฟตรงที่ขาเอาท์พุตจะมีค่าประมาณเท่ากับแรงดันไบอัสที่ขา 3 จากวงจรจะเห็นว่าแรงดันระหว่างค่าความต้านทาน 5.1kΩ สองตัวกับแรงดันไฟเลี้ยงประมาณ 6 โวลต์เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรเป็น 12V และสามารถปรับโดยโพเทนทิโอมิเตอร์ 50 kΩที่อนุกรมกับขา 3 ดังนั้นการปรับที่ขา 3 ก็เป็นการปรับระดับสัญญาณเอาท์พุตให้อยู่ในระดับที่ต้องการส่ง ส่วนขา 13 และขา 14 มีไว้สำหรับแต่งรูปคลื่นเพื่อปรับการผิดเพี้ยนของรูปร่างสัญญาณ อันเนื่องมาจากความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิค โดยการต่อค่าความต้านทานเข้าไประหว่างขา 13 และขา 14 ในคู่มือแนะนำให้ใช้ 200Ω

3.1.2.1 พิจารณาค่าแบนด์วิดท์

ในการหาค่าแบนด์วิดท์ที่แคบที่สุดจำเป็นต้องรู้ค่า fm fs และอัตราบอด ดังนั้นจากที่เราเลือก fm = 100 kHz fs = 90 kHz และเลือกอัตราบอดเท่ากับ 1200 บิตต่อวินาที

$$MI = \frac{\Delta f}{fa} \tag{3.3}$$

ค่า MI คือ ดัชนีการมอดูเลต

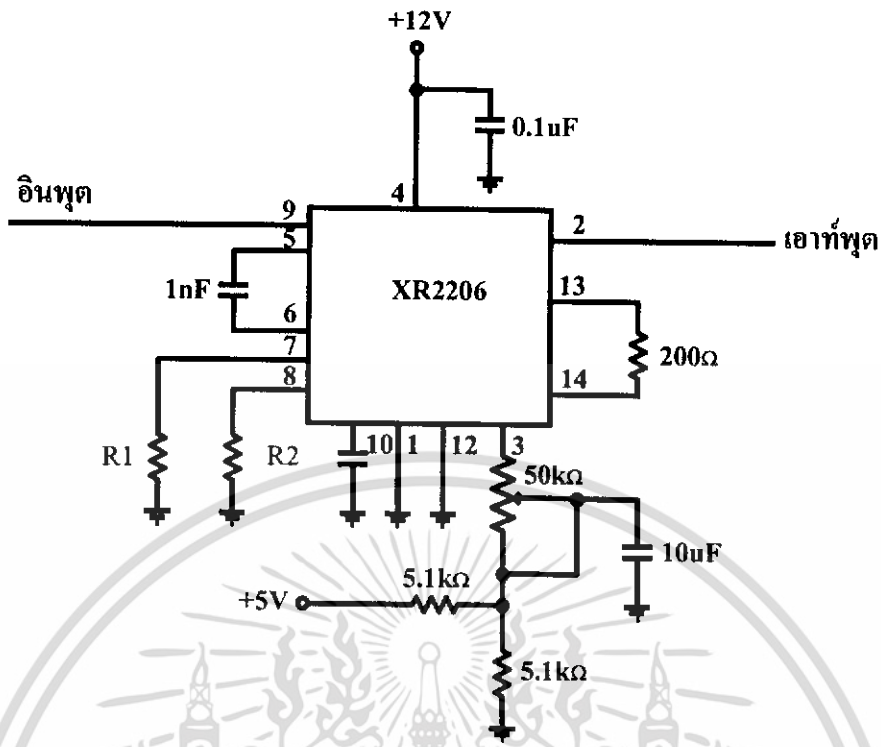
$$\Delta f = |fm - fs|$$
$$= |100kHz - 90kHz|$$
$$= 10kHz$$

ค่า fa คือ ค่าอัตราบอด มีค่าเท่ากับ 1200 บิตต่อวินาที

ดังนั้น จะได้ดัชนีการมอดูเลต $MI = \frac{10kHz}{1200}$

$$= 8.33$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง

3.1.3 ส่วนการดีมอดูเลเตอร์

ในการออกแบบ FSK ดีมอดูเลเตอร์ ได้นำเอาไอซีเบอร์ XR2211 ซึ่งเป็นโมโนลิธิกเฟสล็อคลูป โดยมีย่านความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 0.01Hz–300kHz โครงสร้างภายในของไอซี XR2211 มาประยุกต์วงจรเป็น FSK ดีมอดูเลเตอร์ ส่วนประกอบหลักของ PLL ใน XR2211 ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. ส่วนขยายสัญญาณ(Signal Pre-Amp)มีหน้าที่จำกัดขนาดของสัญญาณอินพุต ให้อยู่ในค่าประมาณ 2 mV และขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เป็นสัญญาณระดับสูง

2. VCO (Voltage Control Oscillator) มีเฟสดีเทคเตอร์เป็นภาคแรก โดยเอาท์พุตจะได้เป็นความถี่ผลบวก และความถี่ผลต่างคือ 2F และ 0 Hz ตามลำดับ เมื่อเฟสดีเทคเตอร์อยู่ในสถานะผลบวกก็จะได้แรงดันไฟตรงคลาดเคลื่อน(DC Error voltage) ออกไปยัง VCO เพื่อควบคุมการผลิตความถี่ออกมาค่าหนึ่ง ในภาวะปกติความถี่ฟรีรันนิ่ง (fo) จะเซตโดยค่าความต้านทาน Ro และคาปาซิเตอร์ Co ซึ่งสามารถหา fo ได้

$$fo = \frac{1}{RoCo} \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปวงจร FSK ดีมอดูเลเตอร์ ออกแบบอุปกรณ์ต่อภายนอก โดย Ro,Co จะเป็นตัวกำหนดความถี่ฟรีรันนิ่งของเฟสล็อคลูป R1 จะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ C1 จะเป็นตัวกำหนดค่าการหน่วง (Damping factor) Cf และRf เป็นตัวกำหนดค่าสัญญาณเอาท์พุต ดังนั้นจึงออกแบบตามคู่มือ สำหรับช่วงความถี่ที่จะทำการดีมอดูเลตคือ 130kHz – 150kHz

1. คำนวณค่าความถี่ศูนย์กลาง fo จาก

$$fo = \frac{fm + fs}{2} = \frac{150kHz + 130kHz}{2} = 140kHz$$

2. เลือกค่า Timing Capacitor Co = 560 pF

3. หาค่า Ro จาก

$$Ro = \frac{1}{foCo} = \frac{1}{140kHz\ x\ 560pF} = 12.7\,k\Omega$$

4. หาค่า R1 เพื่อตั้งแบนด์วิดท์ จาก

$$Rl = Ro\,x\,\frac{fo}{\Delta f} = 12700\,x\,\frac{140000}{20000} = 88900\Omega$$

5. หาค่า C1 จากสูตร damping factor โดยเลือก damping fact = 0.5

$$Damping\ factor = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{Co}{C1}} \qquad (3.5)$$

$$C1 = \frac{Co}{4} = \frac{560pF}{4} = 140\,pF$$

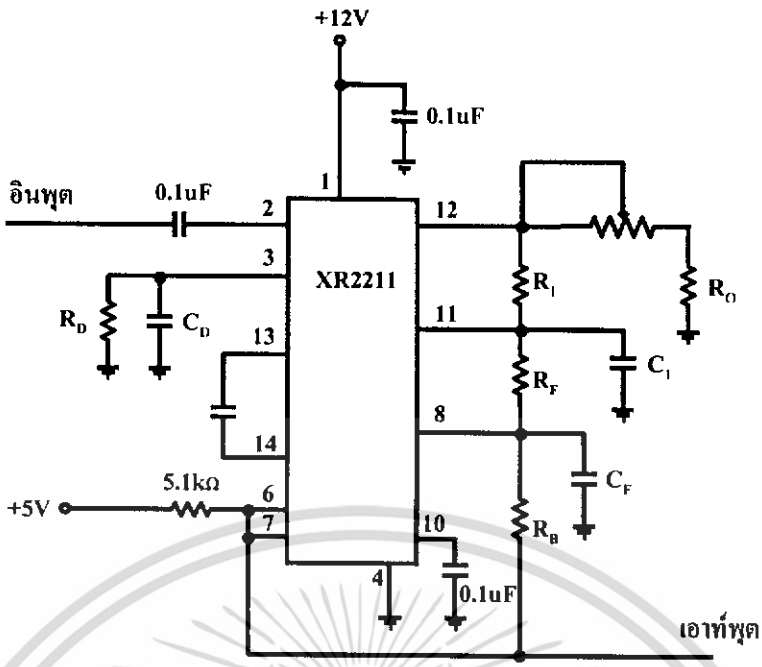
6. หาค่า Cf เมื่อ $Rf = 100k\Omega$ และ $R_B = 510k\Omega$ สามารถหาค่า Cf ได้จาก

$$Cf = \frac{3}{Baud\ rate}\,\mu F = \frac{3}{1200}\,\mu F = 2.5nF$$

7. หาค่า R_D และ C_D เมื่อ $R_D = 470k\Omega$

$$C_D = \frac{16}{\left(\frac{\Delta f}{2}\right)}\,\mu F = \frac{16}{\left(\frac{20000}{2}\right)}\,\mu F = 1.6nF$$

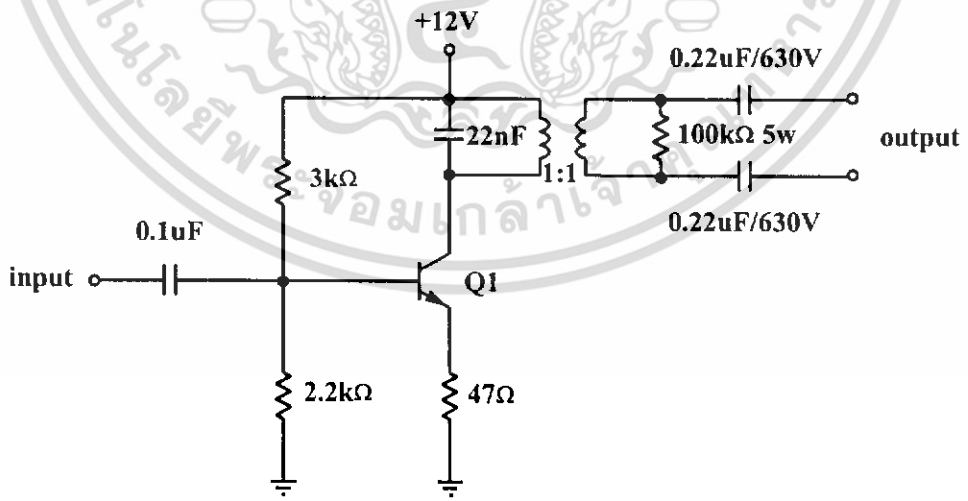
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรดีมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง

3.1.4 วงจรคัปปลิ้ง (AC coupling)

เนื่องจากในการส่งหรือรับค่าความถี่ผ่านสายไฟฟ้าตามบ้าน เราจะต้องป้องกันแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ มีความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ออกจากวงจรมอดูเลต โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลง ซึ่งใช้ขดลวดของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์เป็นวงจรคับปลิ้งในการส่งสัญญาณโดยเหนี่ยวนำจากขดปฐมภูมิไปยังขดทุติยภูมิ ดังรูปที่ 3.4



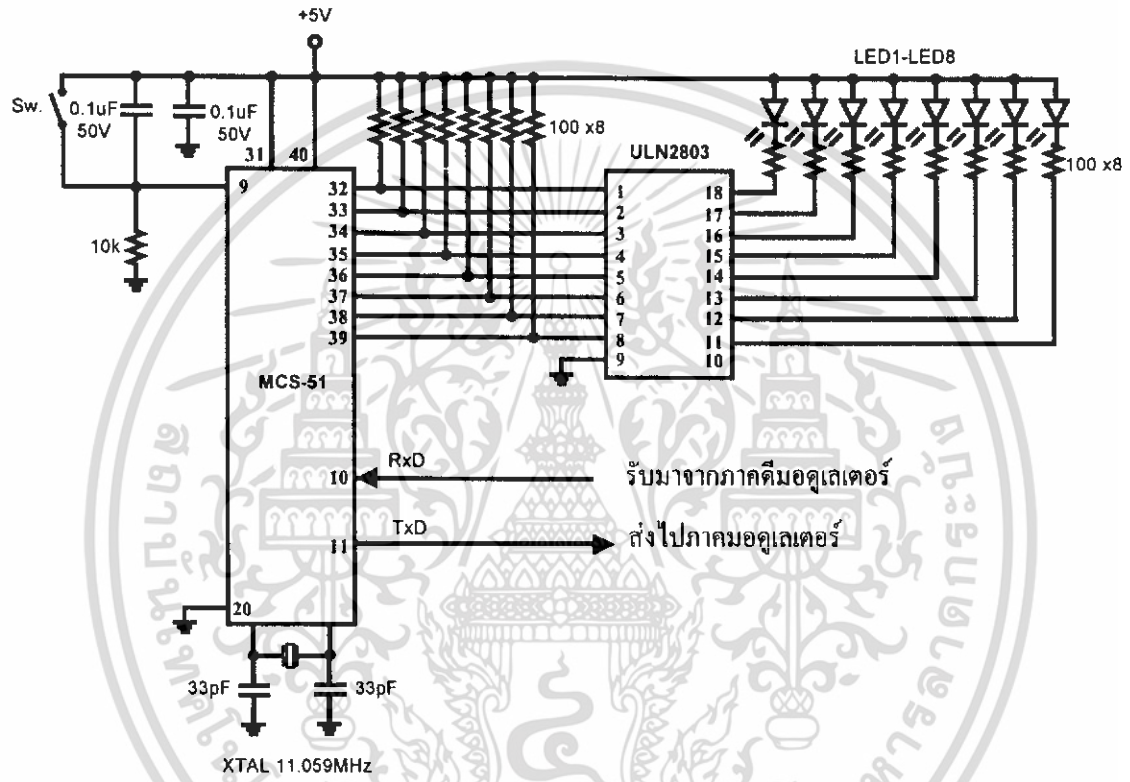
รูปที่ 3.4 วงจรAC coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนเครื่องรับ

3.2.1 ส่วนประมวลผล

เป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช สำหรับเหตุผลในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ก็เหมือนกับส่วนเครื่องส่ง แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ของส่วนของเครื่องรับจะทำหน้าที่รับข้อมูลที่เครื่องส่งส่งมา และส่งค่าสถานะกลับไปให้เครื่องส่งอีกครั้งหนึ่ง และเพื่อการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งเป็นเบอร์เดียวกัน



