

ป้ายแสดงผลข้อมูลอินพุทจากคอมพิวเตอร์ 8 LEDs ในแนวตั้งแบบหมุน

8 vertical LED's display through a computer



โดย

นายวิสตีกร อินทคุณจินดา

นายวิบูล วิจิตรดำเกิง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

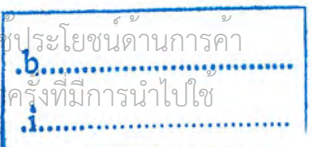
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขทะเบียน 55483

วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2548



ป้ายแสดงผลข้อมูลอินพุทจากคอมพิวเตอร์ 8 LEDs ในแนวตั้ง

8 vertical LED's display through a computer



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ป้ายแสดงผลข้อมูลอินพุทจากคอมพิวเตอร์ 8 LEDs ในแนวตั้ง

(8 vertical LED's display through a computer)

ผู้จัดทำ

1. นายวัชตีกร์ อินทคุณจินดา เลขประจำตัว 43010393
2. นายวิษุพล วิจิตรดำเกิง เลขประจำตัว 43010394

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ อธิธิภูมิ บุญพิงค์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้ายแสดงผลข้อมูลอินพุตจากคอมพิวเตอร์ 8 LEDs ในแนวตั้ง

8 vertical LED's display through a computer

นาย วัศศิริ อินทคุณจินดา

นาย วิชุล วิจิตรคำเกิง

อ.อิทธิภูมิ บุญพิลา อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2546

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เสนอป้ายแสดงผลตัวหนังสือ ตัวเลข หรือภาพจากคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถแสดงได้ถึง 3 สี โดย LEDs 8 ตัวที่วางเรียงกันในแนวตั้งบนแท่นยึดที่หมุน นอกจากนี้ระบบแสดงผลนี้ยังสามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยใช้อินฟราเรดเป็นตัวรับ-ส่งข้อมูลในการส่งงาน โดยใช้แป้นคอมพิวเตอร์เป็นตัวส่งงาน โครงการนี้เป็น โครงการ 2 ภาคการศึกษา โดยภาคการศึกษาแรกเป็นการออกแบบระบบแสดงผล ที่มีส่วนควบคุมหลัก คือไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ภาคจ่ายไฟ และส่วนของโปรแกรมควบคุมการแสดงผล ในส่วนของภาคการศึกษาที่ 2 เป็นการออกแบบการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย ให้แสดงผลบนส่วนแสดงผลนี้ โดยมีส่วนของภาค Modulation Demodulation และส่วนของโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการออกแบบให้แสดงผลได้ถึง 3 สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8 vertical LED's display through a computer

### Abstract

This project presents 8 Vertical LED Display Through a Computer. 8 LED in vertical array are attached on a rotatable bar that can be moved and controlled by using Infrared to communicate with computer. This project is a two semester project, display unit design with MCS-51 as the major controller, DC power supply and programs for the 1<sup>st</sup> semester and signal modulation for wireless communication from a computer in additional with computer program, and control LEDs to display three color for the 2<sup>nd</sup> semester.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า	
บทที่ 1 บทนำ	1	
1.1 ความเป็นมา	1	
1.2 วัตถุประสงค์	1	
1.3 หลักการทำงาน	1	
บทที่ 2	2.1 ทฤษฎีแสง	3
2.1.1 แสงอินฟราเรด	3	
2.1.2 ไดโอดเปล่งแสง	4	
2.1.3 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง	5	
2.1.3.1 แวกคัมโฟโตไดโอด (Vacuum Photodiode)	7	
2.1.3.2 โฟโตไดโอดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Photodiode)	8	
2.1.4 โฟโตโมดูล TSOP48..	12	
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของ ไอซี 555	13	
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมความเร็ว DC MOTOR	17	
2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)	17	
2.3.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	17	
2.3.1.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	19	
2.3.1.3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	20	
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	23	
2.5 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	34	
2.5.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	35	
2.5.2 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	36	
2.6 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม	42	
2.6.1 การรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)	42	
2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232C	45	
2.7.1 มาตรฐานของ RS-232C	45	
2.7.2 ลักษณะของสัญญาณ RS-232C	46	
2.7.3 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232C	46	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.7.4 ขาสัญญาณต่างๆ ของคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9	47
2.8 การมอดคูเลชัน	48
2.8.1 การมอดคูเลชัน	49
2.8.2 การมอดคูเลชันสัญญาณข้อมูลแบบซิงโครนัส	50
2.8.3 อัตราบอดและการมอดคูเลชันหลายระดับ	52
2.8.4 แบนด์วิดท์ของการส่งสัญญาณ	53
2.9 รหัส ASCII	57
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	59
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์	59
3.2 การออกแบบในส่วนควบคุมของการแสดงผล	61
3.2.1 ส่วนควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์	61
3.2.2 ส่วนเก็บข้อมูลที่รับมาจากคอมพิวเตอร์	64
3.2.3 ส่วนตรวจจ็บรอบ	65
3.3 วงจรรับส่งอินฟราเรด	66
3.3.1 วงจรภาคส่งข้อมูล	66
3.3.2 วงจรภาครับข้อมูล	71
3.4 การออกแบบในส่วน On/Off มอเตอร์	72
3.5 หลักการในการแสดงผล	73
บทที่ 4 ผลการทดลอง	83
4.1 ผลการทดลองส่วนแสดงผล	83
4.2 ผลการทดลองการรับส่งข้อมูลทางอินฟราเรด	83
4.3 ผลการทดลองการทำงานของโปรแกรม Visual basic	93
บทที่ 5 บทสรุป	96
5.1 โครงสร้างการทำงาน	96
5.2 การพัฒนาต่อไปของโครงการ	96
5.3 สรุปผลการทดลองส่วนของการแสดงผล	97
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

### บทที่ 2

รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กและแสดงย่านการใช้งานของออปโตอิเล็กทรอนิกส์	3
รูปที่ 2.2 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	5
รูปที่ 2.3 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	6
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายใน ไอซี 555	7
รูปที่ 2.5 แสดงการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อกำหนดคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตของไอซี 555	8
รูปที่ 2.6 วงจรอะอสซิลเลเตอร์ที่ใช้ 555	9
รูปที่ 2.7 วงจรโมนอสเตเบิลที่ใช้ 555	9
รูปที่ 2.8 กราฟเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ 555 ทำงานได้ตามความถี่ตรงตามความต้องการ	10
รูปที่ 2.9 การรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม	10
รูปที่ 2.10 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	11
รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ DTE และ DCE	12
รูปที่ 2.12 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232C แบบ DB-9	13
รูปที่ 2.13 แสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรสมมูลของ DC Motor	14
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสของอาร์มาเจอร์	15
รูปที่ 2.16 วงจรโมนอสเตเบิลที่ใช้ 555	16
รูปที่ 2.17 กราฟเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ 555 ทำงานได้ตามความถี่ตรงตามความต้องการ	16
รูปที่ 2.18 แสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	19
รูปที่ 2.19 แสดงวงจรสมมูลของ DC Motor	20

รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสของอาร์มาเจอร์ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	40
รูปที่ 2.22 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	40
รูปที่ 2.23 การรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม	42
รูปที่ 2.24 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	43
รูปที่ 2.25 อุปกรณ์ DTE และ DCE	46
รูปที่ 2.26 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232C แบบ DB-9	48
รูปที่ 2.27 คลื่นพาห์	49
รูปที่ 2.28 การวัดเฟสของคลื่นพาห์	49
รูปที่ 2.29 การมอดคูเลชันของสัญญาณดิจิทัล	50
รูปที่ 2.30 DPSK	52
รูปที่ 2.31 การมอดคูเลชันหลายระดับ	53
รูปที่ 2.32 การมอดคูเลชันเชิงอนาล็อก	54
รูปที่ 2.33 สเปกตรัมของสัญญาณดิจิทัล	55
รูปที่ 2.34 สเปกตรัมของสัญญาณในรูปที่ 2.33 ที่ถูกมอดคูเลทแล้ว	57
<b>บทที่ 3</b>	
รูปที่ 3.1 วงจรอะสเตเบิลที่ใช้ 555	61
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงชุดการทำงาน	63
รูปที่ 3.3 ตัว IC buffer เบอร์ 74HC541	63
รูปที่ 3.4 รูปการติดต่อข้อมูลรับ-ส่งระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำข้อมูล	64
รูปที่ 3.5 แสดงขาหน่วยความจำ RAM เบอร์ HM6116	64
รูปที่ 3.6 รูปวงจรอินฟราเรดที่ใช้ในการตรวจจับรอบ	65
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่งข้อมูล	66
รูปที่ 3.8 วงจรสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม	66
รูปที่ 3.9 วงจรส่วนสร้างสัญญาณพาหะความถี่ 38kHz	67
รูปที่ 3.10 แสดงการมอดคูเลทข้อมูลแบบ OOK	68

รูปที่ 3.11 แสดงการมอดคูเลทข้อมูลแบบ OOK ที่อินเวอร์ตข้อมูลแล้ว 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.12 วงจรส่วนขับกระแสควบคุมไดโอดอินฟราเรด	69
รูปที่ 3.13 วงจรเสมือนในขณะที่ทรานซิสเตอร์ T1 ทำงานในสภาวะ Cutoff	69
รูปที่ 3.14 วงจรเสมือนในขณะที่ทรานซิสเตอร์ T1 ทำงานในสภาวะ Cutoff	70
รูปที่ 3.15 ภาพประกอบของ โฟโตโมดูล TSOP4838	71
รูปที่ 3.16 วงจรส่วนควบคุมการ On/Off มอเตอร์	72
รูปที่ 3.17 ลักษณะโดยรวมของการแสดงผล	73
รูปที่ 3.18 รูปแบบวิธีแสดงผล	73
รูปที่ 3.19 แบบวิธีการแสดงผลในหนึ่งตัวอักษร	75
รูปที่ 3.20 Work flow แสดงการทำงานส่วนของการแสดงผลตัวอักษร	76
รูปที่ 3.21 รูปแบบการติดตั้งของ LED	77
รูปที่ 3.22 วงจรส่วนควบคุมการแสดงผล	78
รูปที่ 3.23 วงจรส่วนควบคุมความเร็วมอเตอร์	79
รูปที่ 3.24 วงจรตรวจจ็อบด้วยอินฟราเรด	79
รูปที่ 3.25 วงจรส่วนส่งข้อมูลด้วยระบบอินฟราเรด	80
รูปที่ 3.26 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของภาคแสดงผล	81
รูปที่ 3.27 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของส่วนควบคุมความเร็วมอเตอร์	81
รูปที่ 3.28 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของอินฟราเรดตรวจจ็อบ	81
รูปที่ 3.29 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของระบบส่งข้อมูลอินฟราเรด	82
<b>บทที่ 4</b>	
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่งที่มีอัตราการส่งข้อมูล 1200bps กับสัญญาณพาหะความถี่ 38kHz	84
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK (อัตราการส่งข้อมูล 1200bps)	85
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (1200bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง out ที่ผ่านการ Demodulation	86
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการ delay ระหว่างสัญญาณทางด้านฝั่งส่งและฝั่งรับ (อัตราการส่งข้อมูล 1200bps)	87
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK (อัตราการส่งข้อมูล 2400bps)	88

	หน้า
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (2400bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง out ที่ผ่านการ Demodulation	88
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดคูเลชันแบบ OOK (อัตราการส่งข้อมูล 3600bps)	89
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (3600bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง out ที่ผ่านการ Demodulation	90
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 1200bps	90
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 2400bps	91
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 3600bps	91
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 4800bps	92
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 5600bps	92
รูปที่ 4.14 รูปแสดงหน้าจอโปรแกรมส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์	93
รูปที่ 4.15 รูปการแสดงความถี่ความถี่	94
รูปที่ 4.16 การเลือกพอร์ตอนุกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูล	94
รูปที่ 4.17 แสดงการเลือกแสดงผลวันที่และเวลา	95
<b>บทที่ 5</b>	
รูปที่ 5.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของสัญญาณพาหะที่โฟโต โมดูลต้องการกับค่าผลตอบสนองของโฟโต โมดูล	97
รูปที่ 5.2 รูปอุปกรณ์การแสดงผล	98
รูปที่ 5.3 รูปอุปกรณ์การแสดงผล	98
รูปที่ 5.4 รูปอุปกรณ์การแสดงผล	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าต่างๆ ของพินโฟโตไดโอด	9
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	11
ตารางที่ 2.3 แสดงเบอร์ของโฟโตโมดูลและความถี่พาหะที่ใช้(fo)	12
ตารางที่ 2.4 แสดงความแตกต่างของสมาชิกไมโครคอนโทรลเลอร์	25
ตารางที่ 2.5 การเลือกอัตราบอดของวงจรถ่ายโอนข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	39
ตารางที่ 2.6 ย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อตอบสนอง	46
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างข้อมูลของโมเด็มในท้องตลาด	53
ตารางที่ 2.8 The U.S. ASCII code	57
ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการทำงาน 3-state ของตัวพีเพอร์ 74HC541	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันการโฆษณา ประชาสัมพันธ์มีบทบาทอย่างมาก ซึ่งจะมีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการโฆษณาอย่างมากมาย เพื่อที่จะดึงดูดความสนใจ โดยอุปกรณ์ที่เราัมักพบเห็นกันมากในปัจจุบันก็คือ แผงแสดงผลแบบหลอด LED ซึ่งเราสามารถพบเป็นได้ตามสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตามร้านค้า ห้างสรรพสินค้า ตามถนนริมทางเดิน เนื่องจากเป็นสื่อที่สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ตามที่เราป้อนข้อมูลเข้าไป ซึ่งจะสามารถเพิ่มเติมข้อมูลข่าวสารใหม่ลงไปได้ตามต้องการ แต่ก็ยังมีข้อเสียที่ชัดเจน ก็คือ ยังจำกัดในเรื่องของการมองเห็น เนื่องจากสามารถมองเห็นได้จากทิศทางจากด้านหน้าเพียงทิศทางเดียว และนอกจากนี้ถ้าต้องการให้แผงแสดงผล LED สามารถที่จะแสดงผลให้ได้ข้อความอย่างครบถ้วนจะต้องใช้จำนวนหลอด LED ที่มากขึ้น ส่งผลทำให้มีราคาสูงขึ้นและสิ้นเปลืองปริมาณกระแสไฟฟ้าในการแสดงผลมากขึ้นด้วย

