สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไร้สาย

THE CONTROL WIRELESS SYSTEM OF ELECTRIC EQUIPMENTS

T104364

โดย

นายสุรศักดิ์ นริศราวุธ

นายกรัณย์ ศรัณยวณิชย์

นายณวพล โห้กุ่ย

นายธิติวัฒน์ ศักดิ์ชัยปัญญากุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104364
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม
ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว
ผู้ตรวจ
(ลงชื่อ).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไร้สาย

THE CONTROL WIRELESS SYSTEM OF ELECTRIC EQUIPMENTS

โดย

นายสุรศักดิ์ นริศราวุธ 47012034

นายกรัณย์ ศรัณยวณิชย์ 48012002

นายณวพล โห้กุ่ย 48012013

นายธิติวัฒน์ ศักดิ์ชัยปัญญากุล 48012021

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

ดร.สิรภพ ตู้ประกาย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไร้สาย**

THE CONTROL WIRELESS SYSTEM OF ELECTRIC EQUIPMENTS

ผู้จัดทำ

1.นายสุรศักดิ์ นริศราวุธ 47012034

2.นายกรัณย์ ศรัณยวณิชย์ 48012002

3.นายณวพล โห่กุ่ย 48012013

4.นายธิติวัฒน์ ศักดิ์ชัยปัญญากุล 48012021

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สิรภพ ตู้ประกาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไร้สาย

THE CONTROL WIRELESS SYSTEM OF ELECTRIC EQUIPMENTS

โดย นายสุรศักดิ์ นริศราวุธ 47012034

นายกรัณย์ ศรัณยวณิชย์ 48012002

นายณวพล โห้กุ่ย 48012013

นายธิติวัฒน์ ศักดิ์ชัยปัญญากุล 48012021

อาจารย์ที่ปรึกษา (รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา (ดร.สิรภพ ตู้ประกาย)

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอเครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยนำเอาเทคโนโลยีของสัญญาณ wireless จากโมดูล Zigbee 2.4 GHz มาประยุกต์ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้ computer ส่งคำสั่งให้โมดูล Zigbee ฝั่งส่ง และส่งต่อคำสั่งให้โมดูล Zigbee ฝั่งรับ เพื่อทำการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านรีเลย์สวิตซ์ เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สายเหมาะสำหรับใช้งานภายในบ้านหรืออาคารสำนักงาน

ABSTRACT

This project presents the control wireless system of electric equipments. Supplying the wireless technology from Zigbee module 2.4 GHz to transfer the control data from the computer to Zigbee module transmitter. The command transit to Zigbee module receiver. The microcontroller received command to control the electric equipments by relay switch. The control wireless system of electric equipments are suitable for home or office.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 โมดูล XBee – PRO	3
2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิค	4
2.1.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูล	4
2.1.3 การจัดขาของโมดูล XBee-PRO และฟังก์ชั่นในการทำงาน	4
2.1.4 รีจิสเตอร์ที่สำคัญของโมดูล XBee-PRO	6
2.1.5 การใช้งานโมดูล XBee-PRO	7
2.1.6 คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งาน	7
2.1.7 การเชื่อมต่อโมลดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์	8
2.1.8 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับ ไมโครคอมโทรลเลอร์	9
2.1.9 การกำหนดค่าให้กับโมดูล XBee-PRO	10
2.2 มาตรฐานของ IEEE	17
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	18
2.3.1 คุณสมบัติของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89CX051	18
2.3.2 หน้าที่แต่ละขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89CX051	20
2.3.3 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ AT89CX051	21
2.3.4 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	22
2.3.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	22
2.3.6 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	24
2.3.7 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	25
2.3.8 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	28
2.3.9 การกำหนดค่าของไทเมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด	29
2.4 การเชื่อต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	30
2.5 ไอซี MAX 232	31
2.5.1 การสื่อสารพอร์ตอนุกรม RS-232	31
2.5.2 มาตรฐาน RS-232	32
2.5.3 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE	33
2.6 หลักการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่3 การออกแบบและการสร้าง	36
3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน	36
3.2 การสร้างอุปกรณ์รับ -ส่งข้อมูลไร้สาย	37
3.2.1 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์	37
3.2.2 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	38
3.3 การสร้างอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า	39
3.3.1 วงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	39
3.3.2 วงจรควบคุมการจ่ายไฟ	39
3.3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	42
บทที่4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	43
4.1 การทดสอบและตั้งค่าโมดูล XBee-PRO	43
4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบ	43
4.2 การทดลองไมโครคอนโทลเลอร์ที่ขา P1.2	47
4.2.1 กรณีส่งคำสั่ง 1 จากคอมพิวเตอร์ออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์	47
4.2.2 กรณีส่งคำสั่ง Q จากคอมพิวเตอร์ออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์	49
4.3 การทดลองวงจรควบคุมการจ่ายไฟและวงจร detect	50
4.3.1 กรณีรีเลย์ทำงาน เมื่อจ่ายไฟ 0v เข้าที่ขารีเลย์ OUTPUT	51
4.3.2 กรณีรีเลย์ไม่ทำงาน เมื่อจ่ายไฟ 5v ให้กับขารีเลย์ OUTPUT	52
4.4 การทดลองการรับ – ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า	53
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง	57
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการทำงานของขาโมดูล XBee-PRO	5
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละหมายเลขในตระกูล MCS-51	19
ตารางที่ 2.3 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล	23
ตารางที่ 2.4 แสดงรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม	24
ตารางที่ 2.5 แสดงการเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	28
ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 มาตรฐาน RS-232	33
ตารางที่ 4.1 แสดงระยะทางในการรับส่งสัญญาณ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมการทำงานของโครงงาน	2
รูปที่ 2.1 แสดงการจัดขาโมดูล XBee-PRO	6
รูปที่ 2.2 แสดงการลดแรงดันที่ขาพอร์ต	7
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับ คอมพิวเตอร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรจ่ายไฟเลี้ยง 3.3 V	9
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับไมโครคอนโทรลเลอร์	9
รูปที่ 2.6 แสดงหน้าต่างการเชื่อมต่อโปรแกรม X-CTU	10
รูปที่ 2.7 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลฮาร์ดแวร์	11
รูปที่ 2.8 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของโมดูล XBee-PRO	12
รูปที่ 2.9 แสดงการกำหนดอัตราบอดให้โมดูล XBee-PRO	13
รูปที่ 2.10 แสดงการกำหนดค่าในหัวข้อ Network & Security	14
รูปที่ 2.11 แสดงการเขียนค่าที่กำหนดลงในโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 1	15
รูปที่ 2.12 แสดงการเขียนค่าที่กำหนดในโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 2	16
รูปที่ 2.13 แสดงไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ATMEL แบบแฟลชขนาด 20 ขา	18
รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะตัวถังและตำแหน่งขาของไอซี AT89C2051	20
รูปที่ 2.15 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89CX051	21
รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	22
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรเชื่อต่อ MAX232 กับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	31
รูปที่ 2.18 แสดงไอซี MAX 232	32
รูปที่ 2.19 แสดงคอนเน็กเตอร์ 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)	32
รูปที่ 2.20 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ Null modem	33
รูปที่ 2.21 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณ 3 เส้น	34
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน	36
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์	37
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับไมโครคอนโทรลเลอร์	38
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	39
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟ	40
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟผ่านพอร์ตอนุกรม	41
รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกการทำงานของโปรแกรม	42
รูปที่ 4.1 แสดงแรงดันไฟที่จ่ายให้กับบอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์	43
รูปที่ 4.2 แสดงแรงดันไฟเลี้ยงของโมดูล XBee-PRO	43
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณค่า 0 ที่ได้จากโมดูลตัวส่ง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณค่า 0 ที่ได้จากโมดูลตัวรับ	44
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณค่า 1 ที่ได้จากโมดูลตัวส่ง	45
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณค่า 1 ที่ได้จากโมดูลตัวรับ	45
รูปที่ 4.7 แสดงสเปคตรัมความถี่ของสัญญาณ	46
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์	47
รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันที่ขา P1.2 เมื่อคำสั่งเป็น 1	47
รูปที่ 4.10 แสดงแรงดันที่ขา output เมื่อคำสั่งเป็น 1	48
รูปที่ 4.11 แสดงสถานะไฟสว่างที่ LED เมื่อคำสั่งเป็น 1	48
รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันที่ขา P1.2 เมื่อคำสั่งเป็น Q	49
รูปที่ 4.13 แสดงแรงดันที่ขา output เมื่อคำสั่งเป็น Q	49
รูปที่ 4.14 แสดงสถานะ LED ดับเมื่อคำสั่งเป็น Q	50
รูปที่ 4.15 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟและวงจร detect	50
รูปที่ 4.16 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 ของ IC 4N25 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น ON	51
รูปที่ 4.17 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น ON	51
รูปที่ 4.18 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 ของ IC 4N25 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น OFF	52
รูปที่ 4.19 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น OFF	52
รูปที่ 4.20 แสดงโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์	53
รูปที่ 4.21 แสดงการเชื่อมต่อโปรแกรมกับ Serial port	53
รูปที่ 4.22 แสดงการกดเปิดอุปกรณ์	54
รูปที่ 4.23 แสดงการกดปิดอุปกรณ์	54
รูปที่ 4.24 แสดงการตั้งเวลาเปิดอุปกรณ์	55
รูปที่ 4.25 แสดงการตั้งเวลาปิดอุปกรณ์	55
รูปที่ 4.26 แสดงการสว่างของหลอดไฟ และ LED เมื่อทำการกด ON หรือตั้งเวลาเปิด	56
รูปที่ 4.27 แสดงสถานะหลอดไฟ และ LED เมื่อทำการกด OFF หรือ ตั้งเวลาปิด	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

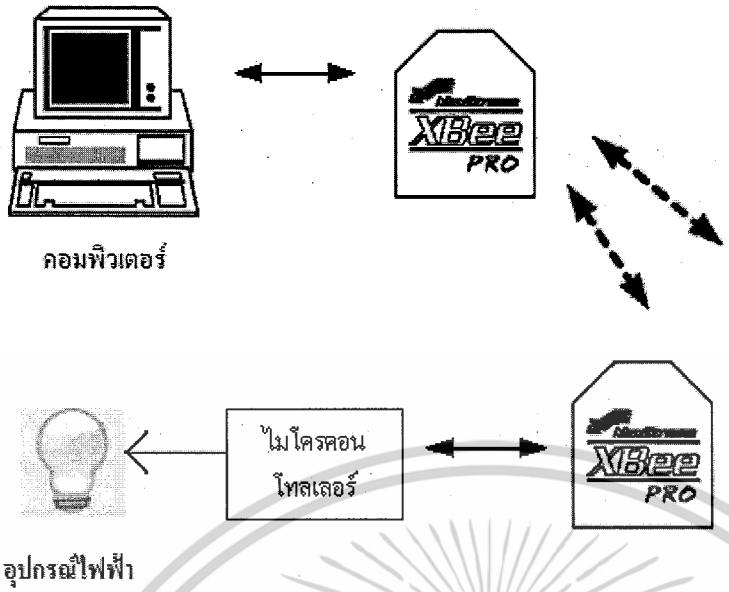
บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless Telecommunication) มีมากมายหลายรูปแบบเช่น GSM, CDMA, วิทยุย่าน 27 MHz และ 433 MHz, Wireless Lan, Wifi, WiMax ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นและเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น จะเห็นได้จากการใช้โทรศัพท์มือถือ การใช้รีโมทคอนโทรล สำหรับในสมัยก่อนการจะทำเครื่องส่งเครื่องรับต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ซึ่งจะสามารถออกแบบวงจรเครื่องส่งเครื่องรับมีหน้าที่ทำการ Matching สายอากาศ, การออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ต่างๆ แต่ปัจจุบันมี IC RF ที่ Integrated รวมเอาภาคการออกแบบของ RF Engineer เข้าไปหลายส่วน ทำให้ง่ายในระดับที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ก็สามารถสร้างวงจรส่งรับได้ สาเหตุที่ต้องใช้การทำงานแบบไร้สายก็เพื่อที่จะได้ความสะดวกสบาย มีความคล่องตัวในการติดต่อและควบคุมงานต่างๆมากยิ่งขึ้น งานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีความเกี่ยวข้องกับการสื่อสารทั้งสิ้น เช่น การสร้างเครือข่ายของระบบหนึ่งๆ , การติดต่อสื่อสารใช้งานอุปกรณ์ RF Module และที่คุ้นเคยกันดีก็คือการสื่อสารเพื่อใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆผ่าน Interface ต่างๆเช่น RS232 (UART), SPI, I2C, CAN, RS485, Ethernet, LAN, TCP/IP, USB โดยส่วนมากการทำงานของระบบไร้สายนี้สามารถส่งผ่านคลื่นต่างๆได้มากมายไม่ว่าจะเป็น คลื่นโทรศัพท์ คลื่นโทรทัศน์ ซึ่งคลื่นที่ว่านี้บางทีอาจยังไม่ปิดกว้างที่จะนำมาใช้ควบคุมงานด้านระบบไฟฟ้า แต่ถ้าใช้คลื่นวิทยุมาใช้ในการควบคุมเราจะสามารถส่งคลื่นในระยะที่ไกลๆได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งข้อดีเมื่อนำมาใช้ควบคุมการควบคุมแบบไร้สายจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายของสายและลดความเสี่ยงของงานที่มีความอันตราย เพื่อที่จะทำให้ผู้ควบคุมงานมีความปลอดภัยได้เป็นอย่างมาก ง่ายต่อการติดตั้งและการเชื่อมโยงข้อมูลไร้สายยังสามารถแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่ความถี่เดียวกันได้ สามารถเปลี่ยนแปลงเคลื่อนย้ายจุดรับส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา

โครงงานนี้เป็นการสร้างระบบที่นำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการสั่งงานการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สายผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยให้คอมพิวเตอร์ติดต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางตัวรับส่งสัญญาณไร้สาย ไปควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านรีเลย์สวิตช์ เพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมการทำงานของโครงงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อสามารถสร้างอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟแบบไร้สาย
- เพื่อศึกษาการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย

1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนแรกจะกล่าวถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ในบทที่ 2 จะเป็นการแนะนำคุณสมบัติทางเทคนิค หลักการของระบบในโมดูล Xbee – PRO และไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำความเข้าใจระบบ ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรต่างๆ ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง ในบทที่ 5 จะเป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โมดูล XBee – PRO

Xbee เป็นอุปกรณ์ที่มี RF IC อยู่ภายในทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่ายมี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ เรานำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ Xbee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย Xbee สามารถใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee ได้โดยที่ท่านไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่าย Zigbee เลยเพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว Xbee ให้เราสามารถ set parameter ผ่าน software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง), ผ่านทาง At command (เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set Xbee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee แล้วเราจะเรียก Xbee แต่ละตัวว่าเป็น Node Xbee จะมีอยู่ 2 รุ่น คือรุ่น series1 (รุ่น 802.15.4 หรือรุ่น point to multipoint) และรุ่น series 2 (รุ่น ZNET2.5 หรือรุ่น ZB หรือรุ่น Mesh) และยังมีขนาด power ให้เลือกอีก 2 แบบคือ แบบธรรมดา (1 mw – 2 mw) และแบบ PRO (50mw - 60 mw) ซึ่งจะมีผลเรื่องระยะทางการรับส่งข้อมูล โดยแต่ละ series นั้น สามารถเครือข่ายได้หลายแบบแต่จะมีเพียงแต่ series 2 เท่านั้นที่จะทำเครือข่ายแบบ mesh ได้ ซึ่งยังมีรายละเอียดปลีกย่อยในเรื่องของความแตกต่างในแต่ละ series

ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักสำคัญของย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้น ต้องตั้งแบบ line of sight (ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ) ถึงจะได้กำลังส่งสูงสุด สำหรับกำลังส่งของ Xbee ในรุ่น Pro จะใช้ 50-60 mw ใน datasheet บอกว่าได้ไกลถึง 1.5 km. แต่ก็ต้องเป็นลักษณะของ line of sight หากไม่ใช่เงื่อนไขนี้เราจะได้ระยะการรับส่งสัญญาณที่ลดลง นอกเหนือจากเรื่อง line of sight แล้วยังมีเรื่องสัญญาณรบกวนต่างๆ (Interference) ตัว Xbee มีสายอากาศให้เลือกที่เป็นแบบสำเร็จรูปพร้อมใช้ ไม่ต้องหาสายอากาศมาต่อเพิ่มคือ สายอากาศแบบ chip ant และ whip ant โดย Chip ant นั้นมีข้อดีตรงที่มันทำให้ขนาด Dimension รวมมันเล็กลงแต่ Gain น้อยกว่าแบบ Whip ant Chip ant จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลงจาก spec ใน datasheet ยกตัวอย่างเช่น รุ่น Pro ที่บอกว่าสามารถส่งได้ไกลสูงสุด 1.5 km แบบ line of sight แต่ถ้าเราเลือก chip ant แล้วจะได้ระยะสูงสุดอยู่ที่ 500 กว่าเมตร Maxstream ได้พัฒนา Xbee รุ่นย่านความถี่ 900 Mhz แล้วซึ่งเป็นรุ่นใหม่ล่าสุดสามารถส่งได้ไกล 27 km. แต่ว่าซื้อมาใช้ในประเทศไทยไม่ได้ กทช.ไม่อนุญาตเนื่องจากเป็นย่านของกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเครือข่าย Zigbee มีการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน ในช่วงเวลาที่ไม่มีการทำงานรับส่งข้อมูล ตัว Xbee จะสามารถกำหนดค่าประจำตัวอ้างอิงของมัน (Address) 2 แบบคือ แบบ 16 bit address และ 64 bit address ปกติแล้ว Xbee ทุกตัวจะถูกกำหนดค่ามาจากโรงงานเป็น Address 64 bit อยู่แล้ว โดยจะเรียกเป็น mode การทำงาน 2 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Unicast Mode คือการรับส่งข้อมูลโดยอาศัยหลักการ Acknowledgement คือหากทางด้านส่งนั้นส่งข้อมูลไปแต่ไม่ได้รับ Ack ตอบกลับจากตัวรับก็จะทำการส่งข้อมูลใหม่

2. Broadcast Mode คือการส่งข้อมูลไปยังปลายทางให้ได้รับข้อมูลทุกตัว

2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิค

- ความถี่ในการทำงาน : 2.4 GHz
- สายอากาศ : มีสายอากาศแบบ Whip
- ระยะทำการในร่ม : สูงสุด 300 ฟุตหรือประมาณ 100 เมตร
- ระยะทำการกลางแจ้ง (แบบ line-of –sight) : สูงสุดถึง 1 ไมล์ หรือประมาณ 1,500 เมตร

กำลังส่ง : 60 mW (18dBm)

- ความไวในการรับสัญญาณ : -100 dBm (1% packet error rate)
- การทำงานของขาพอร์ต : สามารถกำหนดผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU เพื่อให้ทำงานเป็น
  - อินพุตอนาล็อกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลความละเอียด10 บิต
  - อินพุตเอาต์พุตดิจิตอล
- ขนาด : 0.96 x 1.297 นิ้วหรือ 2.438 x 3.294 เซนติเมตร
- ไฟเลี้ยง : 2.8 ถึง 3.4 V
- กระแสไฟฟ้า : เมื่อส่งข้อมูล 215 mA รับข้อมูล 55 mA น้อยกว่า 10 uA ในโหมดลดพลังงาน
- อุณหภูมิใช้งาน : -40 ถึง 85 C

2.1.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูล

- สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟได้
- อัตราถ่ายทอดข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ : 250,000 บิตต่อวินาที
- อัตราการถ่ายทอดข้อมูลอนุกรม (บอดเรต) : 1,200 ถึง 115,200 บิตต่อวินาที
- รูปแบบโครงข่ายข้อมูลที่รองรับ : จุดต่อจุด (point-to-point), จุดต่อหลายจุด (point-to-multipoint) และเข้ากันได้กับอุปกรณ์ตามมาตรฐานรหัส 802.15.4
- ทางเลือกแอดเดรส : PAN ID, ช่อง (Channel) และแอดเดรส (Address) สำหรับแอดเดรสสามารถกำหนดรหัสแอดเดรสได้มากถึง 65,000 รหัส
- เทคโนโลยีในการกระจายคลื่น : DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- รองรับการทำงานทั้งแบบ API และ AT command สามารถกำหนดได้ผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU

2.1.3 การจัดขาของโมดูล XBee-PRO และฟังก์ชั่นในการทำงาน

โมดูล XBee-PRO ประกอบด้วยขาทั้งหมด 20 ขาด้วยกัน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงรายละเอียดการทำงานของแต่ละขาของโมดูล XBee-PRO

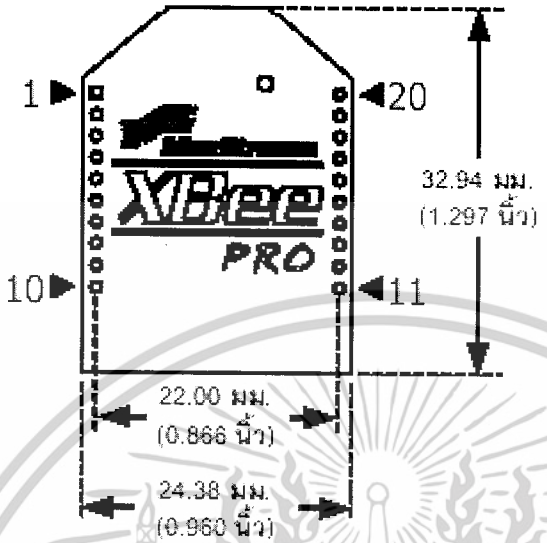
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาที่	ชื่อขา/การทำงาน
1	Vcc : ขาต่อไฟเลี้ยง +3.3 V
2	DOUT : ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม
3	DIN : ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม
4	DO8 : ขาเอาต์พุตดิจิตอลช่อง 8
5	RESET : ขารีเซตหลัก (แอกตีฟ 0)
6	PWM0/RSSI : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงความแรงของการรับสัญญาณ
7	PWM1 : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1
8	ไม่ใช้งาน
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8 : ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดทำงานเข้าสู่โหมดสลีปหรือเป็นขาอินพุตดิจิตอลช่อง 8
10	GND : ขาต่อกราวด์
11	AD4/DIO4 : ขาอินพุตอนาล็อก 4 หรืออินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 4
12	CTS/DIO7 : อินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (clear-to-send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูลหรือเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 7
13	ON/SLEEP : ขาแสดงสถานะการทำงาน “1” : อยู่ในโหมดทำงานปกติ “0” : อยู่ในโหมดสลีป
14	VREF:ขาต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายในXBee-PRO
15	Associated/AD5/DIO5 : ขาแสดงสถานะการเชื่อมต่อหรือขาอินพุตอนาล็อก 5 หรือขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 5
16	RTS/AD6/DIO6 : ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล (Ready-to-Send) ใช้ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูลหรือเป็นขาอินพุตอนาล็อก 6 หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 6
17	AD3/DIO3 : ขาอินพุตอนาล็อก 3 หรือขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 3
18	AD2/DIO2 : ขาอินพุตอนาล็อก 2 หรือขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 2
19	AD1/DIO1 : ขาอินพุตอนาล็อก 1 หรือขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 1
20	AD0/DIO0 : ขาอินพุตอนาล็อก 0 หรือขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 0

ตารางที่ 2.1 แสดงการทำงานของขาโมดูล XBee-PRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานโมดูล XBee-PRO จะต้องใช้งานขาโมดูลให้ถูกต้องดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากถ้าใช้งานโมดูล XBee-PRO ผิดด้านอาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับโมดูลทันทีเมื่อจ่ายไฟ



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดขาโมดูล XBee-PRO

2.1.4 รีจิสเตอร์ที่สำคัญของโมดูล XBee-PRO

การส่งข้อมูลและควบคุมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์กับโมดูล XBee-PRO นั้นจะใช้การสื่อสารแบบอนุกรม UART ซึ่งโมดูล XBee-PRO สามารถใช้ความเร็วในการส่งข้อมูล (Baud rate) ได้ตั้งแต่ 1,200 จนถึง 115,200 บิตต่อวินาที (bps : bit per second) โดยค่าที่กำหนดเป็นค่าเริ่มต้นคือ 9,600 บิตต่อวินาที และสามารถเปลี่ยนความเร็วในการส่งข้อมูลได้ที่รีจีสเตอร์ BD

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล XBee-PRO สามารถจัดเครือข่ายได้หลายรูปแบบโดยการแยกช่องสัญญาณและเครือข่าย รีจีสเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดการเกี่ยวกับเครือข่ายมีดังนี้

1. รีจีสเตอร์ CH (Channel) ใช้กำหนดช่องสัญญาณเลือกได้ตั้งแต่ช่องที่ 0x0C ถึง 0x17 แต่ละช่องไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามช่องสัญญาณกันได้

2. รีจีสเตอร์ ID (PAN ID / Personal Area Network ID) ใช้กำหนดหมายเลขเครือข่ายเลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 จนถึง 0xFFFE โดยแต่ละเครือข่ายจะไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายได้ ยกเว้นกำหนดด้วยค่า 0xFFFF จะสามารถส่งข้อมูลไปทุกเครือข่ายได้แต่จะไม่สามารถรับข้อมูลจากเครือข่ายอื่นได้

3. รีจีสเตอร์ MY (16-bit Source Address) ใช้กำหนดแอดเดรส 16 บิตของแต่ละโมดูลเลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 ถึง 0xFFFD และสามารถยกเลิกแอดเดรส 16 บิตนี้เพื่อไปใช้แอดเดรสขนาด 64 บิตที่รีจีสเตอร์ SH และ SL แทนได้เพื่อขยายให้มีจำนวนโมดูลลูกข่ายได้มากขึ้น โดยกำหนด MY เป็น 0xFFFE และ 0xFFFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รีจีสเตอร์ SH และ SL (serial Number High / Low) เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าหมายเลขเฉพาะ หรือ Serial number ของแต่ละโมดูล สามารถใช้เป็นแอดเดรส 64 บิต (SH รวมกับ SL) โดยต้องยกเลิกแอดเดรส 16 บิตที่รีจิสเตอร์ MY ก่อน ค่าในรีจิสเตอร์ SH และ SL ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

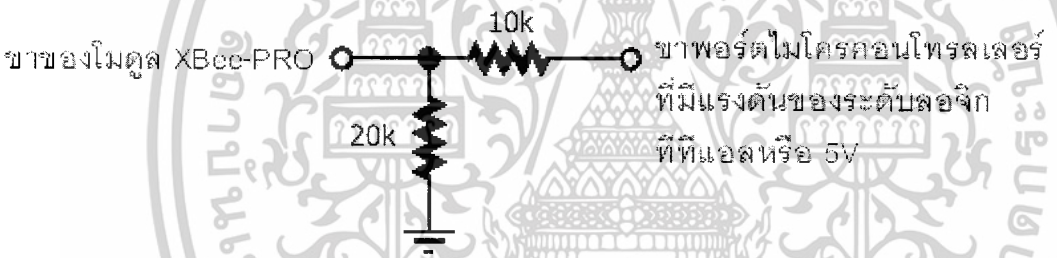
5. รีจิสเตอร์ DH และ DL (Destination Address High/Low) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวรับ

5.1 ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจิสเตอร์ MY (แอดเดรส 16 บิต) ให้กำหนดค่าของรีจิสเตอร์ DH เป็น 0x0000 และ DL เป็นค่า MY ของโมดูลตัวรับ

5.2 ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจิสเตอร์ SH ร่วมกับ SL (แอดเดรส 64 บิต) ให้กำหนดค่าของรีจิสเตอร์ DH เป็นค่าของ SH และค่าของรีจิสเตอร์ DL เป็นค่าของ SL ของโมดูลตัวรับ