รูปที่ 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เครื่องรับ

3.2.2 ส่วนการมอดูเลเตอร์ การคำนวณเหมือนกับเครื่องส่ง โดยกำหนด fm = 150 kHz และ fs = 130 kHz ในการออก แบบจากสมการ กำหนดค่า C = 1 nF หาค่า R1 และ R2

$$R1 = \frac{1}{fm \times C} = \frac{1}{150kHz \times 1nF} = 6.67\,k\Omega$$

$$R2 = \frac{1}{fs \times C} = \frac{1}{130\,kHz \times 1nF} = 7.6\ k\Omega$$

เลือกใช้โพเทนทิโอมิเตอร์ 10 kΩ ทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ส่วนการดีมอดูเลเตอร์ การคำนวณเหมือนกับเครื่องส่งแต่ใช้ความถี่ค่าใหม่

1. คำนวณค่าความถี่ศูนย์กลาง fo จาก

$$fo = \frac{fm + fs}{2} = \frac{100kHz + 90kHz}{2} = 95\,kHz$$

2. เลือกค่า Timing Capacitor Co = 560 pF

3. หาค่า Ro จาก

$$Ro = \frac{1}{foCo} = \frac{1}{95kHz\,x\,560\,pF} = 18.8\,k\Omega$$

4. หาค่า R1 เพื่อตั้งแบนด์วิดท์ จาก

$$R1 = Ro\,x\frac{fo}{\Delta f} = 18800\,x\frac{95000}{10000} = 178600\,\Omega$$

5. หาค่า C1 จากสูตร damping factor โดยเลือก damping factor = 0.5

$$Damping\ factor = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{Co}{C1}}$$

$$C1 = \frac{Co}{4} = \frac{560\,pF}{4} = 140\,pF$$

6. หาค่า Cf เมื่อ $Rf = 100k\Omega$ และ $R_B = 510k\Omega$ สามารถหาค่า Cf ได้จาก

$$Cf = \frac{3}{Baud\ rate}\,\mu F = \frac{3}{1200}\,\mu F = 2.5\,nF$$

7. หาค่า R_D และ C_D เมื่อ $R_D = 470k\Omega$

$$C_D = \frac{16}{\left(\frac{\Delta f}{2}\right)}\,\mu F = \frac{16}{\left(\frac{10000}{2}\right)}\,\mu F = 3.2\,nF$$

3.2.4 วงจรคัปปลิ้ง

เนื่องจากในการส่งหรือรับค่าความถี่ผ่านสายไฟฟ้าตามบ้าน เราจะต้องป้องกันแรงดันไฟฟ้า 220โวลท์ มีความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ออกจากวงจรมอดูเลต โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลง ซึ่งใช้ขดลวดของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์เป็นวงจรคัปปลิ้งในการส่งสัญญาณ โดยเหนี่ยวนำจากขดปฐมภูมิไปยังขดทุติยภูมิ ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

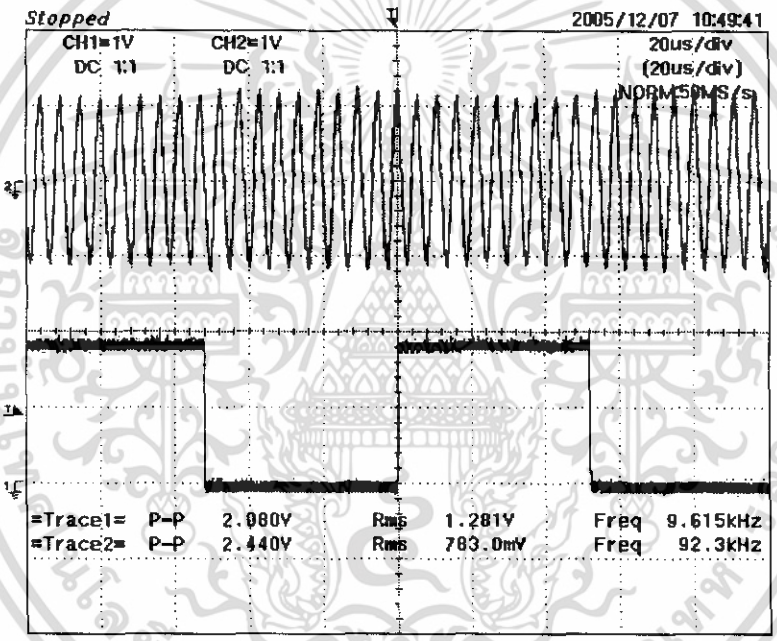
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เมื่อทำการคำนวณค่าอุปกรณ์ได้แล้ว ก็จะทำการทดลองว่าค่าของอุปกรณ์ที่คำนวณและวงจรที่ใช้สามารถให้ผลตามที่ต้องการได้หรือไม่ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์ และส่วนของดีมอดูเลเตอร์

4.1 ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์

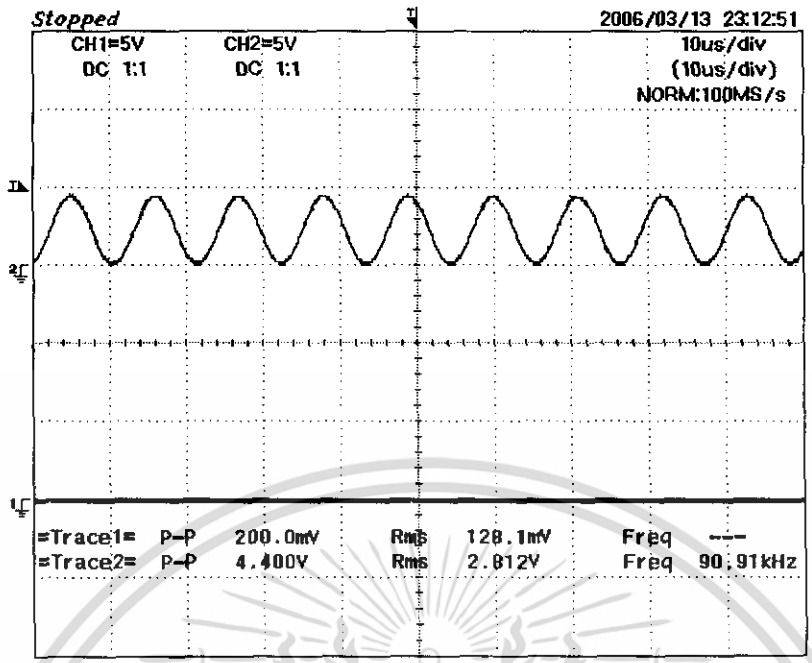
4.1.1 วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง



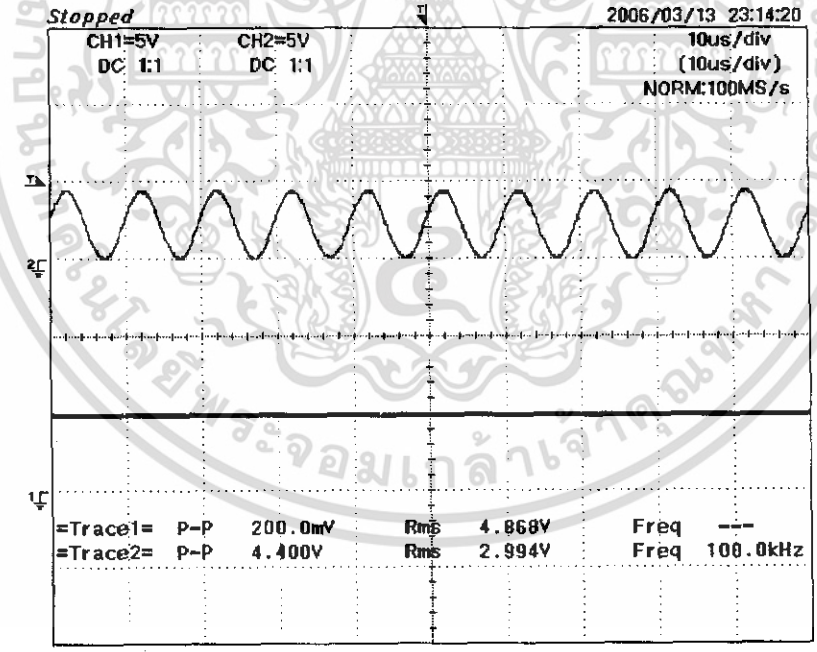
รูปที่ 4.1 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz เข้ามา

รูปที่ 4.1 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คืออัตราบอดที่เรากำหนดจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นลอจิก "1" จะได้สัญญาณความถี่ 100 kHz และเมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นลอจิก "0" ก็จะได้สัญญาณความถี่ 90 kHz ดังนั้นตามทฤษฎีความถี่กลางที่ตรวจจับได้มีค่าเท่ากับ 95 kHz แต่ผลการทดลองได้เท่ากับ 92.3 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามา



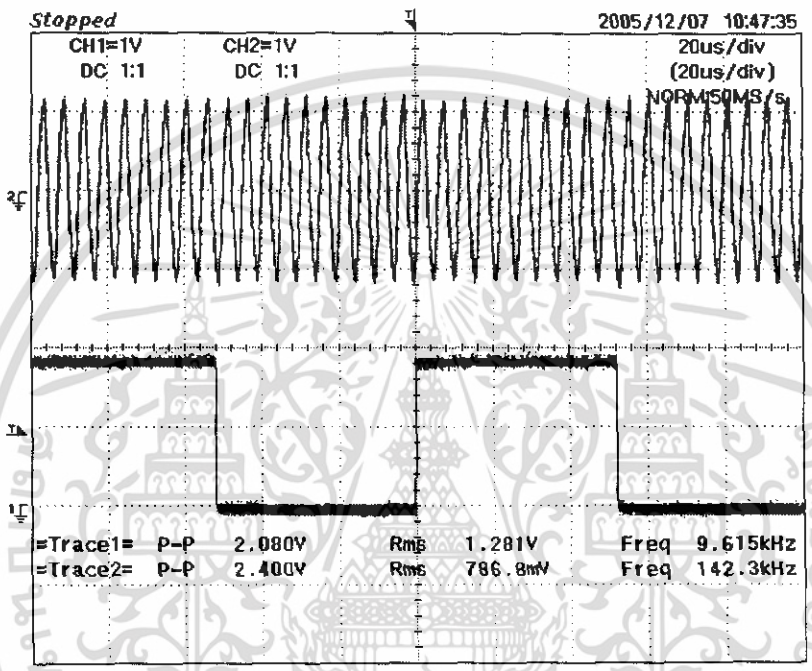
รูปที่ 4.3 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามาจะได้ความถี่ที่วงจรมอดูเลเตอร์ทำการมอดูเลตออกมาเท่ากับ 90.91 kHz ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ทำการเลือกไว้ในบทที่ 3

รูปที่ 4.3 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามาจะได้ความถี่ที่วงจรมอดูเลเตอร์ทำการมอดูเลตออกมาเท่ากับ 100 kHz ซึ่งให้ผลตรงกับค่าที่ทำการเลือกไว้ในบทที่ 3

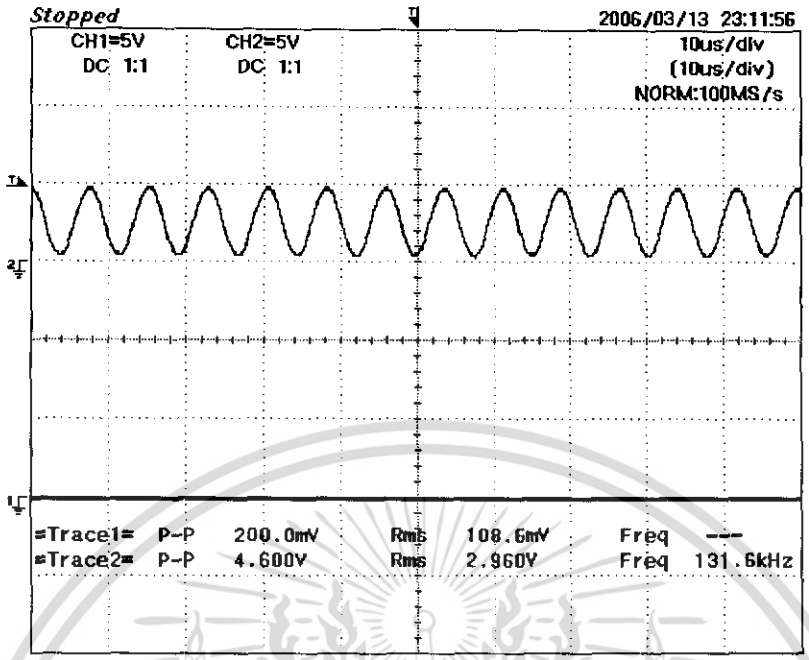
4.1.2 วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องรับ



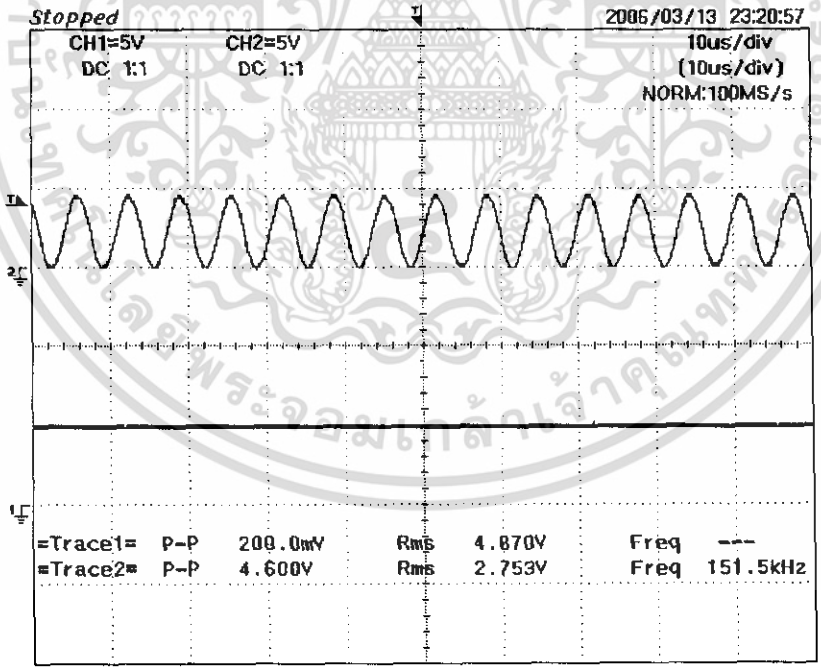
รูปที่ 4.4 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz เข้ามา

รูปที่ 4.4 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 9.6 kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คืออัตราบอตที่เรากำหนดจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นลอจิก "1" จะได้สัญญาณความถี่ 150 kHz และเมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นลอจิก "0" ก็จะได้สัญญาณความถี่ 130 kHz ดังนั้นตามทฤษฎีความถี่กลางที่ตรวจจับได้มีค่าเท่ากับ 140 kHz แต่ผลการทดลองได้เท่ากับ 142.3 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามา

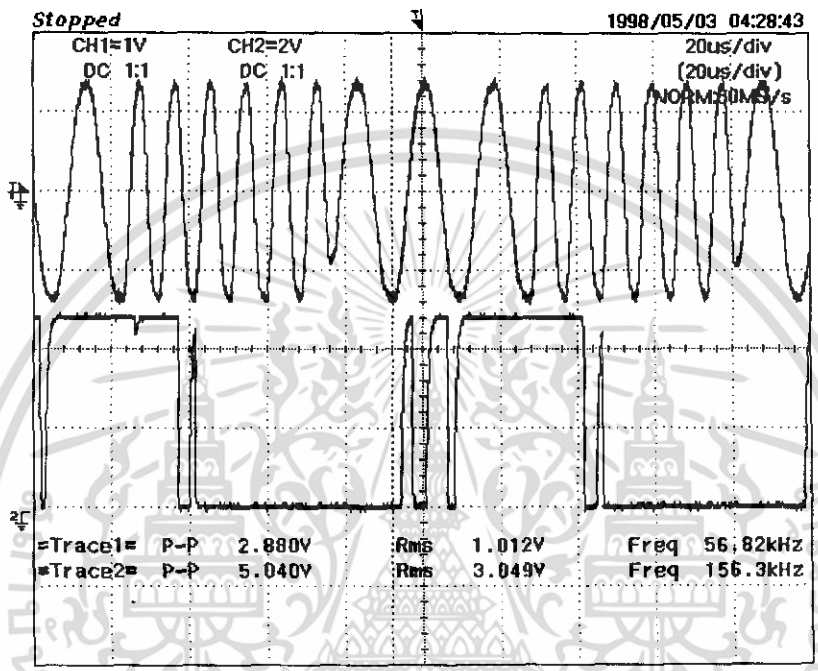


รูปที่ 4.6 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์เข้ามาจะได้ความถี่ที่วงจรมอดูเลเตอร์ทำการมอดูเลตออกมาเท่ากับ 131.6 kHz ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ทำการเลือกไว้ในบทที่ 3

รูปที่ 4.6 แสดงผลการมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้ามาจะได้ความถี่ที่วงจรมอดูเลเตอร์ทำการมอดูเลตออกมาเท่ากับ 151.5 kHz ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ทำการเลือกไว้ในบทที่ 3



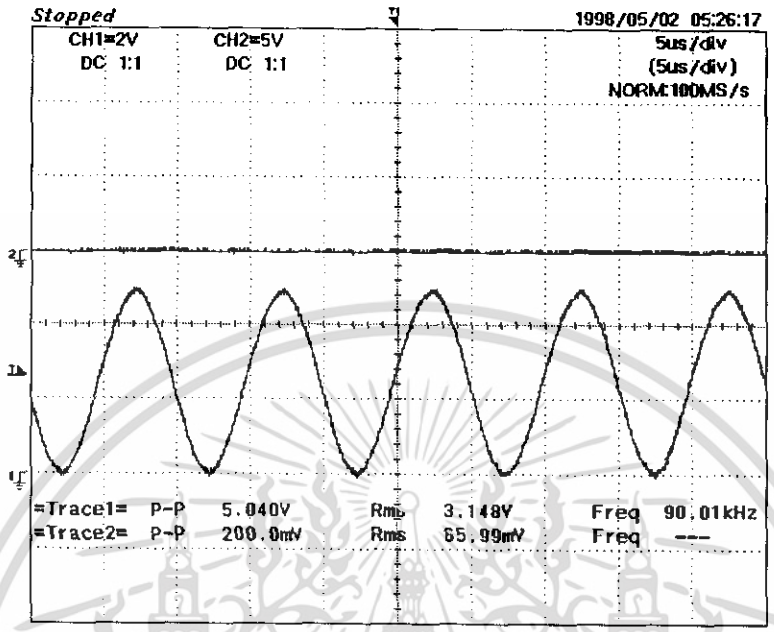
รูปที่ 4.7 แสดงการมอดูเลตสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

รูปที่ 4.7 แสดงการมอดูเลตสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ของวงจรมอดูเลเตอร์ สาเหตุเกิดจากอุปกรณ์จำพวกความต้านทานและตัวเก็บประจุมีความผิดพลาดอยู่ เมื่อนำมาใช้งานจะทำให้เกิดการมอดูเลตที่ไม่เต็มลูกคลื่น วงจรดีมอดูเลเตอร์จะไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนของวงจรดีมอดูเลเตอร์

4.2.1 วงจรดีมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง

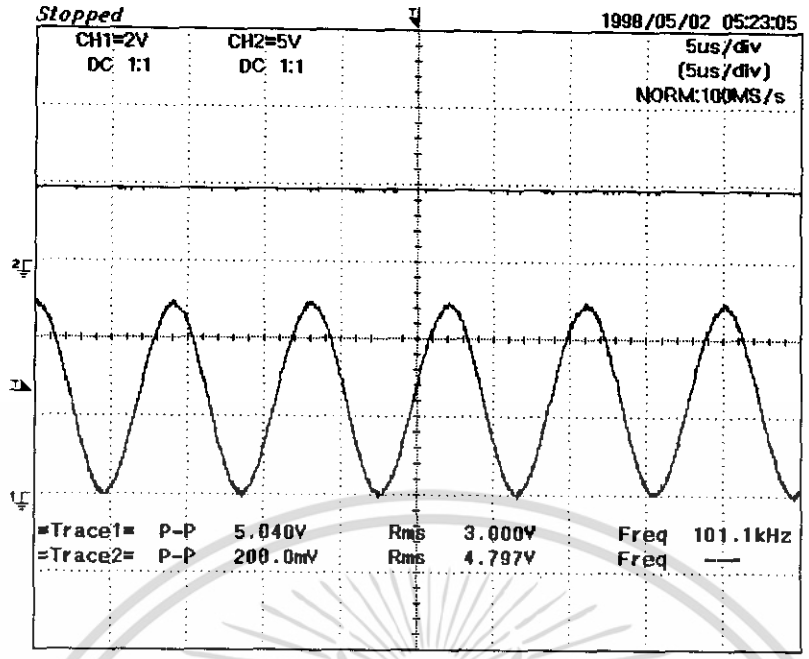


รูปที่ 4.8 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 90 kHz เข้ามา

รูปที่ 4.8 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 90 kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คือความถี่ที่รับเข้ามาจากภาคมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง แต่ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณความถี่ 90kHz เข้ามา จะได้สัญญาณเป็นลอจิก "0"

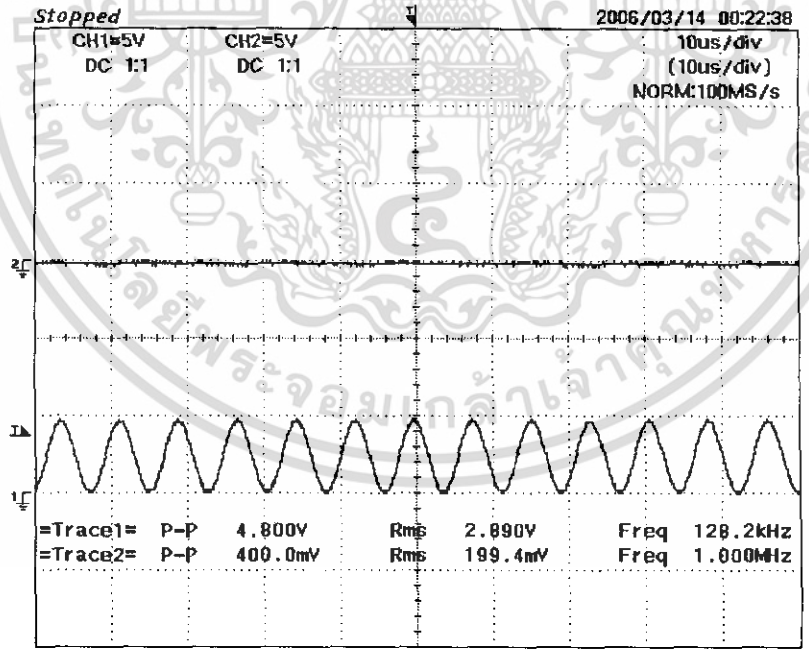
รูปที่ 4.9 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 100 kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คือความถี่ที่รับเข้ามาจากภาคมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง แต่ในการทดลองใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณความถี่ 100 kHz เข้ามา จะได้สัญญาณเป็นลอจิก "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



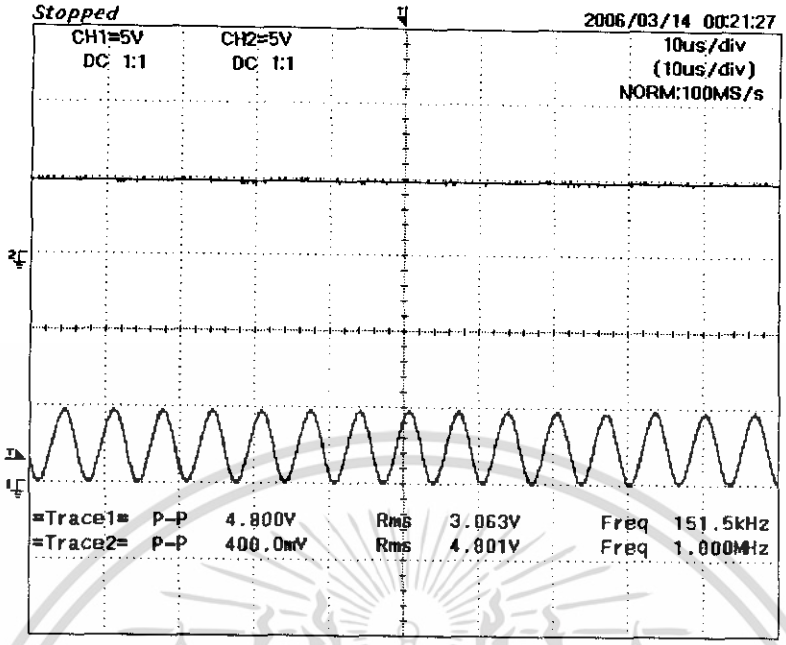
รูปที่ 4.9 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 100 kHz เข้ามา

4.2.2 วงจรดีมอดูเลเตอร์ของเครื่องรับ



รูปที่ 4.10 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 130 kHz เข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



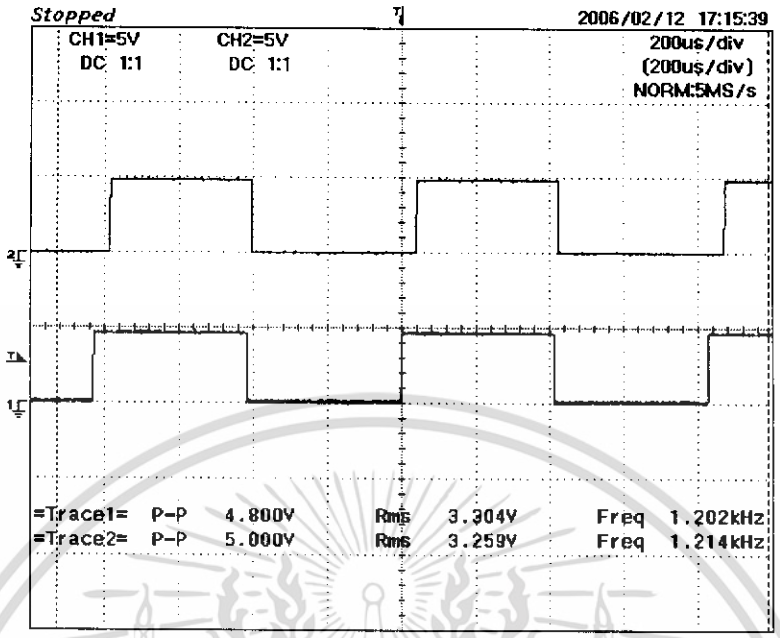
รูปที่ 4.11 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 150 kHz เข้ามา

รูปที่ 4.10 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 130kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คือความถี่ที่รับเข้ามาจากภาคมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง แต่ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณความถี่ 130kHz เข้ามา จะได้สัญญาณเป็นลอจิก "0"

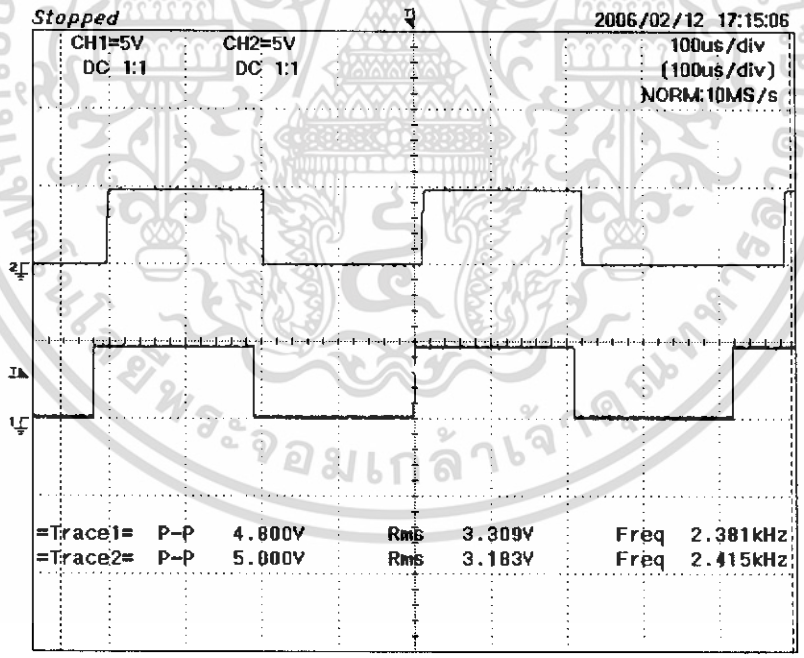
รูปที่ 4.11 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อมีความถี่ 150 kHz เข้ามา ความถี่นี้ก็คือความถี่ที่รับเข้ามาจากภาคมอดูเลเตอร์ของเครื่องส่ง แต่ในการทดลองใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ป้อนแทน เมื่อสัญญาณความถี่ 150 kHz เข้ามา จะได้สัญญาณเป็นลอจิก "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์และดีมอดูเลเตอร์ที่ต่อร่วมกัน