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการ สร้างชุดแสดงผลโดยใช้ชุดแสดงผลแบบหมุนโดยใช้หลอด LED 8 ดวง ในการแสดงผล ซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนราคาในการสร้างให้ต่ำลง และยังช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าให้ต่ำลง และนอกจากนี้ยังช่วยทำให้สามารถแสดงผลได้รอบทิศทาง

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อนำเสนอการสร้างระบบการแสดงผลรอบทิศทาง
- 2) เพื่อศึกษาการใช้ Software ภาษา Visual Basic ในการป้อนข้อมูลในการแสดงผล
- 3) เพื่อศึกษาการใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ในการควบคุมการทำงานของหลอด LED ในการแสดงผล
- 4) เพื่อศึกษาการติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ในระบบ RS-232

#### 1.3 หลักการทำงาน

ในการทำงานของระบบแสดงผลรอบทิศทางจะใช้หลอด LED จำนวน 1 แถว ในการแสดงผลโดยหลอด LED จะทำการแสดงผลด้วยการกระพริบ ติดดับเป็นจังหวะสอดคล้องกับการแสดงผล ซึ่งจะทำให้ดวงตาของมนุษย์เราสามารถมองเห็นเป็นตัวอักษร ซึ่งเราจะใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการควบคุมการทำงานของหลอด LED ในการแสดงผล ซึ่งความเร็วรอบในการหมุนเพื่อแสดงผลจะมีผลต่อการแสดงผลมาก โดยเมื่อเรากำลังมองชุดแสดงผลอยู่นั้น ชุดแสดงผลจะมีการกระพริบของหลอด LED สอดคล้องกับการหมุนของ ซึ่งในการกระพริบจะมีการเข้าตำแหน่งเดิมเมื่อชุดแสดงผลหมุนกลับมายู่ในตำแหน่งเดิม จึงทำให้สายตาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้อ่านอย่าได้เินนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์เราไม่สามารถแยกแยะได้ จึงทำให้มองเห็นหลอด LED สว่างอยู่ที่เดิมตลอดเวลา ซึ่งเมื่อรวม  
การแสดงผลในหลายๆ ตำแหน่ง มาประกอบรวมกันเป็นรูปแบบก็จะสามารถทำให้เราสามารถ  
แสดงผลออกมาในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น รูปตัวอักษร หรือรูปภาพต่างๆ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่ง มีความเร็ว  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที แสงที่มองเห็นได้ (visible light) เป็นสเปกตรัมหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.4 ไมโครเมตร (แสงสีม่วง) ไปจนถึง 0.8 ไมโครเมตร (แสงสีแดง) ทว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานเกี่ยวกับแสงหรือเรียกว่า ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronics) นั้นจะมีย่านการใช้งานมากกว่าย่านแสงที่มองเห็น เพราะมันสามารถทำงานได้ในย่านเหนือม่วงหรืออัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และได้แดงหรืออินฟราเรด (Infrared) ในรูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสเปกตรัมย่านการใช้งานของอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กและแสดงย่านการใช้งานของออปโตอิเล็กทรอนิกส์

##### 2.1.1 แสงอินฟราเรด

แสงอินฟราเรด เป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็น ผู้ค้นพบเป็นนักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ เซอร์ วิลเลียม เฮอร์เชล (William Herchel Ritter) ในปีค.ศ. 1770 ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเรื่องแถบสีต่างๆ ในสเปกตรัมของแสงแดดว่า แต่ละแถบสีมีคุณสมบัติแตกต่างกับอย่างไรนั้น เฮอร์เชลใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของแสงแต่ละแสง โดยเริ่มวัดจากแสงสีม่วงไป ครั้นเลื่อนเทอร์โมมิเตอร์มาถึงแถบสีแดงปรากฏว่า ถ้าปรอทพุ่งขึ้นสูงทันที หลังจากวัดความร้อนในแถบสีแดงจนพอแก่ความต้องการแล้วบังเอิญ เฮอร์เชล ได้ทำเทอร์โมมิเตอร์เขยิบออกไปจากแถบ สีแดงอีกเล็กน้อยปรากฏว่า ถ้าปรอทพุ่งสูงขึ้นกว่าเดิม แสดงว่าได้แถบสีแดงต้องมีแสงอีกชนิดหนึ่งที่ไม่เห็น และแสงชนิดนี้ในปัจจุบัน ทราบว่าเป็นแสงที่ให้ความร้อน

เซอร์เชล ทำการทดลองแสงที่พบใหม่นี้อยู่หลายครั้ง ก็สรุปผลการทดลองออกว่าแสงที่มอง

ไม่เห็นที่ค้นพบได้นี้ มีคุณสมบัติคล้ายกับแสงอาทิตย์แม้แต่อุณหภูมิก็เท่ากัน เขาจึงใช้ชื่อเรียกแสงนี้ว่า แสงอินฟราเรด เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอินฟราเรด (Infrared) ดังนั้น แสงอินฟราเรดจึงเป็นแสงที่อยู่แถบสีแดงในสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

ถึงแม้ว่า แสงอินฟราเรดจะเป็นแสงที่ทำให้ความร้อน แต่เฉพาะตัวแสงอินฟราเรดเองไม่มีความร้อนแต่อย่างใด แสงอินฟราเรดจะไม่ให้ความร้อนใดๆ ถ้าหากแสงอินฟราเรดไม่ส่องไปกระทบเข้ากับวัตถุสิ่งหนึ่งสิ่งใด และจำนวนความร้อนที่ใช้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับกลไกทางเคมีของวัตถุที่แสงอินฟราเรดส่องไปกระทบ คำว่า กลไกทางเคมีก็คือ อุณหภูมิองค์ประกอบของวัตถุนั้นๆ เช่น ที่อุณหภูมิต่างกัน ค่าความร้อนที่แสงอินฟราเรดก็จะให้แตกต่างกันตามไปด้วย

คุณสมบัติของแสงอินฟราเรด

1. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า  $7 \times 10^{-7}$  เมตร
2. เป็นแสงที่ทำให้ความร้อนที่ร่างกายรับรู้ได้ และสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์
3. เป็นแสงที่ตาเปล่ามองเห็น

### 2.1.2 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) เรียกย่อๆ ว่า LED คือ ไดโอดซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียว และเฟสต่อเนื่องกันซึ่งต่างกับแสงธรรมชาติที่ตาคนมองเห็นอันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่างๆ กันมารวมกัน ไดโอดซึ่งสามารถให้แสงออกมาได้ทั้งชนิดสารกึ่งตัวนำของเหลวกึ่งตัวนำ ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดที่เป็น สารกึ่งตัวนำเท่านั้น โดยไดโอดเปล่งแสงนั้นเหมือนกับไดโอดทั่วไป ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและ เอ็น ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ไดโอดเปล่งแสงชนิดที่เปล่งแสงในย่านที่ตามองเห็นและไดโอดเปล่งแสงชนิดที่ตาไม่สามารถมองเห็น เช่น แสงอินฟราเรด

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสงของไดโอด ซึ่งเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำ ชนิดพีและ เอ็น มาเชื่อมต่อกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการเข้าใจขั้นตอนการเปล่งแสงอันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์แสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำควรจำศึกษาถึง คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดพี และเอ็นด้วย

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะรวมตัวกันอยู่ภายในชั้นพลังงานเรียกว่า วาเลิน แบนด์ ซึ่งสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า จีเนียส เซมิคอนดักเตอร์ แต่สารที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีสภาพที่จำนวน โฮลมาก และมีอิเล็กตรอนน้อย ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะมีสภาพตรงข้ามกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าโฮล และจำนวนอิเล็กตรอนที่มากเกินนี้จะรวมตัวอยู่ในชั้นพลังงานเรียกว่า คอนดักชัน แบนด์

จากนั้นนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาเชื่อมต่อกัน ที่บริเวณที่เชื่อมต่อกันนั้นอิเล็กตรอนที่มี

จำนวนมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะรวมตัวกับ โฮล ที่มีจำนวนมากในสารกึ่งตัวนำชนิด พี และ แยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้นทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบในสารกึ่งตัวนำชนิด พี เพราะวาโฮลตลดลงเหลือแต่ไอเล็กตรอน และเกิดประจุไฟฟ้าบวกขึ้น สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เพราะวาไอเล็กตรอนรวมตัวกับโฮล จากผลอันนี้ทำให้เกิดสภาพดีพลีชั่น โชนขึ้น ตรงบริเวณใกล้ๆ รอยเชื่อมต่อ และได้โครงสร้างของระดับพลังงาน เกี่ยวกับโครงสร้างของระดับพลังงานนี้มี ความหมายสำคัญยิ่งยวดในการนำไปพิจารณาโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง โดยไดโอดเปล่งแสงจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นในชั้น แอ็กทีฟ เลเยอร์ และไดโอดเปล่งแสงทั่วไป จึงทำให้แสงปล่อยออกมา ข้างนอกจากด้านหน้าทีต่อกับขั้วไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.2 เมื่อมีการจ่ายกระแสทำให้เกิดการกระตุ้นทำให้เปลี่ยนระดับชั้นพลังงานทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมาอยู่ในรูปของแสงที่เรียกว่าโฟตอน



รูปที่ 2.2 ลักษณะรอยต่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด LED

### 2.1.3 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

หลักการทั่วไปของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอาศัยกลไก 2 แบบคือ เอกซ์เทอร์นัลโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (External Photoelectric Effect) ซึ่งเป็นกลไกซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยแสงจากผิวของโลหะเมื่อมีแสงหรือโฟตอนตกกระทบบนผิวโลหะนั้น ตัวอย่างของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ โฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier) และอินเทอร์นัลโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลกต์ (Internal Photoelectric Effect) เป็นกลไกซึ่งเกิดขึ้นที่ในรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Junction) โดยโฟตอนที่ถูกดูดกลืนที่บริเวณรอยต่องกล่าวทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron-Hole pair) ขึ้น ตัวอย่างของอุปกรณ์รับแสงชนิดนี้ก็คือ พีเอ็นจังก์ชันโฟโตไดโอด (PN Junction Photodiode, PIN Photodiode) และอวาแลนซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode)

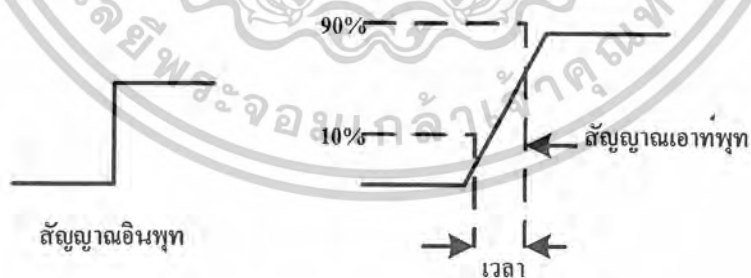
ก่อนที่จะได้ทราบรายละเอียดของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิดนั้นก็ควรจะได้ทราบถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญบางตัวของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปก่อนดังนี้

$$\text{Responsivity } (\rho) = I_o/I_i \quad (2.1)$$

เมื่อ คือค่าการตอบสนองที่หน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์  $I_i$  และ  $I_o$  คือ กำลังแสงอินพุต และเอาต์พุตโดยสเปกตรัมเรสพอนส์ (Spectral Response) หมายถึง ช่วงความถี่ที่อุปกรณ์รับแสงสามารถตอบสนองแสงที่มากกระทบ ไรซ์ไทม์ (Rise Time,  $t_r$ ) หมายถึงช่วงเวลาที่เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงจาก 10% ไปเป็น 90% ของค่าสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลง กรณีที่กำลังทางด้านอินพุตมีลักษณะเป็นพัลส์นั้นจะมีค่าไรซ์ไทม์ของอุปกรณ์รับแสงจะมีความสัมพันธ์กับ 3 dB แบนด์วิดท์ตามสมการ

$$f_{3-dB} = 0.35/t_r \quad (2.2)$$

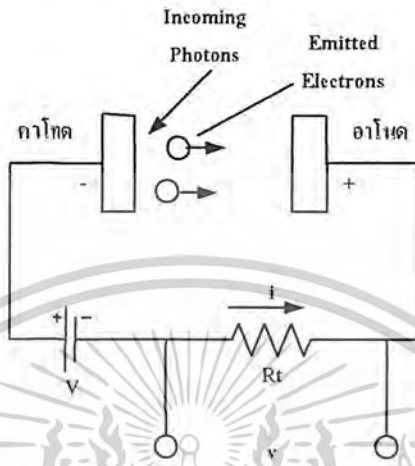
เมื่อ  $f_{3-dB}$  คือแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์รับแสง