2.1.5 การใช้งานโมดูล XBee-PRO

XBee-PRO ต้องการไฟเลี้ยงในย่าน 2.8 ถึง 3.4 V และขาสัญญาณทั้งหมดทำงานในระบบบัส 3 V ดังนั้นหากนำไปเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์ภายนอกที่ใช้ระบบบัส 5 V จะต้องมีการลดแรงดันที่ขาพอร์ตลง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการลดแรงดันที่ขาพอร์ต

2.1.6 คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งาน

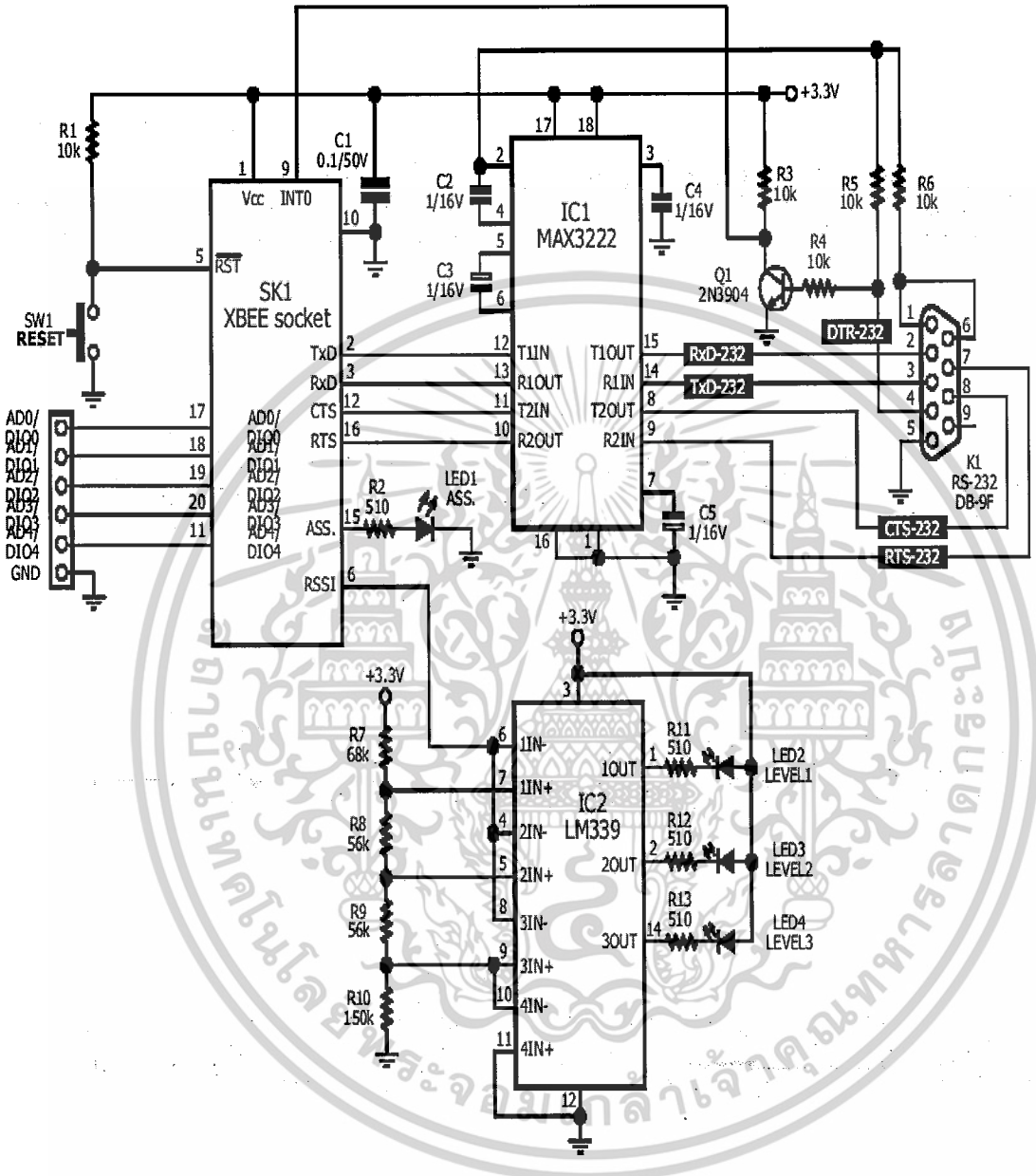
สำหรับคอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการกำหนดค่าของ XBee-PRO นั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ซีพียูความเร็ว 500 MHz ขึ้นไป
- หน่วยความจำแรม 256 MB
- ฮาร์ดดิสก์มีเนื้อที่ว่าง 100 MB เป็นอย่างน้อย
- ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP เซอร์วิสแพ็ก 2
- มีพอร์ตอนุกรมว่างอย่างน้อย 1 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์

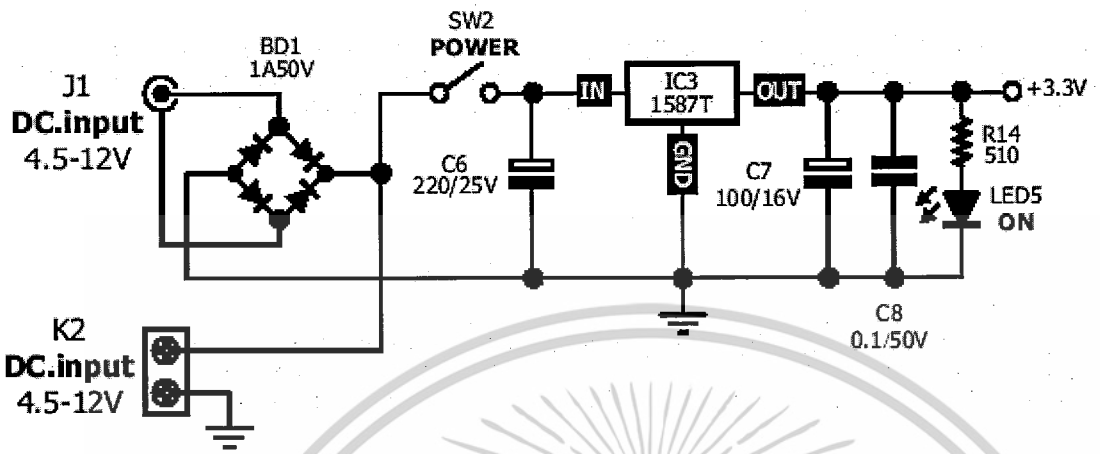
โมดูล XBee-PRO ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต RS-232 ผ่าน IC MAX3222 ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

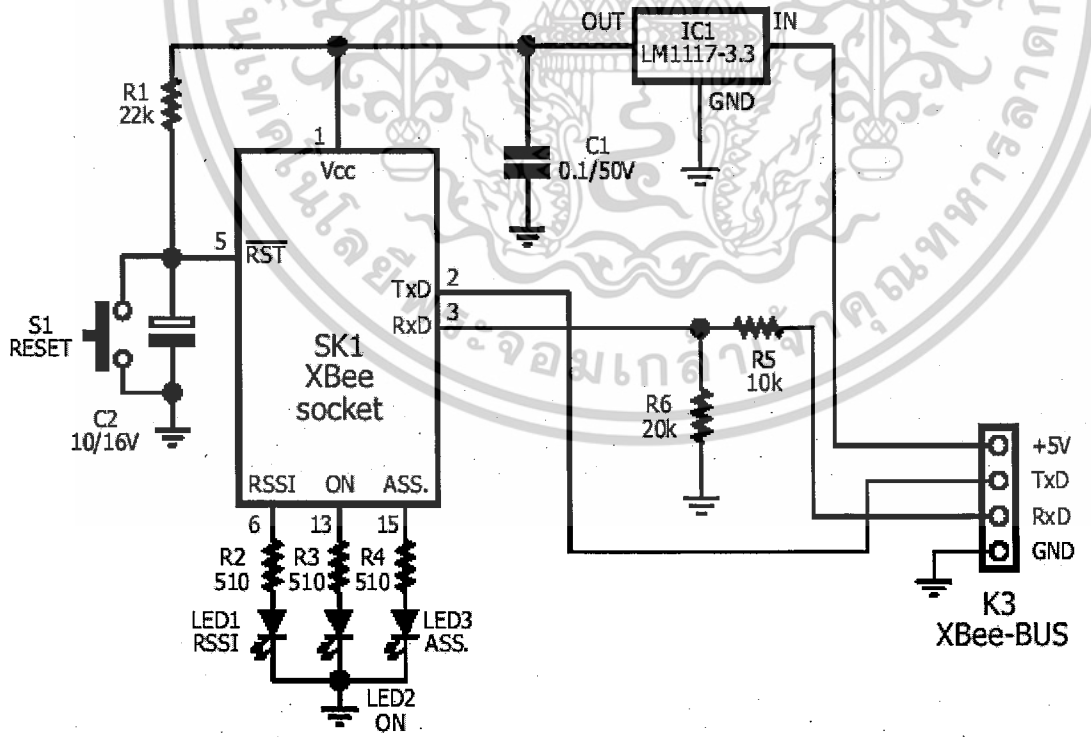
เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟ 6 V ไม่สามารถจ่ายให้กับโมดูล XBee-PRO ได้โดยตรงจึงต้องมีการลดแรงดันลงให้เหลือ 3.3 V ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรจ่ายไฟเลี้ยง 3.3 V

2.1.8 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับ ไมโครคอมโทรลเลอร์

เนื่องจากไมโครคอนโทลเลอร์ใช้ไฟเลี้ยง 5 V ก่อนที่จะเชื่อมต่อกับโมดูล XBee-PRO ต้องมีการลดแรงดันลอจิกก่อน ดังรูปที่ 2.5

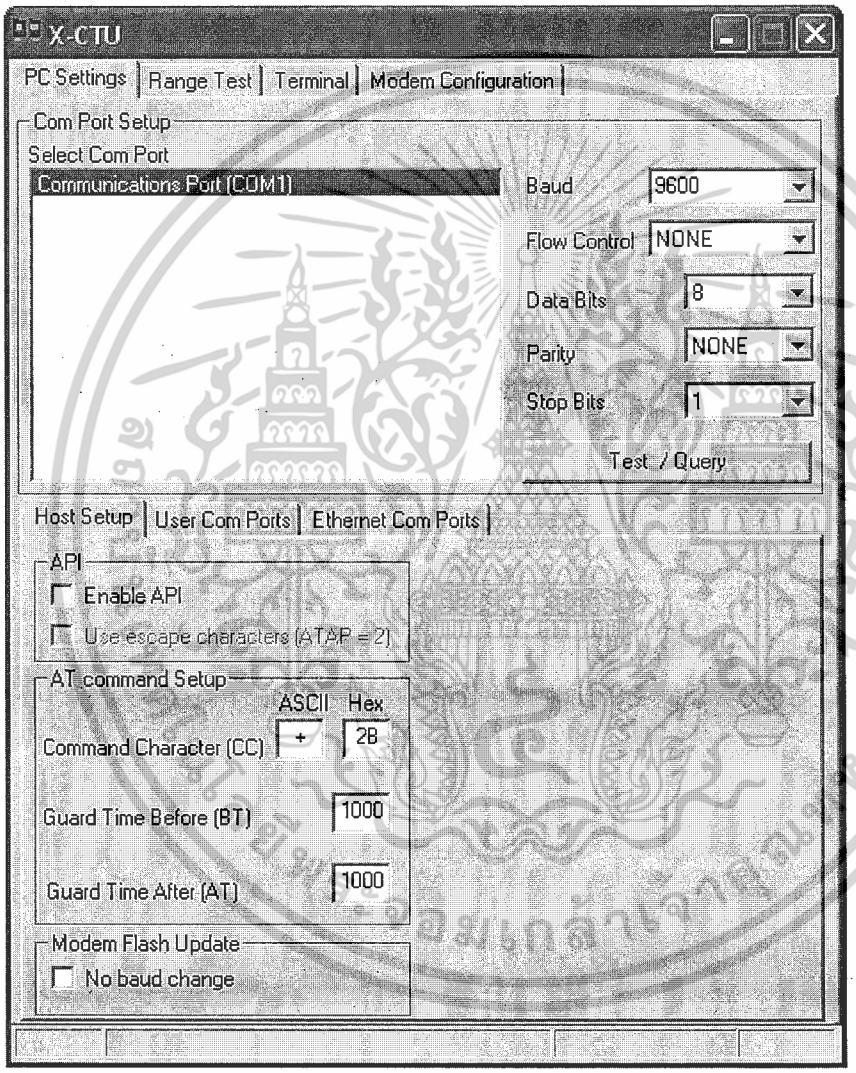


รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การกำหนดค่าให้กับโมดูล XBee-PRO

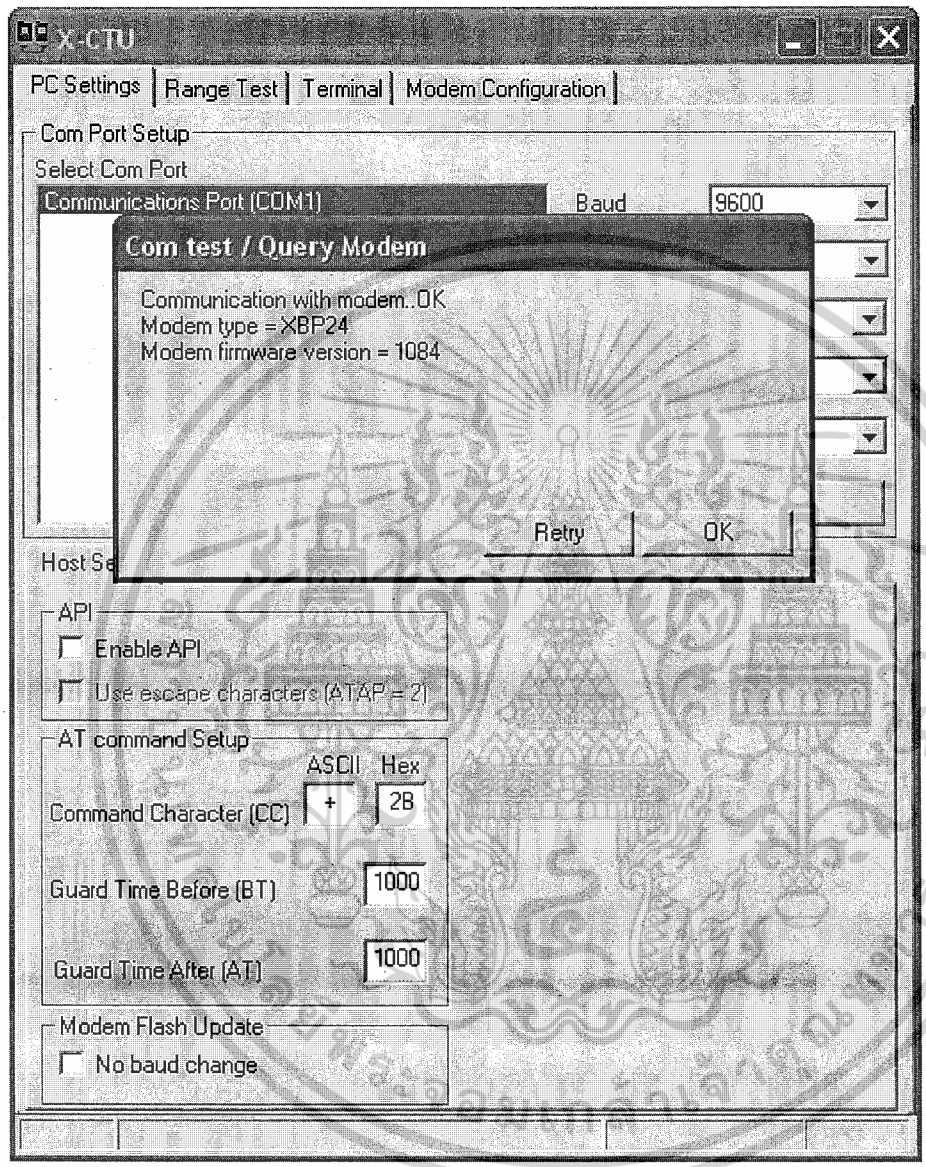
- ติดตั้งโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 1 (สำหรับเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทลเลอร์) ลงในบอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
- เปิดโปรแกรม X-CTU จากคอมพิวเตอร์จะปรากฏหน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 2.6 ทำการเลือกพอร์ตที่ทำการเชื่อมต่อ เลือกอัตราบอด (Baurate) เป็น 9600 DATA 8 บิต Parity ไม่มีการตรวจสอบ และ Stop Bit เป็น 1 บิต



รูปที่ 2.6 แสดงหน้าต่างการเชื่อมต่อโปรแกรม X-CTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

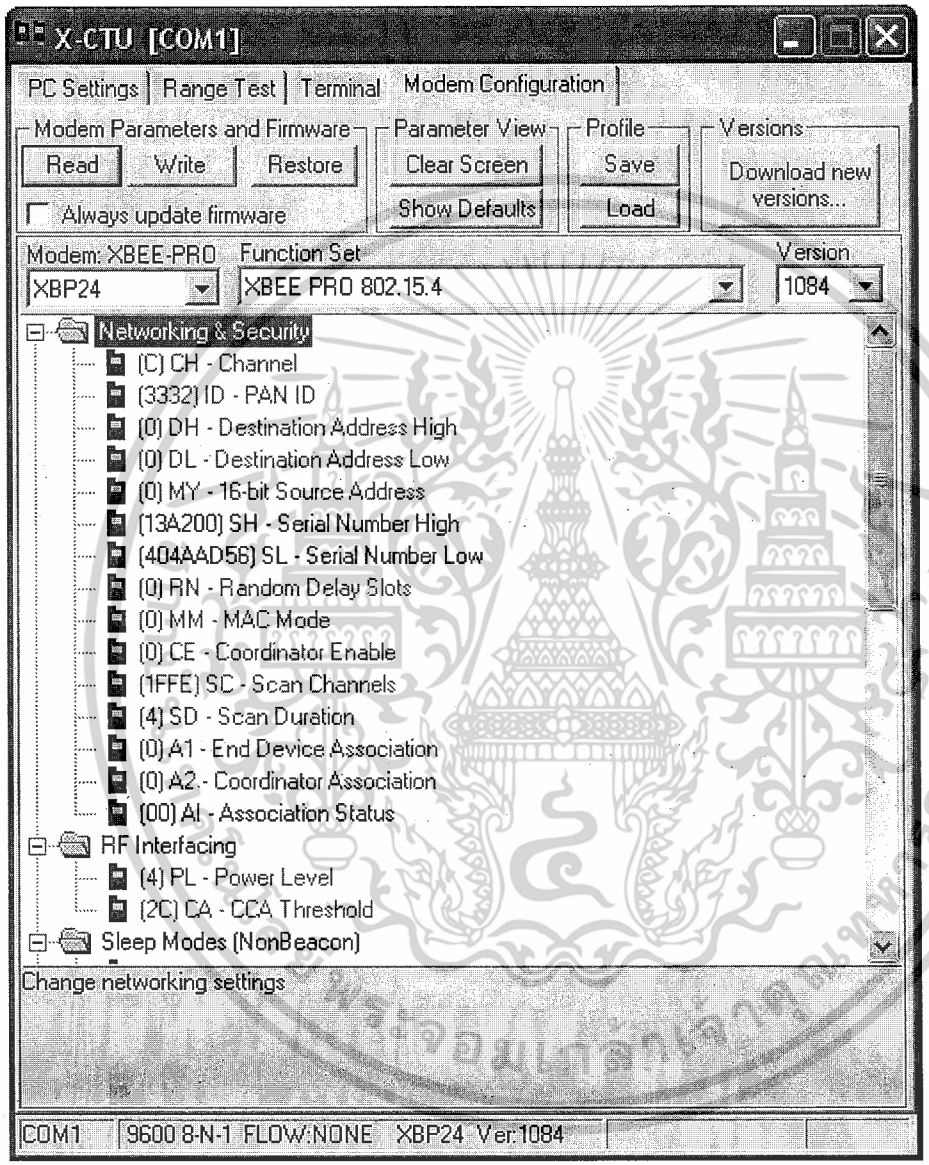
- กดปุ่ม Test เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่างโมดูล XBee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อกันได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์เบื้องต้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

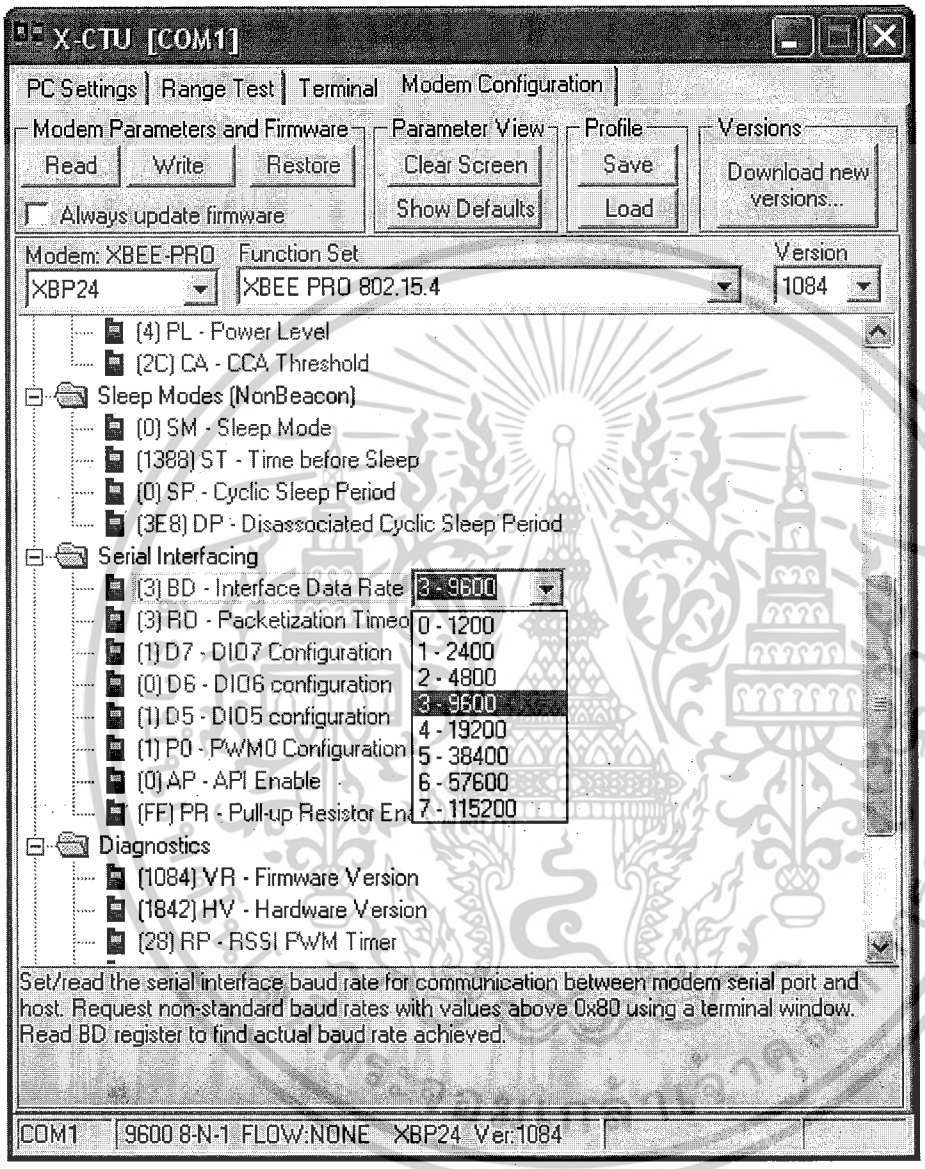
- เลือกแท็ป Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ในกรอบ Modem Parameters and Firmware จะปรากฏข้อมูลชื่อรุ่นของโมดูล XBee-PRO ชื่อฟังก์ชั่น หมายเลขเวอร์ชั่นของเฟิร์มแวร์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของโมดูล XBee-PRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

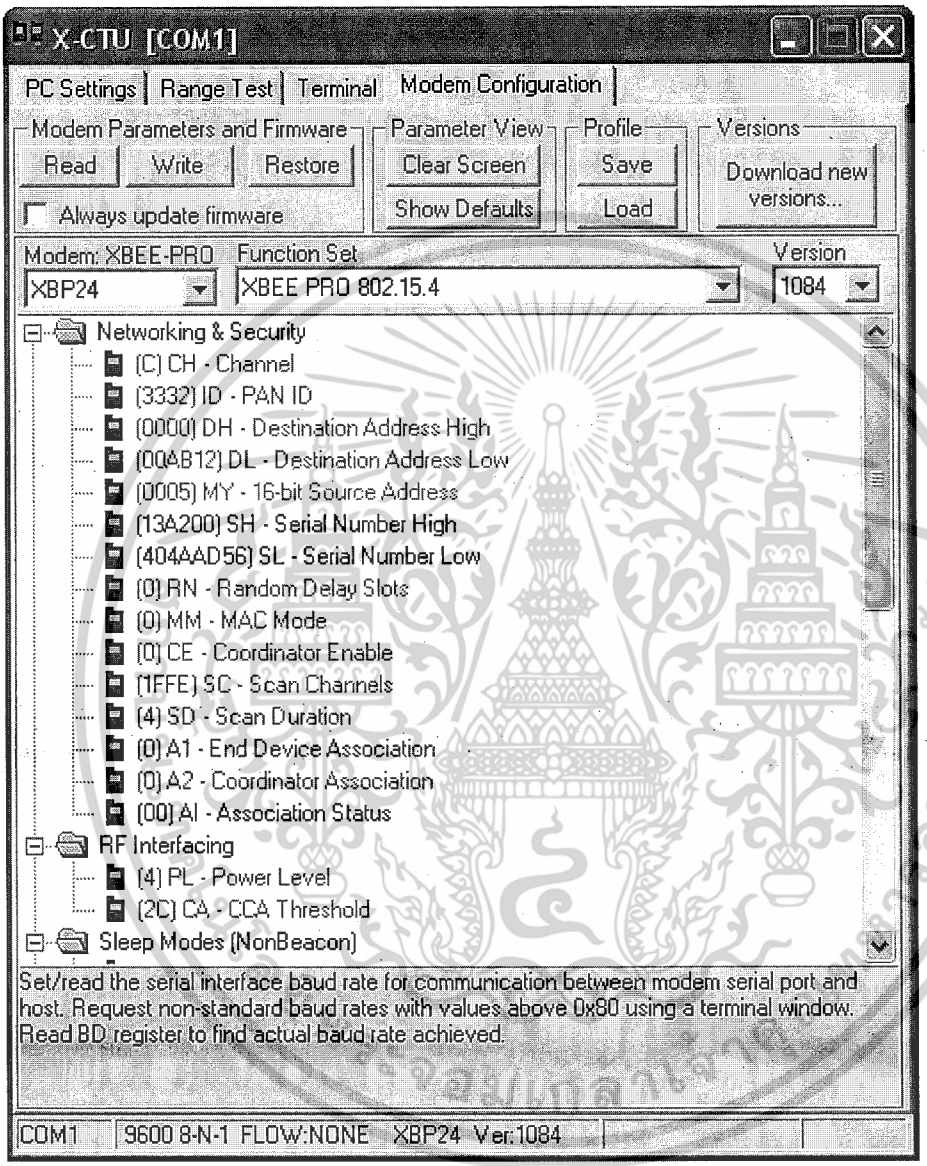
- การเปลี่ยนอัตราบอดให้ไปที่หัวข้อ Serial Interfacing เลือกที่ BD interface Data Rate จะมีเมนูให้เลือกอัตราบอด 8 ค่า เลือกที่ 9600 บิตต่อวินาที ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการกำหนดอัตราบอดให้โมดูล XBee-PRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