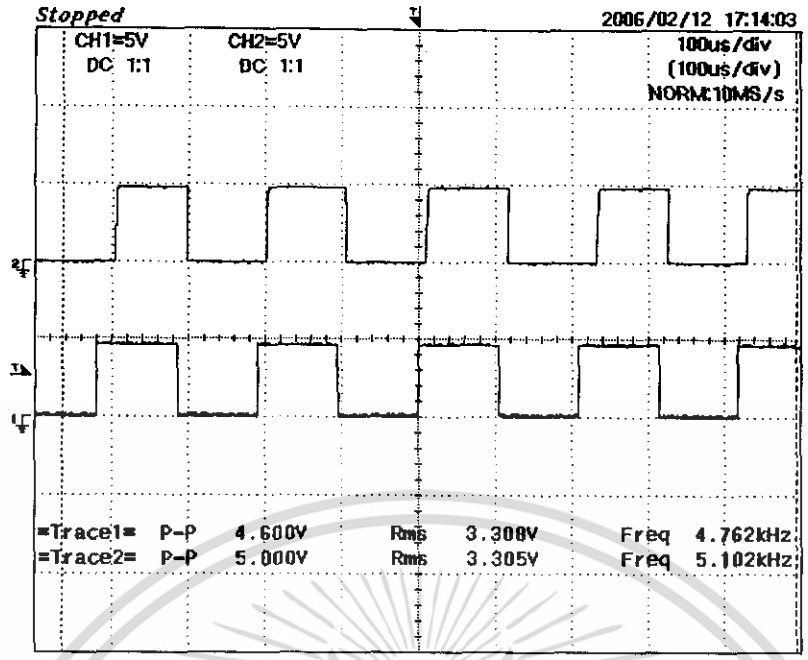


รูปที่ 4.12 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 1200 บิตต่อวินาที

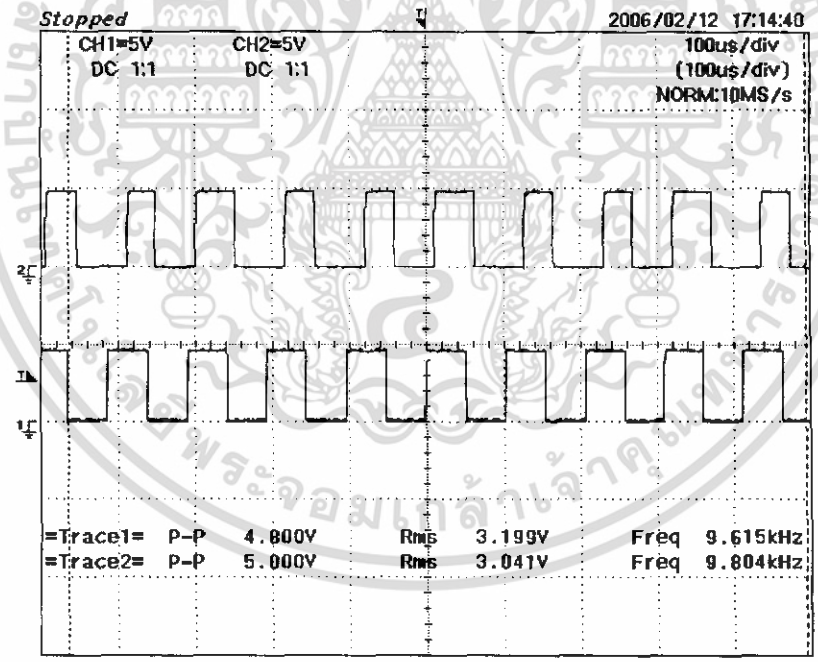


รูปที่ 4.13 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 2400 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 4800 บิตต่อวินาที

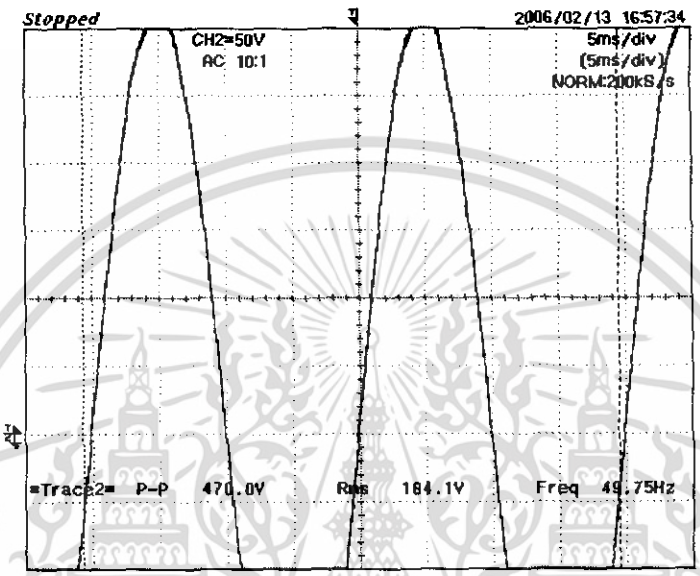


รูปที่ 4.15 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที

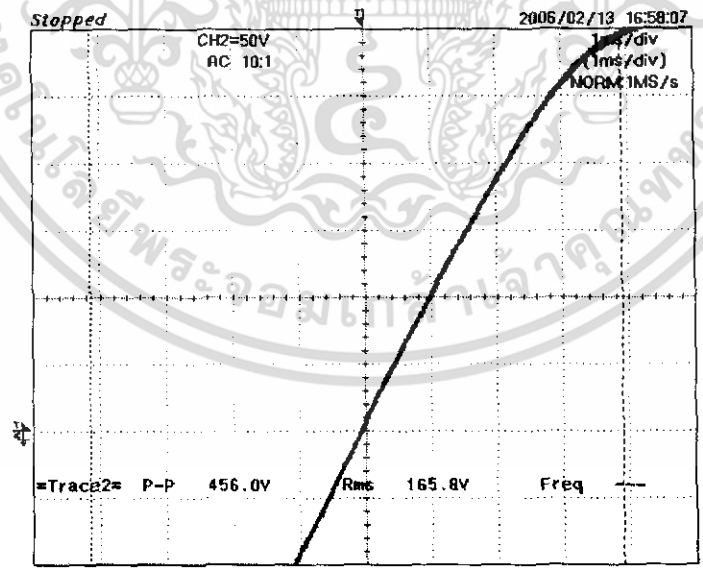
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 -4.15 แสดงผลการดีมอดูเลตสัญญาณเมื่อใช้อัตราบอดต่างกัน ซึ่งอัตราบอดที่ค่าต่ำจะให้ความแม่นยำในการจับสัญญาณสูงกว่าอัตราบอดค่าที่มีค่าสูง เนื่องจากความเร็วของการส่งข้อมูลไม่สูง วงจรดีมอดูเลเตอร์จึงจับสัญญาณได้แม่นยำกว่า อีกทั้งการปรับจูนค่าความถี่ในอัตราบอดที่ต่ำกว่าจะสามารถทำได้ง่ายกว่า

4.4 ส่วนของการส่งข้อมูลเข้าสายไฟเอซี

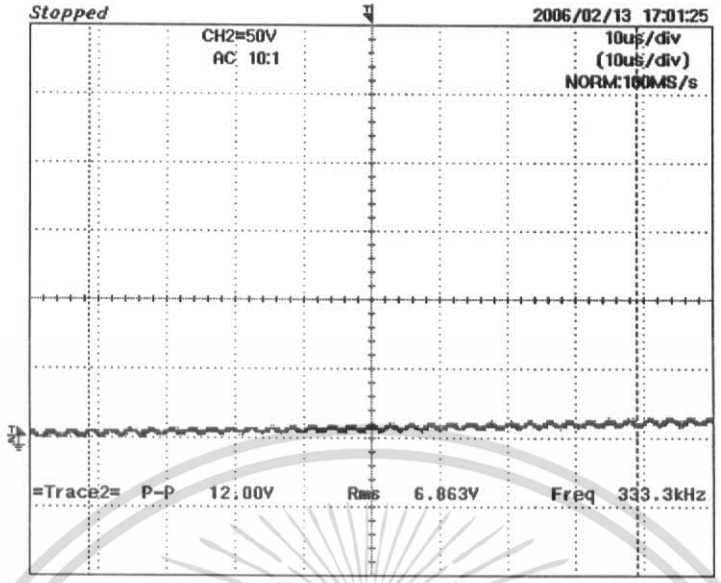


รูปที่ 4.16 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้าน



รูปที่ 4.17 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้านซึ่งทำการขยายครั้งที่ 1

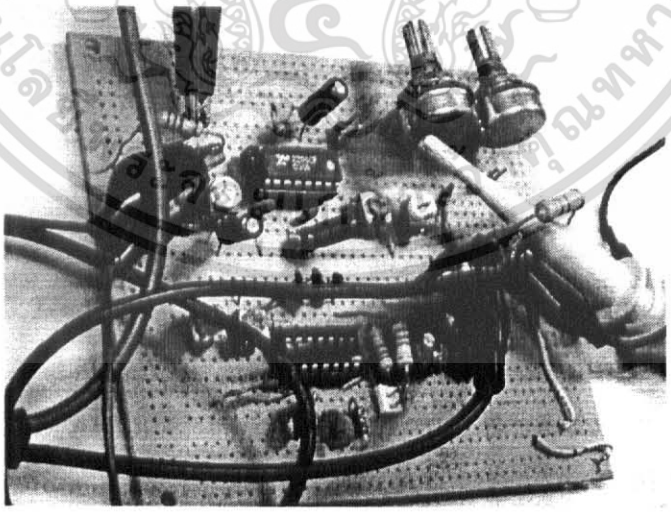
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณที่วัดจากไฟบ้านซึ่งทำการขยายครั้งที่ 2

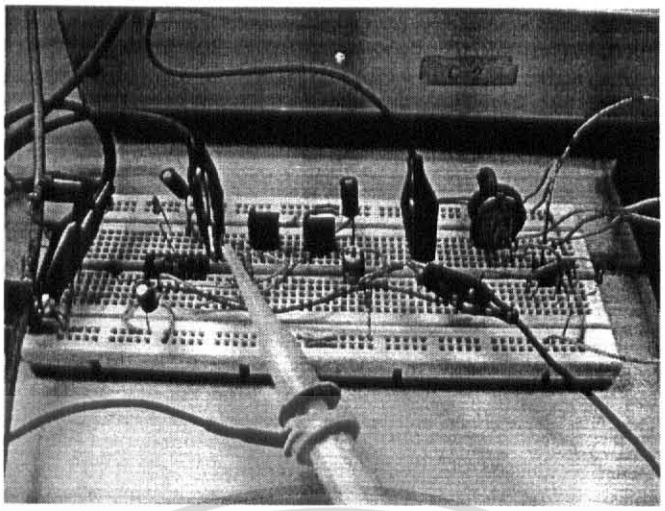
รูปที่ 4.16-4.18 แสดงสัญญาณที่วัดจากไฟบ้านที่มีการขยายรูปของสัญญาณเพื่อทำให้มองเห็นสัญญาณข้อมูลที่เกาะอยู่บนความถี่ 50 Hz ซึ่งหลังจากทำการขยายสัญญาณครั้งที่ 2 แล้ว จะเห็นว่ามีข้อมูลที่ส่งเข้าไปจริงแต่ก็มีสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณข้อมูลอยู่ด้วย นั่นก็คือ สัญญาณรบกวนนั่นเอง

4.5 วงจรที่ใช้งานจริง

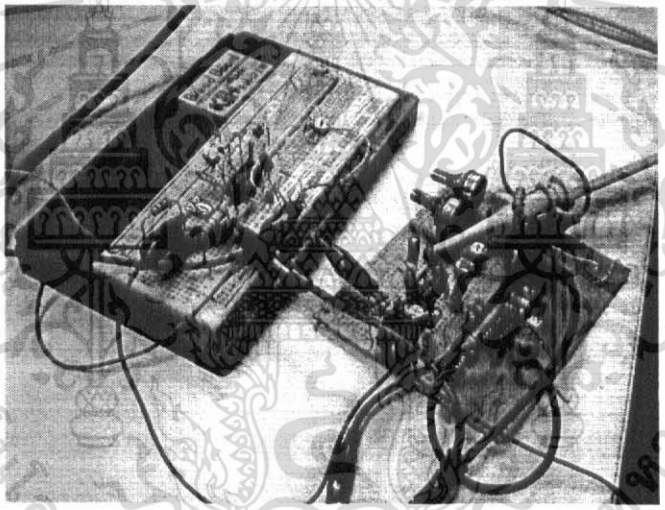


รูปที่ 4.19 แสดงรูปวงจรมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงรูปวงจรดีมอดูเลตที่ใช้งานโดยมีการปรับออฟเซต (offset)



รูปที่ 4.21 แสดงรูปวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลตที่ใช้งาน 2 ชุดที่ต่อร่วมกัน

รูปที่ 4.19 แสดงรูปวงจรมอดูเลตต่อลงแผ่นลายทองแดงอเนกประสงค์ รูปที่ 4.20แสดงรูปวงจรดีมอดูเลตที่ใช้งาน โดยมีการปรับออฟเซตเพื่อไม่ให้สัญญาณลอย ซึ่งถ้าลอยจะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยเกินกว่าที่ภาคดีมอดูเลเตอร์จะรับได้ อาจทำให้ไอซี XR2211 พังได้ รูปที่ 4.21 แสดงรูปวงจรมอดูเลต และดีมอดูเลตที่ใช้งาน 2 ชุดที่ต่อร่วมกัน เพื่อวัดสัญญาณและปรับความถี่ให้ได้ค่าตามการคำนวณ ซึ่งต้องค่อยๆ ปรับเนื่องจากจะมีช่วงเดียวเท่านั้นที่ปรากฏสัญญาณ โดยค่าที่ปรับจะไม่ไกลจากค่าที่คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

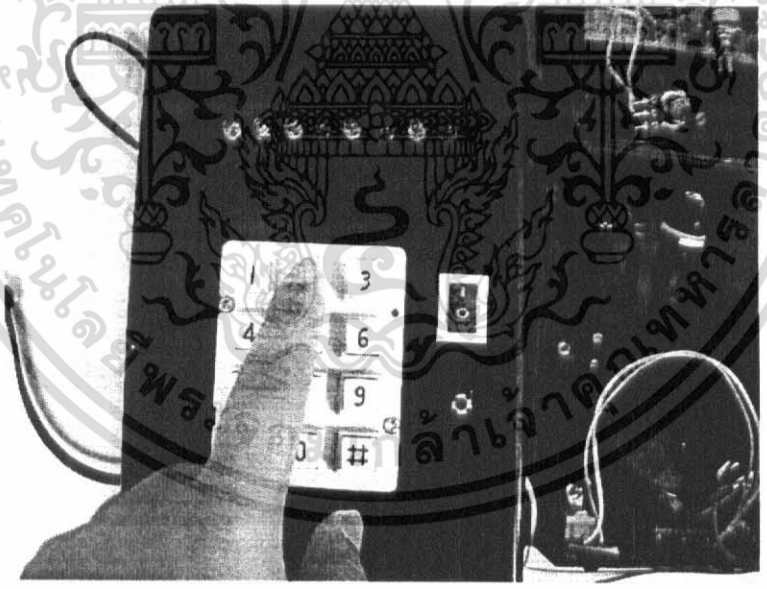
4.6 การทดลองด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ

จากรูปที่ 4.28 แสดงวงจรของเครื่องส่ง จะมีส่วนที่ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานก็คือ คีย์แพด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าจากพอร์ต P2 ซึ่งกำหนดเป็นพอร์ตอินพุตและคีย์แพดจะต่อไว้ที่พอร์ตนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสแกนค่าคีย์ตามโฟลวชาร์ตการทำงานดังแสดงในภาคผนวก ก. ด้านวงจรของเครื่องรับแสดงในรูปที่ 4.29 ก็จะมีการรับข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องส่ง ซึ่งข้อมูลจะเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์และทำงานตามโฟลวชาร์ตในภาคผนวก ก.