รูปที่ 2.3 แสดงไรซ์ไทม์ของอุปกรณ์รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 แวกค์มโฟโตไดโอด (Vacuum Photodiode)



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของแวกค์มโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 2.4 กระแส (i) ที่เกิดขึ้นหลังจากมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Emitted Electron) จากคาโทด (Cathode) ไปยังอโนด (Anode) หลังจากมีแสงตกกระทบ (Incoming Photons) ไปยังคาโทดสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้เป็น

$$i = \frac{\eta e \lambda P}{hc} = \frac{\eta e P}{hf} \tag{2.3}$$

โดยที่  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพควอนตัม (Quantum Efficiency) เมื่อ  $hf$  คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมา หรือจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ  $e$  คือ ประจุของอิเล็กตรอน คือความยาวของคลื่นแสงที่ตกกระทบ  $f$  คือความถี่ของแสงที่ตกกระทบ  $P$  คือกำลังของแสงที่ตกกระทบ  $h$  คือค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's Constant) และ  $c$  คือความเร็วแสง สำหรับแรงดันเอาต์พุต (V) สามารถเขียนได้เป็น

$$V = i R_L \tag{2.4}$$

โดยที่  $R_L$  คือความต้านทานของโหลด (Load Resistance)

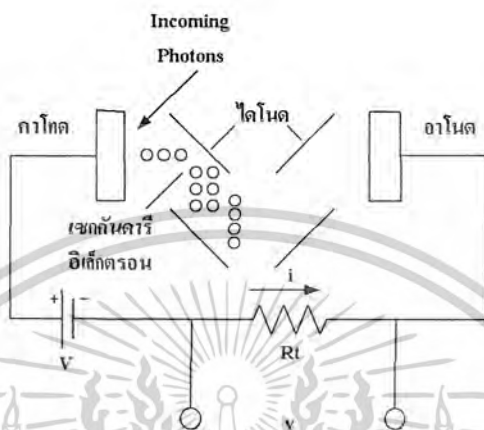
สังเกตได้ว่าเอาต์พุตแปรผันตรงกับค่ากำลังของแสงที่ตกกระทบอุปกรณ์รับแสงสมการ (2.3) และสมการ (2.4) สามารถที่จะใช้ได้กับอุปกรณ์รับแสงทั้งที่มีกลไกแบบทั้งเอกซ์เทอร์นัลและอินเทอร์นัล โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ แต่เนื่องจากว่าแวกค์มโฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างแบบง่าย ๆ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้

ถ้าการตอบสนงค่า จึงได้มีการปรับปรุงอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่มีหลักการคล้ายกัน ซึ่งทำให้มีค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการตอบสนองสูงขึ้นเรียกว่าโฟโตมัลติพลายเออร์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีวิธีการเพิ่มอาโนดอิเล็กตรอนด้วยการเพิ่มขั้วไดโนด (Dynode) ทำให้เกิดเชคคันดารีอิเล็กตรอน (Secondary Electron)



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโฟโตมัลติพลายเออร์

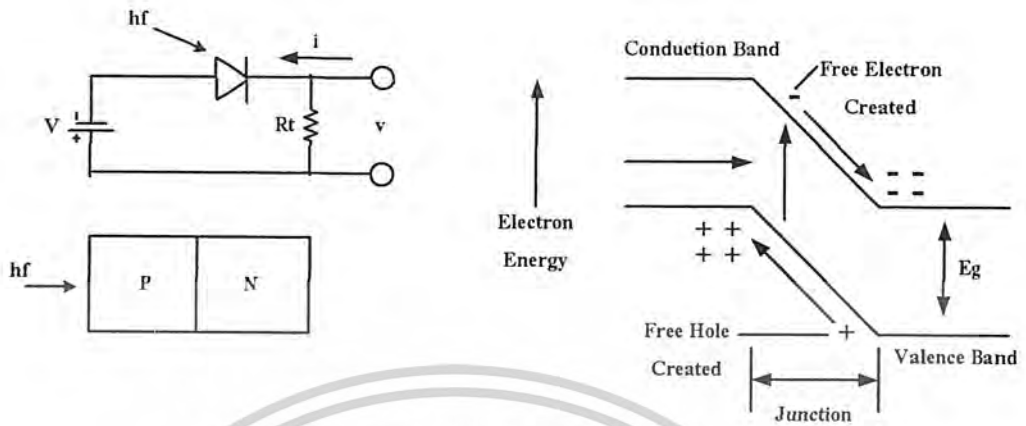
โฟโตมัลติพลายเออร์นี้สามารถให้อัตราการขยายของเอาท์พุทได้มากกว่าแวกต์มโฟโตไดโอดแบบเดิมและยังมีโรซท์ไทม์สั้น (อยู่ในช่วง ns) แต่ก็มีข้อเสียก็คือราคาที่สูงมาก ขนาดใหญ่น้ำหนักมากและต้องใช้ไฟเลี้ยงที่มีแรงดันที่สูง

### 2.1.3.2 โฟโตไดโอดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Photodiode)

โฟโตไดโอดสารกึ่งตัวนำนั้นมีขนาดเล็ก มีความไวสูง มีโรซท์ไทม์สั้นและอาศัยไฟเลี้ยงแรงดันต่ำอุปกรณ์รับแสงชนิดนี้ จึงเป็นที่นิยมในงานทางด้านการสื่อสารผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง ตัวอย่างของอุปกรณ์รับแสงชนิดนี้ก็คือ พีเอ็นโฟโตไดโอด พินโฟโตไดโอด และอวาลันซ์ไดโอด

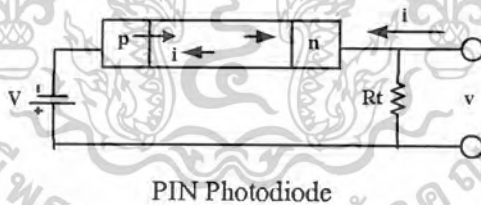
1. พีเอ็นโฟโตไดโอด หลักการทำงานของโฟโตไดโอดสารกึ่งตัวนำ (ดูรูปที่ 2.6) มีดังนี้คือ (1) โฟโตไดโอดได้รับการไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias) (2) เกิดจังก์ชัน (Junction) บริเวณรอยต่อระหว่าง p กับ n ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีอนุภาคตัวนำอิสระอยู่ที่บริเวณดังกล่าว เรียกว่า บริเวณดีพลีชัน (Depletion Region) (3) อิเล็กตรอนลงมาบริเวณดีพลีชันทำให้เกิดอนุภาคตัวนำอิสระอิเล็กตรอนและโฮล (Electron and Hole) ขึ้นเกิดเป็นกระแสไหลในวงจรรภายนอก โดยทั่วไปพีเอ็นโฟโตไดโอดมีโรซท์ไทม์อยู่ในช่วง  $\mu s$  ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานทางด้านการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง และนอกจากนี้อุปกรณ์รับแสงชนิดนี้ยังมีการตอบสนองต่ำ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาอุปกรณ์รับแสงอีกชนิดหนึ่งขึ้นมาคือ พินโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงพีเอ็นโฟโตไดโอด

2. พินโฟโตไดโอด (ดูรูปที่ 2.7) เป็นอุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมากในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง หลักการทำงานของพินโฟโตไดโอดจะคล้ายคลึงกับของพีเอ็นโฟโตไดโอด แต่พินโฟโตไดโอดได้รับการปรับปรุงให้มีชั้นอินทรีนติค (ส่วนที่ไม่มีอนุภาคอยู่ภายใน) ที่กว้าง จึงเท่ากับเพิ่มโอกาสให้เกิดอนุภาคตัวนำ (Electron and Hole) หรือกระแสไหลในวงจรภายนอกได้มากขึ้นนั่นเอง ซึ่งนอกจากจะทำให้การตอบสนองสูงขึ้นแล้วก็ยังทำไรซ์ไทม์สั้นลงอีกด้วย



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของพินโฟโตไดโอด

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าต่างๆ ของพินโฟโตไดโอด

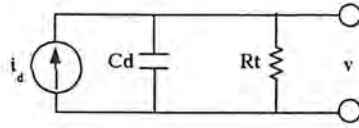
Material	Wavelength Range (m)	Wavelength of Peak Response (m)	Peak Responsivity (A/W)
Silicon	0.3-1.1	0.8	0.5
Germanium	0.5-1.8	1.55	0.7
InGaAs	1.0-1.7	1.7	1.1

จากตารางแสดงสารชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานพินโฟโตไดโอด โดยสารแต่ละชนิดจะ

เหมาะกับการรับสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก โครงสร้างของฟิโนโตไดโอดสามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นค่าไรซ์ไทม์ของฟิโนโตไดโอดอาจเขียนได้เป็น



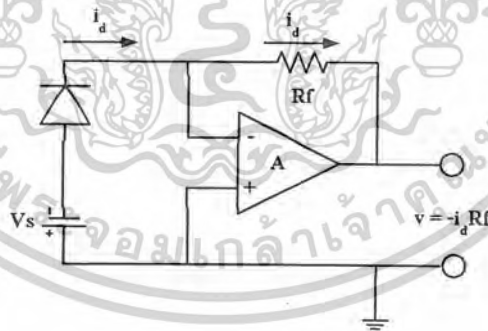
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรสมมูล

$$t_r = 2.99 R_t C_d \tag{2.5}$$

ซึ่งสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์รับแสงดังนี้

$$f_{3-dB} = 1/(2\pi R_t C_d) \tag{2.6}$$

จากสมการจะเห็นว่าความต้านทาน  $R_t$  และค่าความจุ  $C_d$  มีส่วนในการกำหนดค่าแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์รับแสง (ดูรูปที่ 3.16 ประกอบ)

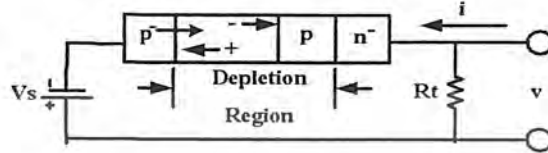


รูปที่ 2.9 แสดงวงจรของฟิโนโตไดโอด

หลักการทํางานก็คือ เมื่อฟิโนโตไดโอดถูกไบแอสแล้ว หลังจากนั้นเมื่อได้รับแสงก็จะทำให้เกิดกระแส  $i_d$  ไหลในวงจร โดยที่กระแสนี้จะถูกขยายโดยใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Op-Amp) ที่สัมพันธ์กับค่าความต้านทานป้อนกลับ  $R_f$

3. อวาลานซ์โฟโตไดโอด (APD) ดังรูปที่ 2.10 เป็นอุปกรณ์รับแสงที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความไวที่สูงกว่าฟิโนโตไดโอด เนื่องจากโครงสร้างของ APD เอื้ออำนวยให้เกิดอัตราแอกสเรชันเป็นแอกสเรชันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเป็เซปรีเซชันด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายกระแสได้จากภายนอก กรณีของฟิโนโตไดโอดซึ่งการใช้วงจรถ่ายภายนอกนี้มีโอกาสทำให้คุณภาพของสัญญาณด้อยลงมาเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดมาจากวงจรที่ต่อเพิ่มเติมเข้าไปนั่นเอง



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ APD

เนื่องจาก APD มีอัตราขยายกระแสสูงกว่าฟิโนโตไดโอด ดังนั้น APD จึงได้ถูกนำมาใช้กับระบบสื่อสารทางแสงที่กำลังของแสงจะมีโอกาสลดต่ำลงมา เช่น การสื่อสารระยะไกล สำหรับระบบสื่อสารทางแสงที่มีความเหมาะสมจะใช้ APD ที่กำลังของแสงควรมีอยู่ในช่วงของ  $nW$  แต่ถ้ากำลังของแสงมีค่าสูงกว่านั้นเช่นอยู่ในช่วงของ  $mW$  แล้วฟิโนโตไดโอดมีความเหมาะสมและสะดวกกว่า เนื่องมาจากการทำงานของ APD ต้องใช้การไบแอสย้อนกลับหลายร้อยโวลต์ และอัตราขยายของ APD ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย สำหรับในงานด้านการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง อุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ PIN และ APD ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงชนิดใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระบบการสื่อสารเป็นสำคัญ เช่น เงื่อนไขเรื่องกำลังของแสง ไร่ชั้ไหม้ ราคา หรือแม้แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ตารางที่ 2.2 นี้ แสดงถึงคุณลักษณะของ PIN และ APD ที่น่าสนใจ

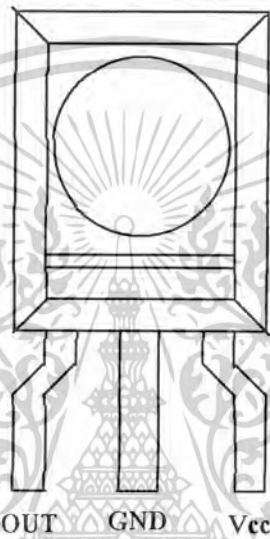
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

Material	Structure	Rise Time (ns)	Wavelength (nm)	Responsivity (A/W)	Dark Current (nA)	Gain
Silicon	PIN	0.5	300-1100	0.5	1	1
Germanium	PIN	0.1	500-1800	0.7	200	1
InGaAs	PIN	0.3	1000-1700	0.6	10	1
Silicon	APD	0.5	400-1000	77	15	150
Germanium	APD	1.0	1000-1600	30	700	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 โฟโตโมดูล TSOP48..