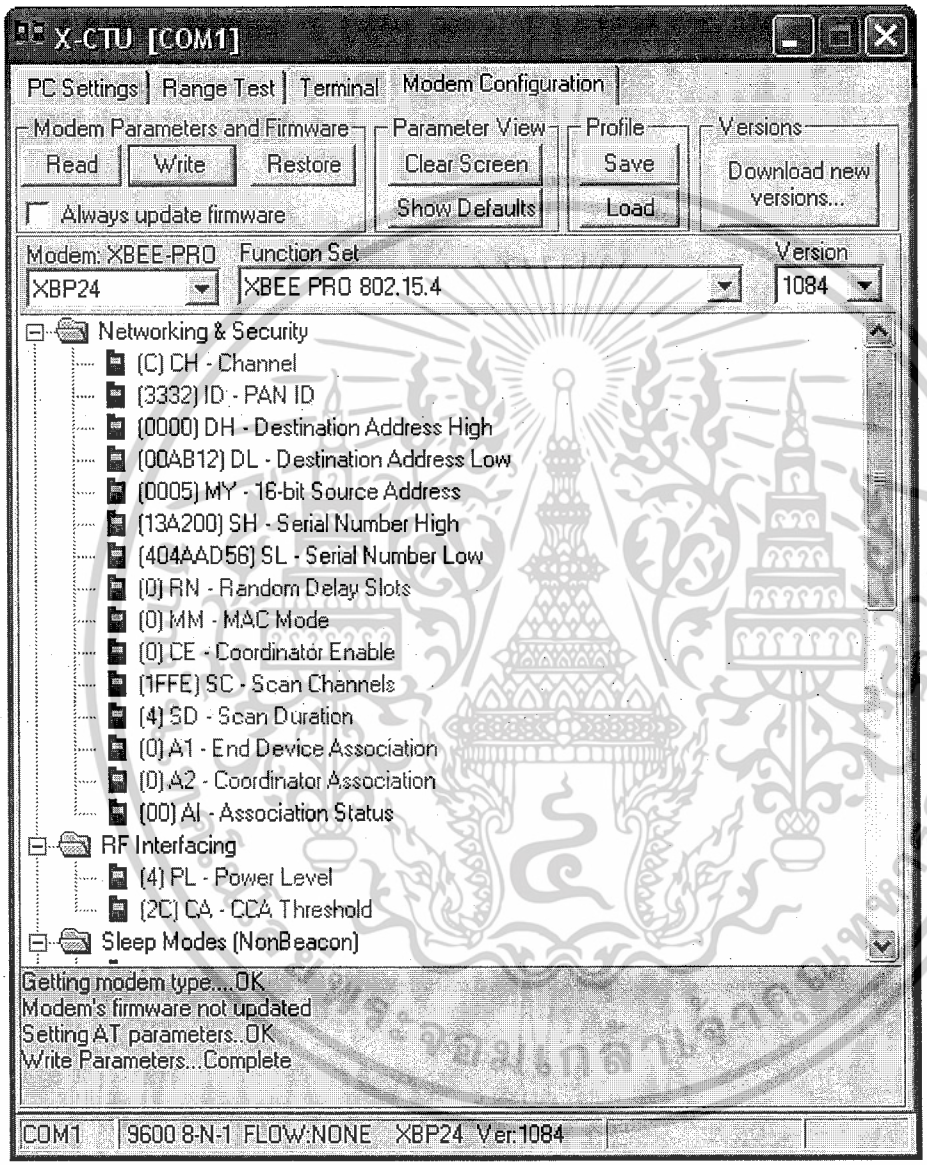
- กำหนดค่าในหัวข้อ Network & Security ให้มีค่าดังนี้ MY = 0x05 , DH = 0x00 , DL = 0xAB12 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการกำหนดค่าในหัวข้อ Network & Security

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

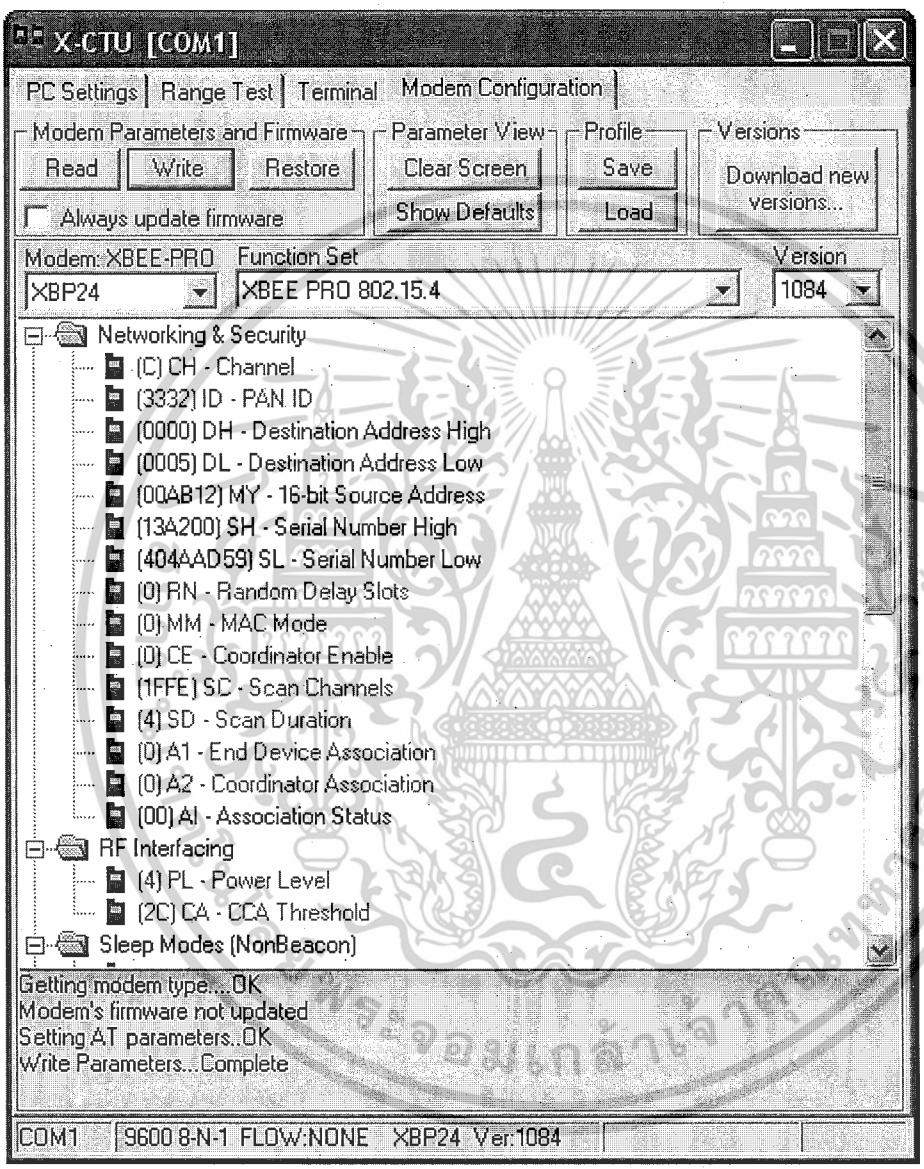
- เมื่อกำหนดค่าต่างๆเสร็จกดปุ่ม Write สังเกตที่ด้านล่างของหน้าต่างจะแสดงข้อความเพื่อแจ้งสถานะการทำงาน การกำหนดค่าเสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.11 จะได้โมดูล XBee-PRO ที่พร้อมเชื่อมต่อกับตัวไมโครคอนโทลเลอร์



รูปที่ 2.11 แสดงการเขียนค่าที่กำหนดลงในโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการปิดไฟเลี้ยงแล้วถอดโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 1 ออก จากนั้นนำโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 2 (สำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์) มาติดตั้งบนบอร์ดแทน ทำตามขั้นตอนข้างต้นอีกครั้งแต่เปลี่ยนค่าในหัวข้อ Network & Security ให้มีค่าดังนี้ MY = 0xAB12 , DH = 0x00 , DL = 0x05 ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการเขียนค่าที่กำหนดในโมดูล XBee-PRO ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2 มาตรฐานของ IEEE

องค์กร IEEE ได้เริ่มจัดทำร่างมาตรฐานสำหรับการรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายระยะใกล้เมื่อปลายปี 2002 (การรับส่งข้อมูลในระยะใกล้ที่ใช้กันในปัจจุบันได้แก่ระบบ Bluetooth) ซึ่งเรียกว่า WPAN (Wireless Personal Area Network) โดยมาตรฐานนี้เรียกว่า IEEE 802.15 และมีมาตรฐานย่อยทั้งสิ้นอีก 4 มาตรฐานได้แก่

1. IEEE 802.15.1 ศึกษาการร่างมาตรฐานชั้นกายภาพ (Physical layer) และ Media Access Control (MAC) สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ Bluetooth ที่ใช้กันปัจจุบัน

2. IEEE 802.15.1 ศึกษาผลกระทบการใช้งานและการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย WPAN กับ WLAN และระบบสื่อสารไร้สายอื่นๆเช่น ระบบโทรศัพท์ GSM , CDMA และ GPS เป็นต้น

3. IEEE 802.15.3 ศึกษาการร่างมาตรฐานของชั้นกายภาพและ MAC สำหรับโครงข่าย WPAN ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงมาก (11 Mbps ถึง 55 Mbps) ที่มีระยะการรับส่งข้อมูลไม่เกิน 20 เมตรและมีการใช้พลังงานประมาณไม่เกิน 0.5 mW โดยมีการจัดทำร่างมาตรฐานย่อยเรียกว่า IEEE 802.15.3a สำหรับการรับส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงมากกว่า 100 Mbps สำหรับโครงข่าย WPAN ที่มีระยะใกล้กว่า (ไม่เกิน 10 เมตร) ซึ่งร่างมาตรฐานของผู้เสนอหลายรายมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดมากกว่า 1 Gbps การประยุกต์ใช้งานของโครงข่าย WPAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a นั้นคาดว่าจะใช้กับโครงข่ายข้อมูลระยะใกล้เช่น เป็นมาตรฐานของชั้นกายภาพและ MAC ของ Wireless USB , โครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายภายในบ้านสำนักงานขนาดเล็ก หรือเหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการการรับส่งข้อมูลในปริมาณที่สูงมากเช่น เครื่องเล่น DVD , โทรทัศน์ที่มีความละเอียดสูง เป็นต้น

4. IEEE 802.15.4 ศึกษาการร่างมาตรฐานของชั้นกายภาพและ MAC สำหรับโครงข่าย WPAN ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลไม่สูงมากประมาณ 1 ถึง 5 Mbps แต่มีการใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษประมาณ 100 μW (แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้หลายเดือนหรือหลายปี) ซึ่งจะเป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องถ่ายรูป เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา และเครื่องเล่นเพลง MP3 เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีร่างมาตรฐานย่อยซึ่งเรียกว่า IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการรับส่งข้อมูลไม่เกิน 1 Mbps แต่มีระยะการส่งไกลมากขึ้นได้ถึง 75 เมตรแต่ยังคงมีอัตราการใช้พลังงานต่ำมาก (สามารถใช้ได้หลายเดือน กรณีใช้แบตเตอรี่) ถูกออกแบบมาสำหรับโครงข่าย Wireless sensor network และโครงข่ายไร้สายสำหรับอุปกรณ์ควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม

104364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ขนาดของตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาใช้งาน ดั้งนั้นจึงมีการลดขนาดของไอซีให้มีจำนวนของขาใช้งานให้น้อยลงเหลือเพียงขนาด 20 ขา ที่ไว้ใช้งานในกรณีที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้จำนวนพอร์ตมากโดยจะกำหนดให้เหลือเพียง 2 พอร์ตและลดคุณสมบัติบางอย่างลงไป แต่ยังมีคุณสมบัติที่เป็นพื้นฐานเพื่อใช้งานอยู่ครบ คำสั่งและส่วนอื่นๆที่สำคัญยังจะคงเดิมและสามารถที่จะเลือกขนาดเนื้อที่ของหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชและคุณสมบัติส่วนอื่นๆเพิ่มเติมได้ โดยเลือกตามเบอร์ของไอซีเช่น ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C1051 AT89C2051 และไอซีเบอร์ AT89C4051 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 1 กิโลไบต์ 2 กิโลไบต์และ 4 กิโลไบต์ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 แสดงไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ATMEL แบบแฟลชขนาด 20 ขา

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีของการผลิตชิพไอซีได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วจนถึงในปัจจุบันก็ยังมีไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์อีกมากมายหลายแบบ หลายเบอร์ที่ผลิตขึ้นมา และมีคุณสมบัติอื่นๆที่เพิ่มเติมในตัว แม้กระทั่งภาษาที่จะนำมาเขียนสั่งงานให้กับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งก็มีการพัฒนาตามขึ้นไปด้วยเช่น โปรแกรมที่เป็นภาษาซี ภาษาเบสิก เพื่อให้สะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ที่ไม่ชอบเขียนภาษาแอสเซมบลี ดังนั้นในการที่เราจะนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใด เบอร์ใด บริษัทใด หรือโปรแกรมแบบไหนที่จะนำไปใช้งานจึงขึ้นอยู่กับงานที่เราต้องการจะออกแบบ และข้อมูลที่จะสะดวกในการค้นคว้าสร้างชิ้นงาน ที่สำคัญคือต้นทุนในการสร้างส่วนข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบขึ้นอยู่กับการแข่งขันของแต่ละบริษัทที่จะต้องผลิตให้ดีกว่ากัน ในที่นี้เราต้องศึกษาให้เข้าใจและสามารถนำไปใช้งานให้ได้ก่อนเบอร์ใดเบอร์หนึ่งอย่างถ่องแท้ ดังนั้นในการเรียนรู้และทดลองไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะใช้งานไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89CX051 ของบริษัทแอทเมล (Atmel) เป็นพื้นฐาน

2.3.1 คุณสมบัติของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89CX051

- มีโครงสร้างและใช้ชุดคำสั่งเดียวกับตระกูล MCS-51 ของอินเทล
- แหล่งจ่ายไฟใช้ได้ตั้งแต่ 2.7 โวลต์ถึง 6 โวลต์
- มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิดแฟลชเมมโมรี (Flash Memory) ขนาด 1 กิโลไบต์ 2 กิโลไบต์และ 4 กิโลไบต์ตามเบอร์ที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

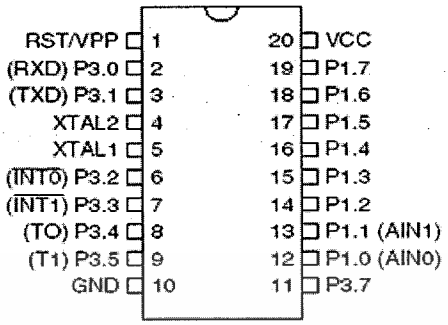
- มีหน่วยความจำแบบแรม 8 บิตขนาด 64 ไบต์สำหรับไอซีเบอร์ AT89C1051 และ 128 ไบต์สำหรับไอซีเบอร์ AT89C2051 และ AT89C4051
- ทำงานที่ความเร็วสัญญาณนาฬิกาได้สูงสุดถึง 24 เมกะเฮิร์ตซ์
- มีอินพุตเอาต์พุตพอร์ตขนาด 15 บิต
- พอร์ตสามารถซิงค์ (SINK) กระแสได้ 20 มิลลิแอมป์
- มีสัญญาณการอินเตอร์รัพท์ได้ 3 แหล่งสำหรับไอซีเบอร์ AT89C1051 และ 6 แหล่งสำหรับไอซีเบอร์ AT89C2051 และไอซีเบอร์ AT89C4051
- มีพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม 1 ช่อง (UART)
- มีวงจรตั้งเวลาและวงจรนับขนาด 16 บิตจำนวน 1 ช่องสำหรับ 89C1051 และ 2 ช่องสำหรับ AT89C2051 และ AT89C4051
- สามารถโปรแกรมข้อมูลเพื่อป้องกันการอ่านเขียน หรือคัดลอกโปรแกรมได้ 2 ระดับ
- มีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator Input) 1 ช่อง
- มีระบบประหยัดพลังงาน (Low Power Idle And Power Down Mode)

ชื่อหมายเลข	หน่วยความจำภายใน		จำนวนไทเมอร์/	จำนวน
	เก็บโปรแกรม	เก็บข้อมูล	เคาน์เตอร์	อินเตอร์รัพท์
8052AH	8K x 8 ROM	256 x 8 RAM	3 x 16-Bit	6
8051AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8032AH	ไม่มี	256 x 8 RAM	2 x 16-Bit	6
8031AH	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8031	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H-12	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละหมายเลขในตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หน้าที่แต่ละขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89CX051



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะตัวถังและตำแหน่งขาของไอซี AT89C2051

- Vcc. เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อไฟเพื่อเลี้ยงไอซี +5 โวลต์ดีซี
- GND เป็นขากราวด์สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ
- พอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มีจำนวน 8 ขา แต่ละขาเรียกได้เป็น 1 บิต สามารถที่จะกำหนดให้เป็นได้ทั้ง พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตก็สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล ลอจิก “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ

- พอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มีจำนวน 7 ขา แต่ละขาเรียกได้เป็น 1 บิต แต่ในส่วนของวงจรภายในไอซีจะมีขาของพอร์ต 3 อยู่ทั้งหมด 8 ขา เพียงแต่ขา P3.6 จะไม่ได้ต่อออกมาใช้งานภายนอกของตัว ไอซี แต่ใช้เป็นขารับสถานะของผลการเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกคอมพาราเตอร์อินพุตระหว่างพอร์ต P1.0 และ P1.1 จากภายนอก ดังนั้นขาทั้ง 7 ขาที่ต่อใช้งานภายนอกของไอซีสามารถที่จะกำหนดให้เป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูลให้เป็นลอจิก “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการจะติดต่อด้วย นอกจากนั้นขาของพอร์ต 3 จะยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
  - P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD
  - P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
  - P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INT0
  - P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา INT1
  - P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0
  - P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

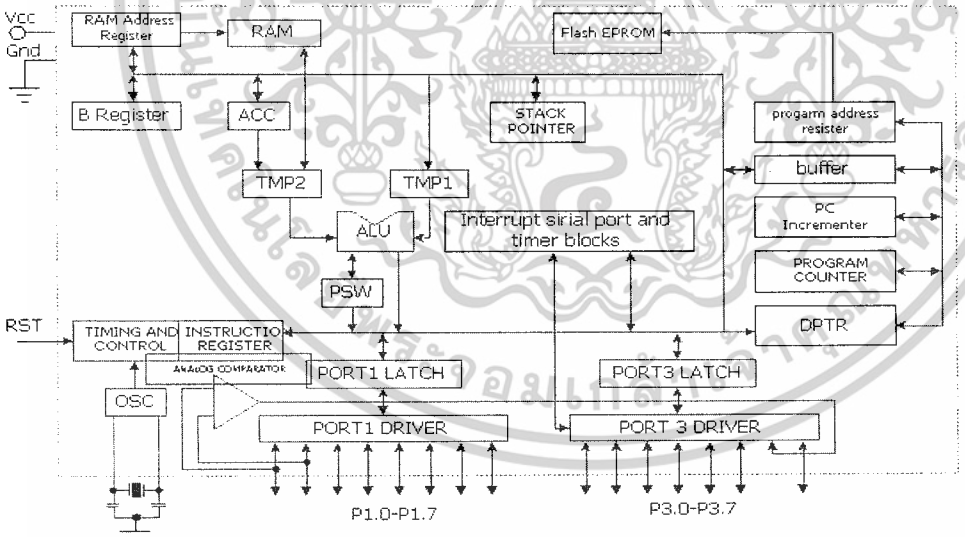
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-P3.7 ใช้เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป P3.6 อยู่ภายในไอซีไม่ได้ต่อออกมาภายนอก แต่ใช้เป็นขารับสถานะของการเปรียบเทียบอนาล็อกคอมพาราเตอร์อินพุตระหว่างพอร์ต P1.0 และ P1.1 จากภายนอก

- รีเซต (Reset) เป็นขาที่ใช้รับสัญญาณในการรีเซตโดยจะรีเซตระบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการป้อนสัญญาณนั้นจะต้องทำให้สถานะที่ขานี้อยู่ในระดับลอจิก "1" (high) อย่างน้อย 2 แมตชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ
- XTAL 1 และ XTAL 2 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อกับตัวคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.3 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ AT89CX051

จากรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89CX051 ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยหน่วยการทำงานต่างๆโดยแบ่งการทำงานออกเป็นบล็อกๆ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรควบคุมรีจิสเตอร์ต่างๆ (Register) หน่วยความจำข้อมูล (RAM) และหน่วยความจำโปรแกรมที่เป็นแฟลชวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ส่วนที่ทำหน้าที่ทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and logic Unit) โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) และพอร์ตที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งในแต่ละส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยบัสข้อมูลและบัสแอดเดรส



รูปที่ 2.15 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89CX051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึงวงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-232 หรือ RS-485 ได้โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

2.3.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากันเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอดหรือบอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
- บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
- บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

จากรูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการใช้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิตเรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิตตามด้วยบิตพาริตี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้ายหรือบิตหยุดโดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้วอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอด ที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS–232 มีด้วยกันหลายค่าได้แก่ 110 150 300 600 1200 2400 4800 9600 และ 19200 บิตต่อวินาทีโดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่าข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิตไม่มีการตรวจสอบพาริตี้มีบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะเท่ากับความยาว 10 บิตถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาทีก็สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ การตรวจสอบแบบพาริตี้คี่คือ การนับจำนวนลอจิก “1” ของข้อมูลขนาด 1 ไบท์และของบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคี่หรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่าข้อมูลที่ส่งมาถูกต้อง ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิตมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหกหรือ 10011001 ฐานสองจะเห็นได้ว่าข้อมูลในไบต์มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดการตรวจสอบค่าพาริตี้เป็นแบบคู่ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดการตรวจสอบพาริตี้เป็นแบบคี่ค่าของบิตพาริตี้จะต้องเป็น “1” เพื่อให้จำนวนลอจิก “1” ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้มีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก “1” มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่ ดังตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของบิตพาริตี้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

ข้อมูล	บิตพาริตี้คู่	บิตพาริตี้คี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	1	0
11111111	0	1

ตารางที่ 2.3 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล

บิตพาริตี้จะถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter: เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าตรวจสอบพาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่โดยการนับจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ง่ายที่สุดแต่สามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่มีการผิดพลาดมากกว่า 1 บิตการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ UART หมายเลข 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ UART หมายเลข 8250 UART ชิปเหล่านี้มีระดับแรงดันเป็นแบบทีทีแอล (0 และ +5 โวลต์) แต่เพื่อให้มีแรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ระยะทางไกลมากขึ้นระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้นโดยลอจิก “0” มีระดับแรงดัน +3 โวลต์ถึง +12 โวลต์ในขณะที่ลอจิก “1” มีระดับแรงดัน -3 โวลต์จนถึง -12 โวลต์

2.3.6 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของวงจรพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial Data Buffer Register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือ P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทาง RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

- รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตมีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

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

ตารางที่ 2.4 แสดงรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

SM0 – SM1: ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

SM2: ใช้ในการอีนาเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (Multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในโหมด 2 และ 3 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้ถูกเซตบิต RI จะไม่แอกตีฟถ้ายังไม่รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN: ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ถ้าต้องการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TB8: ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่บิต 9 ที่ต้องการส่งออกไปขณะทำงานในโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8: ใช้สำหรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาขณะทำงานในโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น "0" ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (stop bit) สำหรับการทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งานบิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI: ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์ เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนการทำงานโหมดอื่นบิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI: ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์ เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนการทำงานโหมดอื่นบิตนี้จะเซตเมื่อมีการรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้วยกเว้นกรณีที่บิต SM2 จะมีการเซตบิตนี้ได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

2.3.7 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะซิฟต์รีจิสเตอร์
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

การเลือกโหมดการทำงานของวงจรพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กระทำได้โดยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SMO และ SMI ในรีจิสเตอร์ SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำงานในโหมด 0 ของวงจรพอร์ตอนุกรม (โหมดซิงโครนัส)

ข้อมูลอนุกรมจะผ่านเข้าและออกทางขา RxD ส่วนขา TxD ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล (shift clock) ในโหมดนี้มีจำนวนข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน อัตราในการรับส่งข้อมูลหรืออัตราบอดถูกกำหนดไว้คงที่ที่ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

เริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งมายังรีจิสเตอร์ SBUF สัญญาณเขียนข้อมูล SBUF แอกตีฟเป็น "1" ที่สเตต 6 เฟส 2 (S6P2) ของแมตชีนไซเกิล ส่งมายังวงจรควบคุมการส่ง (TX control) ทำให้วงจรควบคุมเริ่มต้นส่งข้อมูล สัญญาณส่ง (SEND) จะแอกตีฟเป็น "1" ตลอดการส่งข้อมูล

ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF จะถูกเลื่อนออกที่ขา P3.0 หรือขา RxD ครั้งละบิต ตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่สงออกมาทางขา P3.1 หรือ TxD โดยสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจะมีขอบขาลงของสัญญาณที่สเตต 3 เฟสและมีขอบขาขึ้นของสัญญาณที่สเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละแมตชีนไซเกิลในกระบวนการส่งข้อมูล จนกระทั่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้วบิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON จะเกิดการเซตเป็นการแจ้งให้ทราบว่าส่งข้อมูลครบแล้ว หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูลสัญญาณส่งจะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

ในกระบวนการรับข้อมูลเริ่มต้นด้วยการเซต REN ให้เป็น "1" และเคลียร์บิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ก่อนที่สเตต 6 เฟส 2 ของแมตชีนไซเกิลถัดไป วงจรควบคุมการรับ (RX control) จะทำการเขียนข้อมูล 11111110 ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลและทำการแอกตีฟสัญญาณรับ (RECEIVER) ให้เป็น "1" ในสัญญาณนาฬิกาลูกถัดไป

เมื่อสัญญาณรับแอกตีฟจะเกิดการส่งสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลขึ้นผ่านทางขา P3.1 หรือ TxD เพื่อทำการกำหนดจังหวะการรับข้อมูลครั้งละบิตโดยสัญญาณนาฬิกานี้จะเกิดขึ้นในช่วงสเตต 3 เฟส 1 ถึงสเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละแมตชีนไซเกิล การรับข้อมูลเข้ามาทางขา P3.0 หรือ RxD จะเกิดขึ้นที่สเตต 5 เฟส 2 ในแมตชีนไซเกิลเดียวกับสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจนกระทั่งรับข้อมูลครบทั้ง 8 บิต บิต RI จะได้รับการเซตเพื่อแจ้งการเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูลสัญญาณรับจะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

การทำงานในโหมดนี้ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการเชื่อมต่อกับไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายจำนวนพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เองมีพอร์ตอยู่ค่อนข้างมากและติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้ง่ายและเร็วกว่ามาก

- การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

โหมดนี้ใช้ในการรับส่งข้อมูลรวม 10 บิตโดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น "0") 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อนและบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (มีค่าเป็น “1”) ในการรับข้อมูลบิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถเลือกใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 หรือไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

กระบวนการส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการแอกตีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ส่งมายังวงจรควบคุมการส่ง จากนั้นวงจรควบคุมจะทำการแอกตีฟสัญญาณส่งที่สเตต 1 เฟส 1 ของแมตชีนไซเกิลต่อมาโดยสัญญาณส่งจะเป็น “0” ตลอดการส่งข้อมูลเมื่อสัญญาณส่งแอกตีฟ จะทำการส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรกโดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 แมตชีนไซเกิลจากนั้นตามด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิต เรียงลำดับจากบิต LSB โดยข้อมูลที่ทำการส่งถูกเรียกออกมาจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับการส่งข้อมูลในทุกๆบิตข้อมูลที่ทำการส่งออกไปจะเกิดสัญญาณพัลส์ชิฟต์ (PULSE SHIFT) ขึ้นเพื่อให้เรียกข้อมูลในแต่ละบิตจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ การกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการส่งเป็นตัวกำหนดโดยสัญญาณนาฬิกานี้ได้มาจากการหารสัญญาณ TCLK จากไทเมอร์ 1 ด้วย 16 หลังจากการส่งบิตข้อมูลก็จะทำการส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย 1 บิต ดังนั้นการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณนาฬิกาทั้งหมด 10 ลูกเมื่อทำการส่งข้อมูลครบเรียบร้อยแล้วจะทำการเซตบิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังจากที่ทำการบริการอินเตอร์รัปต์หรือส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้องทำการเคลียร์บิต TI ก่อนเป็นอันดับแรกเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