สำหรับการกดคีย์ใดๆที่ทำการตั้งหรือโปรแกรมเอาไว้ ผลที่ได้ก็จะปรากฏที่ส่วนแสดงผลทางด้านเครื่องส่งและทางด้านเครื่องรับพร้อมๆกัน การทดสอบว่าส่วนแสดงผลทางด้านเครื่องส่งและทางด้านเครื่องรับมีการแสดงผลจริงสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

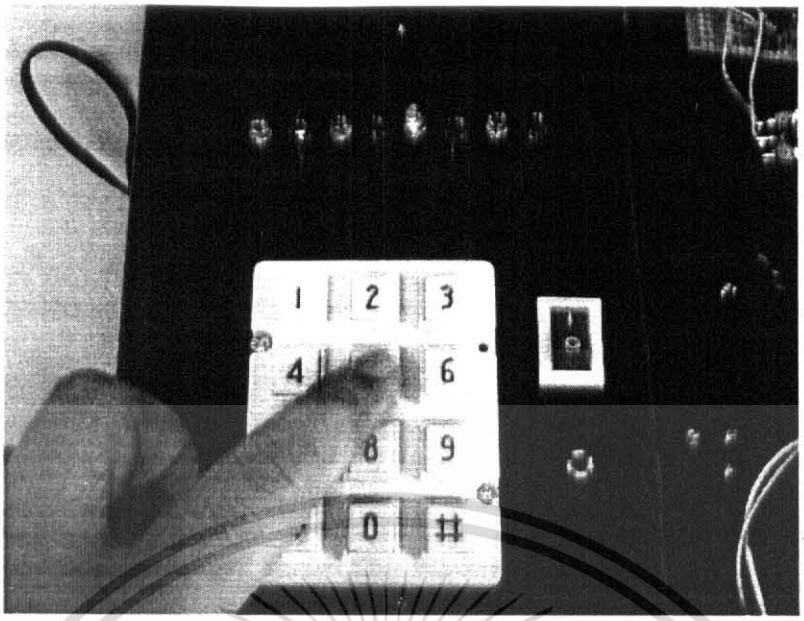
1. เชื่อมต่อสายระหว่างส่วนแสดงผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เชื่อมต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับเข้าด้วยกัน
3. ทำการกดคีย์ต่างๆ ดังเช่น คีย์หมายเลข 2, 5, 8 เป็นต้น
4. สังเกตผลที่แสดงด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ

4.6.1 การแสดงการกดคีย์ด้านเครื่องส่ง

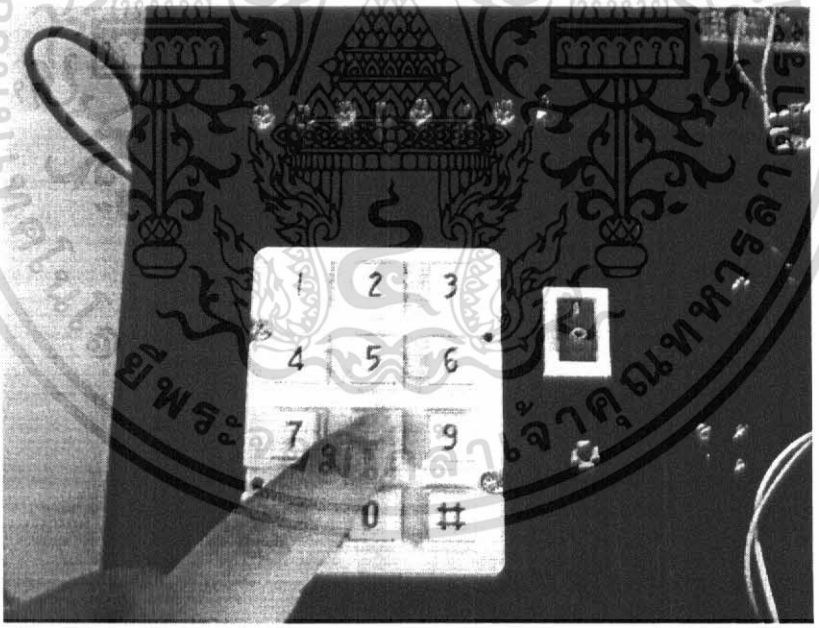


รูปที่ 4.22 แสดงการกดคีย์หมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



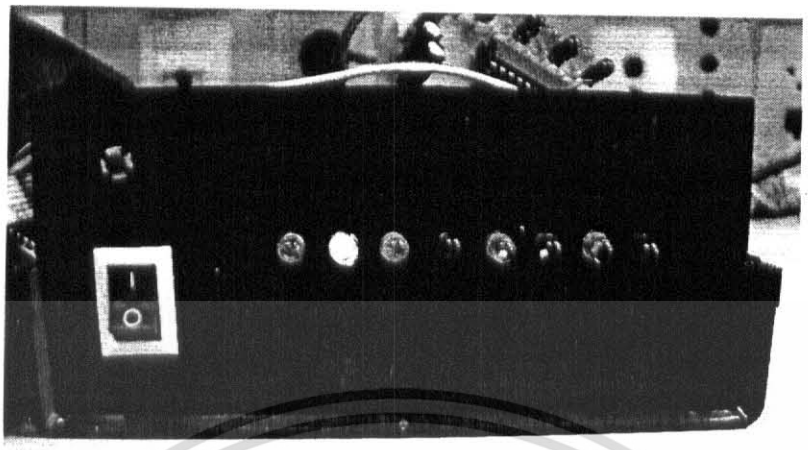
รูปที่ 4.23 แสดงการกดคีย์หมายเลข 5



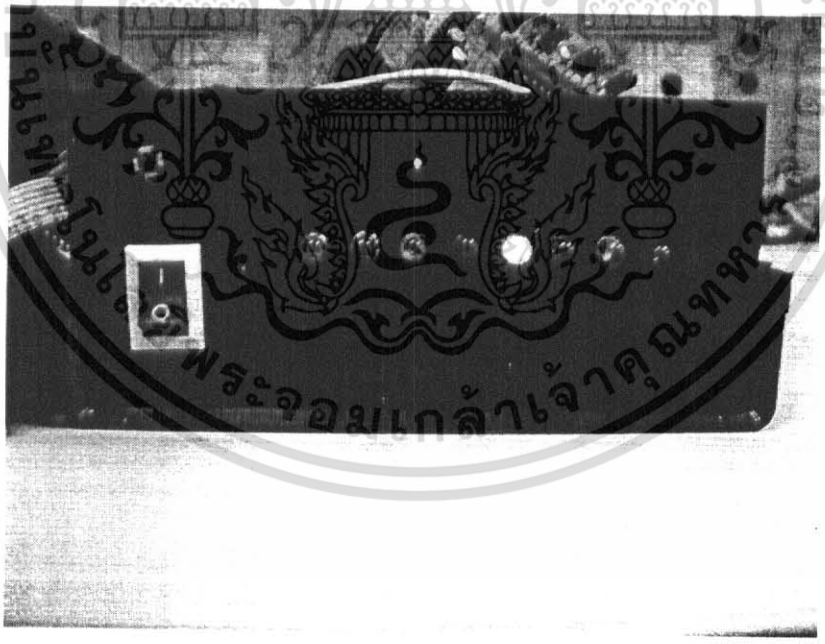
รูปที่ 4.24 แสดงการกดคีย์หมายเลข 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 การแสดงผลของการกดคีย์ด้านเครื่องรับ

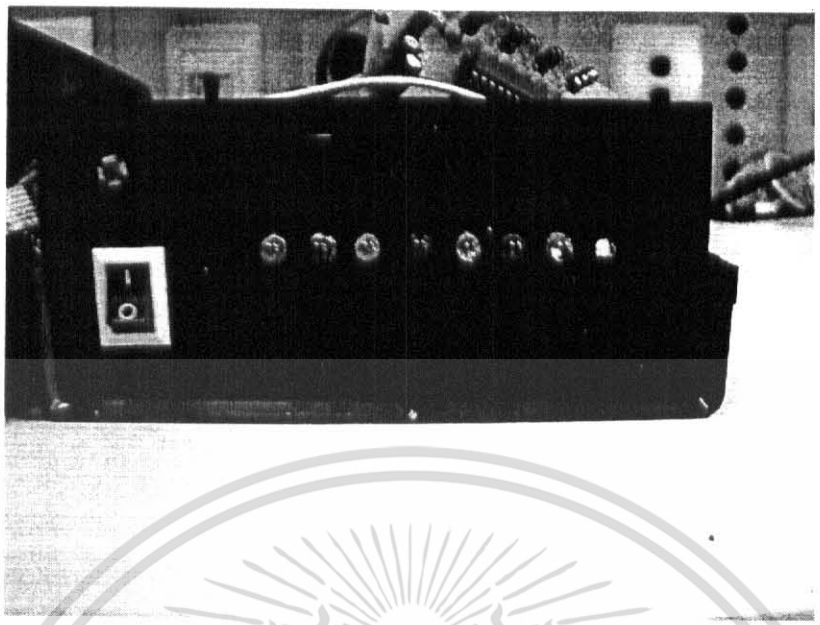


รูปที่ 4.25 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 2



รูปที่ 4.26 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงผลการกดคีย์หมายเลข 8

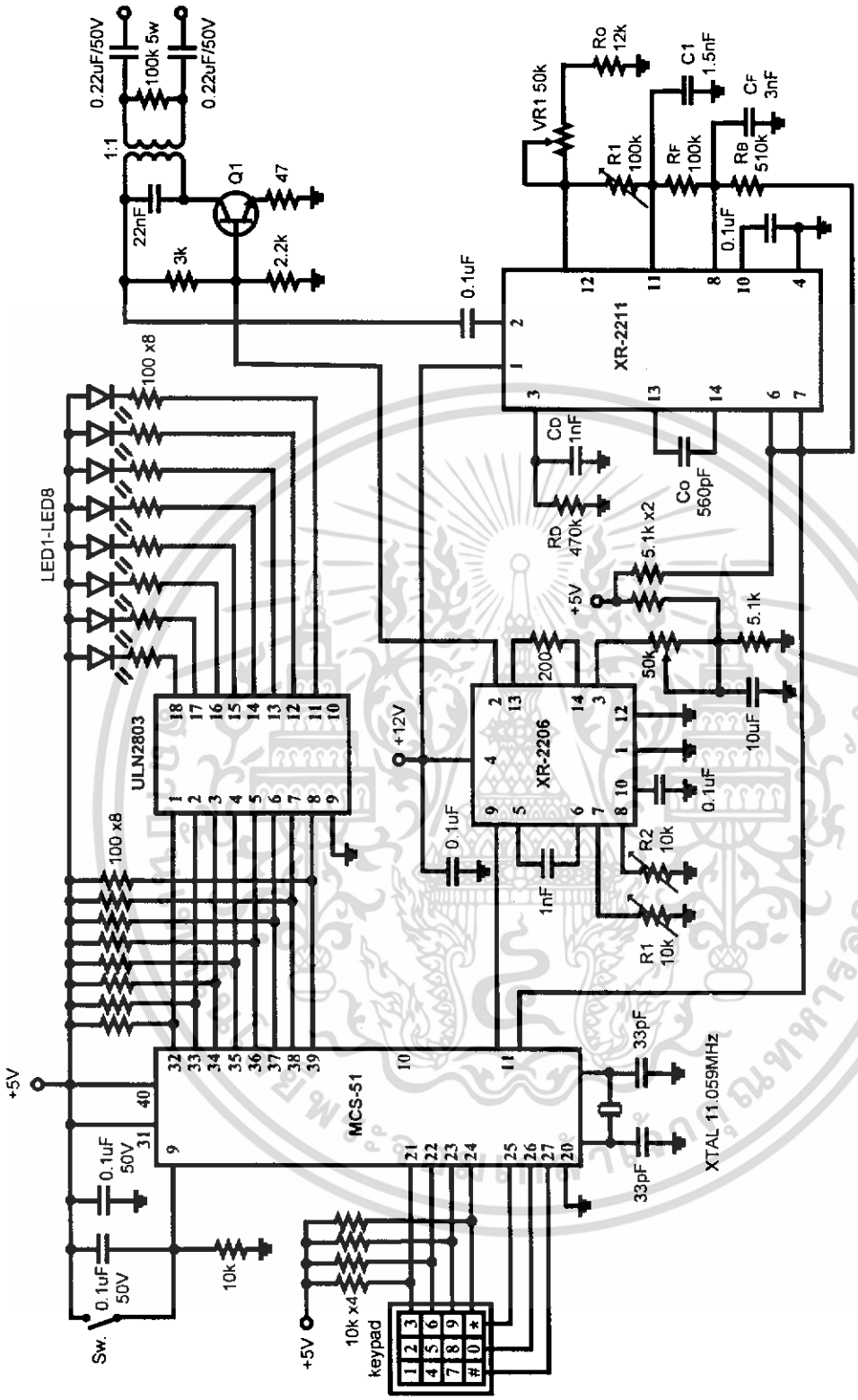
รูปที่ 4.22 แสดงการกดคีย์หมายเลข 2 เมื่อทำการกดคีย์หมายเลข 2 แล้ว ไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องส่งดวงที่ 2 จากทางขวามือของรูปภาพจะสว่างและไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องรับดวงที่ 2 จากทางขวามือของรูปที่ 4.25 ก็จะสว่างด้วยเช่นกัน

รูปที่ 4.23 แสดงการกดคีย์หมายเลข 5 เมื่อทำการกดคีย์หมายเลข 5 แล้ว ไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องส่งดวงที่ 5 จากทางขวามือของรูปภาพจะสว่างและไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องรับดวงที่ 5 จากทางขวามือของรูปที่ 4.26 ก็จะสว่างด้วยเช่นกัน

รูปที่ 4.24 แสดงการกดคีย์หมายเลข 8 เมื่อทำการกดคีย์หมายเลข 8 แล้ว ไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องส่งดวงที่ 8 จากทางขวามือของรูปภาพจะสว่างและไดโอดเปล่งแสงทางด้านเครื่องรับดวงที่ 8 จากทางขวามือของรูปที่ 4.27 ก็จะสว่างด้วยเช่นกัน