TSOP48.. นั้นจะถูกนำมาใช้ในระบบการควบคุมทางด้านอินฟราเรดระยะไกล ซึ่งจะมี PIN diode และ Preamplifier จะถูกสร้างบน lead frame และจะมีการใช้ epoxy package เป็น Infrared filter สัญญาณเอาต์พุตที่ถูกดัดแปลงสามารถที่จะทำการแปลงรหัสได้ด้วยอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่ง TSOP48.. นี้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในภาครับข้อมูลระยะไกล



รูปที่ 2.11 โฟโตโมดูล

ตารางที่ 2.3 แสดงเบอร์ของโฟโตโมดูลและความถี่พาหะที่ใช้( $f_o$ )

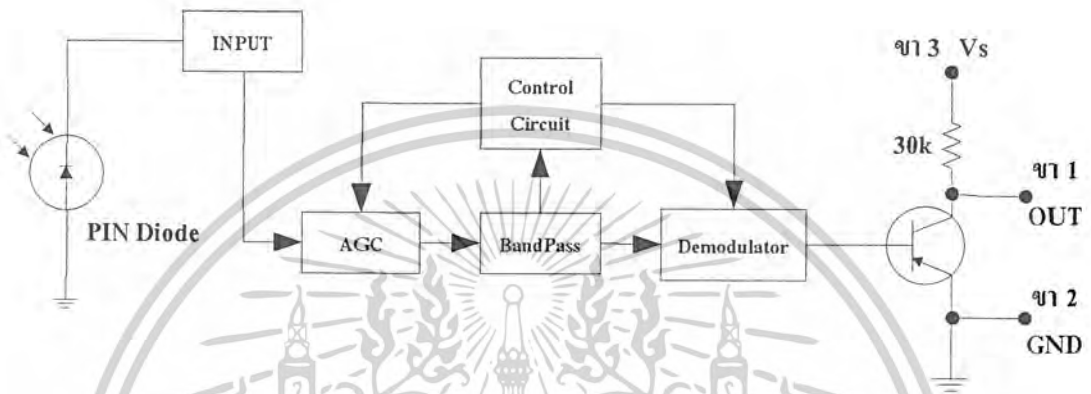
Type	$f_o$	Type	$f_o$
TSOP 4830	30 kHz	TSOP 4833	33 kHz
TSOP 4836	36 kHz	TSOP 4837	36.7 kHz
TSOP 4838	38 kHz	TSOP 4840	40 kHz
TSOP 4856	56 kHz		

#### คุณสมบัติ

- มีตัวอุปกรณ์ Photo detector และ Preamplifier ใน package เดียวกัน
- มีวงจรกรองความถี่ภายในสำหรับ Pulse Code Modulation
- มีการพัฒนาการป้องกันการรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้าภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถนำไปใช้งานได้กับอุปกรณ์ TTL และ CMOS
- มีลักษณะการทำงานเป็น Active low
- มีการใช้พลังงานต่ำ
- มีการปกป้องจากแสงที่รบกวน



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างภายในของ TSOP48

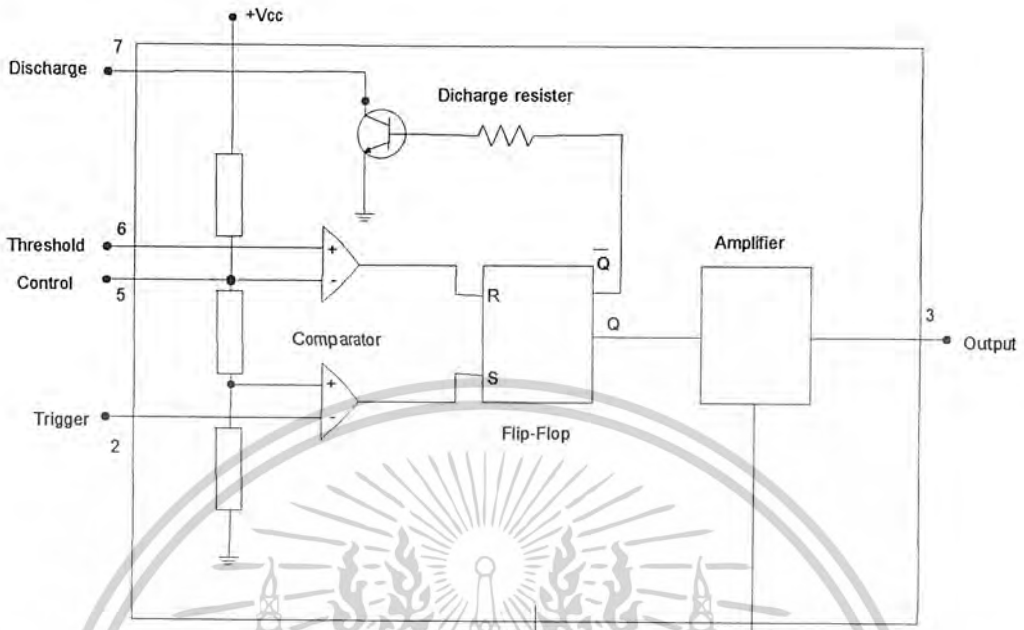
## 2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของไอซี 555

ไอซี 555 ถูกสร้างขึ้นในปี 1972 โดยถูกกำหนดลักษณะหน้าที่ที่เป็นไอซีตั้งเวลา(timer) สามารถใช้งานได้ 3 โหมดคือ โมโนสเตเบิล (monostable) อะสเตเบิล(astable) หรือออสซิลเลเตอร์ และวงจรหน่วงเวลา (time delay) ไอซี 555 ต้องการไฟเลี้ยงในย่าน 4.5-16 โวลต์

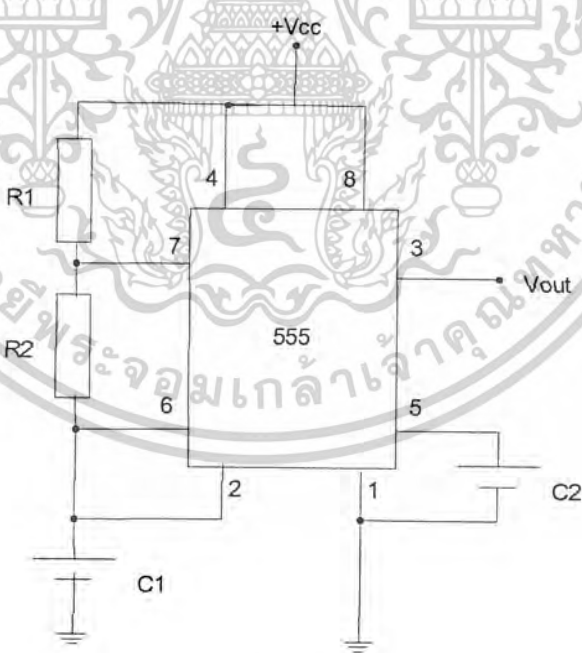
ในรูป 2.13 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในของไอซี 555 ในส่วนอินพุท ประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบสองชุด ซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์จำพวกออปแอมป์ที่มีความเร็วสูง พิเศษต่ออยู่กับตัวต้านทานภายใน ไอซี เพื่อกำหนดแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในวงจรเปรียบเทียบ (หรือจุดทำงานของวงจรเปรียบเทียบ) อยู่ที่ระดับ  $\frac{2}{3} V_{cc}$  หรือ  $0.67 V_{cc}$  ในขณะที่ขาทรานซิสเตอร์จะมีระดับอ้างอิงอยู่ที่  $\frac{1}{3} V_{cc}$  ส่วนถัดมาเป็น R-S ฟลิปฟลอปซึ่งจะได้รับสัญญาณให้เซตและรีเซต จากวงจรเปรียบเทียบ สัญญาณที่ได้จาก R-S ฟลิปฟลอป จะถูกขยายให้แรงขึ้นก่อนส่งออกไปยังขา 3 หรือเอาท์พุท ของ 555 ต่อไป

ที่ขาอินพุทเทรชโฮลด์ (threshold input) จะต่อกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายนอก จัดเป็นวงจรคาบเวลา RC (RC timing circuit) ซึ่งตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อนี้เป็นตัวกำหนดคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาท์พุท ดังแสดงการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุให้แก่ไอซี 555 ตามรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในไอซี 555



รูปที่ 2.14 แสดงการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อกำหนดคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุทของไอซี 555

เมื่อเริ่มทำงานตัวเก็บประจุจะทำการประจุแรงดัน เมื่อแรงดันที่ขาอินพุทเทรชโฮลสูงถึง 2/3 ของไฟเลี้ยงไอซีวงจรเปรียบเทียบกับภายในไอซีจะทำงานส่งผลให้ฟลิปฟลอปรีเซ็ตเมื่อฟลิป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลอปเซต ทราานซิสเตอร์คิตซาร์จะทำงานแล้วทำการคายประจุตัวเก็บประจุถึงตรงจุดนี้ เอาท์พุทของ 555 จะตกลงเป็น “0” และเมื่อตัวเก็บประจุคายประจุแรงดันที่จําอินพุทเทรชโฮลจะตกลง เมื่อตกลงถึงระดับ 1/3 ของไฟเลี้ยงวงจรเปรียบเทียบจะหยุดทำงาน ฟลิปฟลอปก็จะเซตทราานซิสเตอร์คิตซาร์ภายในไอซีก็จะหยุดทำงานด้วย ทำให้เอาท์พุทของไอซีกลับมาเป็น “1” อีกครั้ง

ไอซี 555 เป็นไอซีตั้งเวลา (timer) ที่นิยมใช้มาก เพราะตัวมันใช้งานง่าย มีอุปกรณ์ร่วมไมก่ชิ้น แถมยังประยุกต์ใช้ได้หลายแบบ

**การใช้ 555 ในวงจรอะอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์**

ตัวอย่างวงจรแสดงดังรูปที่ 2.15 วงจรอะอสเตเบิลนี้จะให้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมมาอย่างต่อเนื่อง โดยคาบเวลาของสัญญาณสามารถควบคุมได้ ตามสูตรดังนี้

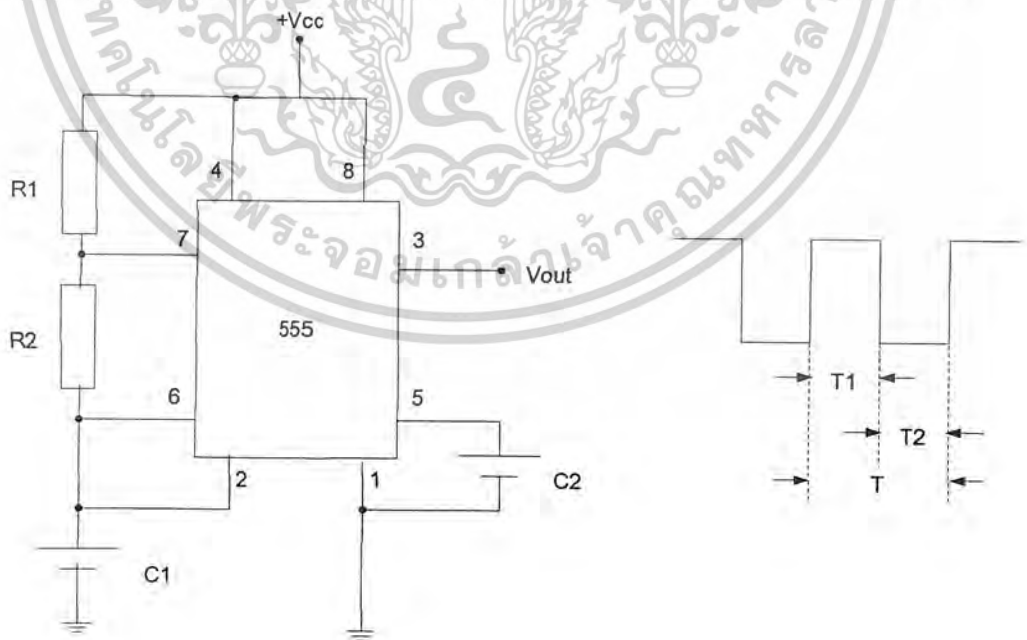
$$\text{ช่วงเวลาชาร์จหรือเอาท์พุทสูง } T_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1 \tag{2.6}$$

$$\text{ช่วงเวลาคิตซาร์หรือเอาท์พุทต่ำ } T_2 = 0.693 (R_2 C_1) \tag{2.7}$$

$$\text{คาบเวลารวม } T = T_1 + T_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1 \tag{2.8}$$