ด้านการรับข้อมูลจะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” ที่ขา RxD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากับ 1/16 เท่าของอัตราบอด เมื่อตรวจจับพบไทเมอร์/เคาน์เตอร์ที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดจะรีเซตและทำการเขียนข้อมูล 1FFH ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์ ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา RxD ในการตีความว่าบิตที่เข้ามาเป็น “0” หรือ “1” จะใช้ผลการสุ่มข้างมากโดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งออกเป็น 16 สเตต การสุ่มข้อมูลจะทำการสุ่มสเตตที่ 7 8 และ 9 หาก 2 ใน 3 ของการสุ่มพบว่าข้อมูลเป็นลอจิกใดจะตีความข้อมูลในบิตนั้นเป็นตามเสียงข้างมาก ยกตัวอย่างสุ่มพบลอจิก “1” 2 ใน 3 ครั้งจะตีความว่าบิตของข้อมูลที่ได้รับนั้นเป็น “1”

ลำดับของการรับข้อมูลมีลักษณะเดียวกับการส่งข้อมูลคือ เริ่มด้วยบิตเริ่มต้นก่อนตามด้วยบิตข้อมูลและบิตปิดท้ายในทุกๆการรับข้อมูลได้ 1 บิตจะมีพัลส์ชิฟต์เกิดขึ้นเพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์การรับข้อมูล การกำหนดจังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล (RX clock) หลังจากสัญญาณนาฬิกาลูกสุดท้ายหมายถึงสามารถรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON โดยข้อมูลในบิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุดนั่นเองพร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ด้วย หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบหลังจากบริการอินเตอร์รัปต์หรือรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อนเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

ในทั้งสองโหมดนี้จะใช้รูปแบบข้อมูลรวม 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้นมีค่าเป็น “0” จำนวน 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิตโดยทำการรับและส่งบิต LSB ก่อนบิตข้อมูลบิตที่ 9 และบิตปิดท้ายมีค่าเป็น “1” จำนวน 1 บิตในการส่งข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะได้รับการเก็บไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON และในการรับข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะนำไปเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราบอดในโหมด 2 จะคงที่โดยเลือกได้ 2 ค่าคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สำหรับในโหมด 3 อัตราบอดสามารถปรับได้เหมือนกับในโหมด 1

2.3.8 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

1. โหมด0

อัตราบอดของโหมด 0 = ความถี่ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

อัตราบอดในโหมด 0 = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา /12 มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

2. โหมด 1 และ 3

ทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วยโดยสามารถหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = (2 ค่าของบิตSMOD / 32) x อัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่ สัญญาณนาฬิกา	SMOD	ไทเมอร์ 1		
			C/T	โหมด	ค่ารีโหลด
โหมด 0 : สูงสุด 1 MHz	12 MHz	x	x	x	x
โหมด 2 : สูงสุด 375k	12 MHz	1	x	x	x
โหมด 1,3 : 62.5 K	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2K (19,200)	11.0592 MHz	1	0	2	FDH
9.6K (9,600)	11.0592 MHz	0	0	2	FDH
4.8K (4,800)	11.0592 MHz	0	0	2	FAH
2.4K(2,400)	11.0592 MHz	0	0	2	F4H
1.2K (1,200)	11.0592 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.0592 MHz	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

ตารางที่ 2.5 แสดงการเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากในไทเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = (2 ค่าของบิตSMOD / 32) x (ความถี่สัญญาณนาฬิกา /{12 x [256-(TH1)]})

กรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอด โดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอด (buad rate generator) สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 2/16 มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

ถ้าหากกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดไทเมอร์หรือเคาน์เตอร์ตามปกติ สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = ความถี่สัญญาณนาฬิกา / (32 x (65536-(RCAP2H RCAP2L)))

โดยที่ (RCAP2H RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด16 บิตไม่คิดเครื่องหมาย

3.โหมด 2

ในโหมดนี้การกำหนดอัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น "0" อัตราบอดจะเท่ากับ 1-64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น "1" อัตราบอดจะเท่ากับ 1-32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

อัตราบอด = (2 ค่าของบิตSMOD / 64) x ความถี่สัญญาณนาฬิกา

2.3.9 การกำหนดค่าของไทเมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายทอดข้อมูลหรือ อัตราบอด ซึ่งการกำหนดอัตราบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 หากไทเมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โฟลว์ในอัตราที่สูงมากอัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตามหมายความว่า อัตราในการทำงานถ่ายทอดข้อมูลจะสูงมากสามารถถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการกำหนดค่าและโหมดการทำงานของไทเมอร์ 1 จึงเป็นสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราบอดด้วย

ในการใช้ไทเมอร์ 1 เพื่อกำหนดอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดให้ไทเมอร์ทำงานในโหมด 2 หรือโหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติ ในกรณีการกำหนดค่ารีโหลดให้แก่รีจิสเตอร์ TH1 จะเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดให้แก่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เริ่มต้นด้วยการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น "0" ค่าของการรีโหลดให้แก่ TH1 สามารถคำนวณได้จาก

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

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดจากการเซตจะเป็นการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

TH1 = 256 - ((ค่าความจริงของคริสตอล / 192) / อัตราบอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดจากการเซตจะเป็นการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

TH1 = 256 - ((ค่าความจริงของคริสตอล / 192) / อัตราบอด)

ยกตัวอย่าง ถ้าหากในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ใช้คริสตอล 11.0592 MHz ต้องการกำหนดอัตราบอดของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ที่ 19200 บิตต่อวินาที ในกรณีที่ไม่เอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ค่ารีโหลดของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเท่ากับ

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

= 256 - ((11059200 / 384) / 19200)

= 256 - (28800 / 19200)

= 256 - 1.5 = 254.5

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม ถ้าหากกำหนดค่าของ TH1 เป็น 254 เมื่อทำการแทนค่าเพื่อคำนวณหาค่าอัตราบอดจะได้อัตราบอดเท่ากับ 14400 บิตต่อวินาทีและถ้าหากกำหนดค่าของ TH1 เป็น 255 อัตราบอดจะมีค่าเท่ากับ 28800 บิตต่อวินาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าของ TH1 ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มจะไม่สามารถทำให้เกิดอัตราบอดตามต้องการได้

ทางแก้ไขคือให้ทำการเอ็นเอเบิลการทวีคูณอัตราบอดโดยการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น “1” จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการหาค่า TH1 เมื่อมีการเซตบิต SMOD ได้ผลดังนี้

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

= 256 - ((11059200 / 192) / 19200)

= 256 - (57600 / 19200)

= 256 - 3 = 253

นำค่าของ TH1 ที่ได้ทำการแทนค่าคำนวณหาค่าอัตราบอดจะได้เทากับ 19200 บิตต่อวินาที

สามารถสรุปขั้นตอนในการเลือกอัตราบอดโดยการกำหนดค่าของไทเมอร์ 1 ได้ดังนี้

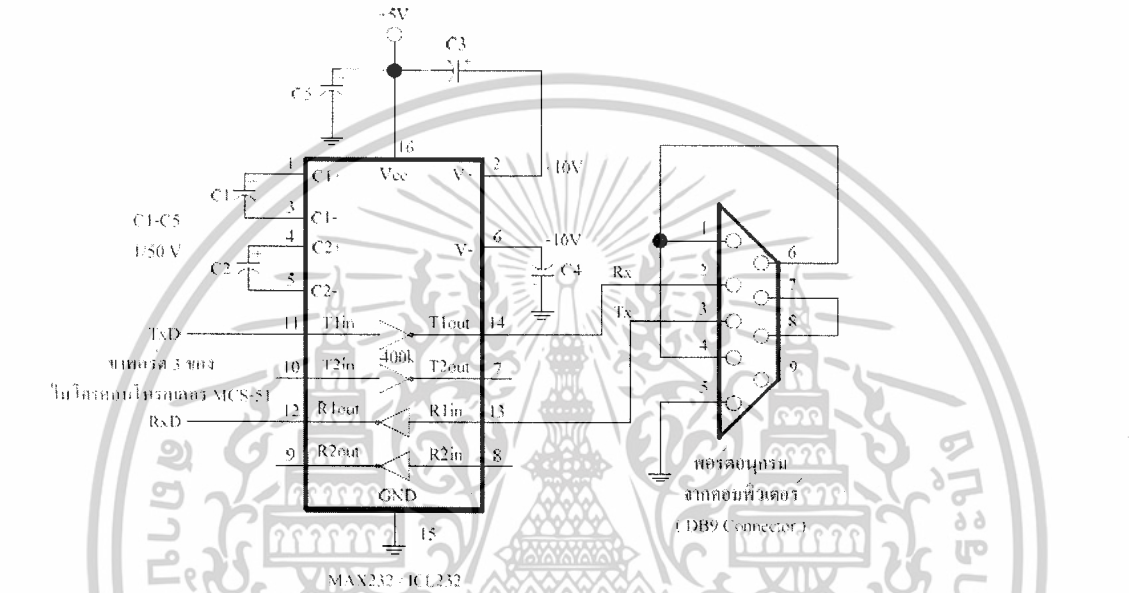
1. กำหนดให้พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานในโหมด 1 หรือ 3
2. กำหนดให้ไทเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือโหมด 8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ
3. กำหนดข้อมูลให้แก่ TH1 เท่ากับ 253 เพื่อให้สามารถกำเนิดอัตราบอดได้ 19200 บิตต่อวินาทีตามที่ต้องการ
4. ทำการเซตบิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON เพื่อเอ็นเอเบิลการทวีคูณอัตราบอด

2.4 การเชื่อต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ 3 ถึง 12 โวลต์ในขณะที่ระดับสัญญาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณนี้ จะต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลที่รับจากคอมพิวเตอร์จากระดับ RS-232 เป็นระดับทีทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์ ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIX หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในรูปที่ 2.17 แสดงส่วนวงจรของการต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรเชื่อมต่อ MAX232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 ไอซี MAX 232

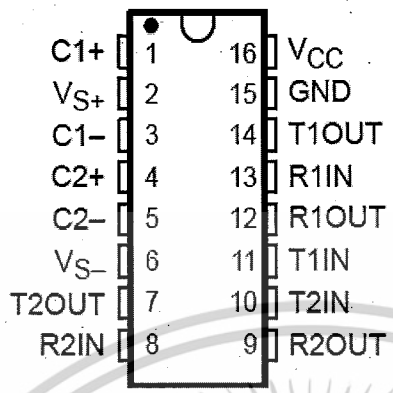
เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันที่เข้ามาจากพอร์ตอนุกรมไปเป็นแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 โดยเปลี่ยนระดับแรงดัน TTL เพื่อทำให้ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.1 การสื่อสารพอร์ตอนุกรม RS-232

ลักษณะของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลที่ส่งออกมาทีละบิต จากตัวส่งไปตัวรับข้อมูล ช่วงสัญญาณในการส่งข้อมูลอาจใช้เพียง 1 หรือ 2 ช่องสัญญาณเท่านั้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารจะถูกกว่าแบบขนาน ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลที่ต้องการส่งจะอยู่ในลักษณะเป็นไบต์จะทยอยส่งทีละบิตและทางตัวรับจะต้องรับข้อมูลเข้ามาทีละบิตแล้วมารับกันเป็นไบต์ ซึ่งทางตัวรับต้องคอยตรวจสอบว่าบิตใดเป็นบิตเริ่มต้นหรือบิตสุดท้ายของข้อมูล การตรวจสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของรหัสของบิตข้อมูลที่ใช้ ซึ่งในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกนั้นจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการรับส่งข้อมูล ซึ่งมาตรฐานที่นิยมมากที่สุดคือมาตรฐาน RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

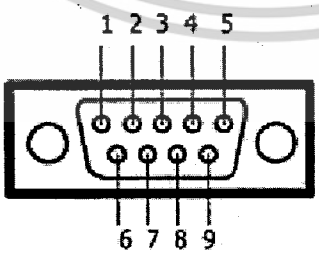
บิตใดเป็นบิตเริ่มต้นหรือบิตสุดท้ายของข้อมูล การตรวจสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของรหัสของบิตข้อมูลที่ใช้ ซึ่งในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกนั้นจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการรับส่งข้อมูล ซึ่งมาตรฐานที่นิยมมากที่สุดคือมาตรฐาน RS-232



รูปที่ 2.18 แสดงไอซี MAX 232

2.5.2 มาตรฐาน RS-232

เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดจึงได้รับการออกแบบขึ้น มาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุดคือ RS-232C ซึ่งโดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นแบบอนุกรมอยู่ในตัวแล้วตามจุดประสงค์ของมาตรฐาน RS-232C นั้นเพื่อจะสามารถเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์รับส่งปลายทาง (DATA TERMINAL EQUIPMENT: DTE) เช่นพอร์ตของคอมพิวเตอร์หลักหรืออุปกรณ์ปลายทางกับอุปกรณ์ RS-232 เป็นข้อกำหนดของการอินเตอร์เฟสมาตรฐานและสามารถใช้เพื่อจุดประสงค์อื่นๆต่างๆกันไปเช่น การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Communication) รูปแบบการสื่อสารที่ต้องการสัญญาณนาฬิกา และสัญญาณกำหนดจังหวะเพิ่มเติมขึ้นมา ในความเป็นจริงแล้วเราสามารถทำให้มีการสนทนาระหว่าง DTE และ DCE โดยการใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้นเท่านั้นคือ ใช้สาย TD สาย RD และสายกราวน์เท่านั้น



รูปที่ 2.19 แสดงคอนเน็กเตอร์ 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Data Carrier
2	Received Data
3	Transmitted Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Common
6	Data Set Ready
7	Request To Send
8	Clear To Send
9	Ring Indicator

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 มาตรฐาน RS-232

2.5.3 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE

1.เมื่อจ่ายกำลังงานให้กับ DTE และอุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณ DTR ออกมา

2.อุปกรณ์ DCE ถูกเปิดขึ้นและรับรู้สัญญาณ DTR ที่ส่งมาจากอุปกรณ์ DTE

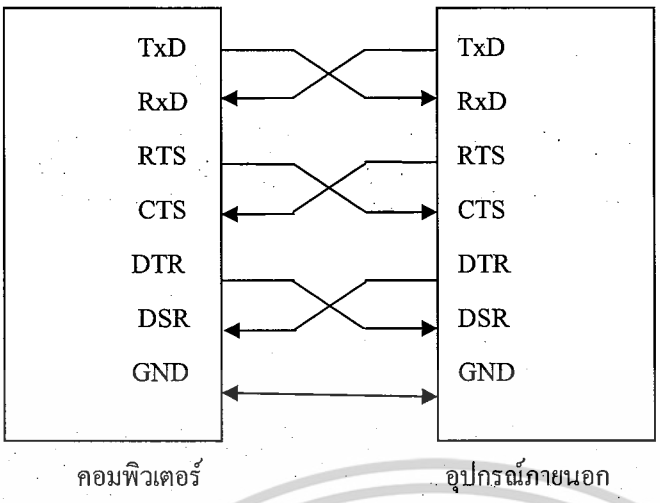
3.อุปกรณ์ DCE ส่งสัญญาณ DSR ออกมาและโมเด็มก็กระทำกระบวนการ OFF HOOK

4.ถ้าสายสัญญาณอยู่ในสภาพดีและปลายทางอีกด้านหนึ่งก็พร้อมจะรับข้อมูลแล้ว จะมีการตรวจจับสัญญาณพาหะแล้วอุปกรณ์ DCE ส่งสัญญาณ DCD ออกมา

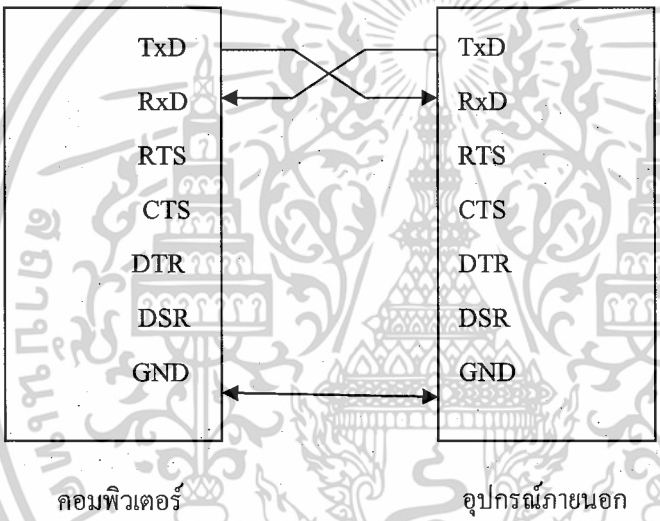
5.อุปกรณ์ DCE จะตอบสนองด้วยการส่งสัญญาณ CTS ออกมา

6.การติดต่อสื่อสารเริ่มขึ้น โปรแกรมควบคุมจะทำการส่งหรือรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ Null modem



รูปที่ 2.21 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

ลำดับขั้นในการตอบรับเป็นดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ DTE จะส่งสัญญาณ DTR ออกมา
2. อุปกรณ์ DCE จะอยู่ในโหมดตอบรับอัตโนมัติ (auto answer mode) โดยมีสัญญาณออกมา
3. สถานีปลายทางส่งสัญญาณเรียกอุปกรณ์ DCE และอุปกรณ์ DCE ส่งสัญญาณ RI ออกมา
4. อุปกรณ์ DTE รับรู้ถึงอุปกรณ์ RI ที่ส่งมาจากเครื่องปลายทาง และอุปกรณ์ DCE ก็เข้าสู่สภาวะ OFF HOOK
5. อุปกรณ์ DCE ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ DCE ที่อีกปลายทางหนึ่ง และมีการส่งสัญญาณ DCD ออกมา
6. อุปกรณ์ DTE จะส่งสัญญาณ RTS ออกมาหรืออาจจะรอข้อมูลก็ได้ ขึ้นอยู่กับโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. อุปกรณ์ DCE จะตอบสนองด้วยการส่งสัญญาณ DTS กลับออกมา
8. การติดต่อสื่อสารก็จะเริ่มขึ้น

2.6 หลักการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำได้ 2 วิธีคือ

- วิธีใช้อินเตอร์รัปต์

เป็นวิธีที่ให้ผลการทำงานเร็วที่สุดแต่มีความยุ่งยากในการทำงานมากกว่า เนื่องจากตำแหน่งของการอินเตอร์รัปต์ทั้งการรับและการส่งข้อมูลนั้นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันต้องพิจารณาจากแฟลก TI หรือ RI ก่อนว่าเกิดการอินเตอร์รัปต์จากสาเหตุใดและต้องพิจารณาการใช้รีจิสเตอร์ในช่วงเวลานั้นๆด้วยว่ามีโอกาสซ้อนทับกันหรือไม่ ทำให้โปรแกรมของการทำงานในส่วนนี้มีความซับซ้อนมากกว่า

- วิธีวนโปรแกรมตรวจสอบแฟลก

เป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าโดยเขียนโปรแกรมให้วนตรวจสอบแฟลกอยู่ตลอดเวลา จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเมื่อต้องการตรวจสอบการส่งข้อมูลให้ทำการวนตรวจสอบแฟลก TI ว่าถูกเซตหรือไม่ เมื่อถูกเซตแสดงว่ามีการส่งข้อมูลเกิดขึ้นเรียบร้อยแล้ว จากนั้นให้ทำการเคลียร์แฟลก TI แล้วทำการส่งข้อมูลตัวถัดไปหรือทำงานในคำสั่งต่อไปได้

ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบการรับข้อมูลให้ทำการตรวจสอบแฟลก RI ว่าถูกเซตหรือไม่ เมื่อตรวจสอบได้ว่าถูกเซตแสดงว่าเกิดการรับข้อมูลขึ้น ให้ทำการเคลียร์แฟลก RI แล้วนำค่าจากรีจิสเตอร์ SBUF มาใช้ได้ทันที แต่วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่เป็นการทำงานแบบเรียงลำดับทำให้ขั้นตอนในการทำงานช้ากว่าการใช้อินเตอร์รัปต์

หัวใจสำคัญของการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมคือ การกำหนดอัตราบอดและรูปแบบของข้อมูลว่ามีจำนวนบิตเริ่มต้น บิตของข้อมูล บิตหยุด หรือว่ามีการตรวจสอบบิตพาริตี้หรือไม่ ถ้าหากข้อกำหนดเหล่านี้ในตัวส่งและตัวรับไม่ตรงกัน จะทำให้การถ่ายทอดข้อมูลเกิดความผิดพลาดได้อย่างง่ายดายส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลล้มเหลวอย่างสิ้นเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

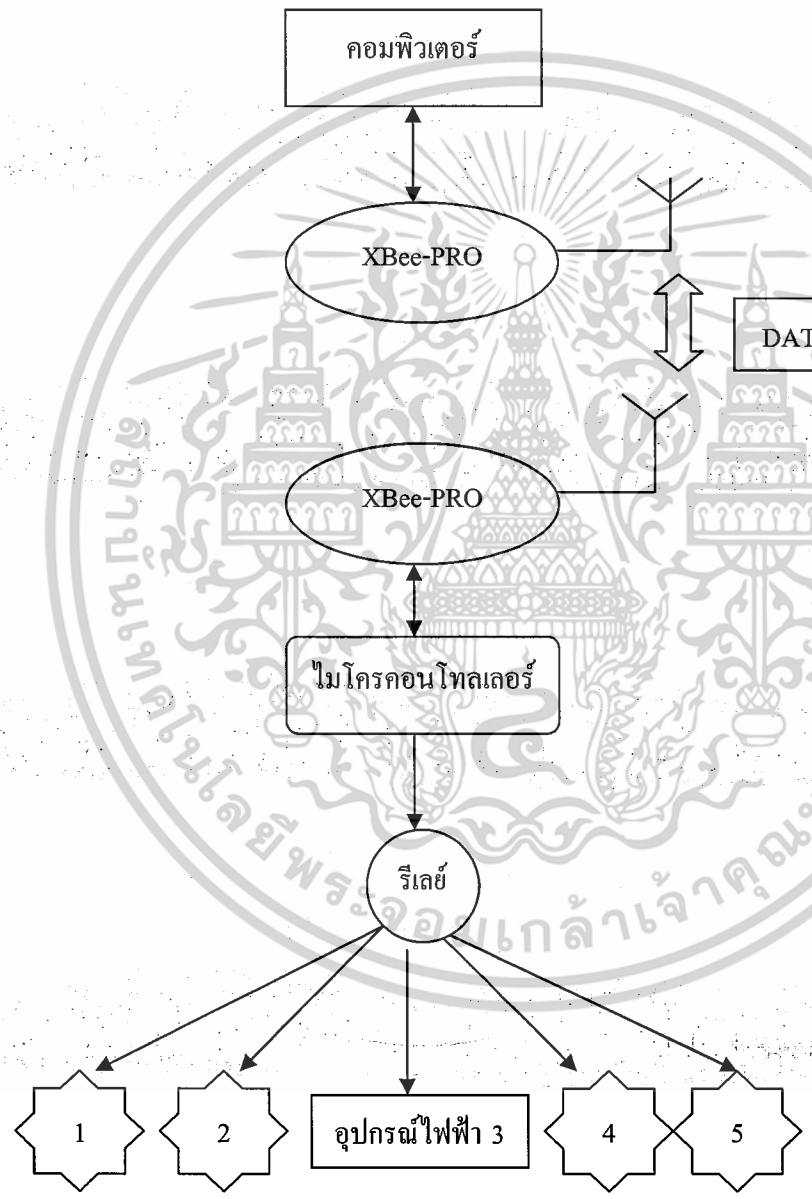
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าจะสั่งงานโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลคำสั่งติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางตัวรับส่งสัญญาณไร้สาย โดยจะมีรีเลย์รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาเพื่อเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ



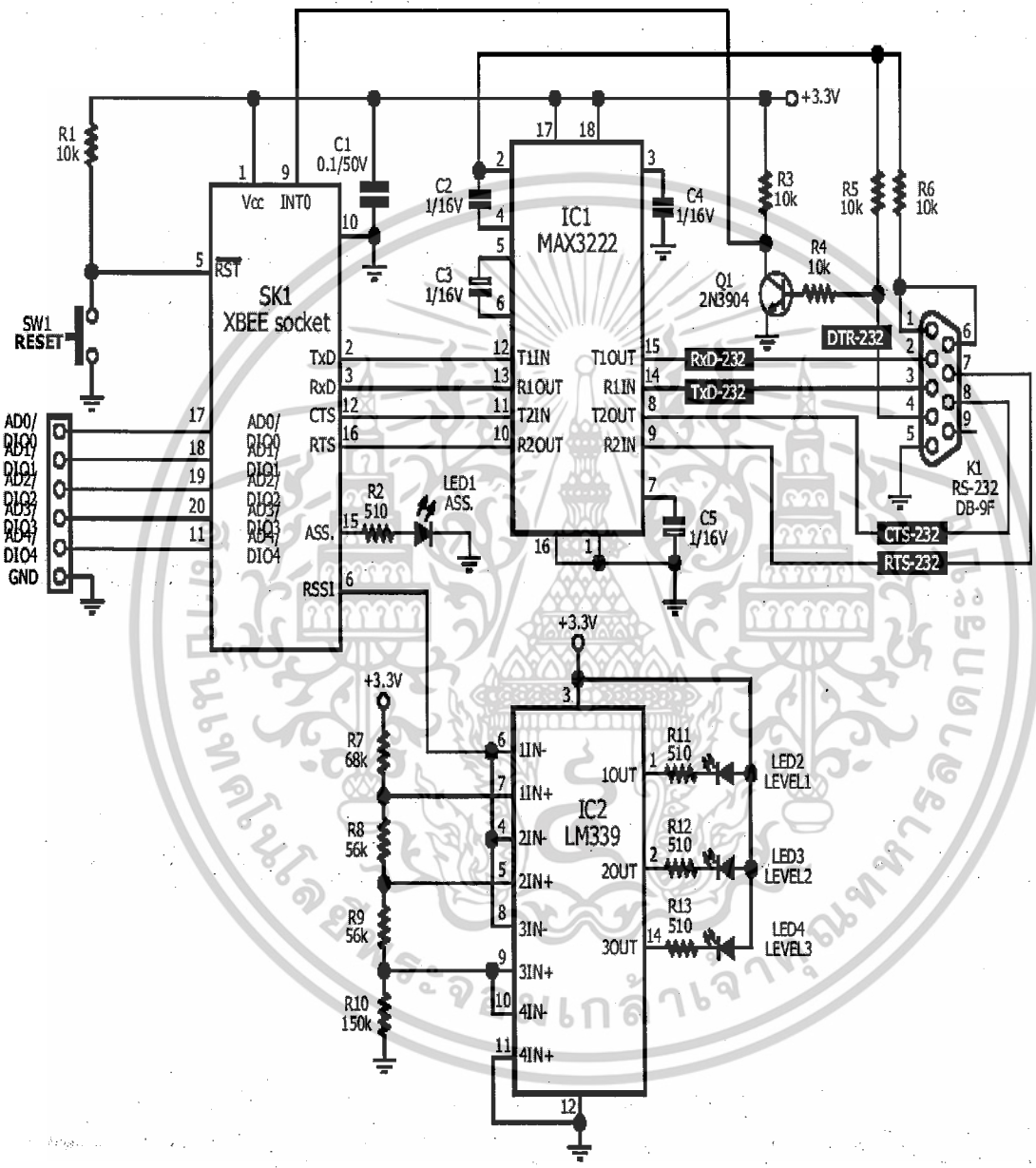
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสร้างอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