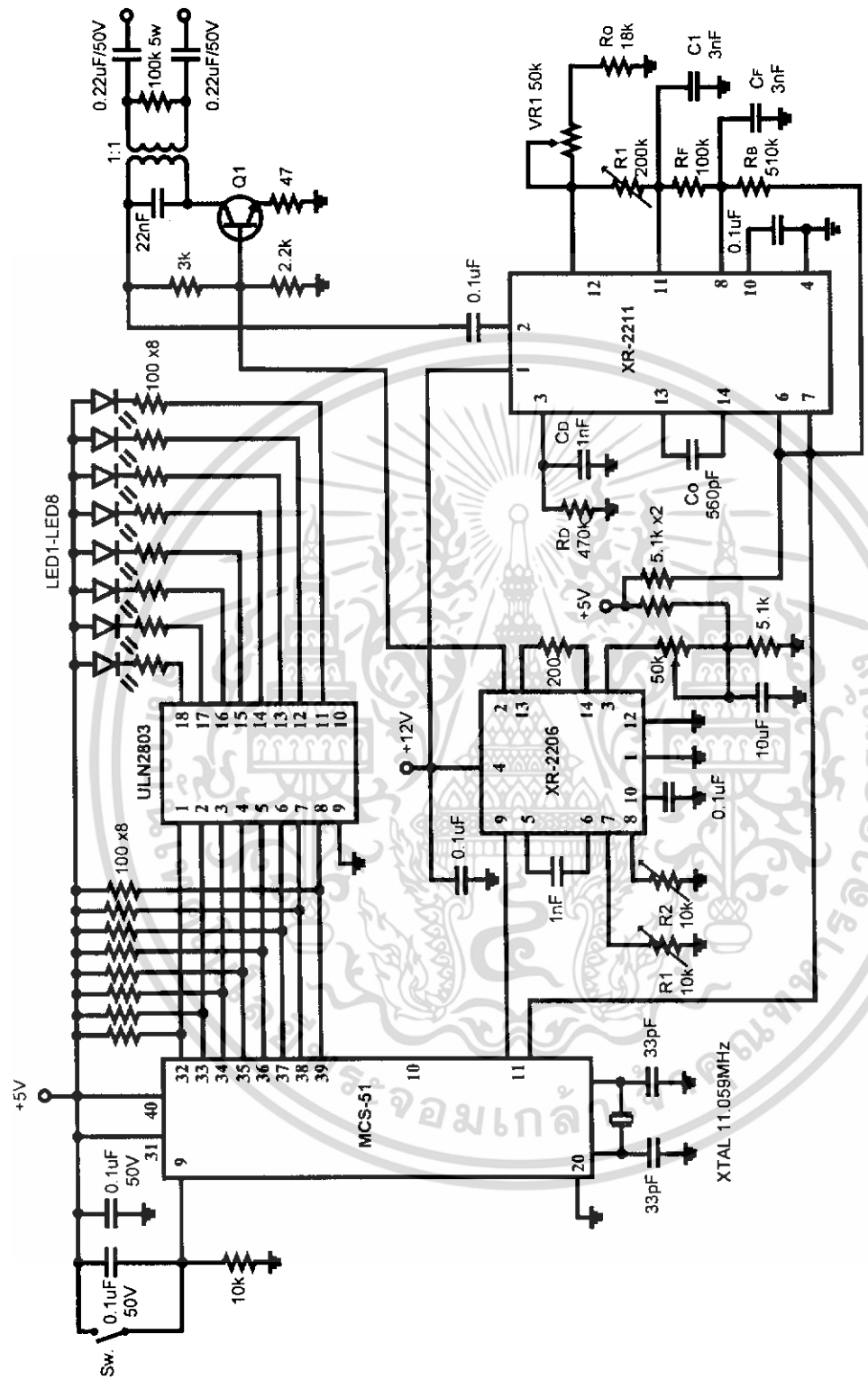
สรุปก็คือ เมื่อกดคีย์หมายเลขใดไดโอดเปล่งแสงตัวที่สัมพันธ์กับโปรแกรมที่เขียนเอาไว้ก็จะแสดงผลตามที่กำหนดทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับพร้อมๆกัน ซึ่งการทดลองได้กำหนดให้ไดโอดเปล่งสว่างนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 วงจรเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 วงจรเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและบทวิจารณ์

5.1 สรุปผล

โครงงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟ AC เป็นการออกแบบและทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ให้มีความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โดยได้สร้างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ สำหรับการควบคุมนั้นทำได้โดยป้อนคำสั่งการทำงานให้เครื่องส่ง โดยคำสั่งนั้นมาจากคีย์แพด เมื่อกดปุ่มคีย์เครื่องส่งจะทำการประมวลผลและทำการส่งสัญญาณที่ประมวลผลได้ไปผสมสัญญาณ ซึ่งจะอาศัยหลักการผสมสัญญาณในทางดิจิตอลแบบ FSK แล้วส่งเข้าไปในสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ เครื่องรับจะรับสัญญาณควบคุมจากสายไฟฟ้ากระแสสลับ และทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ ในการเลือกความถี่คลื่นพาหะ ควรเลือกให้เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านข้อมูลไปในสายไฟบ้าน ส่วนช่วงกว้างของความถี่หรือแบนด์วิดท์ ไม่ควรมีค่ามากเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากฮาร์โมนิคได้ ในทางกลับกัน ถ้าช่วงกว้างของความถี่หรือแบนด์วิดท์มีค่าน้อยเกินไปอาจไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่ส่งมาได้ สำหรับอุปกรณ์ควรเลือกที่มีค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์น้อยที่สุด

สำหรับความถี่พาหะที่ใช้ในโครงงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ความถี่พาหะด้านเครื่องส่ง และความถี่พาหะด้านเครื่องรับ ความถี่พาหะด้านเครื่องส่งประกอบด้วย 2 ความถี่คือ 90kHz และ 100kHz ซึ่งจากการทดลองพบว่าความถี่พาหะที่วงจรมอดูเลเตอร์ด้านเครื่องส่งผลิตออกมามีค่า 90.91kHz และ 100kHz เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะได้ 1.01% และ 0% ตามลำดับ ความถี่พาหะด้านเครื่องรับประกอบด้วย 2 ความถี่คือ 130kHz และ 150kHz ซึ่งจากการทดลองพบว่าความถี่พาหะที่วงจรมอดูเลเตอร์ด้านเครื่องรับผลิตออกมามีค่า 131.6kHz และ 151.5kHz เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะได้ 1.23% และ 1% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก แต่จะมีบางช่วงที่วงมอดูเลเตอร์ผลิตสัญญาณออกมาไม่เต็มลูกคลื่นดังรูปที่ 4.7 ทำให้วงจรดีมอดูเลเตอร์แยกสัญญาณออกมาไม่ตรงตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 บทวิจารณ์

การที่จะส่งสัญญาณความถี่เข้าไปในสายไฟฟ้าได้ ต้องทำการเปลี่ยนรูปของสัญญาณใหม่ก่อน คือจากสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก โดยใช้วงจรที่มีประสิทธิภาพ สัญญาณที่สามารถทำการมอดูเลต และดีมอดูเลตนั้นจะต้องมีการกำจัดสัญญาณรบกวนและสัญญาณในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกอย่างแม่นยำ ความแรงของสัญญาณเอาท์พุตของภาคมอดูเลต ซึ่งเป็นภาคสุดท้ายของเครื่องส่งจะต้องมีการขยายสัญญาณให้มีความแรงมากขึ้น เพราะว่าเนื่องจากในขณะทำการส่ง ความยาวของสายจะมีผลต่อขนาดของสัญญาณ ถ้าความยาวของสายหรือระยะทางในการส่งมีระยะไกล จะทำให้ความแรงของสัญญาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรบางอย่างที่ได้มาจากการคำนวณไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนของค่าอุปกรณ์อยู่ ดังนั้นจึงต้องปรับแต่งใช้ค่าอุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช** , กรุงเทพมหานคร

[2] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, **สนุกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ฉบับ MCS-51**, กรุงเทพมหานคร พิมพ์ที่ บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอร์เมนต์ จำกัด

[3] ธีรวัฒน์ ประกอบผล, **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร พิมพ์ที่ บริษัท แซทโฟร์ พริ้นติ้ง จำกัด, 2541

[4] อุดม จีนประดับ, **ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**, กรุงเทพมหานคร, 2541

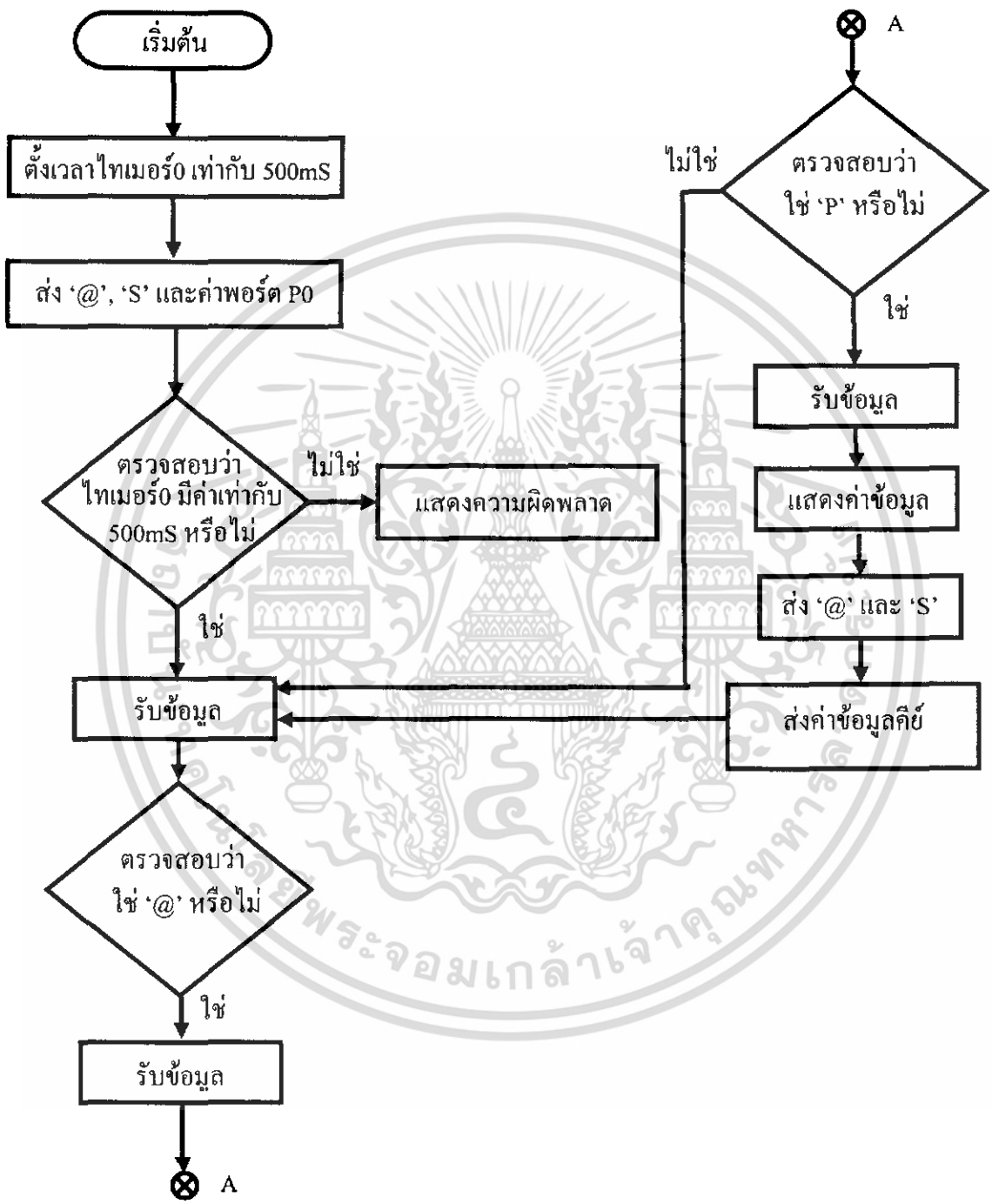
[5] นิกร สุขุตมตันติ, **การออกแบบวงจรอีเล็คทรอนิกส์**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร, 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

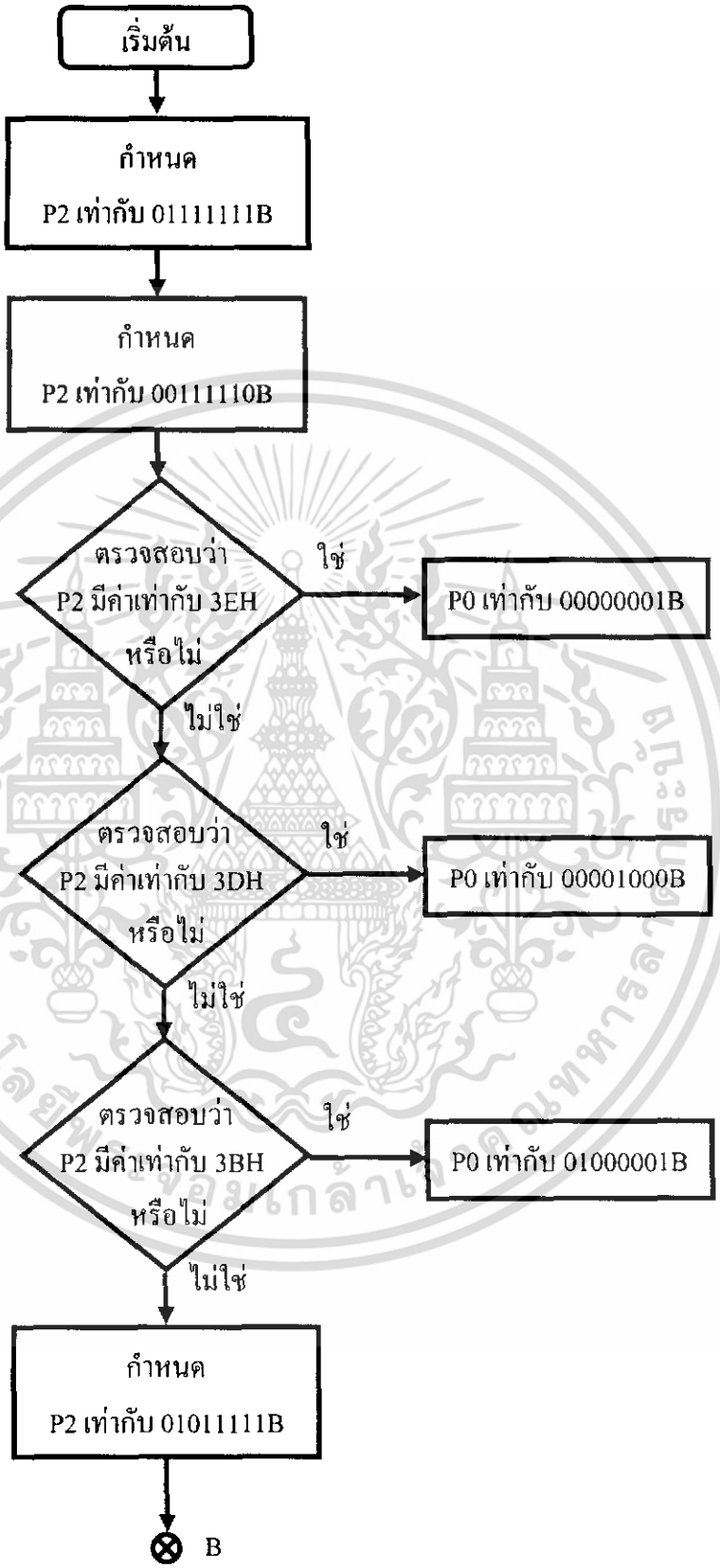
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลวชาร์ตโปรแกรมเครื่องส่ง