$$\text{ดังนั้นความถี่ที่ได้จึงมีค่า } 1/T = 1/(R_1 + 2R_2) C_1 \tag{2.9}$$

$$\text{คิตซ์ไซเคิล } D = (R_1 + R_2) / (R_2 + 2R_1) \tag{2.10}$$

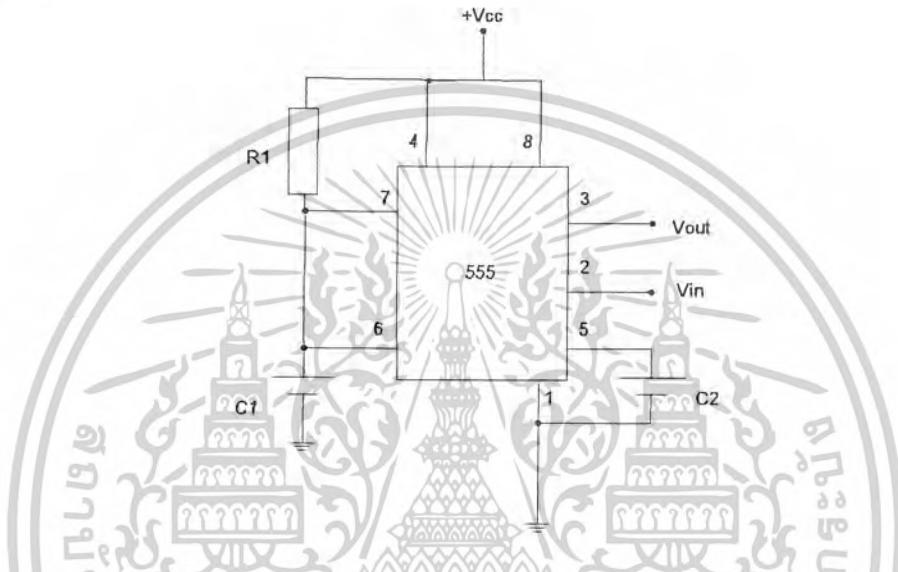


**รูปที่ 2.15 วงจรอะอสเตเบิลที่ใช้ 555**

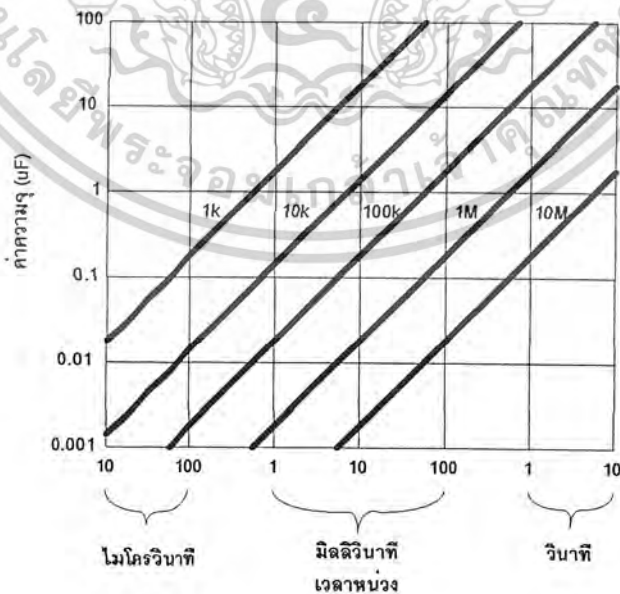
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ 555 ในวงจรโมโนสเตเบิล

ตัวอย่างวงจรแสดงดังรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าต้องมีสัญญาณนาฬิกาที่ขา 2 เสียก่อน 555 จึงทำงานได้ คาบเวลาของสัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่ขา 3 จะขึ้นอยู่กับค่า  $R_1$  และ  $C_1$  ตามความสัมพันธ์  $t = 1.1R_1C_1$  ในรูปที่ 2.8 เป็นกราฟช่วยในการเลือก  $R_1$  และ  $C_1$  เพื่อให้พัลส์เอาต์พุตมีความถี่ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.16 วงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ 555



รูปที่ 2.17 กราฟเลือกตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ 555 ทำงานได้ตามความถี่ตรงตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมความเร็ว DC MOTOR

### 2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

มอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างกันตรงที่พลังงานที่ป้อนเข้า (input Power) โดยพลังงานที่ป้อนเข้ามอเตอร์เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายออก (output Power) เป็นพลังงานกล แต่พลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและพลังงานที่จ่ายออกเป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็ต่างกันด้วยคือ มอเตอร์ไฟฟ้าจะรับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายกระแสออกไปภายนอก

#### 2.3.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้นเหมือนกัน

- A - ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Winding)
- B - ขั้วแม่เหล็ก ( Pole Core)
- C - ขดลวด Interpole หรือ Commutator Pole
- D - Stator Yoke
- E - Commutator Sectors
- F - ชุดแปรงถ่าน (Brushes)
- G - ลวดมัดอาร์มาเจอร์ (Armature Banding Wires)
- I - เพลาของตัวหมุน (Rotor Shaft)
- J - ช่อง (Slots) ลงขดลวดอาร์มาเจอร์

ส่วนที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย

ก. เปลือกนอก (Frame หรือ Yoke) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กวิ่งได้ครบวงจร นอกจากนี้เปลือกนอกยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้งเครื่องจักรรวมถึงเป็นเบ้ายึดลูกปืน (bearing) สำหรับเพลาของตัวหมุน การทำเปลือกนอกทำได้โดยการขึ้นรูป การใช้เหล็กหล่อ หรือใช้วิธีมันแผ่นเหล็กแล้วเชื่อมเป็นวง

ข. แกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก (Pole-core and Pole-shoe) ทั้งสองส่วนนี้ประกอบกันขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนและขั้วของแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นหลังจากที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำที่พันรอบแกนเหล็ก

ค. ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก (Pole Coils) ก็คือ Field Coill ที่ประกอบด้วยลวด

กลมหรือลวดแบนที่ทำด้วยทองแดงหลายๆ เส้นนำมาทำให้เป็นรูปร่างของขดลวดตัวนำที่ต้องการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วนำขดลวดตัวนำนี้สวมทับลงไปบนแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อมีกระแสผ่านขดลวดนี้ ก็ทำให้ขั้วแม่เหล็กมีอำนาจเป็นแม่เหล็กขึ้นมาโดยการผลิตเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น เส้นแรงแม่เหล็กนี้จะถูกตัวนำภายในอาร์มาเจอร์อีกทีหนึ่ง

#### ส่วนที่เคลื่อนที่หมุนไปได้รอบตัว (Rotor) ประกอบด้วย

ก. แกนเหล็กของอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนหนา ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ผิวทั้งสองข้างจะฉาบด้วยฉนวนแล้วนำมาอัดซ้อนเป็นรูปทรงกระบอกจะ ทำเป็นร่อง (Slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกของแกนเหล็กเพื่อที่ใช้พันขดลวดอาร์มาเจอร์ ส่วนตรงกลางก็เจาะรูเป็นวงกลมเพื่อเอาไว้ใส่แกนเหล็ก (Shaft) แล้วก็บากเป็นช่องสี่เหลี่ยมของรู หนึ่งเพื่อใส่ตัวยึด (Lock) หรือ กุญแจ (Key) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นระหว่างตัวอาร์มา เจอร์กับแกนเหล็ก (Shaft) นอกจากนั้นยังเจาะรูอากาศ (Air hole) เล็กๆ ทะลุผ่านอาร์มาเจอร์เพื่อ ระบายความร้อนด้วย

ข. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature winding) ก็คือขดลวดที่พันอยู่ในร่องของอาร์มา เจอร์

ค. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) มีหน้าที่คือ เป็นตัวที่เพิ่มความสะดวกในการ นำกระแสออกมาจากตัวนำที่พันอยู่ในอาร์มาเจอร์ และเป็นตัวกั้บกระแสไฟสลับที่เกิดขึ้นภายใน อาร์มาเจอร์ให้เป็นกระแสไฟตรง หรือ กระแสที่ไหลไปยังวงจรมานอกในทิศทางเดียวกัน รูปร่าง ของมันเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งต่อที่ต่อชิดกันนั้นกันไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรง แต่ละซี่ต่อไปยัง ขั้วต่อของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อให้ตัวนำที่ฝังอยู่ในอาร์มาเจอร์ยึดเกาะได้มั่นคงอีกทีหนึ่ง การป้องกัน ไม่ให้ซี่คอมมิวเตเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ต้องกระเด็นหลุดไปอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลาง จึงใช้ห่วง วงแหวนที่ทำด้วยไม้ก้ำยึดซี่คอมมิวเตเตอร์ทั้งหมดไว้

ง. แกนหมุน (Shaft) เป็นตัวรับน้ำหนักในส่วนต่างๆ ของโรเตอร์ทั้งหมด โดย ถ่ายทอดน้ำหนักนี้ไปยังลูกปืน (Bearing) ที่รองรับแกนนี้อีกทีหนึ่ง และมีหน้าที่เป็นตัวรับหรือ ถ่ายทอดการหมุนหรือการเคลื่อนที่ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ แกนหมุนนี้เป็นที่ยึดเกาะของคอมมิว เตเตอร์ด้วย โดยมีฉนวนที่ทำด้วยไม้ก้ำกันไว้ระหว่างคอมมิวเตเตอร์กับแกนหมุน

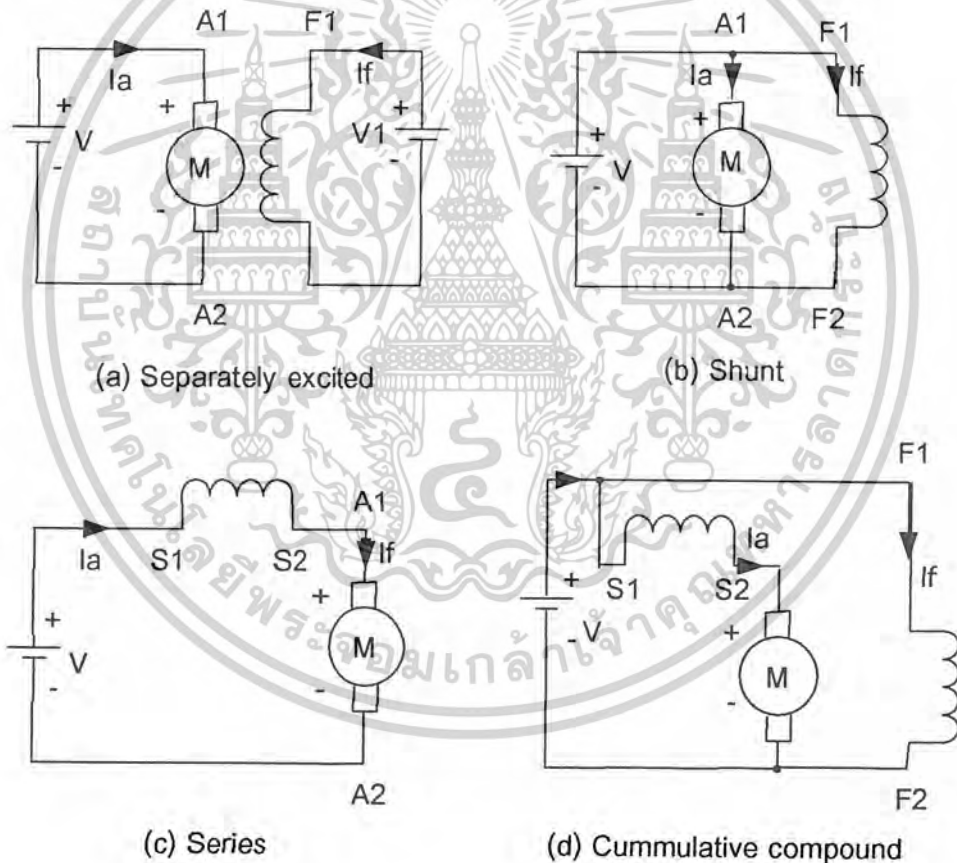
จ. แปรงถ่านและลูกปืน (Brushes and Bearings) แปรงถ่านมีหน้าที่เป็นตัวรวบรวม กระแสที่ได้จากคอมมิวเตเตอร์เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภายนอก รูปร่างของแปรงถ่านเป็นแท่ง สี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งทำด้วยผงถ่านอัดแน่นเป็นก้อน แปรงถ่านนี้ถูกยึดติดอยู่กับที่จับแปรงถ่าน (Brush Holder) ซึ่งเป็นกล่องสำหรับใส่แปรงถ่านลงไปที่ยึดติดกับเปลือกนอกอีกทีหนึ่ง ฉะนั้น หน้าสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ ส่วนตรงข้ามก็ถูกกดจากสปริงอีกทีหนึ่ง ตรงด้านที่ถูกกดของแปรง ถ่านต่อเข้ากับเส้นลวดทองแดงเล็กๆ ที่ถักเป็นเปีย เพื่อส่งต่อกระแสที่ได้จากคอมมิวเตเตอร์นั้นว่ามี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างน้อยเพียงใด ส่วนลูกปืนนั้นเป็นตัวที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และยังช่วยลดแรงเสียดทานที่แกนหมุนของตัวหมุนกระทำกับลูกปืนนั้น ปกติแล้วลูกปืนนี้จะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้งสองด้านที่จะต้องยึดติดกับเปลือกนอกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ออีกทีหนึ่ง