3.2.1 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งออกทางพอร์ต RS-232 ผ่านทาง IC MAX 3222 ดังรูปที่ 3.2 เพื่อติดต่อกับโมดูล XBee-PRO ให้ส่งคำสั่งไปให้โมดูลตัวรับ

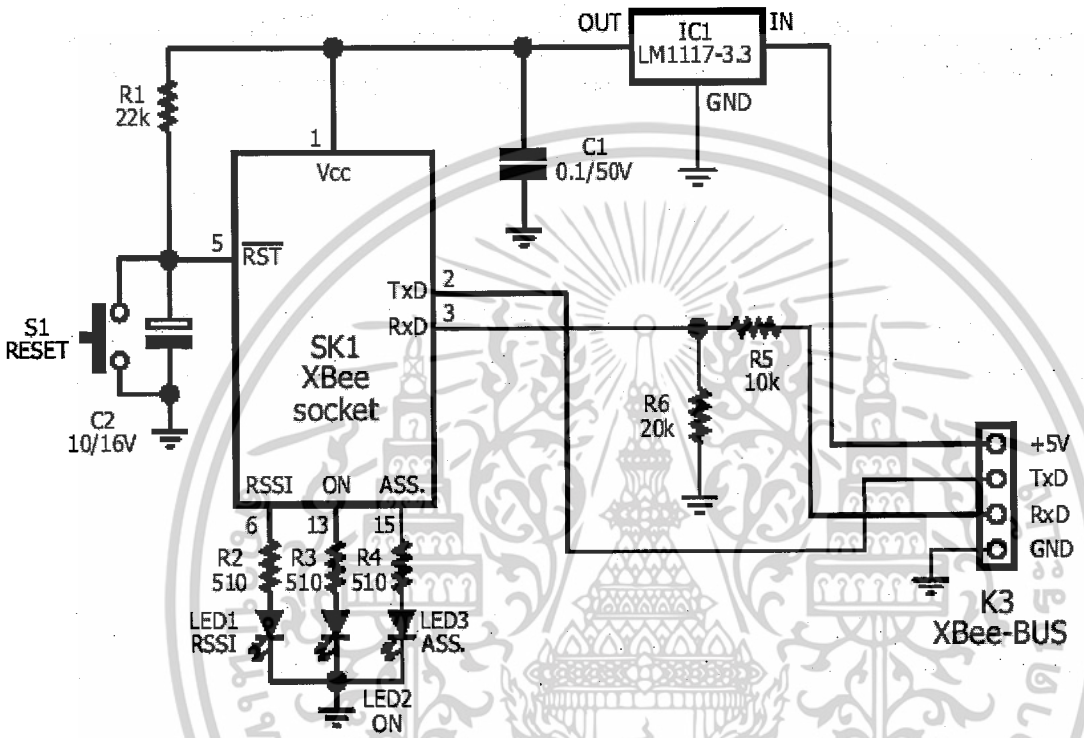


รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

โมดูลจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขา TX และ RX ดังรูปที่ 3.3 เมื่อรับคำสั่งจากโมดูลตัวส่งแล้วจะส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้



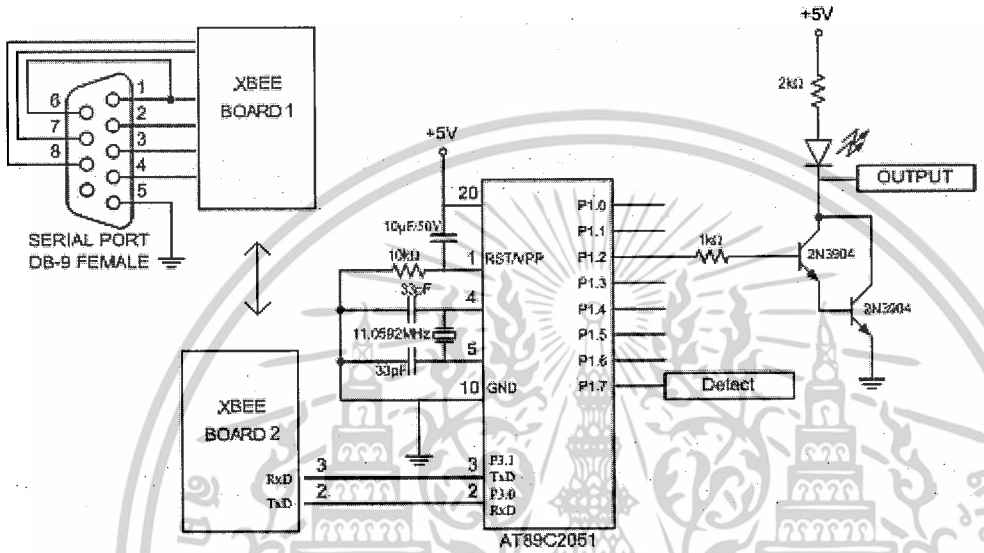
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล XBee-PRO กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.3.1 วงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ใช้สื่อสารระหว่างพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.2 วงจรควบคุมการจ่ายไฟ

- กรณีที่รับข้อมูลให้จ่ายไฟ

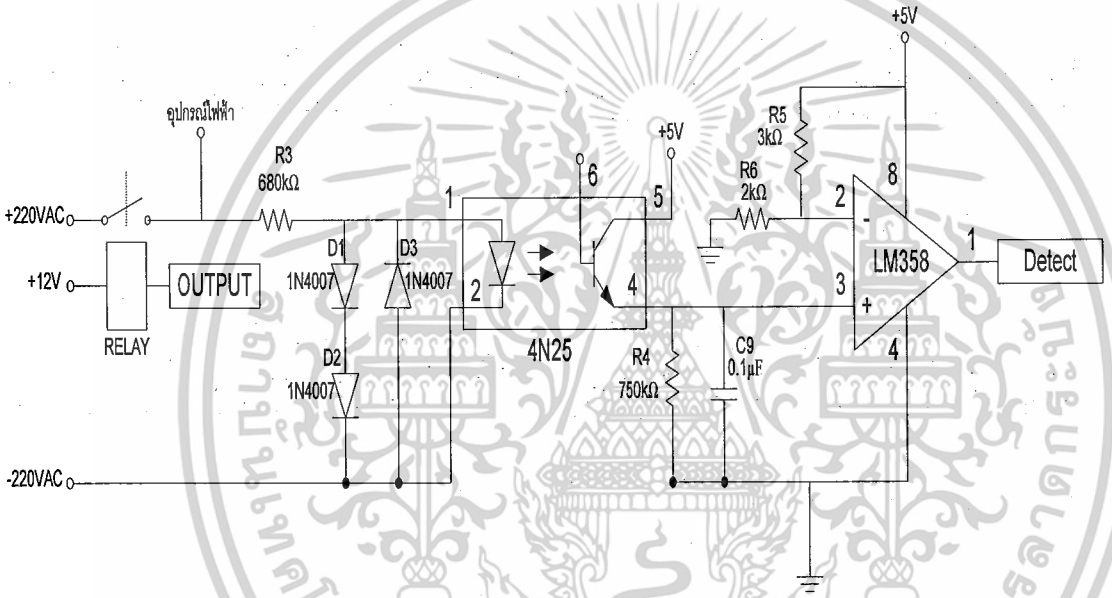
เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งแรงดัน 5 โวลต์ที่ขา P1.2 แรงดัน 5 โวลต์ก็จะถูกขับด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่นำมาต่อกันแบบดาร์ลิงตัน เพื่อเพิ่มกระแสให้รีเลย์สามารถทำงานได้ทำงานได้ เมื่อรีเลย์ทำงานก็จะมีไฟ 220 โวลต์ซึ่งเป็นกระแสสลับผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับวงจร เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในวงจรภายในไอซีเบอร์ 4N25 จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันอินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง แรงดันอินพุตจะมากกว่าแรงดันอ้างอิงทำให้เอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะมีค่าเป็นลอจิก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีที่รับข้อมูลให้ตัดไฟ

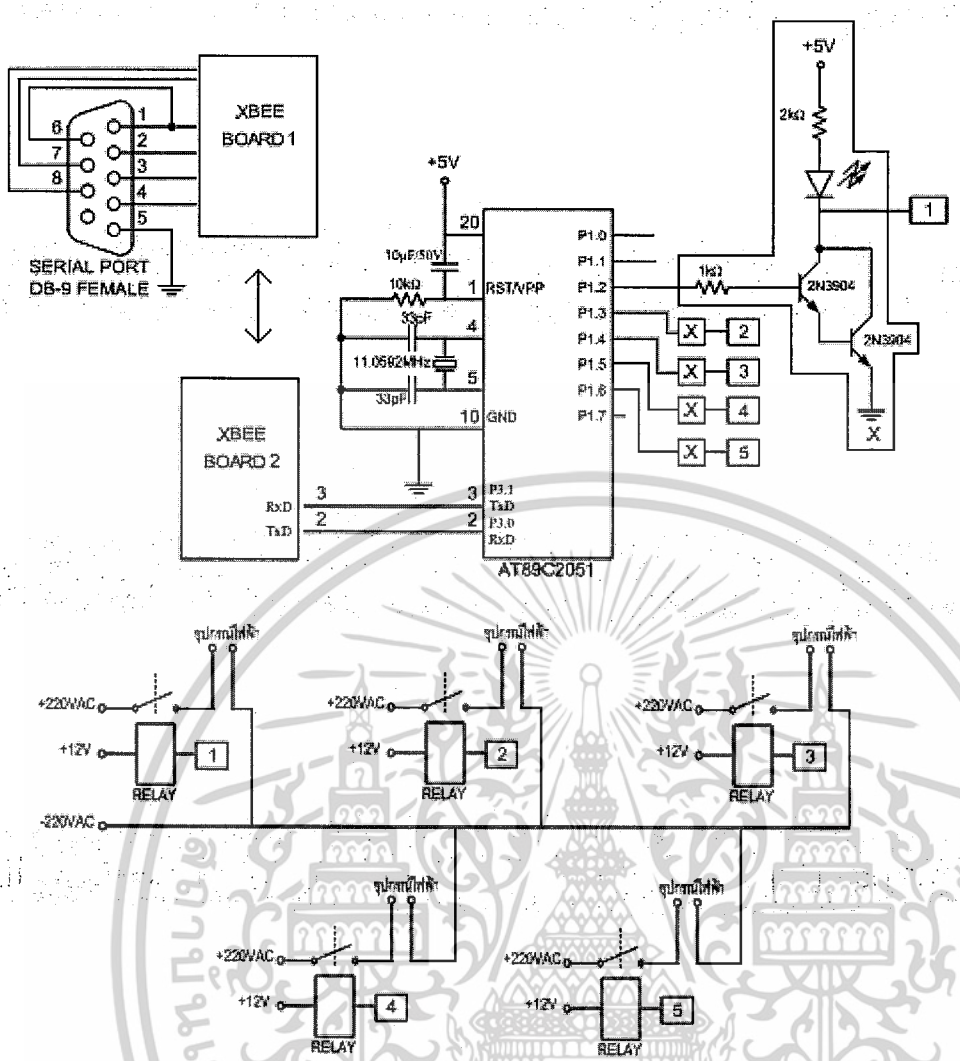
เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P1.2 มีแรงดัน 0 โวลต์ไม่สามารถทำให้รีเลย์ทำงานได้ ดังนั้น ภายในไอซีเบอร์ 4N25 จะไม่เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันอินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ดังนั้นแรงดันอินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจึงเป็น 0 เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง แรงดันอ้างอิงมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจึงมีค่าเป็นลอจิก 0

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะเป็นอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P1.7 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลไปให้กับคอมพิวเตอร์ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นทำงานหรือไม่



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

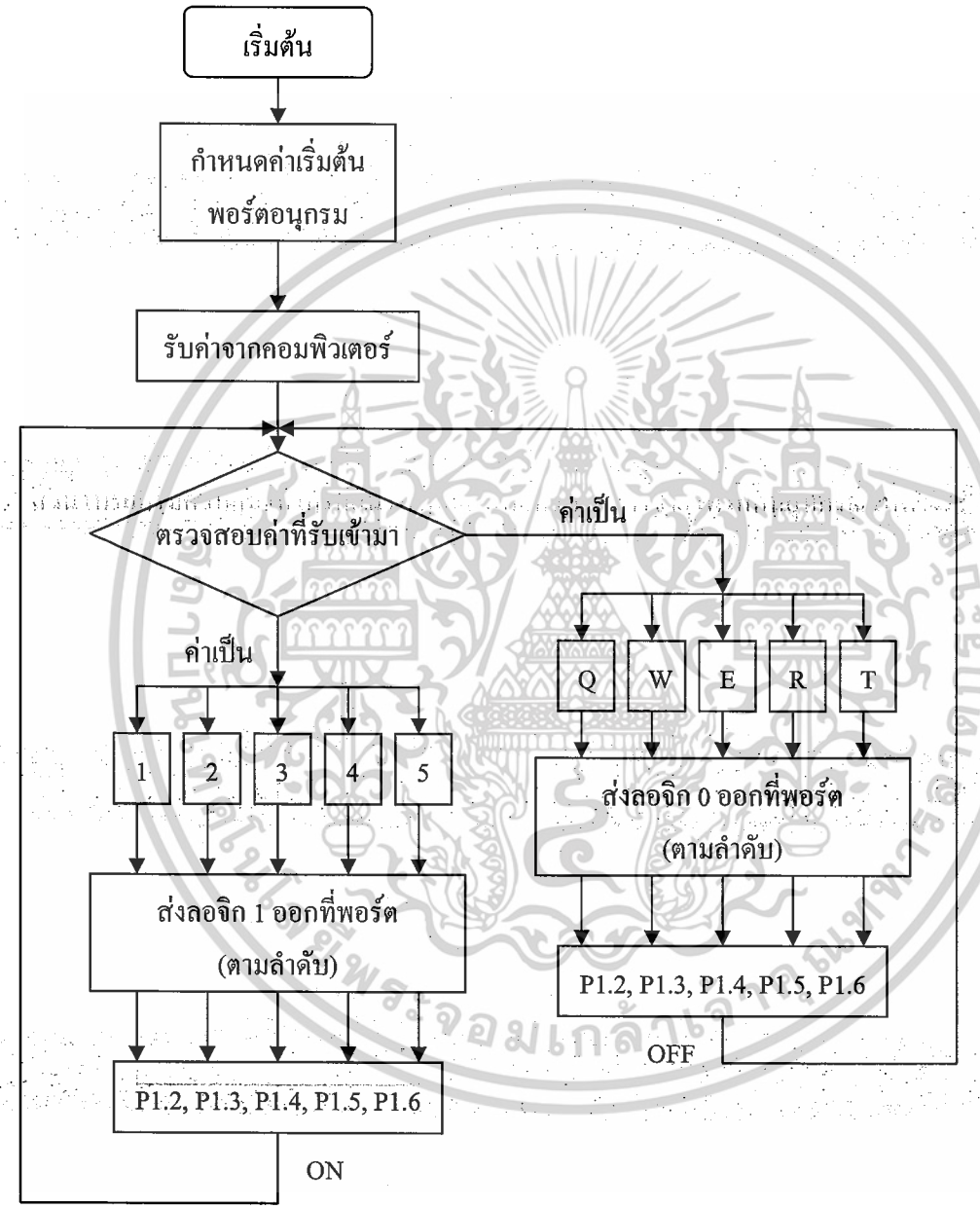


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟผ่านพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและตอบกลับมายังคอมพิวเตอร์ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นทำงานหรือไม่



รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกการทำงานของโปรแกรม

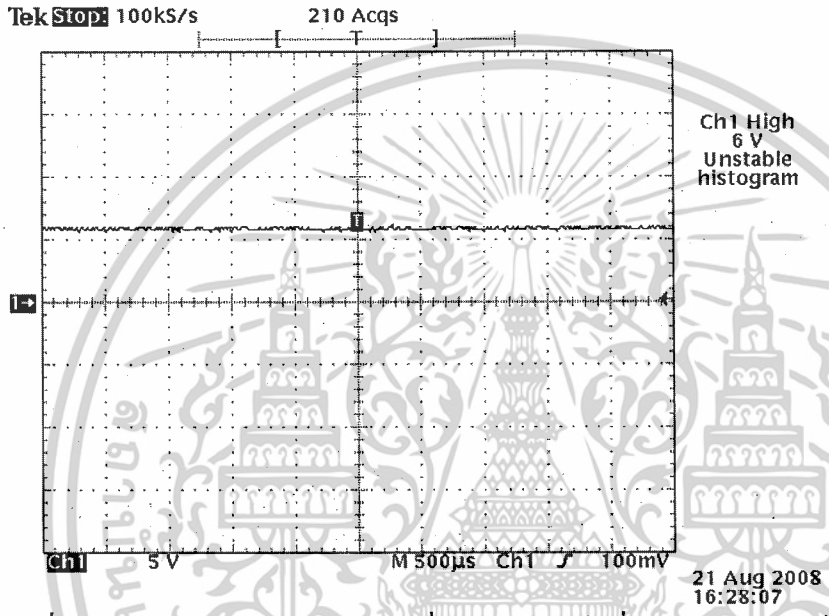
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

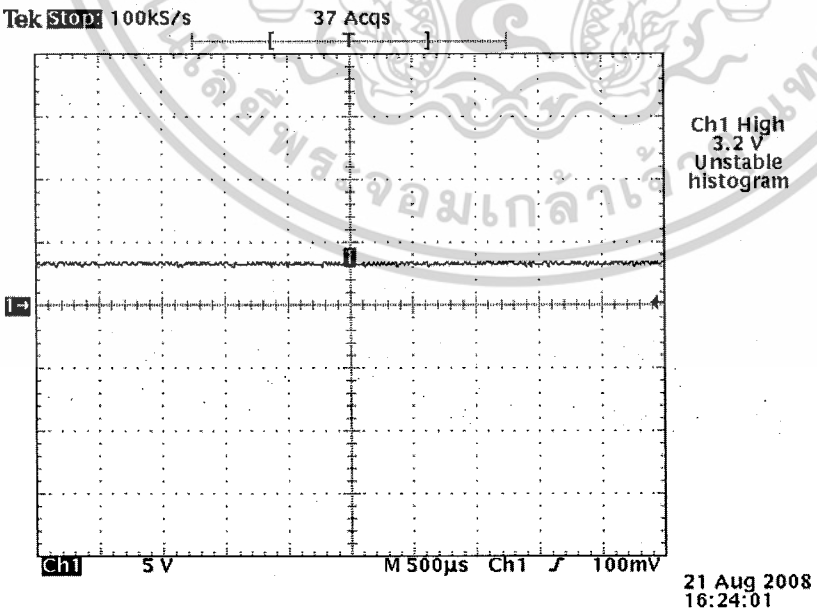
4.1 การทดสอบและตั้งค่าโมดูล XBee-PRO

4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าฟ้า 6 V ให้กับบอร์ด LED ตำแหน่ง POWER จะติด และ LED ตำแหน่ง ASS. กะพริบ จากนั้นแรงดันไฟฟ้าฟ้าขนาด 6 V จะถูกลดแรงดันลงเหลือ 3.3 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับโมดูล XBee-PRO



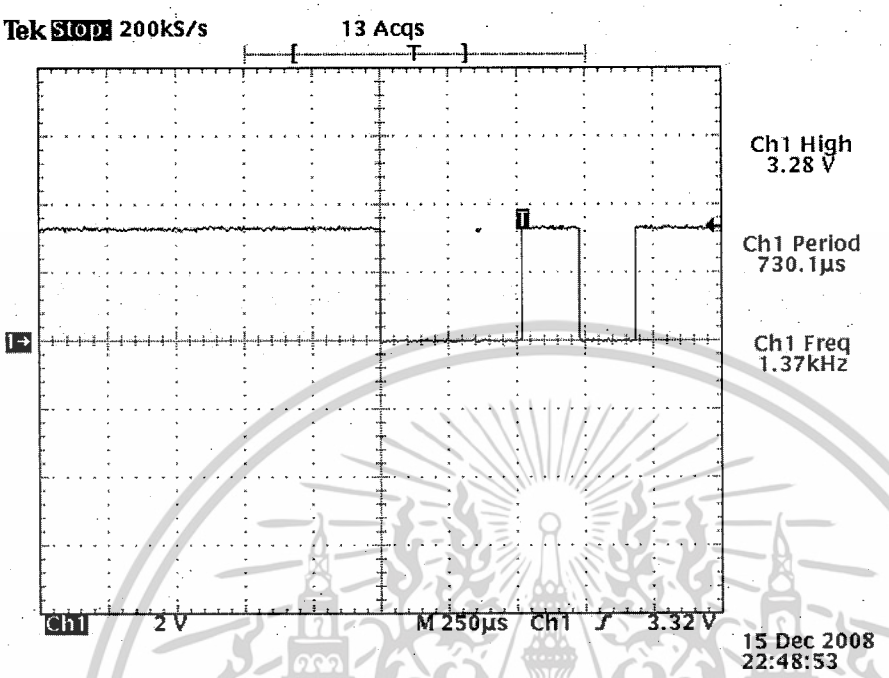
รูปที่ 4.1 แสดงแรงดันไฟฟ้าขนาด 6 V ที่จ่ายให้กับบอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์



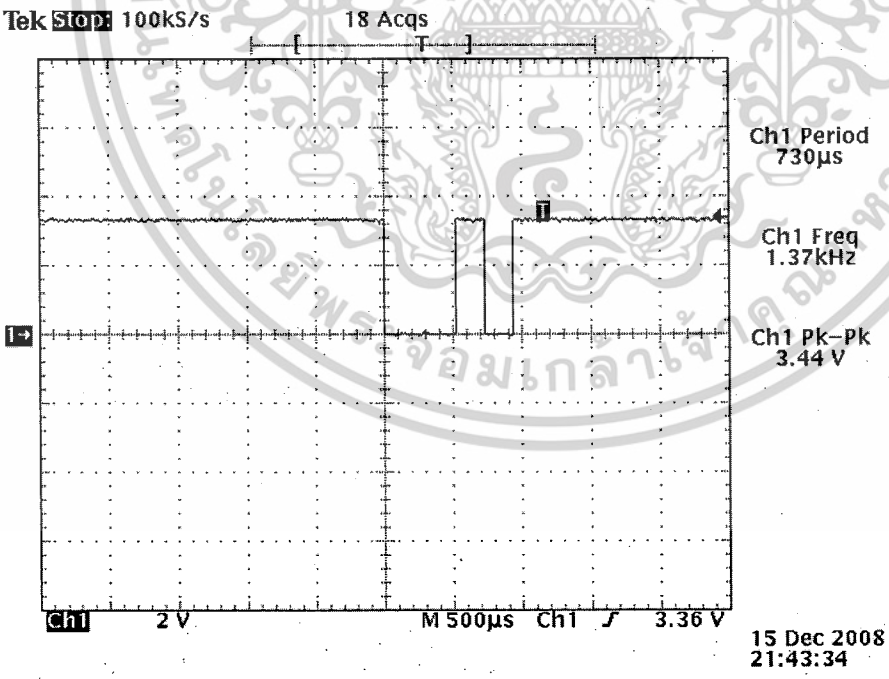
รูปที่ 4.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าขนาด 3.2 V ของโมดูล XBee-PRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามทฤษฎีให้สามารถติดต่อกันได้
- ทดลองส่งคำสั่ง 0 จากคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการวัดค่าที่ได้จากตัวส่งและตัวรับ



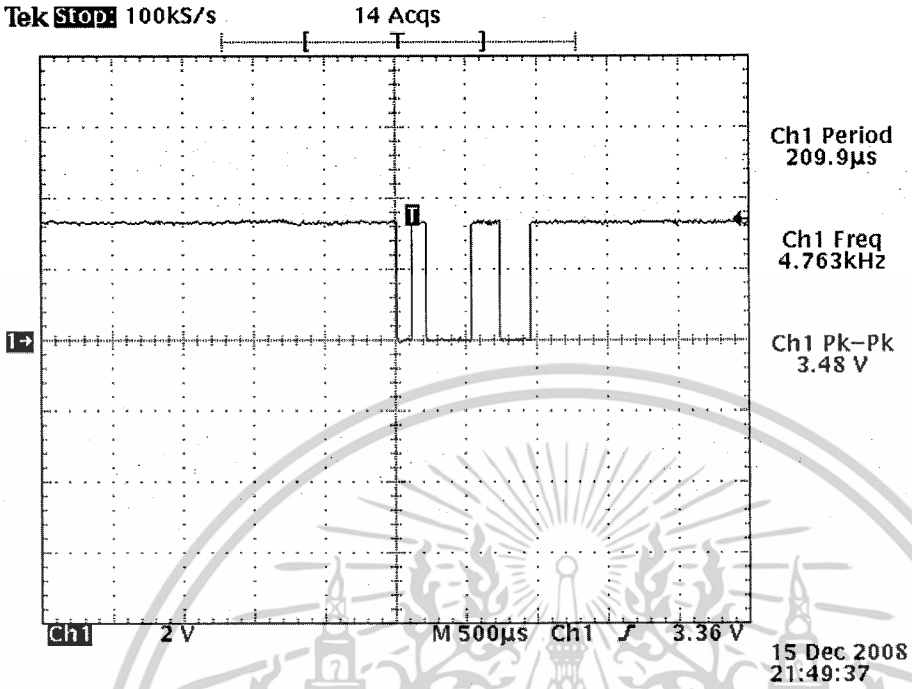
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณค่า 0 ที่ได้จากโมดูลตัวส่ง



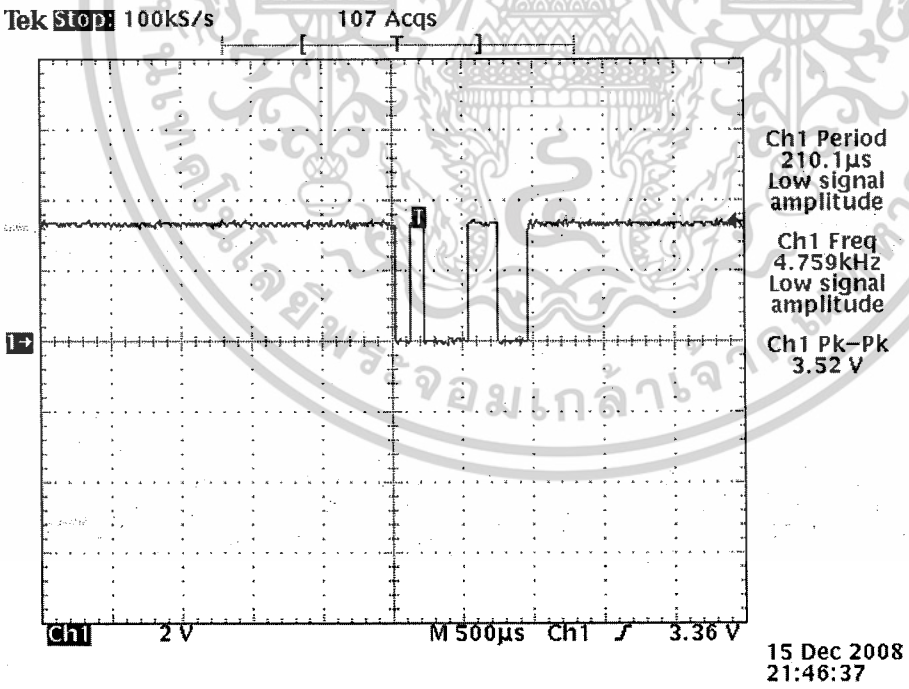
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณค่า 0 ที่ได้จากโมดูลตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดลองส่งคำสั่ง 1 จากคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการวัดค่าที่ได้จากตัวส่งและตัวรับ