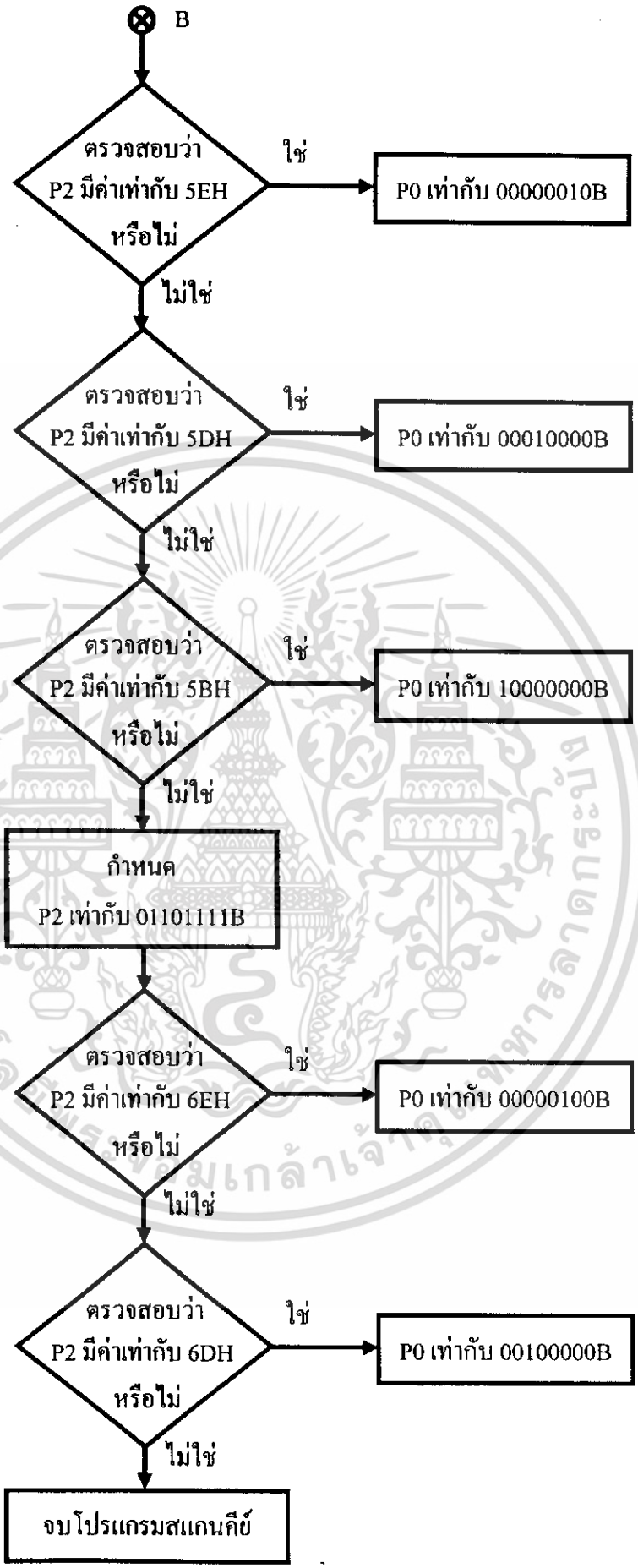


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลวชาร์ตโปรแกรมสแกนคีย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเครื่องส่ง

```
KEY1        EQU     030H
KEY2        EQU     031H
KEY3        EQU     032H
KEY4        EQU     033H
KEY5        EQU     034H
KEY6        EQU     035H
KEY7        EQU     036H
KEY8        EQU     037H
KEY9        EQU     038H
KEY0        EQU     039H
KEYSTR      EQU     040H
KEYSHP      EQU     041H

DAT1        EQU     042H
DAT2        EQU     043H
DAT3        EQU     044H
DAT4        EQU     045H
DAT5        EQU     046H
DAT6        EQU     047H
DAT7        EQU     048H
DAT8        EQU     049H
DATSHP      EQU     050H
VOTE        EQU     051H
TA          EQU     052H

P0_TEMP     EQU     020H
FLAG_General EQU    021H
TIME_50ms   EQU     053H
TIME_500ms  EQU     054H
ST_COUNT    EQU     055H

L1          BIT     00H
L2          BIT     01H
L3          BIT     02H
L4          BIT     03H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
L5          BIT     04H
L6          BIT     05H
L7          BIT     06H
L8          BIT     07H

FlagSend    BIT     08H

CL1         BIT     P2.6
CL2         BIT     P2.5
CL3         BIT     P2.4
LED         BIT     P3.7

            ORG     0000H
            AJMP    START
            ORG     000BH
            LJMP    INT_T0

START:      MOV     SCON, #52H
            MOV     TMOD, #21H
            MOV     TH1, #0FDH
            MOV     TL0, #0FDH
            MOV     TH0, #4BH
            SETB    TR1
            SETB    EA
            SETB    ET0
            SETB    TR0
            CLR     FlagSend
            SETB    LED

            MOV     P2, #07FH
            MOV     KEY1, #00H
            MOV     KEY2, #00H
            MOV     KEY3, #00H
            MOV     KEY4, #00H
            MOV     KEY5, #00H
            MOV     KEY6, #00H
            MOV     KEY7, #00H
            MOV     KEY8, #00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV     P0_TEMP, #0A0H
        MOV     P0, P0_TEMP

MAIN:   ACALL   SEND_DATA
        ACALL   RECEIVE_DATA
        MOV     P0, P0_TEMP

DEG:    SETB    CL3
        SETB    CL2
        CLR     CL1
        MOV     A, P2
        CJNE    A, #03EH, MAIN2
        ACALL   CHK1
        MOV     A, #00H
        CJNE    A, KEY1, BUMP
        MOV     KEY1, #01H
        MOV     DAT1, #01H
        SETB    L1
        SJMP    MAIN2
BUMP:   CLR     L1
        MOV     DAT1, #00H
        MOV     KEY1, #00H
        SJMP    MAIN2

MAIN2:  CLR     CL1
        MOV     A, P2
        CJNE    A, #03DH, MAIN3
        ACALL   CHK4
        MOV     A, #00H
        CJNE    A, KEY4, BUMP2
        MOV     KEY4, #01H
        MOV     DAT4, #08H
        SETB    L4
        SJMP    MAIN3
BUMP2:  CLR     L4
        MOV     DAT2, #00H
        MOV     KEY4, #00H
        SJMP    MAIN3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MAIN_J:   SJMP    MAIN

MAIN3:    CLR     CL1
          MOV     A, P2
          CJNE    A, #03BH, MAIN5
          ACALL   CHK7
          MOV     A, #00H
          CJNE    A, KEY7, BUMP3
          MOV     KEY7, #01H
          MOV     DAT7,#40H
          SETB    L7
          SJMP    MAIN5
BUMP3:    CLR     L7
          MOV     KEY7, #00H
          MOV     DAT7, #00H
          SJMP    MAIN5

MAIN5:    SETB    CL1
          CLR     CL2
          MOV     A, P2
          CJNE    A, #5EH, MAIN6
          ACALL   CHK2
          MOV     A, #00H
          CJNE    A, KEY2, BUMP5
          MOV     KEY2, #01H
          MOV     DAT2, #02H
          SETB    L2
          SJMP    MAIN6
BUMP5:    CLR     L2
          MOV     DAT2, #00H
          MOV     KEY2, #00H
          SJMP    MAIN6

MAIN6:    CLR     CL2
          MOV     A, P2
          CJNE    A, #5DH, MAIN7
          ACALL   CHK5
          MOV     A, #00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE    A, KEY5, BUMP6
                MOV     KEY5, #01H
                MOV     DAT5, #10H
                SETB    L5
                SJMP    MAIN7
BUMP6:          CLR     L5
                MOV     DAT5, #00H
                MOV     KEY5, #00H
                SJMP    MAIN7

MAIN_K:         SJMP    MAIN_J

MAIN7:          CLR     CL2
                MOV     A, P2
                CJNE    A, #05BH, MAIN9
                ACALL   CHK8
                MOV     A, #00H
                CJNE    A, KEY8, BUMP7
                MOV     KEY8, #01H
                MOV     DAT8, #80H
                SETB    L8
                SJMP    MAIN9
BUMP7:          CLR     L8
                MOV     DAT8, #80H
                MOV     KEY8, #00H
                SJMP    MAIN9

MAIN9:          SETB    CL2
                CLR     CL3
                MOV     A, P2
                CJNE    A, #06EH, MAIN10
                ACALL   CHK3
                MOV     A ,#00H
                CJNE    A, KEY3, BUMP9
                MOV     KEY3, #01H
                MOV     DAT3, #04H
                SETB    L3
                SJMP    MAIN10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BUMP9:      CLR     L3
            MOV     DAT3, #04H
            MOV     KEY3, #00H
            SJMP    MAIN10

MAIN_L:     SJMP    MAIN_K

MAIN10:     SETB    CL2
            CLR     CL3
            MOV     A, P2
            CJNE    A, #06DH, MAIN_L
            ACALL   CHK6
            MOV     A, #00H
            CJNE    A, KEY6, BUMP10
            MOV     KEY6, #01H
            MOV     DAT6, #20H
            SETB    L6
            SJMP    MAIN_L
BUMP10:     CLR     L6
            MOV     DAT6, #20H
            MOV     KEY6, #00H
            SJMP    MAIN_L

MAIN_H:     SJMP    MAIN_L

CHK1:       ACALL   DELAY_1ms
            CJNE    A, #03EH, MAIN_H
K1:         MOV     A,P2
            CJNE    A, #03FH, KK1
            RET
KK1:        SJMP    K1

CHK2:       ACALL   DELAY_1ms
            CJNE    A, #05EH, MAIN_H
K2:         MOV     A, P2
            CJNE    A, #05FH, KK2
            RET
KK2:        SJMP    K2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CHK3:   ACALL   DELAY_1ms
        CJNE    A, #06EH, MAIN_H
K3:     MOV     A, P2
        CJNE    A, #06FH, KK3
        RET
KK3:    SJMP    K3

CHK4:   ACALL   DELAY_1ms
        CJNE    A, #03DH, MAIN_H
K4:     MOV     A, P2
        CJNE    A, #03FH, KK4
        RET
KK4:    SJMP    K4

CHK5:   ACALL   DELAY_1ms
        CJNE    A, #05DH, MAIN_H
K5:     MOV     A, P2
        CJNE    A, #05FH, KK5
        RET
KK5:    SJMP    K5

CHK6:   ACALL   DELAY_1ms
        CJNE    A, #06DH, MAIN_H
K6:     MOV     A, P2
        CJNE    A, #06FH, KK6
        RET
KK6:    SJMP    K6

CHK7:   ACALL   DELAY_1ms
        CJNE    A, #03BH, MAIN_H
K7:     MOV     A, P2
        CJNE    A, #03FH, KK7
        RET
KK7:    SJMP    K7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

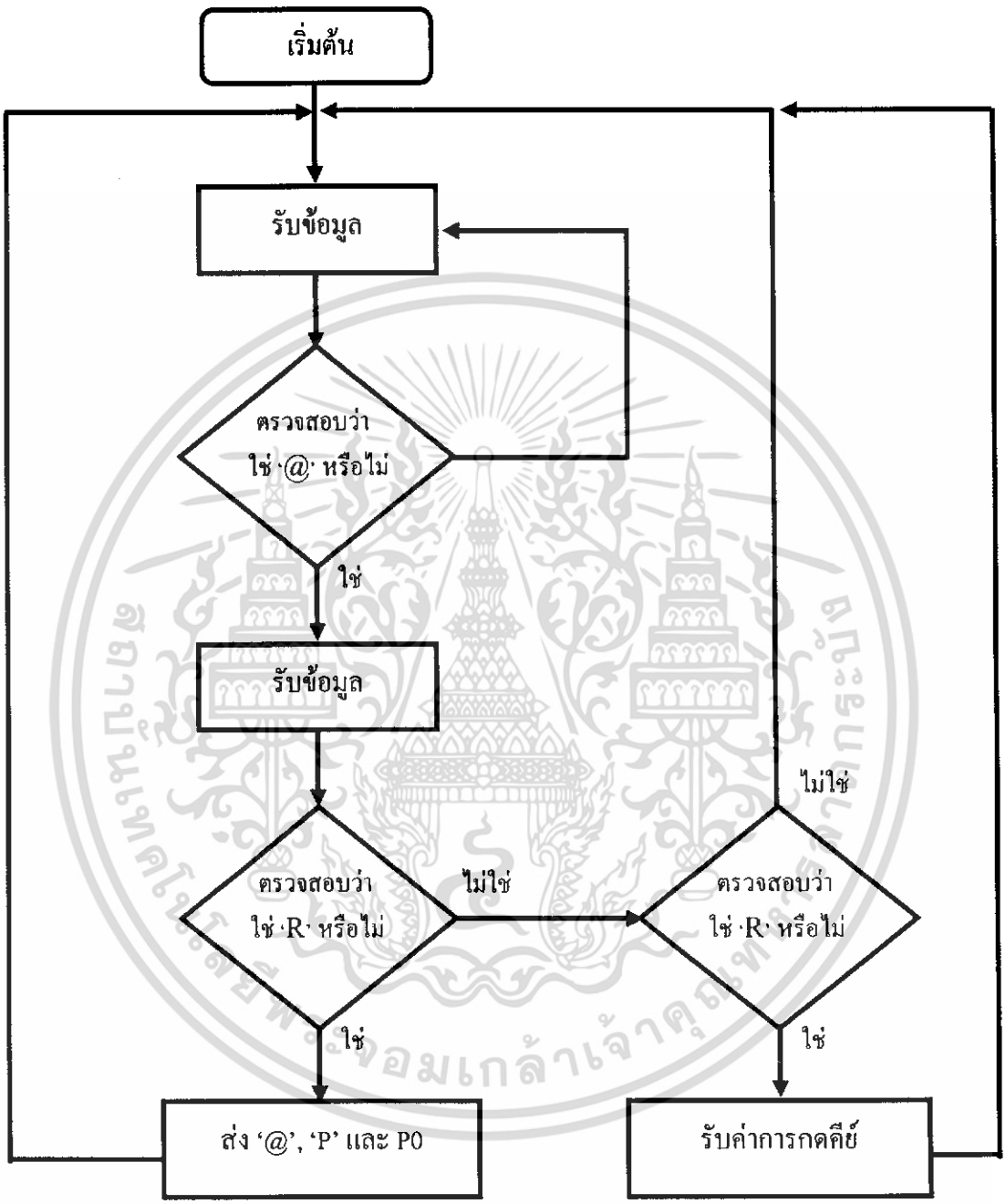
```
CHK8:       ACALL   DELAY_1ms
            CJNE    A, #05BH, MAIN_H
K8:         MOV     A, P2
            CJNE    A, #05FH, KK8
            RET
KK8:        SJMP    K8