### 2.3.1.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนี้

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



รูปที่ 2.18 แสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้นการควบคุมสัปดาห์ที่ตกคร่อมอาร์มาเจอร์ และขดสนาม (Field) นั้นแยกจ่ายอิสระต่อกัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

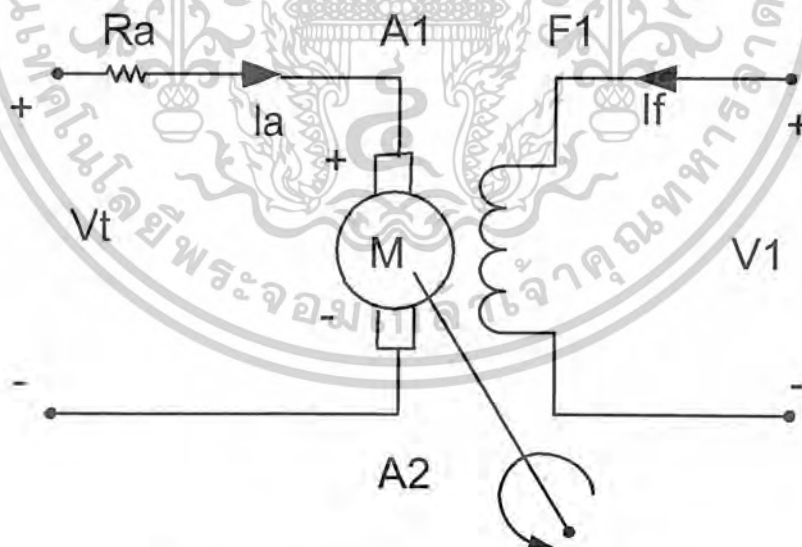
สนามและอาร์มาเจอร์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟเดียวกัน การที่จะควบคุมแยกกันได้โดยวิธีเดียวคือ การเพิ่มความต้านทาน (R) ภายในวงจร แต่เป็นวิธีการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมกระแสที่ไหลผ่านขดสนาม (Field flux) จึงขึ้นอยู่กับกระแสอาร์มาเจอร์ด้วย ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetomotive force : mmf) ของขั้วส่วนสนามที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์อยู่ มีผลต่อกระแสอาร์มาเจอร์ด้วยและมีทิศทางเดียวกับแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดสนามที่ต่อขนานกับมอเตอร์

### 2.3.1.3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Speed control of DC Motor)

ในการที่จะศึกษาถึงวิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) นั้น ก่อนอื่นจะต้องทราบก่อนว่าตัวแปรต่างๆ ที่จะมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีอะไรบ้าง และตัวแปรของแต่ละตัวที่มีอิทธิพลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เราทราบนั้นมีข้อดีและข้อเสียอย่างไร ในการที่จะนำไปใช้เพื่อที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เพื่อที่เราจะสามารถหาตัวแปรที่จะมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้น เราจะเริ่มพิจารณาจากวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.19 แสดงวงจรสมมูลของ DC Motor

จากรูปเราจะได้สมการดังนี้

$$V_t = I_a \cdot R_a + E_a \quad (2.11)$$

และจากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้ว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_a = K_a * \Phi * \omega_m \quad (2.12)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_t = I_a * R_a + K_a * \Phi * \omega_m \quad (2.13)$$

โดยที่

$V_t$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับ

$E_a$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในอาร์มาเจอร์

$I_a$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในอาร์มาเจอร์

$R_a$  = ความต้านทานของอาร์มาเจอร์

$K_a$  = ค่าคงที่ =  $(Z * P) / (60 * a)$

$Z$  = จำนวนตัวนำทั้งหมดในอาร์มาเจอร์ที่ต่ออนุกรมกัน

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

$a$  = จำนวนแผงที่ขนานกัน

$\Phi$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้วมอเตอร์

$N$  = ความเร็วรอบของมอเตอร์

เราสามารถหาความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้

$$K_a * \Phi * \omega_m = V_t - (I_a * R_a) \quad (2.14)$$

เพราะฉะนั้นเราจะได้ว่า

$$\omega_m = (V_t - (I_a * R_a)) / (K_a * \Phi) \quad (2.15)$$

เนื่องจากว่าเทอม  $I_a * R_a$  นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ  $V$  ทั้งนี้ก็เพราะว่า ค่าของความต้านทานของอาร์มาเจอร์ ( $R_a$ ) นั้นมีค่าน้อยมาก โดยที่ขนาดของความต้านทานจะยังมีค่าน้อยเมื่อขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีขนาดใหญ่มากขึ้น ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$\omega_m = V_t / (K_a * \Phi) \quad (2.16)$$

นั่นก็คือ

$$\omega_m \propto V_t \quad (2.17)$$

และ

$$\omega_m \propto 1 / \Phi \quad (2.18)$$

เราจะเห็นได้ว่า ตัวแปรที่จะมีอิทธิพลต่อความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นก็คือ

1. ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับ ( $V_t$ )

2. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วของมอเตอร์ ( $\Phi$ ) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จึงสามารถทำได้ 2 แบบด้วยกันคือ

1. การควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ( $V_a$ ) โดยการควบคุมความเร็วแบบนี้จะเรียกว่าการควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Armature voltage control)
2. การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว ( $\Phi$ ) โดยการควบคุมแบบนี้จะเรียกว่า การควบคุมโดยใช้เส้นแรงแม่เหล็ก (Field control)

ถ้าเราพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานที่อาร์มาเจอร์ เราก็สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ได้เช่นกัน โดยที่เราจะเรียกการควบคุมในลักษณะนี้ว่า การควบคุมโดยใช้ความต้านทาน (Rheostatic control)

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในลักษณะนี้ เราจะใช้เมื่อต้องการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้ต่ำหรือช้ากว่าความเร็วที่ปกติ (Rated speed) ของมอเตอร์ที่ต้องการควบคุมนั้น โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่าคงที่อยู่ที่ โดยที่ความต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไปนี้จะไปมีผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมอาร์มาเจอร์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งก็คือการควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมอาร์มาเจอร์ในทางอ้อมนั่นเอง (Indirect voltage control of armature) ดังนั้นในที่นี้จึงมิได้แบ่งการควบคุมในลักษณะนี้เป็นหัวข้อหนึ่งในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เนื่องจากการควบคุมความเร็วแบบนี้ เราจะต้องต่อความต้านทานอนุกรมเข้าไปในวงจร ดังนั้นเมื่อเราเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในขณะที่แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่าคงที่อยู่นั้นก็เท่ากับว่าเราเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสในเอง

เนื่องจากว่า

$$T = K_t \cdot \Phi \cdot I_a \quad (2.19)$$

โดยที่

$T$  = แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลของมอเตอร์

$K_t$  = ค่าคงที่ในสมการของแรง

$$= K_a / (2\pi)$$

$$= [(Z \cdot P) / (60 \cdot a)] / 2\pi$$

$\Phi$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว

$I_a$  = กระแสที่ไหลในอาร์มาเจอร์

เราจะได้ว่า

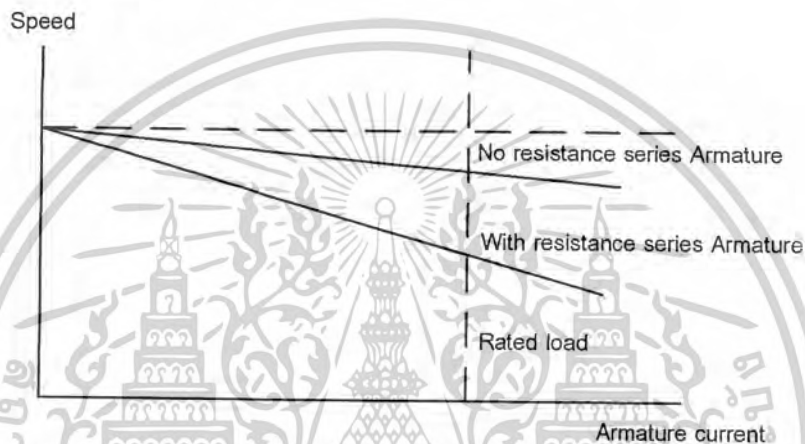
$$T \propto \Phi \quad (2.20)$$

$$T \propto I_a \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อเราเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไปในวงจรอาร์มาเจอร์ ก็จะทำให้แรงบิดที่มอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ทั้งนี้ก็เพราะว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในอาร์มาเจอร์เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วคงที่อยู่

เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์แปรผันโดยตรงกับค่าความต้านทานที่อาร์มาเจอร์ ดังนั้นเมื่อเราเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกระแสไฟฟ้าในวงจรอาร์มาเจอร์ เราจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสของอาร์มาเจอร์

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในลักษณะนี้จะไม่ดี ทั้งนี้ก็เพราะว่า

1. เป็นวิธีการที่สิ้นเปลือง เพราะจะมีกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปอย่างมากในตัวต้านทาน โดยที่ จะสูญเสียไปในรูปของความร้อน และขณะเดียวกันเราจะต้องหาความต้านทานที่มีขนาดใหญ่ มากด้วย เพราะเหตุที่ว่ากระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์มีค่ามาก
2. เป็นวิธีที่ค่อนข้างแพง
3. เสถียรภาพของวงจรไม่ดี (Unstable) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้การควบคุมในลักษณะ นี้ไม่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### สมาชิกของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ “MCS-51” หมายถึง ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 และ เบอร์ที่สำคัญอื่นๆ ในตระกูล MCS-51 ด้วย เช่น เบอร์ 8052, 8031, 8032 หรือ 8751 เป็นต้น แต่ละ เบอร์จะมีความสามารถพิเศษมากน้อยต่างกันไป ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของ MCS-51

คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมควบคุมการทำงาน อยู่ในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป อยู่ในชิปจำนวน 128 ไบต์ หรือ 256 ไบต์
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับ โปรแกรม และข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิร์ตซ์
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัวเอง โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์ หรือใช้วัดช่วงเวลา
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วน สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับ ไบต์ และระดับบิต เพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและการควบคุมระบบทำให้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลีน เพื่อใช้ในงานควบคุม โดยเฉพาะ
- ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 ได้ด้วย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ที่จัดว่าเป็นเบอร์พื้นฐานในตระกูลนี้คือ เบอร์ 8051, 8031, 8751 มีจำนวนขาภายนอก 40 ขาเท่ากัน ใช้เวลาและสัญญาณในการปฏิบัติคำสั่งแต่ละคำสั่งเท่ากัน ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากันสิ่งที่ต่างกันระหว่างเบอร์ทั้งสามคือ ขนาดหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป มีไว้เพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่เหมือนกัน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

เบอร์ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์

ทำให้สามารถใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการลบโปรแกรมที่มีอยู่ และบรรจุโปรแกรมใหม่ลงไปได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันที เพื่อความสะดวกในการแก้ไขหรือปรับปรุงโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8751 จะใช้งานเป็นการพัฒนาเบื้องต้น ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบโปรแกรมเพื่อหาข้อผิดพลาด และแก้ไขเรียบร้อยแล้วก่อนทำการผลิตจริง การแก้ไขทำได้โดยการใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และการบรรจุโปรแกรมที่แก้ไขใหม่ สามารถทำได้ในจำนวนครั้งจำกัด ทั้งนี้เพราะหน่วยความจำที่เป็น EPROM เมื่อใช้ไปนานๆ จะเกิดเสื่อมสภาพ ทำให้ไม่สามารถบรรจุโปรแกรมเข้าไปได้

เบอร์ 8051 หลังจากทดสอบโปรแกรมจนไม่พบข้อผิดพลาดแล้ว จะเป็นช่วงของการผลิตจริง ซึ่งต้องพิจารณาถึงต้นทุนเป็นอันดับแรก และในการผลิตจริงจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์แทน เพราะราคาต่ำกว่ามาก แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมที่ได้บรรจุไปแล้วไม่ว่าด้วยวิธีใดก็ตาม

เบอร์ 8031 เบอร์นี้ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป แต่สามารถใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้มากถึง 64 กิโลไบต์ อาจจะใช้เป็น ROM, PROM, EPROM ตามความต้องการของผู้ผลิต เบอร์ 8031 นี้มีไว้ใช้ในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็กกว่า 4 กิโลไบต์ หรือมากกว่า 4 กิโลไบต์มาก (เบอร์ 8751 และ 8051 จะใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกได้เอง เมื่อโปรแกรมมีความยาวเกิน 4 กิโลไบต์ หรืออาจบังคับให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองเบอร์ใช้โปรแกรมจากภายนอกเพียงอย่างเดียว ด้วยการต่อขา 31 ลงกราวด์ ทำให้มีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8031 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป)