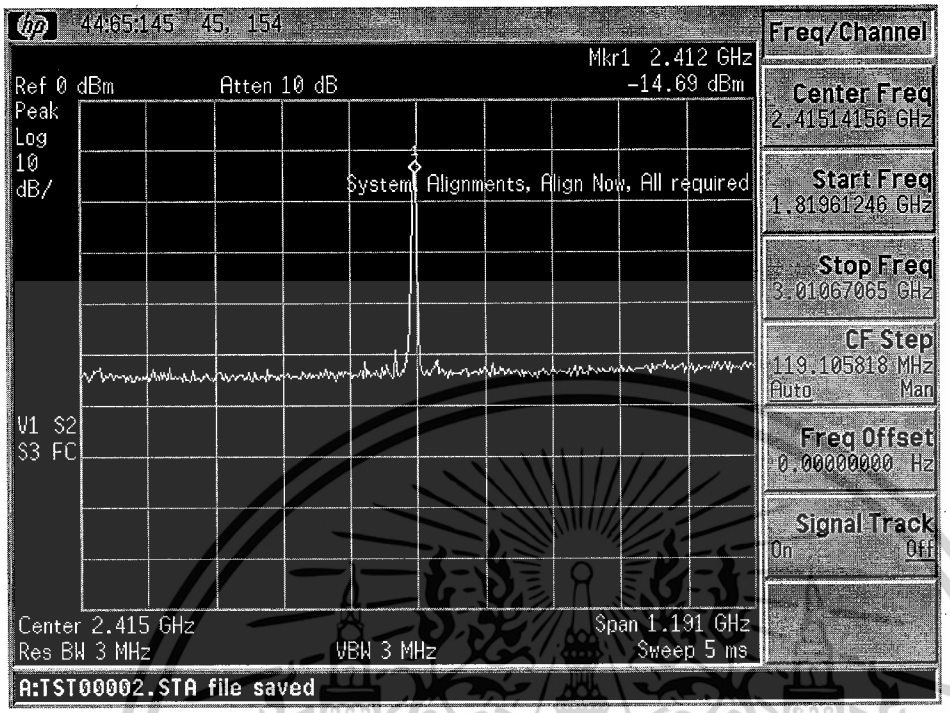
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณค่า 1 ที่ได้จากโมดูลตัวส่ง



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณค่า 1 ที่ได้จากโมดูลตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวัดความถี่ของสัญญาณระหว่างโมดูลตัวส่งกับตัวรับ ได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงสเปคตรัมความถี่ของสัญญาณ

- ทำการทดสอบระยะทางการรับส่งสัญญาณ ได้ผลดังตารางที่ 4.1

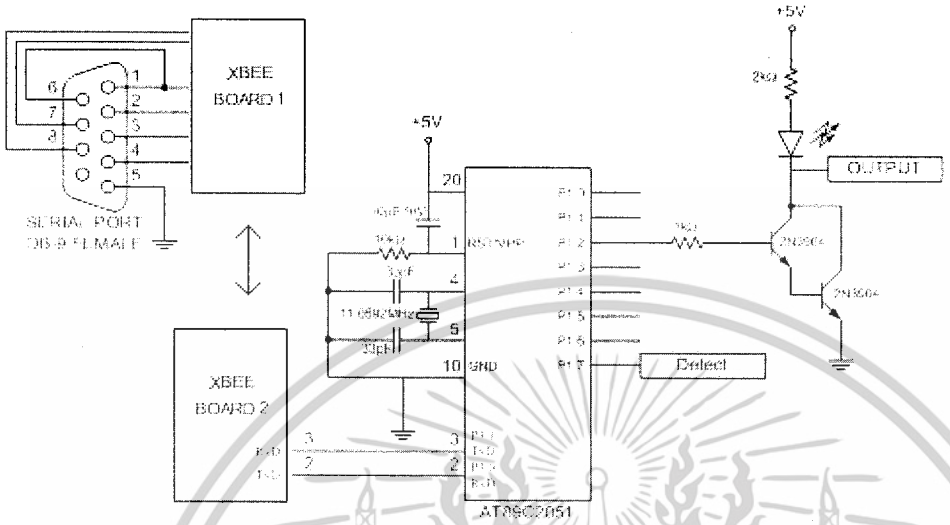
สถานที่	ระยะทางที่รับส่งได้ (เมตร)
ในอาคารที่มีสัญญาณรบกวนมาก	30
ในอาคารที่มีสัญญาณรบกวนน้อย	50
ในที่โล่ง	200

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะทางในการรับส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P1.2

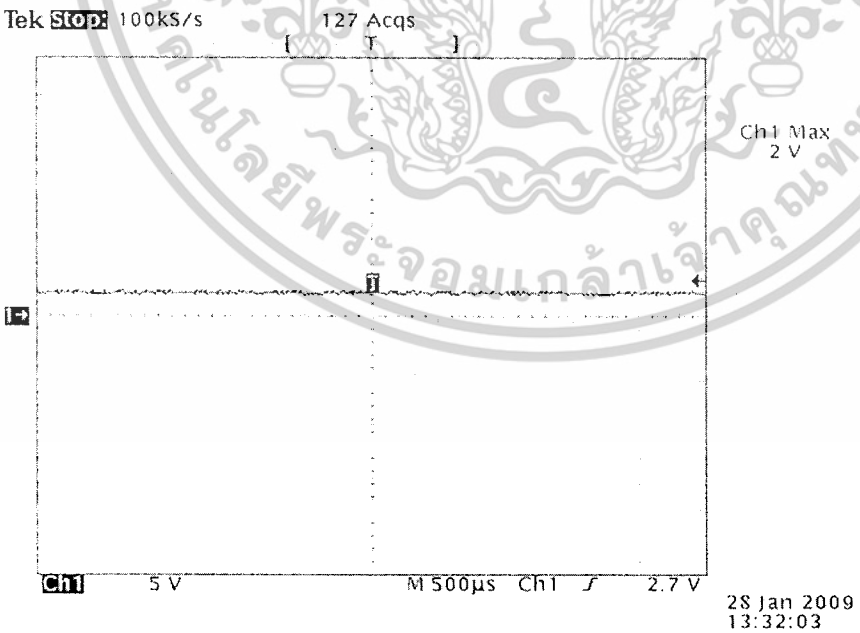
ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 4.8 ทำการส่งคำสั่ง 1 และ Q จากคอมพิวเตอร์ และวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง OUTPUT ซึ่งเป็นไปได้ 2 กรณี



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์

4.2.1 กรณีส่งคำสั่ง 1 จากคอมพิวเตอร์ออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

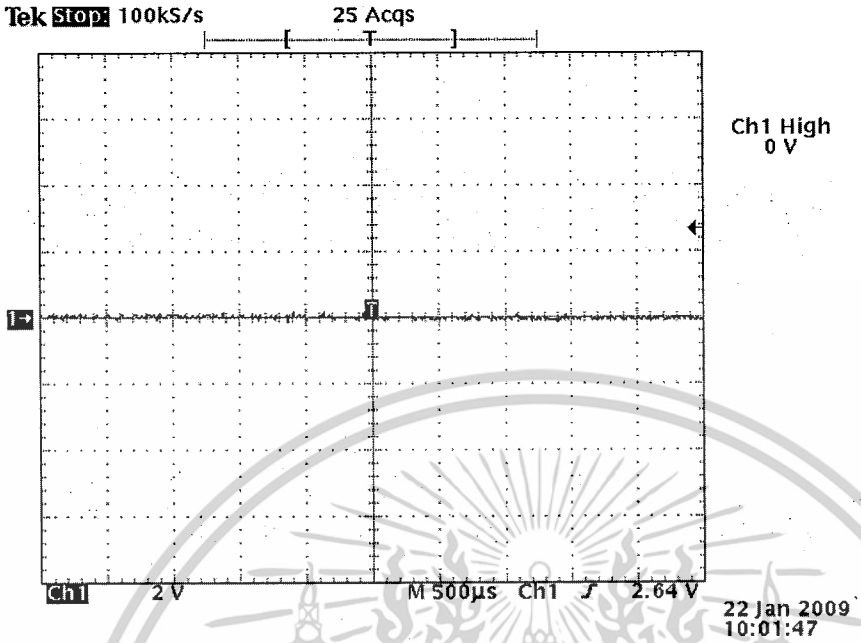
ทำการวัดสัญญาณที่ขา P1.2 ได้ผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันที่ขา P1.2 เมื่อคำสั่งเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง output ได้ผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงแรงดันที่ขา output เมื่อคำสั่งเป็น 1

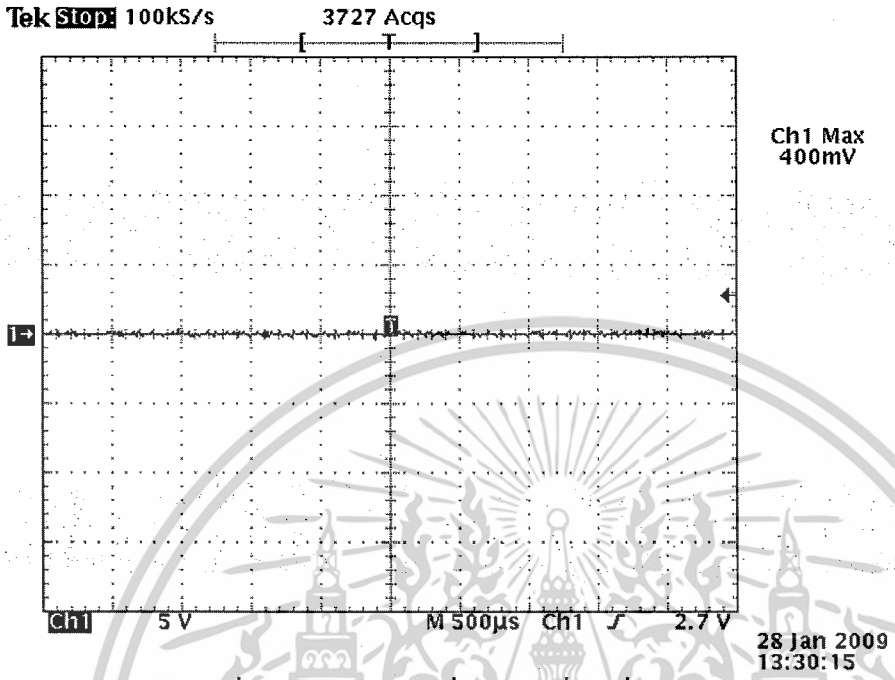
และจะแสดงสถานะไฟสว่างที่ LED ได้ผลดังรูป 4.11

รูปที่ 4.11 แสดงสถานะไฟสว่างที่ LED เมื่อคำสั่งเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

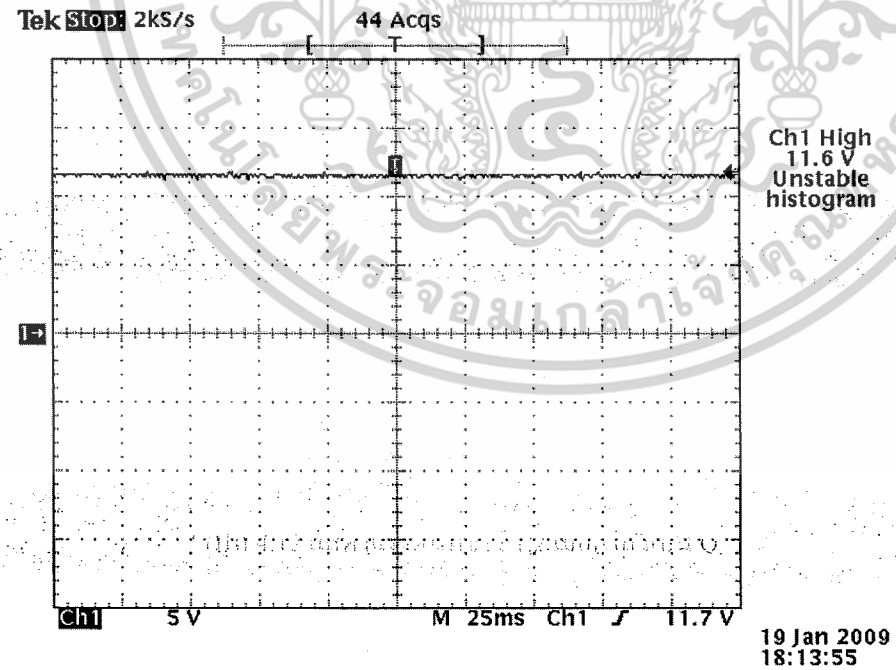
4.2.2 กรณีส่งคำสั่ง Q จากคอมพิวเตอร์ออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการวัดสัญญาณที่ขา P1.2 ได้ผลดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันที่ขา P1.2 เมื่อคำสั่งเป็น Q

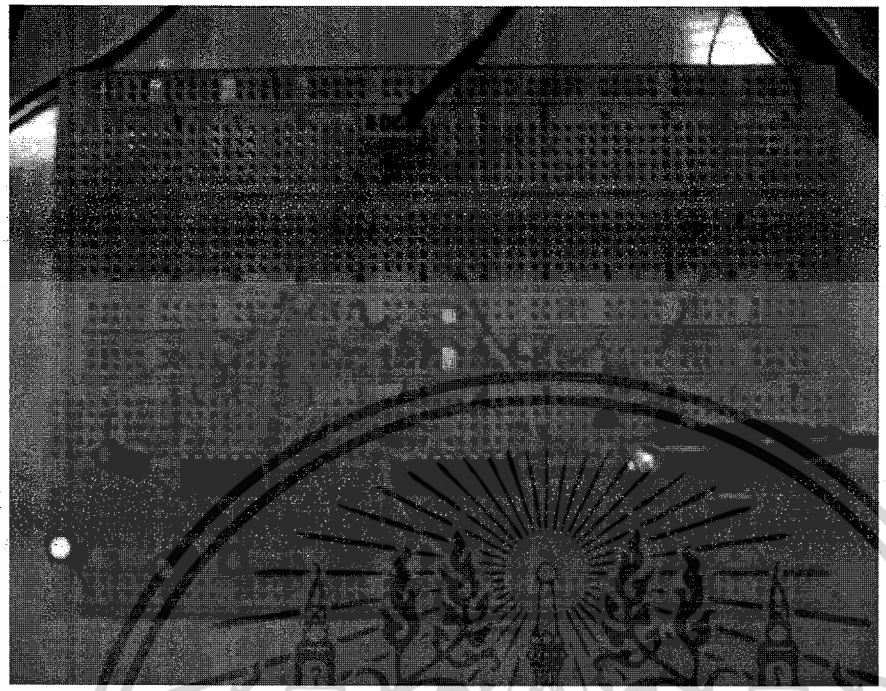
ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง output ได้ผลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงแรงดันที่ขา output เมื่อคำสั่งเป็น Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

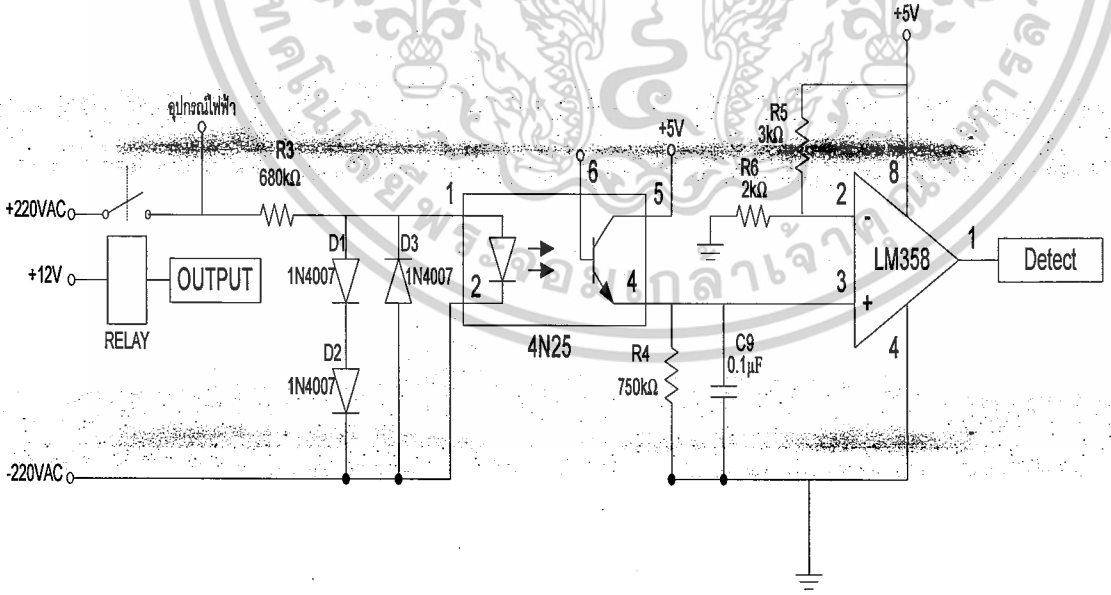
และทำให้ไฟที่ LED ดับได้ผลดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงสถานะ LED ดับเมื่อคำสั่งเป็น Q

4.3 การทดลองวงจรควบคุมการจ่ายไฟและวงจร detect

ทำการต่อวงจรดังรูป 4.15 จ่ายไฟเข้าที่ขารีเลย์ที่ OUTPUT เป็น 0v กับ 5v และวัดสัญญาณ

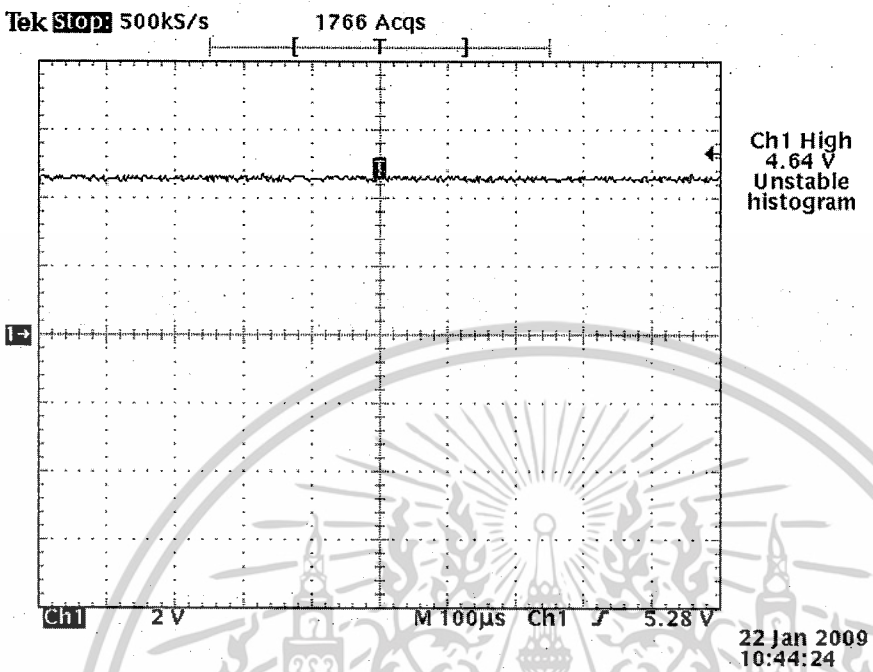


รูปที่ 4.15 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟและวงจร detect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

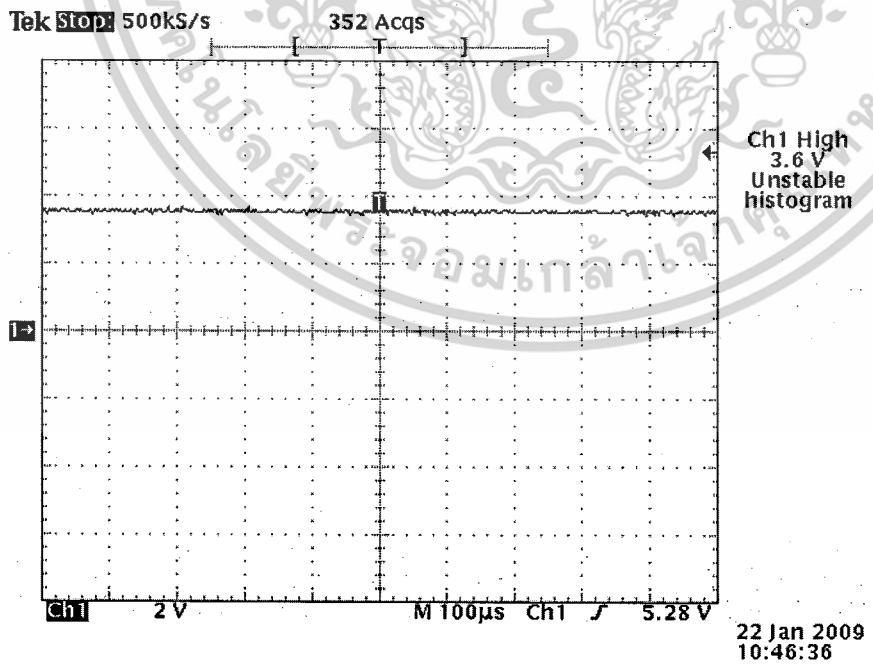
4.3.1 กรณีรีเลย์ทำงาน เมื่อจ่ายไฟ 0v เข้าที่ขารีเลย์ OUTPUT

- วัดสัญญาณที่ขา 4 ของ IC 4N25 ได้ผลดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 ของ IC 4N25 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น ON

- วัดสัญญาณที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อรับสัญญาณจาก 4N25 ได้ผลดังรูปที่ 4.17

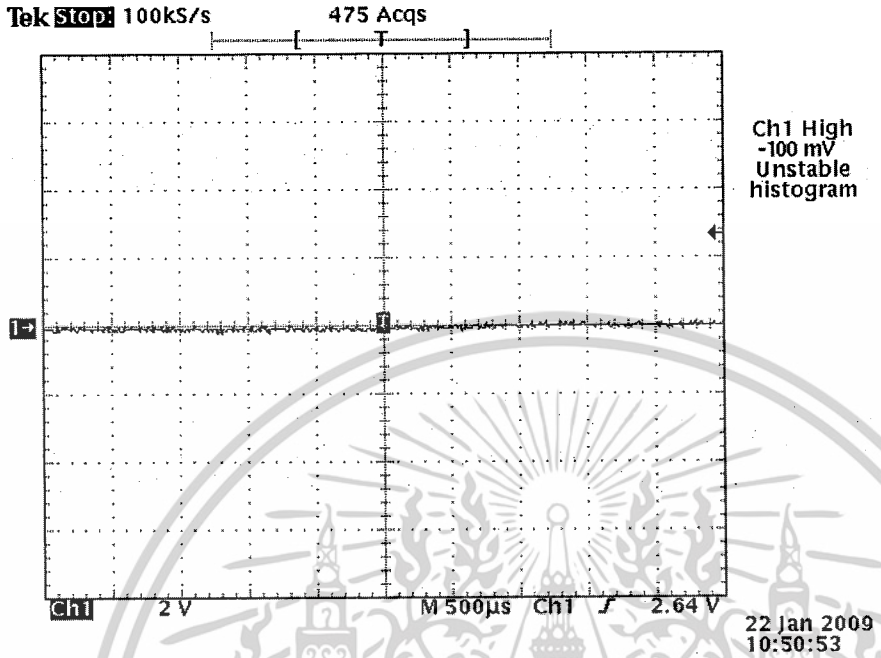


รูปที่ 4.17 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

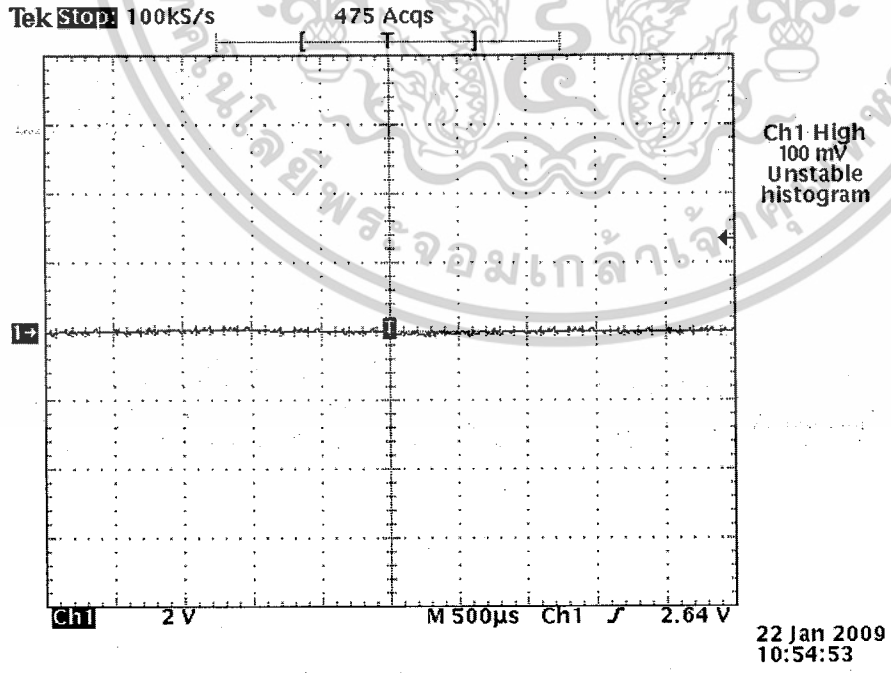
4.3.2 กรณีรีเลย์ไม่ทำงาน เมื่อจ่ายไฟ 5v ให้กับขารีเลย์ OUTPUT

- วัดสัญญาณที่ขา 4 ของ IC 4N25 ได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 ของ IC 4N25 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น OFF

- วัดสัญญาณที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อรับสัญญาณจาก 4N25 ได้ผลดังรูปที่ 4.19

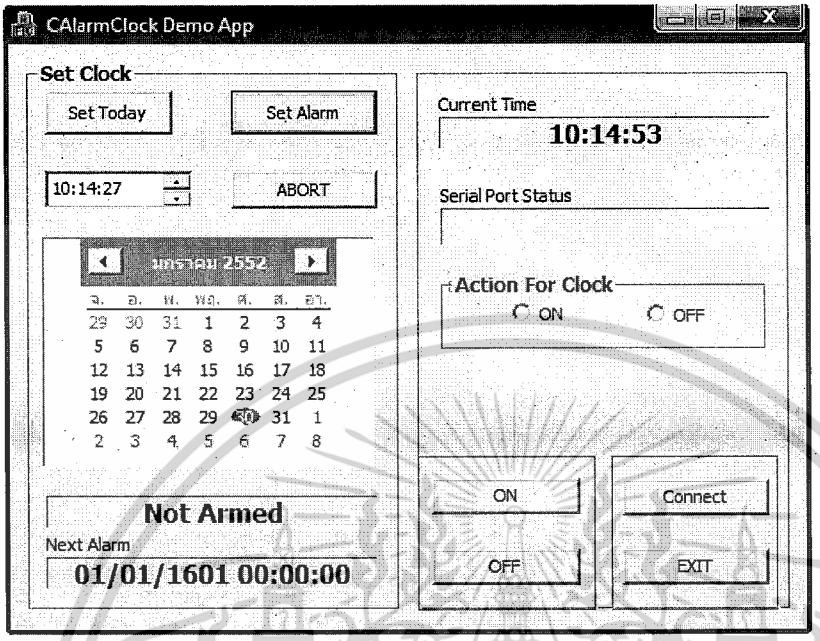


รูปที่ 4.19 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 1 ของ IC LM358 เมื่อสถานะของอุปกรณ์เป็น OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