CHKSHP:     ACALL   DELAY_1ms
            CJNE    A, #067H, MAIN_H
K12:        MOV     A, P2
            CJNE    A, #06FH, K12
            RET

SEND_DATA:  MOV     SBUF,# '@'
            JNB     TI, $
            CLR     TI

            MOV     SBUF, # 'S'
            JNB     TI, $
            CLR     TI

            MOV     A, P0_TEMP
            MOV     SBUF, A
            JNB     TI, $
            CLR     TI
            RET

INT_T0:     JNB     FlagSend, NEXT1
            INC     TIME_50ms
            MOV     A, TIME_50ms
            CJNE    A, #10, NEXT1
            CLR     LED
            CLR     FlagSend
            MOV     TIME_50ms, #00
NEXT1:      MOV     TL0, #0FDH
            MOV     TH0, #4BH
            RETI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RECEIVE_DATA:MOV     SBUF, # '@'
             JNB     TI, $
             LR      TI
             MOV     SBUF, # 'R'
             JNB     TI, $
             CLR     TI

             MOV     TIME_50ms, #00
             SETB    FlagSend
             JNB     RI, $
             CLR     RI
             MOV     A, SBUF
             CJNE    A, # '@', RECEIVE_DATA
             MOV     TIME_50ms, #00
             CLR     FlagSend

             JNB     RI, $
             CLR     RI
             MOV     A, SBUF
             CJNE    A, # 'P', RECEIVE_DATA
             JNB     RI, $
             CLR     RI
             MOV     A, SBUF
             MOV     P0_TEMP, A
             RET
;*************************************************************************
             ;DELAY TIME
;*************************************************************************

DELAY_1ms:   MOV     R6, #0E6H
DELAY_1ms_1: NOP
             NOP
             DJNZ    R6, DELAY_1ms_1
             RET
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลวชาร์ตโปรแกรมเครื่องรับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเครื่องรับ

```
FALT        EQU     030H
P0_TEMP     EQU     031H

            ORG     0000H
            MOV     P0, #00H
MAIN:       MOV     SCON, #52H
            MOV     TMOD, #20H
            MOV     TH1, #0FDH
            SETB    TR1
            MOV     P0_TEMP, #0FH

rr1:        MOV     P0, P0_TEMP
            JNB     RI, $
            CLR     RI
            MOV     A, SBUF
            CJNE    A, # '@',rr1

            JNB     RI, $
            CLR     RI
            MOV     A, SBUF
            CJNE    A, # 'R',rr2

            MOV     SBUF, # '@'
            JNB     TI, $
            CLR     TI
            MOV     SBUF, # 'P'
            JNB     TI, $
            CLR     TI

            MOV     A, P0_TEMP
            MOV     SBUF,A
            JNB     TI, $
            CLR     TI
            SJMP    rr1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
π2:     CJNE    A, # 'S',π1
        JNB     RI, $
        CLR     RI
        MOV     A, SBUF
        MOV     P0_TEMP, A
        SJMP    π1
END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2206

Monolithic
Function Generator

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

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

©1972

EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ◆ (510) 668-7000 ◆ (510) 668-7017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

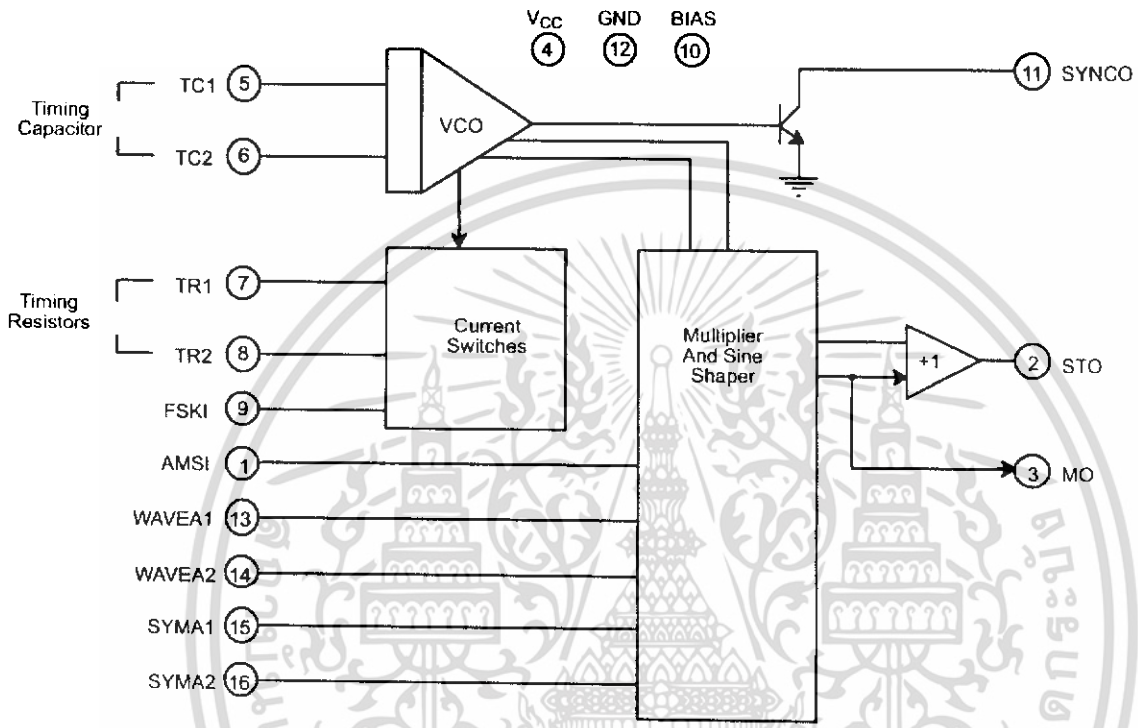
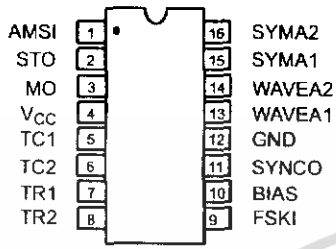
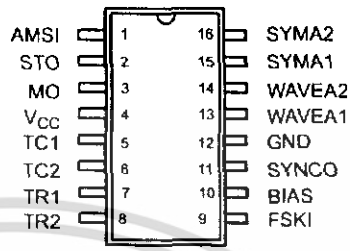


Figure 1. XR-2206 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* **Vcc = 12V, T_A = 25°C, C = 0.01µF, R_1 = 100kΩ, R_2 = 10kΩ, R_3 = 25kΩ**
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	
Split-Supply Voltage	**±5**		**±13**	±5		±13	V	
Supply Current		12	**17**		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	**0.5**	1		0.5	1		MHz	C = 1000pF, R_1 = 1kΩ
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	C = 50µF, R_1 = 2MΩ
Frequency Accuracy		±1	**±4**		±2		% of f_o	$f_o = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		±10	**±50**		±20		ppm/°C	0°C ≤ T_A ≤ 70°C $R_1 = R_2$ = 20kΩ
Sine Wave Amplitude Stability[2]		4800			4800		ppm/°C	
Supply Sensitivity		0.01	**0.1**		0.01		%/V	V_{LOW} = 10V, V_{HIGH} = 20V, $R_1 = R_2$ = 20kΩ
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	f_H @ R_1 = 1kΩ f_L @ R_1 = 2MΩ
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		%	±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	kΩ	
Triangle Sine Wave Output[1]								*Figure 3*
Triangle Amplitude		160			160		mV/kΩ	*Figure 2*, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	**40**	60	80		60		mV/kΩ	*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 = 30kΩ
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.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2211

FSK Demodulator/ Tone Decoder

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

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, ±1% to 80%
- Excellent Temp. Stability, ±50ppm/°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

©1992

TQM™

EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ◆ (510) 668-7000 ◆ FAX (510) 668-7017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM

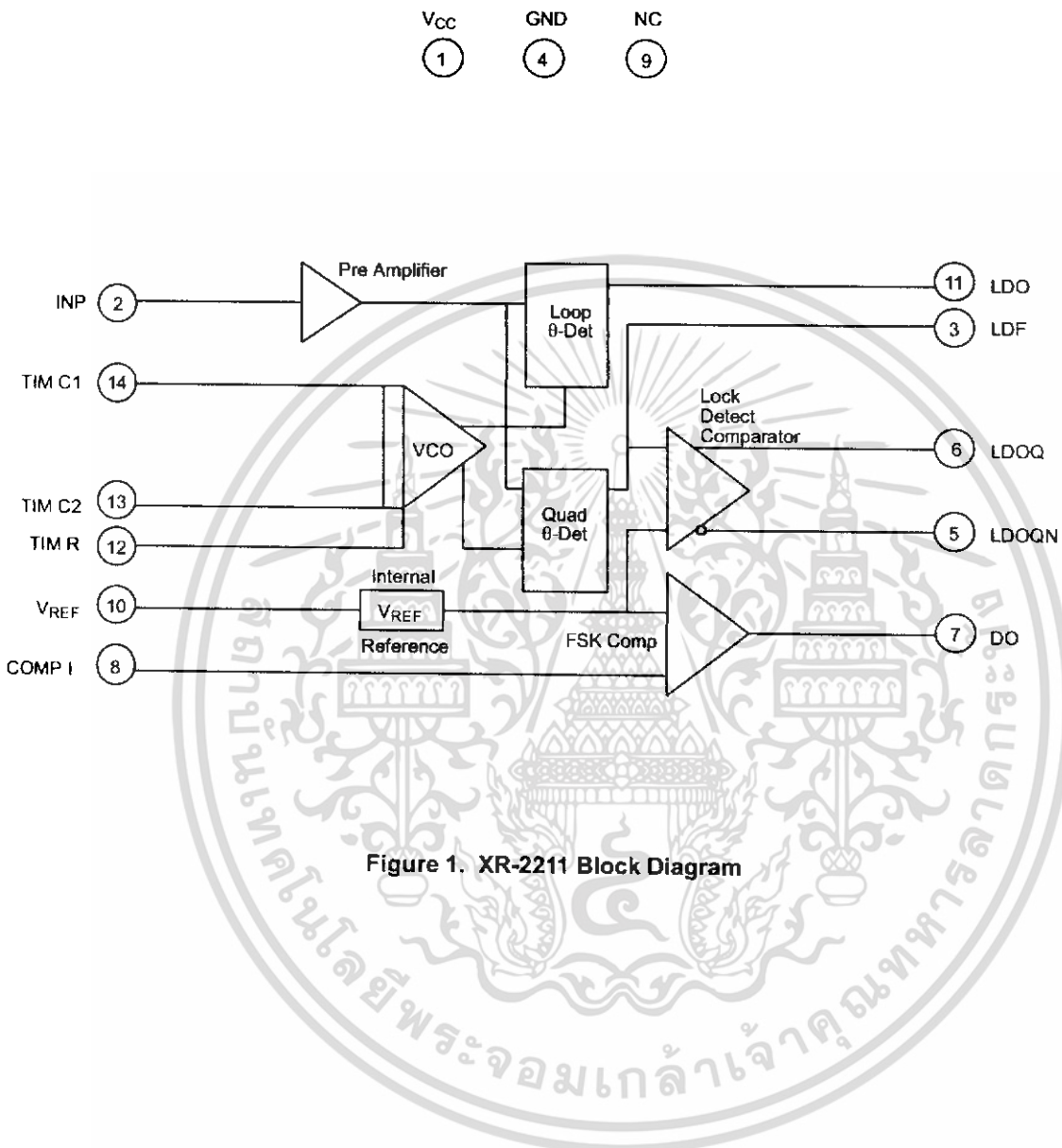
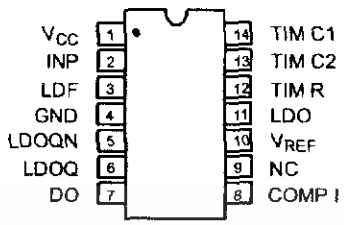


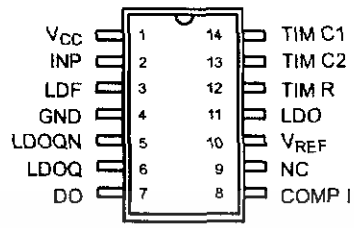
Figure 1. XR-2211 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: V_{CC} = 12V, T_A = +25°C, R_O = 30KΩ, C_O = 0.033μF, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
General					
Supply Voltage	**4.5**		**20**	V	
Supply Current		4	**7**	mA	$R_0 \geq$ 10KΩ. See *Figure 4.*
Oscillator Section					
Frequency Accuracy		±1	**±3**	%	Deviation from $f_O = 1/R_0 C_0$
Frequency Stability					
Temperature		±20	**±50**	ppm/°C	See *Figure 8.*
Power Supply		0.05	**0.5**	%/V	V_{CC} = 12 ±1V. See *Figure 7.*
		0.2		%/V	V_{CC} = ± 5V. See *Figure 7.*
Upper Frequency Limit	**100**	300		kHz	R_0 = 8.2KΩ, C_0 = 400pF
Lowest Practical Operating Frequency			0.01	Hz	R_0 = 2MΩ, C_0 = 50μF
Timing Resistor, R_0 - See *Figure 5*					
Operating Range	**5**		2000	KΩ	
Recommended Range	5			KΩ	See *Figure 7* and *Figure 8.*
Loop Phase Dectector Section					
Peak Output Current	**±150**	±200	**±300**	μA	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		μA	
Output Impedance		1		MΩ	
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		MΩ	
Maximum Swing		11		V_{PP}	
Input Preampt Section					Measured at Pin 2
Input Impedance		20		KΩ	
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.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Test Conditions: V_{CC} = 12V, T_A = +25°C, R_O = 30KΩ, C_O = 0.033µF, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Voltage Comparator Section					
Input Impedance		2		MΩ	Measured at Pins 3 and 8
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain	55	70		dB	R_L = 5.1KΩ
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
Input Signal Level ..... 3V rms
Power Dissipation 900mW

Package Power Dissipation Ratings
CDIP 750mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 8mW/°C
PDIP 800mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 60mW/°C
SOIC 390mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 5mW/°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_0) 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).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้