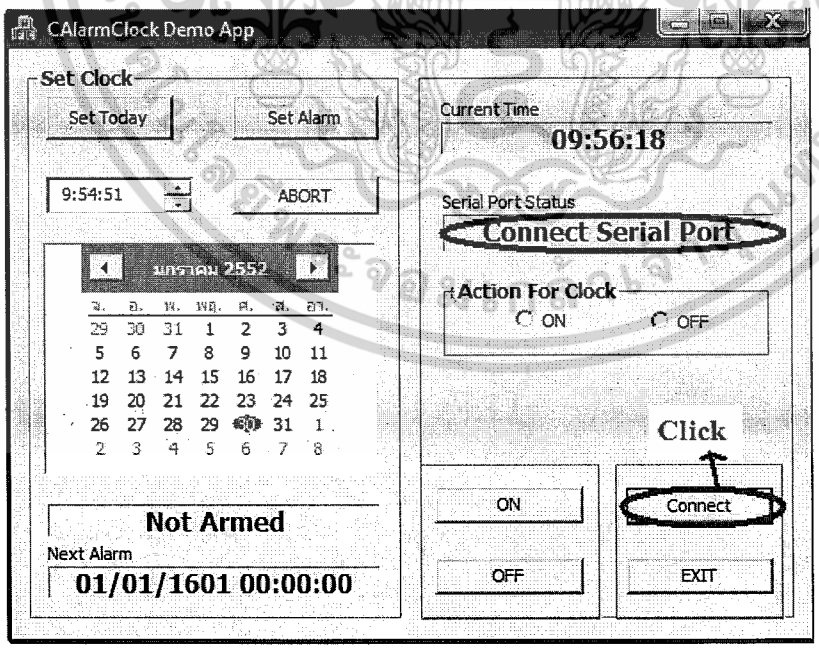
4.4 การทดลองการรับ – ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

- ทำการทดลองผ่านโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

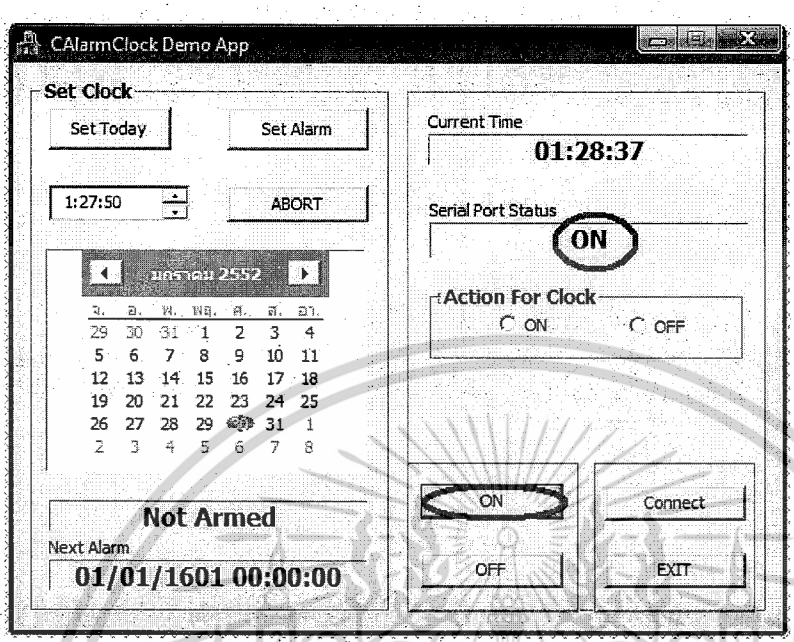
- ทำการคอนเน็คกับ Serial port โดยกด connect และดูสถานะการติดต่อ ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงการเชื่อมต่อโปรแกรมกับ Serial port

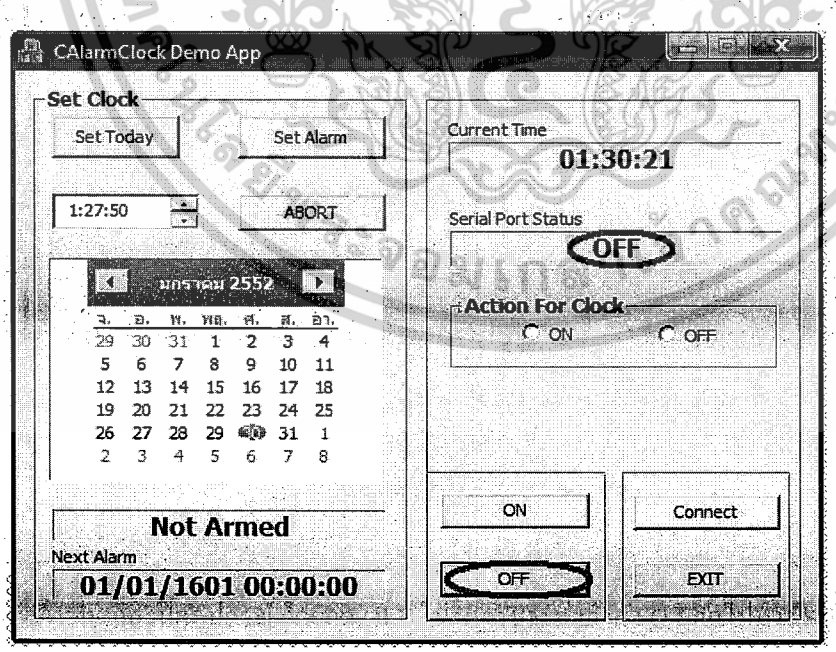
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการทดลองเปิดอุปกรณ์ โดยกด ON โปรแกรมจะส่งคำสั่ง 1ออกไปทาง Serial port และแสดงสถานะกลับมาว่า ON ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงการกดเปิดอุปกรณ์

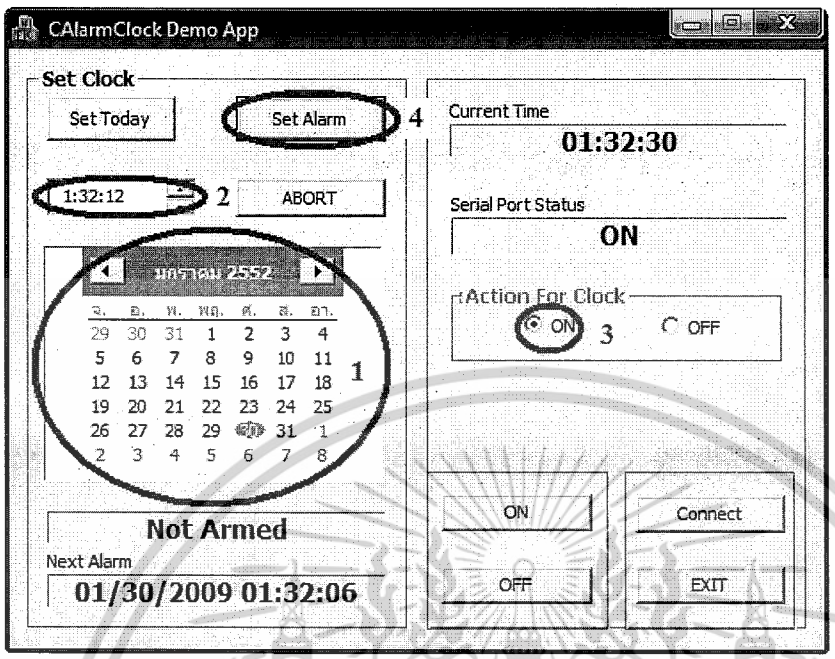
- ทำการทดลองปิดอุปกรณ์ โดยกด OFF โปรแกรมจะส่งคำสั่ง Q ออกไปทาง Serial port และแสดงสถานะกลับมาว่า OFF ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงการกดปิดอุปกรณ์

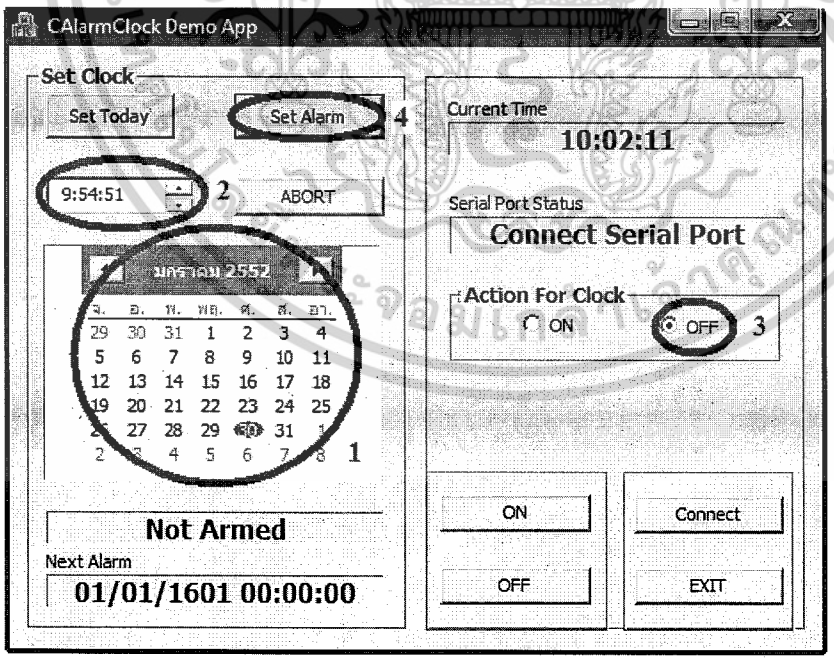
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดลองตั้งเวลาเปิดอุปกรณ์ โดยเลือก ON ตั้งวันที่และเวลา กดปุ่ม Set Alarm ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงการตั้งเวลาเปิดอุปกรณ์

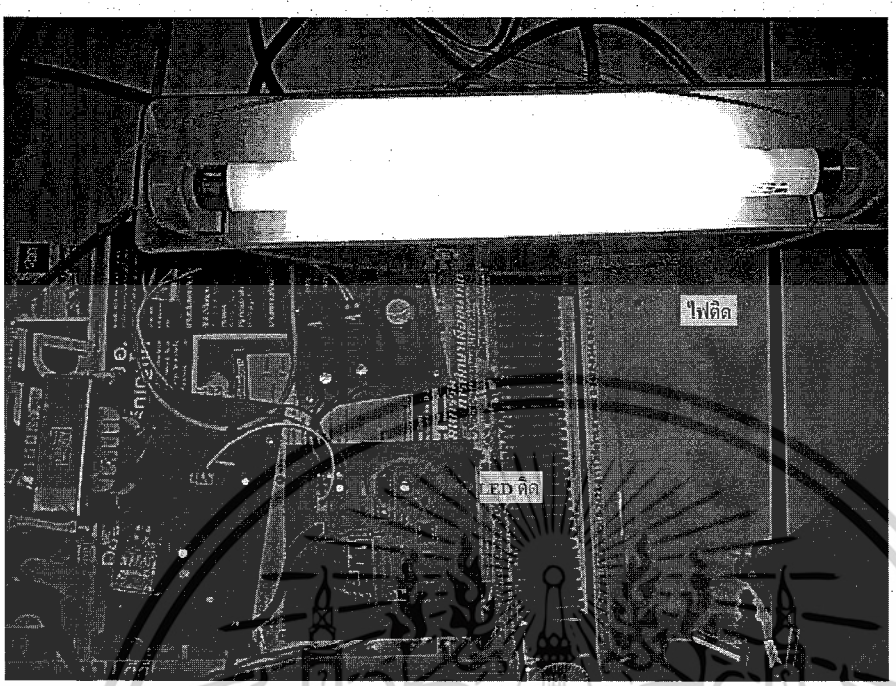
- ทดลองตั้งเวลาปิดอุปกรณ์ โดยเลือก Off ตั้งวันที่และเวลา กดปุ่ม Set Alarm ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงการตั้งเวลาปิดอุปกรณ์

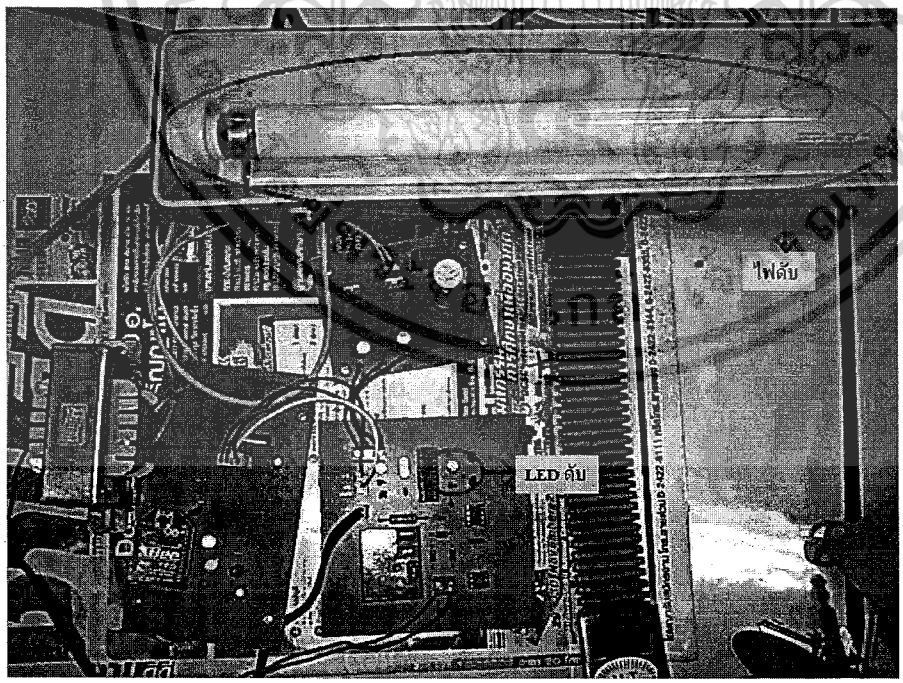
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดลองกด ON หรือ ตั้งเวลาเปิดของสวิตซ์ หลอดไฟ และ LED ก็จะสว่าง ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงการสว่างของหลอดไฟ และ LED เมื่อทำการกด ON หรือตั้งเวลาเปิด

- ทดลองกด OFF หรือ การตั้งเวลาปิด หลอดไฟ และ LED ก็จะไม่ติด ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงสถานะหลอดไฟ และ LED เมื่อทำการกด OFF หรือ ตั้งเวลาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

จากการทดลองในแต่ละส่วนของโครงงาน ในส่วนการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านพอร์ตอนุกรมนั้น การทดลองในแต่ละส่วนได้ผลตามที่คาดหมายไว้ โดยในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตามคำสั่งที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง แต่ในส่วนของ Xbee นั้นใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านเดียวกันกับ Bluetooth และ Wireless Lan ดังนั้นสัญญาณอาจจะเกิดการกวนกันได้ บางครั้งสัญญาณอาจจะขาดหาย บางครั้งก็สามารถรับได้ครบถ้วน โดยความแรงของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่ใช้ส่ง และสถานที่ที่ทำการส่งว่ามีการรบกวนของสัญญาณอื่นมากน้อยเพียงใด

นอกจากนี้ยังมีแนวคิดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ Xbee กับสถานการณ์ต่างๆเช่น การนำ Xbee ไปติดตั้งในรถยนต์ เชื่อมต่อกับกล่อง ECU ในรถยนต์ซึ่งเป็นเหมือนสมองของรถยนต์ เพื่อเก็บข้อมูลขณะขับขี่ และสามารถนำข้อมูลต่างๆเหล่านี้ออกมาใช้งานได้เช่น นำไปใช้ในการให้บริการหลังการขายของบริษัทรถยนต์ โดยเมื่อนำรถเข้าศูนย์บริการ Xbee จะส่งข้อมูลให้ศูนย์บริการเพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหาของรถยนต์ได้ หรือจะใช้เก็บข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ของพนักงานขับรถตามบริษัท และยังสามารถนำไปใช้ในการปรับแต่งเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ที่ใช้ระบบแก๊สให้เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรรจิครวิไล เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ฉบับ AT89C5x/AT89Sxxx (ปรับปรุงครั้งที่ 4)

[2]วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรรจิครวิไล เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ฉบับ AT89C5x ของ Atml

[3] รองศาสตรจารย์ สมยศจุณณะปิยะ การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

[4] นิรุธ อำนวยศิลป์ Network and protocols Programming using C/C++

[5] สนุกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ฉบับ MCS-51

[6] PC Magazine

[7] http://www.tj.co.th/2005/article/w_market/index.html (เทเลคอมเจอร์นัล)

[8] http://www.digi.com/technology/wireless/products.jsp

[9] http://www.thaieasyelec.com

[10] http://zigbee-interference.blogspot.com/

[11] http://www.scaat.info/forum/index.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

```
//        File: Main1_3.c

#include <reg51.h>

//        Function Prototype

void sysinit(void);
void check_relay(void);
//        Declare variable
unsigned char COMMAND;                          // Command register.
//        Bit Assignment
sbit      RELAY1 = P1^2;                        // Relay for channel 1.
sbit      RELAY2 = P1^3;                        // Relay for channel 2.
sbit      RELAY3 = P1^4;                        // Relay for channel 3.
sbit      RELAY4 = P1^5;                        // Relay for channel 4.
sbit      RELAY5 = P1^6;                        // Relay for channel 5.
bit               RECEIVEF;                     // Receive data from UART port(RS232) flag.
//                        Main program
void main(void)
{
        sysinit();
        // Call system initiallization.
        while(1)
        {
                check_relay();
        // Check command for ON/OFF relay
        }
}
//        This fucntion is system initialization
void sysinit(void)
{
        P1 = 0;                                 // Turn off all Relay port.
        TMOD = 0x21;                    // Set timer1 mode2 is 8 bit auto-reload timer.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        // Set timer0 mode1 is 16 bit timer/counter.
        SCON = 0x50;                    // srial control Rx Tx  mode 1
        TH1 = 0xFD;                     // Set  Baud Rate  9600
        ES = 1;                         // Enable Serial port interupt.
        EA = 1;                         // Enable all interrupt.
        TR1  = 1;                       // Start Timer 1.
        RI = 0;                         // Clear Receive interrupt flag.
}
//      This is function Control Relay
void check_relay(void)
{
        if(RECEIVEF == 1)
        // Have receive data from UART port(RS232)?
        {                               // Yes! and then,
                RECEIVEF = 0;           // Clear receive flag.
                switch(COMMAND)         // Check Command value.
                {
                        case '1': RELAY1 = 1; break;    // Turn ON Relay 1
                        case '2': RELAY2 = 1; break;    // Turn ON Relay 2
                        case '3': RELAY3 = 1; break;    // Trun ON Relay 3
                        case '4': RELAY4 = 1; break;    // Trun ON Relay 4
                        case '5': RELAY5 = 1; break;    // Turn ON Relay 5
                        case 'q': RELAY1 = 0; break;    // Turn OFF Relay 1
                        case 'w': RELAY2 = 0; break;    // Turn OFF Relay 2
                        case 'e': RELAY3 = 0; break;    // Turn OFF Relay 3
                        case 'r': RELAY4 = 0; break;    // Turn OFF Relay 4
                        case 't': RELAY5 = 0; break;    // Turn OFF Relay 5
                        case 'Q': RELAY1 = 0; break;    // Turn OFF Relay 1
                        case 'W': RELAY2 = 0; break;    // Turn OFF Relay 2
                        case 'E': RELAY3 = 0; break;    // Turn OFF Relay 3
                        case 'R': RELAY4 = 0; break;    // Turn OFF Relay 4
                        case 'T': RELAY5 = 0; break;    // Turn OFF Relay 5
                        default: break;
                }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

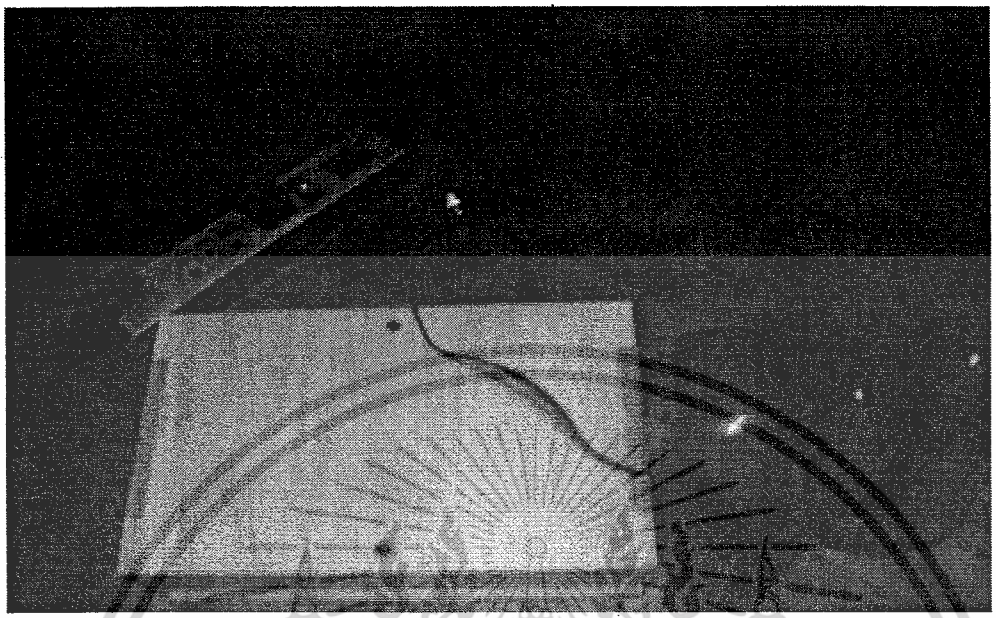
```
        }
}

//      This fucntion for Recive data on serial port RS232

void isr_serint(void) interrupt 4
{
        if(RI)                                  // Have Receive interrupt flag ?
        {                                       // Yes! and then
                RI = 0;                         // Clear Rx interrupt flag.
                COMMAND = SBUF;                 // Save command value
                RECEIVEF = 1;                   // Set receive flag.
        }
        if(TI)                                  // Have Transmit interrupt flag ?
        {
                // Yes! and then,
                TI = 0;                         // Clear Tx interrupt flag.
        }
}
//                      End of program
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

The XBee and XBee-PRO OEM RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.

1.1. Key Features

Long Range Data Integrity

XBee
- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (100 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO
- Indoor/Urban: up to 300' (100 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1500 m)
- Transmit Power: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Low Power

XBee
- TX Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

XBee-PRO
- TX Current: 215 mA (@3.3 V)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O

I/O Line Passing

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available

Source/Destination Addressing

Unicast & Broadcast Communications

Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Coordinator/End Device operations

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications

Free X-CTU Software (Testing and configuration software)

AT and API Command Modes for configuring module parameters

Extensive command set

Small form factor

Free & Unlimited RF-XPert Support

1.1.1. Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p59] for FCC Requirements.
Systems that contain XBee/XBee-PRO RF Modules inherit MaxStream Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee/XBee-PRO RF Modules are optimized for use in the **United States, Canada, Australia, Israel and Europe**. Contact MaxStream for complete list of government agency approvals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 100 ft. (30 m)	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 300 ft. (100 m)	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP*
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	If PL=0 (10dBm): 137mA(@3.3V), 139mA(@3.0V) PL=1 (12dBm): 155mA (@3.3V), 153mA(@3.0V) PL=2 (14dBm): 170mA (@3.3V), 171mA(@3.0V) PL=3 (16dBm): 188mA (@3.3V), 195mA(@3.0V) PL=4 (18dBm): 215mA (@3.3V), 227mA(@3.0V)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	n/a	005NYCA0378 (Max. 10 dBm transmit power output)**

* When operating in Europe: XBee-PRO RF Modules must be configured to operate at a maximum transmit power output level of 10 dBm. The power output level is set using the PL command. The PL parameter must equal "0" (10 dBm).

Additionally, European regulations stipulate an EIRP power maximum of 12.86 dBm (19 mW) for the XBee-PRO and 12.11 dBm for the XBee when integrating high-gain antennas.

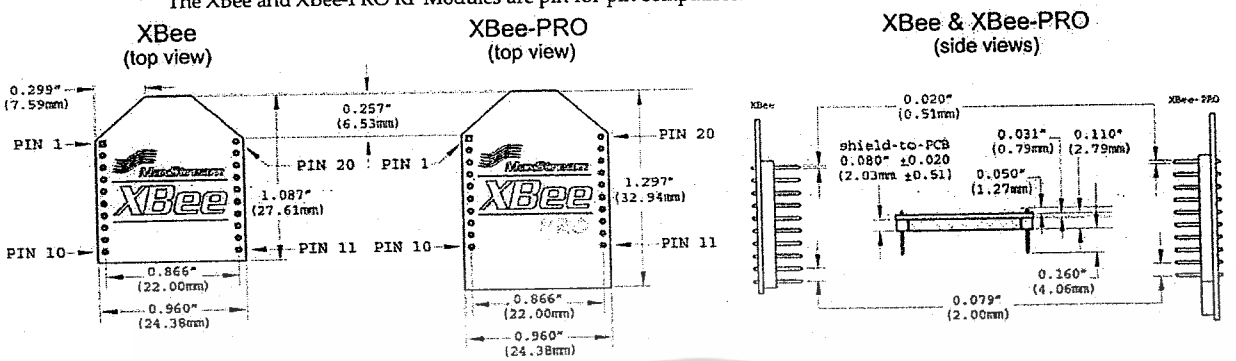
** When operating in Japan: Transmit power output is limited to 10 dBm. A special part number is required when ordering modules approved for use in Japan. Contact MaxStream for more information [call 1-801-765-9885 or send e-mails to sales@maxstream.net].

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antenna" application note located on MaxStream's web site (http://www.maxstream.net/support/knowledgebase/article.php?kb=153).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. Mechanical Drawings

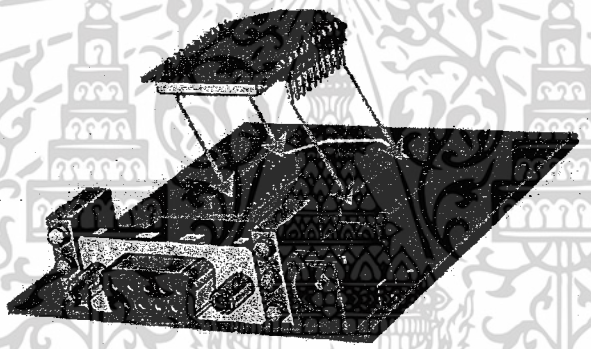
Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (antenna options not shown)
The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



1.4. Mounting Considerations

The XBee/XBee-PRO RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on MaxStream development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, MaxStream currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles -
  Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles -
  Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles -
  Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

MaxStream also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. Pin Signals

Figure 1-03. XBee/XBee-PRO RF Module Pin Numbers
(top sides shown - shields on bottom)

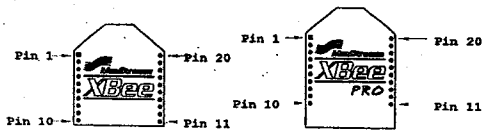


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

* Function is not supported at the time of this release

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k Ω pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6. Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical		Max	Unit
V_{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-		0.35 * VCC	V
V_{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-		-	V
V_{OL}	Output Low Voltage	I_{OL} = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-		0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage	I_{OH} = -2 mA, VCC >= 2.7 V	VCC - 0.5	-		-	V
II_{IN}	Input Leakage Current	V_{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025		1	µA
II_{OZ}	High Impedance Leakage Current	V_{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025		1	µA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee)	215 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee)	55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10		-	µA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V_{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V_{DDAD}	V
I_{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	µA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	µA
V_{INDC}	Analog Input Voltage[1]		V_{SSAD} - 0.3	-	V_{DDAD} + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics[1]

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R_{AS}	Source Impedance at Input[2]		-	-	10	kΩ
V_{AIN}	Analog Input Voltage[3]		V_{REFL}		V_{REFH}	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB)[4]	$2.08V \le V_{DDAD} \le 3.6V$	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity[5]		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity[6]		-	±0.5	±1.0	LSB
E_{ZS}	Zero-scale Error[7]		-	±0.4	±1.0	LSB
F_{FS}	Full-scale Error[8]		-	±0.4	±1.0	LSB
E_{IL}	Input Leakage Error[9]		-	±0.05	±5.0	LSB
E_{TU}	Total Unadjusted Error[10]		-	±1.1	±2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 µF to 0.1 µF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.
Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.
2. R_{AS} is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.
3. Analog input must be between V_{REFL} and V_{REFH} for valid conversion. Values greater than V_{REFH} will convert to $3FF.
4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = $(V_{REFH}-V_{REFL})/1024$
5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.
6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is $(Current\ Code-1/2)*(1/((V_{REFH}+E_{FS})-(V_{REFL}+E_{ZS})))$.
7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The Ideal transition voltage to a given code is $(Code-1/2)*(1/(V_{REFH}-V_{REFL}))$.
8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is $(Code-1/2)*(1/(V_{REFH}-V_{REFL}))$.
9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.
10. Total unadjusted error is the difference between the transition voltage to the current code and the ideal straight-line transfer function. This measure of error includes inherent quantization error (1/2LSB) and circuit error (differential, integral, zero-scale, and full-scale) error. The specified value of E_{TU} assumes zero E_{IL} (no leakage or zero real source impedance).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-Chip Analog Comparator
- Low Power Idle and Power Down Modes

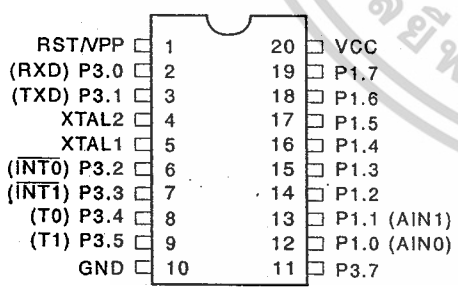
Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K Bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K Bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration

PDIP/SOIC



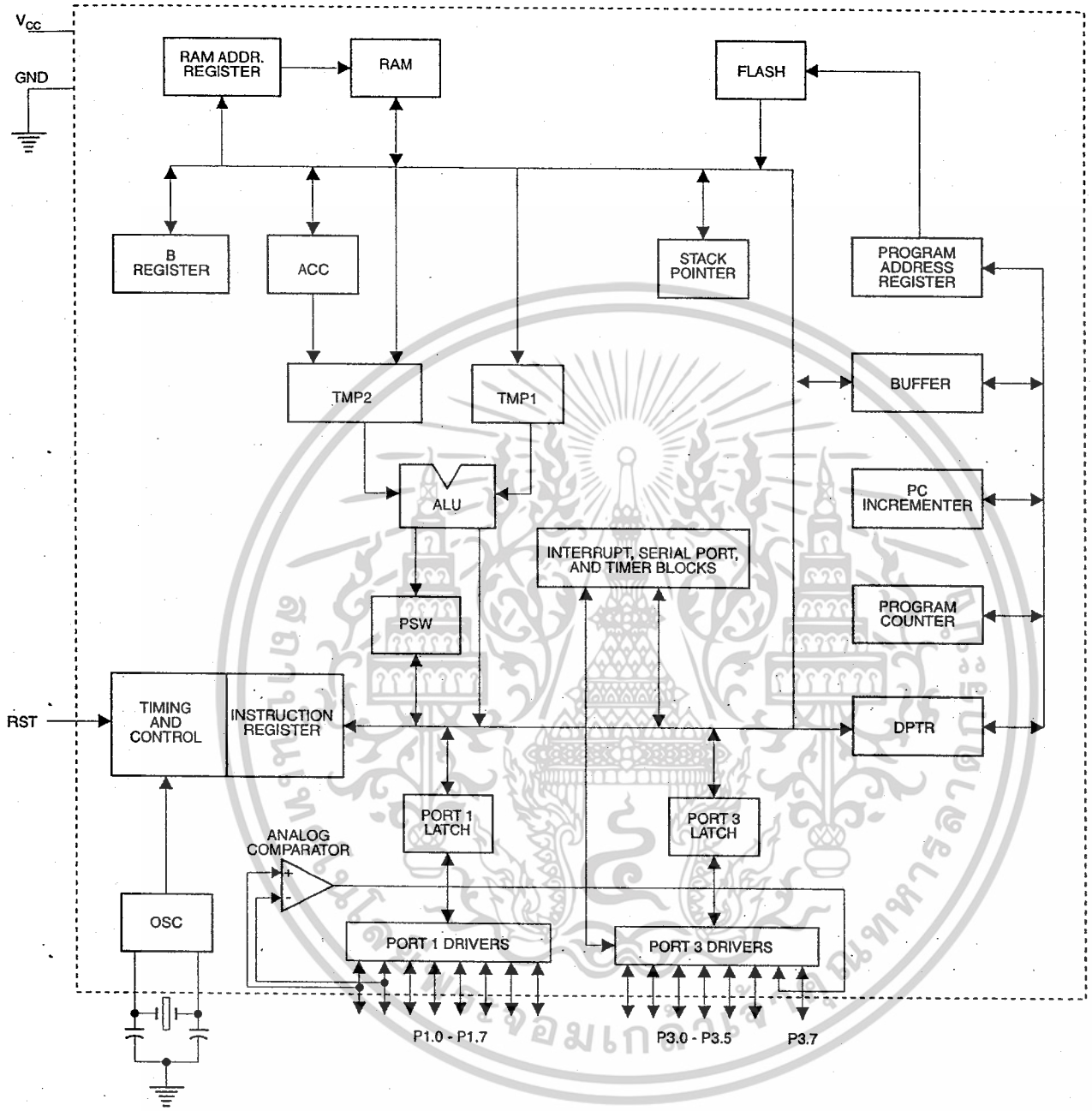
8-Bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

AT89C2051

0368D-B–12/97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming Modes

Mode		RST/VPP	P3.2/$\overline{PROG}$	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data[1][3]		12V		L	H	H	H
Read Code Data[1]		H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	12V		H	H	H	H
	Bit - 2	12V		H	H	L	L
Chip Erase		12V	(2)	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	H	L	L	L	L

Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
2. Chip Erase requires a 10-ms $\overline{PROG}$ pulse.
3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/$\overline{BSY}$.

Figure 3. Programming the Flash Memory

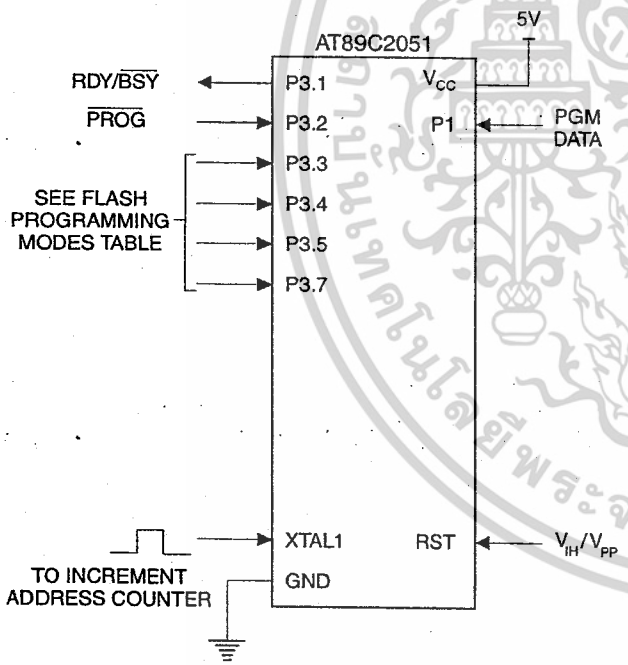
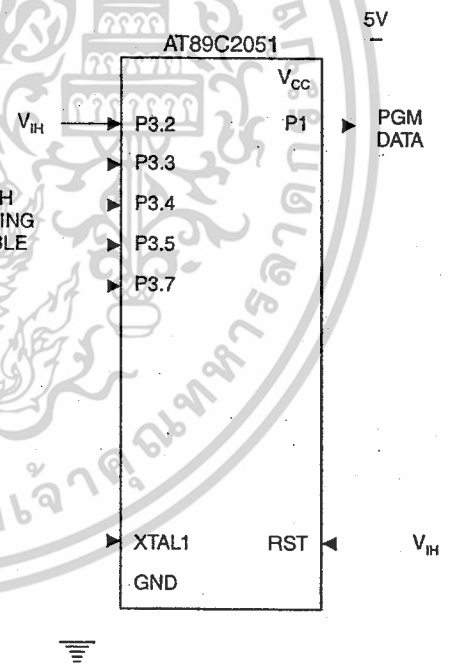


Figure 4. Verifying the Flash Memory



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GlobalOptoisolator™

VDE | UL | CSA | SETI | SEMKO | DEMKO | NEMKO | BABT

6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

4N25*
4N25A*
4N26*
[CTR = 20% Min]
4N27
4N28
[CTR = 10% Min]
*Motorola Preferred Devices

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- ***To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.***

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

STYLE 1 PLASTIC

STANDARD THRU HOLE
CASE 730A–04

SCHEMATIC

PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ T_A = 25°C with Negligible Power in Output Detector	P_D	120	mW
Derate above 25°C		1.41	mW/°C
OUTPUT TRANSISTOR			
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter–Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ T_A = 25°C with Negligible Power in Input LED	P_D	150	mW
Derate above 25°C		1.76	mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ T_A = 25°C	P_D	250	mW
Derate above 25°C		2.94	mW/°C
Ambient Operating Temperature Range(2)	T_A	−55 to +100	°C
Storage Temperature Range(2)	T_{stg}	−55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16″ from case)	T_L	260	°C

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

© Motorola, Inc. 1995

MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)(1)

Characteristic		Symbol	Min	Typ(1)	Max	Unit
INPUT LED						
Forward Voltage (I_F = 10 mA)	T_A = 25°C T_A = –55°C T_A = 100°C	V_F	— — —	1.15 1.3 1.05	1.5 — —	Volts
Reverse Leakage Current (V_R = 3 V)		I_R	—	—	100	µA
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)		C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR						
Collector–Emitter Dark Current (V_{CE} = 10 V, T_A = 25°C	4N25,25A,26,27 4N28	I_{CEO}	— —	1 1	50 100	nA
(V_{CE} = 10 V, T_A = 100°C)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—	µA
Collector–Base Dark Current (V_{CB} = 10 V)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 1 mA)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage (I_C = 100 µA)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage (I_E = 100 µA)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain (I_C = 2 mA, V_{CE} = 5 V)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance (f = 1 MHz, V_{CE} = 0)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance (f = 1 MHz, V_{CB} = 0)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance (f = 1 MHz, V_{EB} = 0)		C_{EB}	—	9	—	pF
COUPLED						
Output Collector Current (I_F = 10 mA, V_{CE} = 10 V)	4N25,25A,26 4N27,28	I_C (CTR)(2)	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	— —	mA (%)
Collector–Emitter Saturation Voltage (I_C = 2 mA, I_F = 50 mA)		$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn–On Time (I_F = 10 mA, V_{CC} = 10 V, R_L = 100 Ω)(3)		t_{on}	—	2.8	—	µs
Turn–Off Time (I_F = 10 mA, V_{CC} = 10 V, R_L = 100 Ω)(3)		t_{off}	—	4.5	—	µs
Rise Time (I_F = 10 mA, V_{CC} = 10 V, R_L = 100 Ω)(3)		t_r	—	1.2	—	µs
Fall Time (I_F = 10 mA, V_{CC} = 10 V, R_L = 100 Ω)(3)		t_f	—	1.3	—	µs
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec)(4)		V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance (V = 500 V)(4)		R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)(4)		C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. Current Transfer Ratio (CTR) = I_C/I_F x 100%.
3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by LM358/D

MOTOROLA

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

Dual Low Power Operational Amplifiers

DUAL DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Utilizing the circuit designs perfected for recently introduced Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature 1) low power drain, 2) a common mode input voltage range extending to ground/V_{EE}, 3) single supply or split supply operation and 4) pinouts compatible with the popular MC1558 dual operational amplifier. The LM158 series is equivalent to one–half of an LM124.

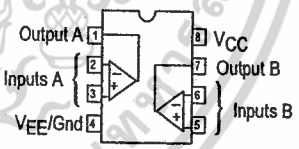
These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one–fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- Similar Performance to the Popular MC1558
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO–8)

PIN CONNECTIONS



MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904 LM2904V	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	 V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	 32 ±16	 26 ±13	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	±32	±26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	–0.3 to 32	–0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range LM258 LM358 LM2904 LM2904V	T_A	 –25 to +85 0 to +70 – –	 – – –40 to +105 –40 to +125	°C

NOTES: 1. Split Power Supplies.
2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

ORDERING INFORMATION

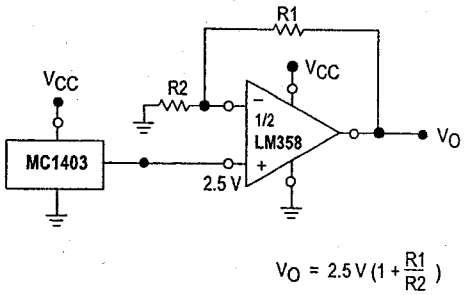
Device	Operating Temperature Range	Package
LM2904D	T_A = –40° to +105°C	SO–8
LM2904N		Plastic DIP
LM2904VD	T_A = –40° to +125°C	SO–8
LM2904VN		Plastic DIP
LM258D	T_A = –25° to +85°C	SO–8
LM258N		Plastic DIP
LM358D	T_A = 0° to +70°C	SO–8
LM358N		Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1996

Rev 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7. Voltage Reference



$$V_O = 2.5\,V\left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

Figure 8. Wien Bridge Oscillator

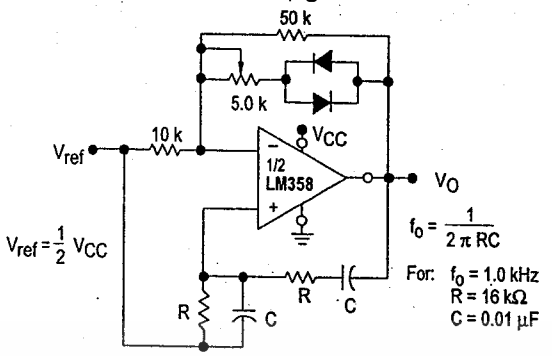
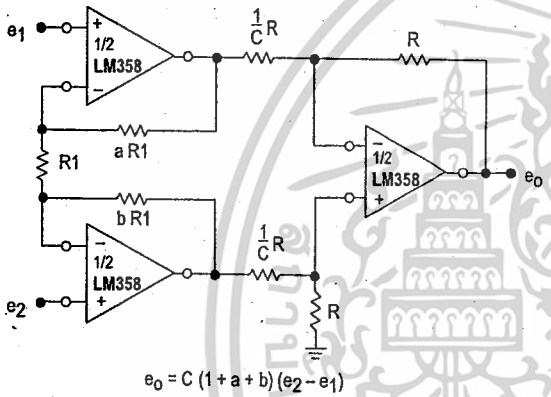
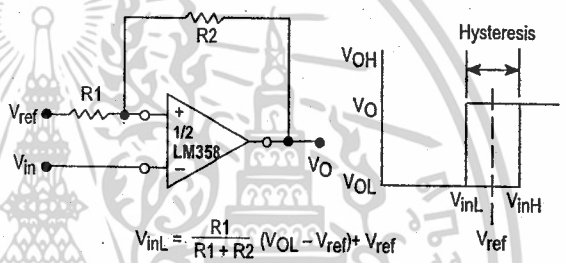


Figure 9. High Impedance Differential Amplifier



$$e_o = C\,(1 + a + b)\,(e_2 - e_1)$$

Figure 10. Comparator with Hysteresis

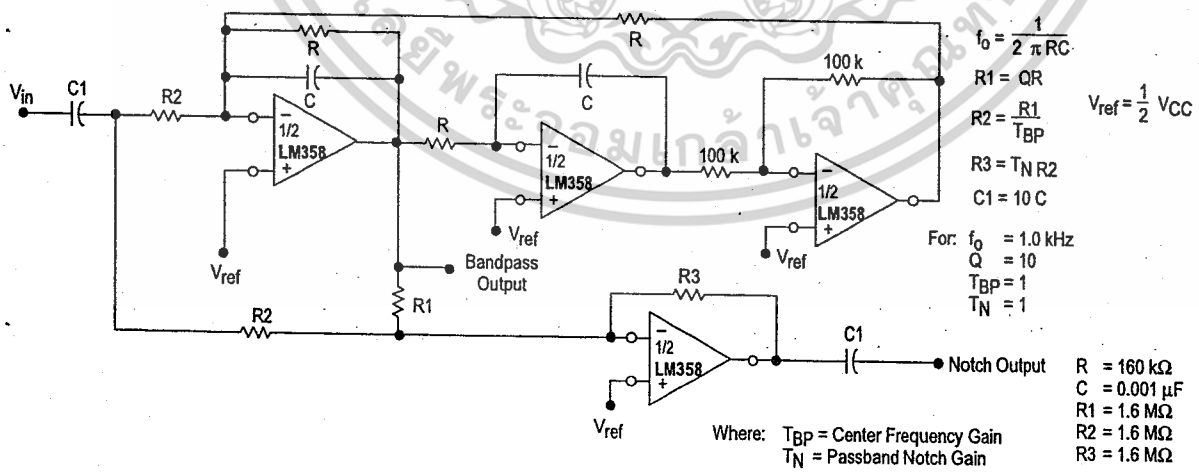


$$V_{inL} = \frac{R1}{R1 + R2}(V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R1}{R1 + R2}(V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$H = \frac{R1}{R1 + R2}(V_{OH} - V_{OL})$$

Figure 11. Bi–Quad Filter



$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R1 = QR$$

$$R2 = \frac{R1}{T_{BP}}$$

$$R3 = T_N\,R2$$

$$C1 = 10\,C$$

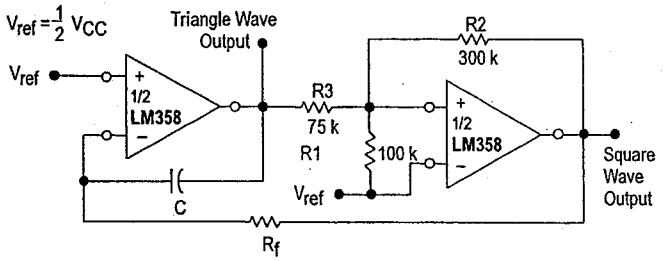
$$V_{ref} = \frac{1}{2}V_{CC}$$

For: f_o = 1.0 kHz
Q = 10
T_{BP} = 1
T_N = 1

R = 160 kΩ
C = 0.001 µF
R1 = 1.6 MΩ
R2 = 1.6 MΩ
R3 = 1.6 MΩ

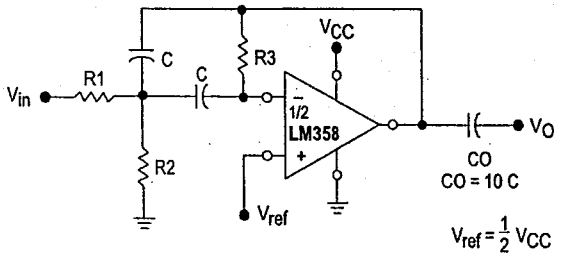
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 12. Function Generator



$$f = \frac{R1 + R_C}{4\,CR_f\,R1} \quad \text{if, } R3 = \frac{R2\,R1}{R2 + R1}$$

Figure 13. Multiple Feedback Bandpass Filter



Given: f_o = center frequency

$A(f_o)$ = gain at center frequency

Choose value f_o, C

Then: $R3 = \frac{Q}{\pi f_o C}$

$R1 = \frac{R3}{2\,A(f_o)}$

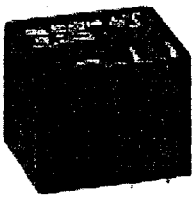
$R2 = \frac{R1\,R3}{4Q^2\,R1 - R3}$

For less than 10% error from operational amplifier. $\frac{Q_o\,f_o}{BW} < 0.1$

Where f_o and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



491 series

AC Coil 20 Amp PC Board or Panel Mount Relay

File E38802
File LR75282

Users should thoroughly review the technical data before selecting a product part number. It is recommended that user also seek out the pertinent approvals files of the agencies/laboratories and review them to ensure the product meets the requirements for a given application.

Features

- Up to 20 amp switching in SPST-NO and 13.3 amp in SPDT arrangements.
- Washable, plastic sealed case available.
- Meets UL 873 and UL 508 spacing – 1/8" through air, 1/4" over surface.
- Load connections made via 1/4" Q. C. terminals.
- Choice of UL Class B or F insulation system.
- Well suited for various industrial, commercial and residential applications.

Contact Ratings @ 23°C

Arrangements: 1 Form A (SPST-NO), 1 Form B (SPST-NC) and 1 Form C (SPDT).
Material: Silver-cadmium oxide.
Mechanical Life: 10 million operations, at 300 ops/minute.
Electrical Life: 100,000 operations at factory rated load, 6 ops/minute.
Minimum Contact Load: 1A @ 5VDC or 12VAC.
Initial Contact Resistance: 50 milliohms @ 100mA, 6VDC).

Contact Ratings @ 23°C with relay properly vented. Remove tape from vent hole after soldering and cleaning.

Factory Contact Ratings

Voltage	1 Form A	1 Form B	1 Form C	
			(NO)	(NC)
240VAC	20A	10A	13.3A	6.7A
28VDC	20A	6.7A	13.3A	6.7A

UL/CSA Contact Ratings

Voltage	Load Type	1 Form A	1 Form B	1 Form C	
				(NO)	(NC)
240VAC	General Purpose	30A	15A	20A	10A
240VAC	Resistive *	30A	15A	20A	10A
240VAC	Motor	2 HP	1/2 HP	2 HP	1/2 HP
120VAC	Motor	1 HP	1/4 HP	1 HP	1/4 HP
240VAC	LRA/FLA **	80/30	30/10	50/20	20/7
120VAC	LRA/FLA	98/22	–	–	–
120VAC	Tungsten *	TV5	TV3	TV5	TV3
277VAC	Ballast	10A	3A	10A	3A
28VDC	Resistive	20A	10A	20A	10A

Initial Dielectric Strength

Between Open Contacts: 1,500V rms, 1 minute.
Between Contacts and Coil: 1,500V rms, 1 minute.

Initial Insulation Resistance

Between Mutually Insulated Elements: 10^9 ohms, min., @ 500VDC, 23°C and 50% R.H.

Coil Data @ 23°C

Voltage: 12 to 220VAC.
Nominal Coil Power: 2.0VA, (approx.).
Maximum Coil Temperature(4): **Class B:** 130°C. **Class F:** 155°C.
Duty Cycle: Continuous.

Coil Data

Nominal Voltage	DC Resistance ±10% (Ohms)	Must Operate Voltage (Max.)	Must Release Voltage (Min.)
12	26	10.2	1.8
24	106	20.4	3.6
110	2,750	93.5	16
220	11,000	187	33

Operate Data @ 25°C

Must Operate Voltage: 85% of nominal voltage or less.
Must Release Voltage: 15% of nominal voltage or more.
Operate Time (Including Bounce)§: 20 ms, max.
Release Time (Including Bounce)§: 15 ms, max.
§ At or From Nominal Coil Voltage

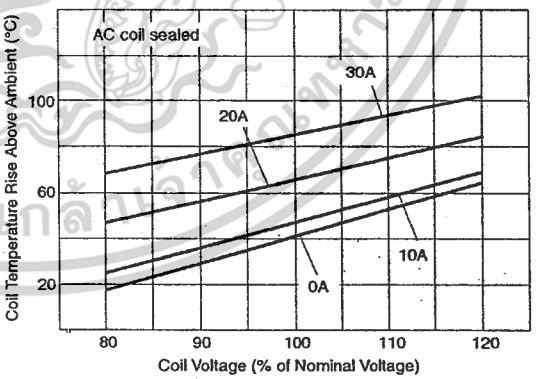
Environmental Data

Storage Temperature Range: -40°C to 130°C.
Operating Temperature Range(1): -55°C to +85°C.
Vibration, Operational: 0.065" (1.5mm) max. excursions from 10-55 Hz.
Shock, Operational: 10g for 11 ms.
Shock, Mechanical: 100g.

Mechanical Data

Termination: Printed circuit and quick connect terminals (4).
Enclosures (all have 94V-0 flammability rating): Open, unsealed dust cover or sealed case.
Weight: 1.2 oz. (33g) approx.

Coil Temperature Rise



Notes

(1) Operating ambient temperature must consider must operate voltage change over temperature, contact temperature rise, coil temperature rise (if coil is not allowed to cool) and maximum coil temperature.
(2) Sealed relay terminals should not be bent,
(3) Remove tape after cleaning process for optimum life of sealed relays.
(4) Class B coils are UL systems approved for maximum coil temperature of 130°C, by change of resistance method. Class F coils are UL systems approved for maximum coil temperature of 155°C, by change of resistance method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Typical Part Number ▶	491	-1	1	G	2	00

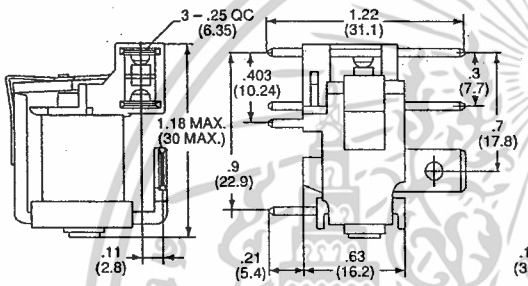
1. **Basic Series:**
   491 = AC coil, printed circuit board/panel power relay.
2. **Enclosure & Terminals:**
   1 = Dust Cover, PC terminal.
   2 = Sealed Case, PC terminal.
   6 = Sealed Case, Panel Mount, .110 Coil Terminal.
   7 = Sealed Case, Panel Mount, .187 Coil Terminal.
   8 = Open Unit
3. **Contact Arrangement:**
   1 = 1 Form C (SPDT) 4 = 1 Form A (SPST-NO) 5 = 1 Form B (SPST-NC)
4. **Coil Input:**
   P = 12VAC Q = 24VAC T = 120VAC U = 220VAC
5. **Contacts:**
   2 = Silver-cadmium oxide
6. **Coil Insulation and Special Features:**
   00 = Standard, UL Class B Coil Insulation System
   F0 = Special, UL Class F Coil Insulation System
   M0 = Magnetic Blowout (with enclosure 1 or 2 only, not UL or CSA)
   A1 - E9 = Special - Customer Specific Features

Our authorized distributors are more likely to maintain the following items in stock for immediate delivery.

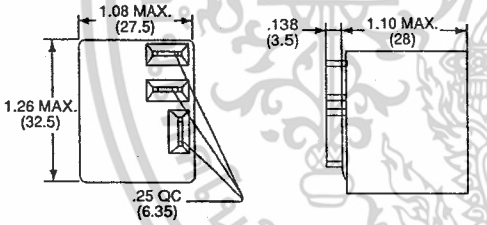
491-21T200	491-24T200	491-61T200	491-64T200
491-21Q200	491-24Q200	491-61Q200	491-64Q200

Outline Dimensions

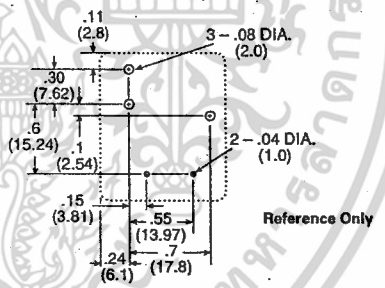
Open Style



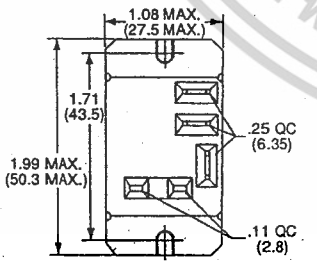
Sealed Case for PC Board Mounting



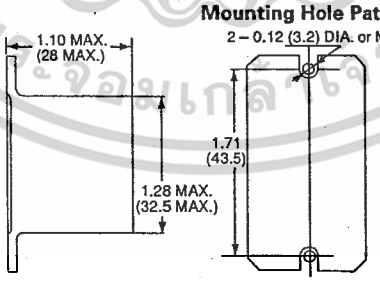
PC Board Layout (Bottom View)



Sealed Case for Panel Mounting

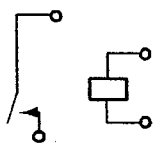


Mounting Hole Pattern

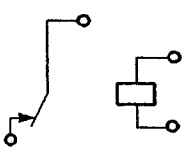


Wiring Diagrams (Bottom Views)

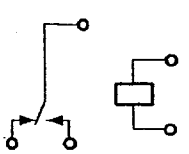
1 Form A



1 Form B



1 Form C



Dimensions are shown for reference purposes only.

Dimensions are in inches over (millimeters) unless otherwise specified.

Specifications and availability subject to change.

www.tycoelectronics.com
Technical support:
Refer to inside back cover.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้