ตารางที่ 2.4 แสดงความแตกต่างของสมาชิกไมโครคอนโทรลเลอร์

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/Counters	Interrupt Sources/Vectors
8051	8031	-	4K	128	4	2	6/5
8051AH	8061AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2	6/5
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3	8/6
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	3	6/5
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	14/7
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	14/7
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4K	128	4	2	8/7
83C52JA	50C152JA	-	8K	256	5	2	19/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-	80C512JB	-	-	256	7	2	19/11
83C152JC	80C152JC	-	8K	256	5	2	19/11
-	80C152JD	-	-	256	7	2	19/11
83C451	80C451	-	4K	128	7	2	6/5
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2	9/8

### โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์ จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บ โปรแกรม และ ข้อมูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในตัว สามารถรับอินเตอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA ได้ ในตัวมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็น ไทมเมอร์ หรือ เคาน์เตอร์เพิ่มมากขึ้น คุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกันของ ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูลนี้แสดงในตารางที่ 1 ที่ผ่านมา

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ ได้แก่ เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เอง จำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต รวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง

ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือน เบอร์ 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป เบอร์ 8751 จะเป็น EPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียงเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเท่านั้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไป ตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 เป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่า และสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิปได้จากโปรแกรม เพื่อประหยัดพลังงานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์มีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน  
หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล มีดังนี้

- ขา VSS (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา VCC (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้ สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้อง โหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย นอกจากนี้แล้ว ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรม และข้อมูลภายในชิปด้วย โดยส่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอก ในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูล ซึ่งไม่มีวงจรพูลอัพ (pull up) ภายใน
- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้อง โหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 ขนาด 8 บิต (P2.0-P2.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้ สามารถใช้งานเป็นอินพุท เอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้อง โหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย นอกจากนี้จะใช้งานเป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมและข้อมูล ภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้อง โหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรพูลอัพภายใน นอกจากนี้แล้วยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่างดังนี้

ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัพท์ชนิดที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัพท์ชนิดที่ 1

ขา P3.4 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0

ขา P3.5 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

ขา P3.6 สัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลนอกชิป

ขา P3.7 สัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้ จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดการทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซ็ตชิป MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์นิไซเซิล ระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์ม เพื่อที่จะทำหน้าที่ฟูลคาวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตเอง เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ตัวเก็บประจุขนาด 10 mF ครอบระหว่างขา RST กับ VCC
- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมแอสตัสแอสเตอร์ไบต์ค่าจากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอกโดยปกติ เมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่ง ในระหว่างที่ติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมกซ์นิไซเซิล แต่ในช่วงการเขียน หรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยถ้าหากขานี้มีสถานะเป็น 0 ก็จะหมายถึง การให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิปหรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป ด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL (ขา 19) ใช้ต่อกับคริสตอลจากภายนอกโดยใช้เป็นขาอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL (ขา 18) ใช้ต่อกับคริสตอลจากภายนอกโดยใช้เป็นขาเอาต์พุทออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

#### โครงสร้างภายในของ MCS-51

#### โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม จะใช้เก็บ โปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์ มีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์ไม่มี ทำให้ต้องเก็บ โปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่งแต่จะมีจำนวนมากหรือน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิปแสดงในตารางที่ 2.4

#### หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมในชิป MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายนอกชิป ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0, 4, 8, 16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

#### หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับ

เก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยดังนี้ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์ล่าง
- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์บน
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของ CPU

### ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์

ใน MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกา หรือแมชชีน-ไซเคิลของวงจรรอสซิงลเเดเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นตัวไทมเมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของพอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์) รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทมเมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มให้อีก 1 ตัว) เมื่อต้องการใช้ไทมเมอร์ 0 หรือ ไทมเมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เพื่อบอกให้ CPU ทราบ

การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรรภายนอก (ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INTO, INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MSC-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้ในการกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

### พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม MCS-51

สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็จะสามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลมาตรฐานได้ตั้งแต่ 300, 1.2k, 2.4k, 4.8k, 9.6k, 19.2k, 375k ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้สามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันถึง 4 รูปแบบตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### โครงสร้างการอินเทอร์รัพต์ MCS-51

สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิดและที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัพต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงานโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพต์ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัพต์

เราสามารถเลือกให้ CPU ใน MCS-51 ถูกอินเทอร์รัพต์โดยสัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต

IE7	IE6	IE5	IE4	IE3	IE2	IE1	IE0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

บิต	ชื่อบิต	ความหมาย
IE7	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด 0 : MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ใดๆ ทั้งสิ้น 1 : อินเทอร์รัพต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมการตอบสนองอย่างอิสระจากบิตในรีจิสเตอร์นี้
IE6	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IE5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ของ Timer 2 เมื่อ Overflow
IE4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ของ Timer 1 เมื่อ Overflow
IE2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 1
IE1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ของ Timer 0 เมื่อ Overflow
IE0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 0

**หมายเหตุ** – ถ้าบิตที่ควบคุมการตอบสนองต่ออินเทอร์รัพต์แต่ละบิตมีค่าเป็น 1 หมายถึงอนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่ออินเทอร์รัพต์ได้ หากมีค่าเป็น 0 หมายถึง ไม่ให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IP (Interrupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต

IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

บิต	ชื่อ บิต	ความหมาย
IP7	-	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน
IP6	-	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ Timer 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ Timer 1
IP2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 1
IP1	PT0	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ Timer 0
IP0	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 0

### วิธีการเข้าถึงข้อมูล

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในคำสั่งของ MCS-51 มี 6 วิธี คือ

- การเข้าถึงข้อมูล โดยตรง (direct addressing)
- การเข้าถึงข้อมูล โดยทางอ้อม (indirect addressing)
- การเข้าถึงข้อมูล ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (register instructions)
- การเข้าถึงข้อมูล ในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (register-specific instructions)
- การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเอง โดยตรง (immediate constants)
- การเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง (indexed addressing)

### การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง

วิธีนี้จะระบุค่าตำแหน่ง หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลโดยตรงในคำสั่ง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลโดยวิธีนี้จะเป็นค่าของข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะในบริเวณ 128 ไบต์ล่าง และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะเท่านั้น และเนื่องจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปในบริเวณ 128 ไบต์ล่าง กับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะมีขนาดรวมกันทั้งสิ้น 256 ไบต์ ดังนั้นค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ใช้ต้องเป็นเลขไบนารีขนาด 8 บิต เท่านั้น

#### การเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม

ค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อ จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง ดังนั้นวิธีนี้จึงถือเป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม คือแทนที่ผู้เขียนโปรแกรม จะระบุค่าตำแหน่งข้อมูลโดยตรง วิธีนี้จะใช้ค่าที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ที่ระบุในรหัสคำสั่ง ซึ่งไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำแทน หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลแบบนี้ จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปในบริเวณ 128 ไบต์ล่าง และ 128 ไบต์บน รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป

#### การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

เป็นการเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์ R0-R7 ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป แต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปแต่ละกลุ่มทั้ง 4 กลุ่ม คือ บริเวณหนึ่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลในบริเวณ 128 ไบต์ล่าง หรือตำแหน่ง 32 ไบต์ล่างสุด ของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้ เก็บข้อมูลทั่วไป ดังนั้นหากผู้เขียนโปรแกรมต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลในรีจิสเตอร์ทั้ง 32 ตัว แต่ละตัวมีตำแหน่งในหน่วยความจำที่แน่นอน ก็สามารถชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ตรงกับรีจิสเตอร์แต่ละตัว ด้วยวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรงหรือโดยทางอ้อม

#### การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง

คำสั่งบางคำสั่งของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องปฏิบัติการกับข้อมูล ในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น รีจิสเตอร์ A, รีจิสเตอร์ DPTR, รีจิสเตอร์ SP ในรหัสคำสั่งที่ใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลประเภทนี้ MCS-51 จะทราบเองว่าต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ตัวใด โดยไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งรีจิสเตอร์ที่ใช้ โดยคำสั่งเองเลย

#### การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง

เป็นการกำหนดค่าข้อมูลที่จะนำไปประมวลผลโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่ง

จะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่งโดยการให้เครื่องหมาย '#' ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง

ข้อมูลที่ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนี้ เป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมเท่านั้น นั่นแสดงว่าเราสามารถอ่านข้อมูลนี้ออกมาได้แต่ไม่สามารถนำข้อมูลไปเก็บ โดยวิธีนี้ได้ จุดประสงค์ของการอ้างอิงข้อมูลแบบนี้มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูล ในหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม ซึ่งเป็นหน่วยความจำชนิดถาวร (ROM) ข้อมูลในแต่ละส่วนนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้การเข้าถึงข้อมูลวิธีนี้จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมที่เก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC จะต้องมียุทธศาสตร์กับ ตำแหน่งต้นของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมในส่วนที่เก็บข้อมูล โดยใช้ค่าของรีจิสเตอร์ A เป็นตัวระบุว่าข้อมูลอยู่ห่างจากตำแหน่งเริ่มต้น ในรีจิสเตอร์ใช้งาน โดยเฉพาะ DPTR หรือ PC เท่าใด จุดประสงค์ของวิธีการอ้างอิงข้อมูลแบบนี้คือใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลในตารางซึ่งอยู่ใน หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมเรียงต่อกันไป

### 2.5 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทาง ได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัสปกติแล้วพอร์ตอนุกรม ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้ แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณสื่อสารดังกล่าว

#### การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับส่งข้อมูล โดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรารเร็วนี้ว่า อัตราบอดหรือบอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลอบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

#### 2.5.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวดังนี้

##### รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

##### รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดดังนี้

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

SM0-SM1 (Serial port mode bit 0-1): ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM2: ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโพรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกทีฟ ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกทีฟ ถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตหยุดไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception): ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

TB8: ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8: ใช้สำหรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และ บิต SM2 เป็น “0” ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag): ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (receive Interrupt flag): ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้แล้วครึ่งทาง ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อมีการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

### 2.5.2 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกใช้งานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะซีพรีจิสเตอร์
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ โหมด 1 ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้งานในโครงการนี้

### การทำงานในโหมด 1 ของวงจรถอดอนุกรม

มีโคเดแกรมแสดงในรูปที่ 9-3 ในโหมดนี้ใช้การรับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิต ประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น "0") 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน และบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (มีค่าเป็น "1") ในการรับข้อมูลบิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AR89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถเลือกใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 1 หรือไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

กระบวนการส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการแอกทีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ส่งมายังวงจรถอดการส่ง (TX control) จากนั้นวงจรถอดจะทำการแอกทีฟสัญญาณ SEND ที่สเตต 1 เฟส 1 ของแมชีนไซเคิลต่อมา โดยสัญญาณ SEND จะเป็น "0" ตลอดการส่งข้อมูล เมื่อสัญญาณ SEND แอกทีฟ จะทำการส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรก โดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 แมชีนไซเคิล จากนั้นตามด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิต เรียงลำดับจากบิต LSB โดยข้อมูลที่ทำการส่งถูกเรียกออกมาจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับการส่งข้อมูล ในทุกๆบิตข้อมูลที่ทำการส่งออกไป จะเกิดสัญญาณพัลส์ SHIFT ขึ้นเพื่อให้เรียกข้อมูลในแต่ละบิตจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์การกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการส่ง (TX clock) เป็นตัวกำหนด โดยสัญญาณนาฬิกานี้ได้มาจากการหารสัญญาณ TCLK จากไทเมอร์ 1 ด้วย 16 หลังจากการส่งบิตข้อมูลก็จะทำการส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย 1 บิต ดังนั้นการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณนาฬิกาทั้งหมด 10 ลูก เมื่อทำการส่งข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว จะทำการเซตบิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON หากการเกิดอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอนเอบิลไว้ ก็จะมีการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังจากทำการบริการอินเตอร์รัปต์หรือส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต TI ก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

ด้านการรับข้อมูล จะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" ที่ขา RxD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากับ 1/16 เท่าของอัตราบอด เมื่อตรวจพบ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดจะรีเซตและทำการเขียนข้อมูล IFFH ไปยังชิพรีจิสเตอร์ ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ผ่านทางขา RxD ในการตีความว่าบิตที่เข้ามาเป็น "0" หรือ "1" จะใช้ผลการสุ่มข้างมาก โดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งออกเป็น

16 สเตต การสุ่มข้อมูลจะทำการสุ่มสเตตที่ 7, 8, และ 9 จาก 2 ใน 3 ของการสุ่มพบว่า ข้อมูลเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเนาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิกโค จะตีความข้อมูลในบิตนั้นตามเสียงข้างมาก ยกตัวอย่าง สุ่มพบลอจิก “1” 2 ใน 3 ครั้งจะตีความว่าบิตของข้อมูลที่รับได้นั้นเป็น “1”

ลำดับของการรับข้อมูลมีลักษณะเดียวกับการส่งข้อมูลคือ เริ่มด้วยบิตเริ่มต้นก่อนตามด้วยบิตข้อมูล และบิตปิดท้าย ในทุกๆ การรับข้อมูลได้ 1 บิต จะมีพัลส์ SHIFT เกิดขึ้น เพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์บัพเฟอร์ การรับข้อมูล การกำหนดจังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล (RX clock) หลังจากสัญญาณพิกาลูกสุดท้าย อันหมายถึงสามารถรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัพเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON โดยข้อมูลในบิต RB8 ก็คือข้อมูลของบิตหยุดนั่นเอง พร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ด้วยหากเกิดการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังขากบริการอินเตอร์รัปต์ หรือรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อนเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

#### อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในที่นี้จะขอก้าวถึงเฉพาะ โหมด 1 ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้งาน

เนื่องจากโหมดนี้จะสามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON (จะกล่าวถึงรายละเอียดของรีจิสเตอร์ตัวนี้ในบทที่ 4 ด้วยการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน) มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 32) \times \text{อัตราโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 1} \quad (2.22)$$

ถ้าหากในไทเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าในรีจิสเตอร์ SMOD}} / 32) \times (\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} / \{12 \times [256 - (\text{TH1})]\}) \quad (2.23)$$

ในตารางที่ 2.5 แสดงการกำหนดอัตราบอดโดยใช้ไทเมอร์ 1

ในกรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอด โดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอด (baud rate generator) สามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = \text{อัตราโอเวอร์โพลวของไทเมอร์ 2} / 16 \text{ หน่วยเป็น บิตต่อวินาที} \quad (2.24)$$

ถ้าหากกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = \text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} / (32 \times (65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L}))) \quad (2.25)$$

โดยที่ (RCAP2H, RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิต

ไม่คิดเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การกำหนดค่าของไทมเมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายทอข้อมูลหรืออัตราบอด ซึ่งการกำหนดอัตราบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกหาอัตราบอดได้อย่างอิสระคือในโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 ถ้าหากไทมเมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โฟลวในอัตราที่สูงมากเท่าใด อัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม นั้นหมายความว่า อัตราในการถ่ายทอข้อมูลจะสูงมาก สามารถถ่ายทอข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

ในการใช้ไทมเมอร์ 1 เพื่อกำหนดอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดให้ไทมเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือ โหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติ และการกำหนดค่ารีโหลดให้แก่รีจิสเตอร์ TH1 จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดให้แก่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

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

$$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล}/384)/\text{อัตราบอด}) \quad (2.26)$$

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดการเซต จะเป็นการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงคำนวณจาก

$$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล}/192)/\text{อัตราบอด}) \quad (2.27)$$

สามารถสรุปขั้นตอนในการเลือกอัตราบอดโดยการกำหนดค่าของไทมเมอร์ 1 ได้ดังนี้

1. กำหนดให้พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานในโหมด 1 หรือ 3
2. กำหนดให้ไทมเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือโหมด 8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ
3. กำหนดข้อมูลให้แก่ TH1 เท่ากับ 253 เพื่อให้สามารถกำเนิดอัตราบอดได้ 19,200 บิตต่อวินาทีตามที่ต้องการ

4. ทำการเซตบิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON เพื่อเอ็นเอเบิลการทวีคูณอัตราบอด

### ตารางที่ 2.5 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่สัญญาณ นาฬิกา	SMOD	ไทมเมอร์		
			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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

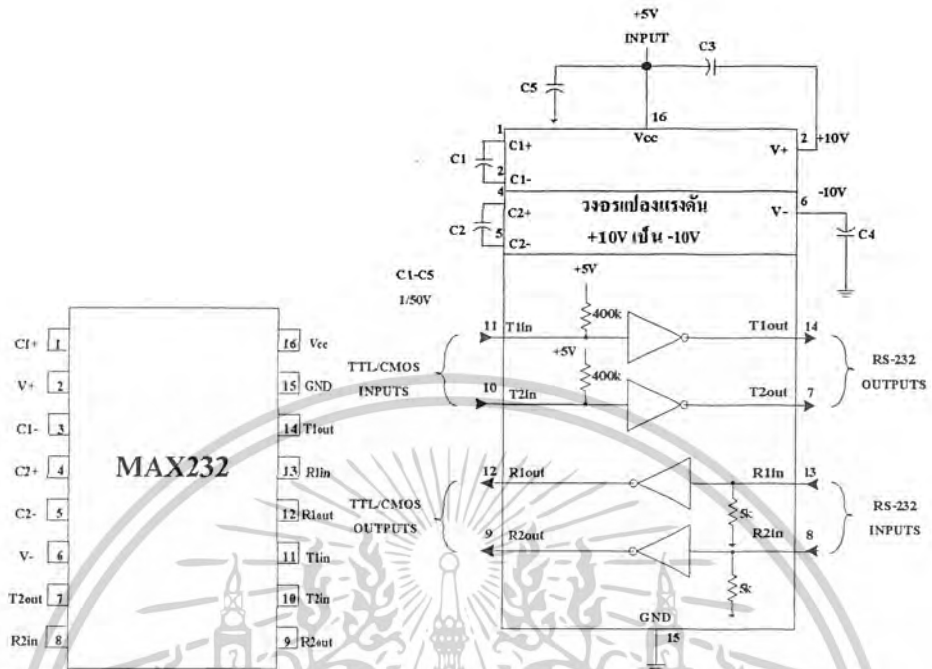
โหมด 1, 3 : 62.5 K	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2K	11.0592 MHz	1	0	2	FDH
9.6K	11.0592 MHz	0	0	2	FDH
4.8K	11.0592 MHz	0	0	2	FAH
2.4K	11.0592 MHz	0	0	2	F4H
1.2K	11.0592 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.0592 MHz	0	0	2	1DH
110	6MHz	0	0	2	72H
110	12MHz	0	0	1	FEEBH

#### การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่  $\pm 3$  ถึง  $\pm 12V$  ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับที่ทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

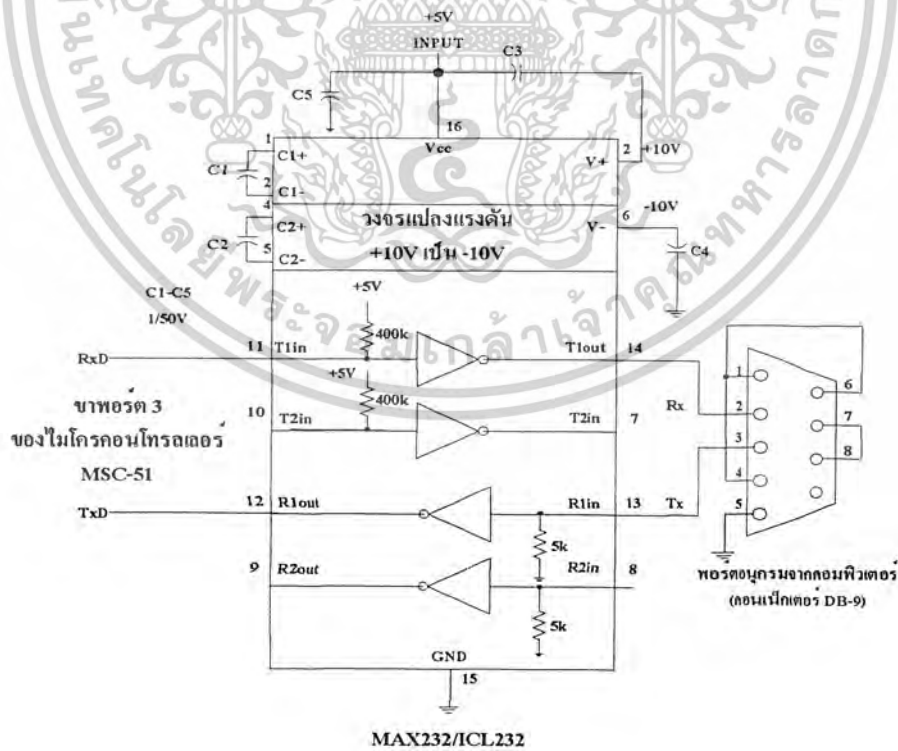
ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับที่ทีแอล ไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับที่ทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์ ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIM หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในรูปที่ 2.21 แสดงการจัดขาของไอซี ICL232 ซึ่งใช้ในการแปลงสัญญาณ RS-232 ส่วนวงจรของการต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) การจัดขาของ MAX232 หรือ ICL232 ข) โครงสร้างภายในของ MAX232 หรือ ICL232  
รูปที่ 2.21 รายละเอียดเบื้องต้นของ ไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของ

คอมพิวเตอร์



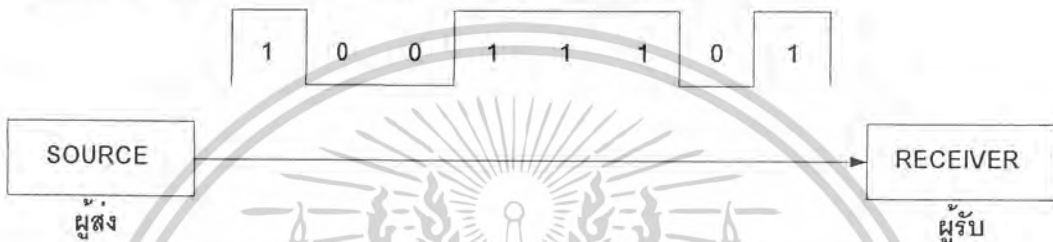
รูปที่ 2.22 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลในลักษณะนี้ ทุกบิตที่เข้ารหัสแทนหนึ่งตัวอักษร จะถูกส่งผ่านไป ตามสายส่งเรียงลำดับไปที่ละบิตในสายส่งเพียงเส้นเดียวดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ทำให้ประหยัด ค่าใช้จ่าย ในเรื่องสายส่งสัญญาณ ได้มากกว่าการรับ-ส่งข้อมูลแบบขนาน ดังนั้นการรับ-ส่งข้อมูล แบบอนุกรมจึงนิยมใช้กันมากในการรับ-ส่งข้อมูลในระยะไกล แต่ในด้านความเร็วการรับ-ส่ง ข้อมูลแบบอนุกรมจะทำได้ช้ากว่าการรับ-ส่งข้อมูลแบบขนานมาก



รูปที่ 2.23 การรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปตัวอักษรหนึ่งตัวอักษรจะประกอบไปด้วยบิต 8 บิตจะถูกส่งออกไปเรียงลำดับ และ ทางด้านรับจะรวบรวมบิตเหล่านี้ทีละบิตจนครบ 8 บิต ซึ่งถือเป็น 1 ตัวอักษร

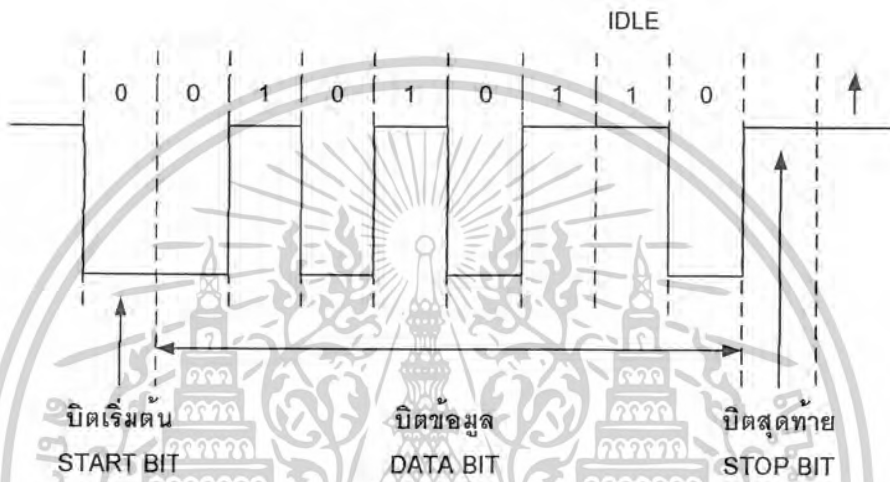
### 2.6.1 การรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เป็นแบบในการส่งข้อมูลตัวอักษรตัวใดตัวหนึ่งไปในทันทีทันใด ซึ่งเป็นเวลาใดๆ ก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดความสัมพันธ์กับตัวอักษรตัวอื่นๆ อาจ ส่ง ตัวอักษรเรียงกันไปเลย โดยไม่มีที่ว่างระหว่างตัวอักษรก็ได้ กรณีเช่นนี้เครื่องรับปลายทางจะต้อง สร้างลักษณะของซิงโครนัสขึ้นมาใหม่สำหรับตัวอักษรแต่ละตัวเครื่องรับปลายทางจะต้องรู้จักว่า ตัวอักษรที่ส่งมานั้นมีบิตแรกของตัวอักษรอยู่ที่ใด ดังนั้นหน้าตัวอักษรแต่ละตัวจะใส่บิตลักษณะ พิเศษ เพื่อถือเป็นจุดเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งเมื่อเครื่องรับพบบิตแบบนี้จะทราบได้ทันทีว่าเป็นจุด เริ่มต้นของตัวอักษร

เครื่องรับสัญญาณปลายทางจะตรวจสอบพบบิตแสดงจุดเริ่มต้น ได้โดยตรวจสอบลอจิก ทางไฟฟ้าของสายส่งนั่นเอง คล้ายกับตัวเราเป็นผู้รับสัญญาณแล้วดูที่สายส่งว่าขณะนั้นๆ มีลอจิก เป็น “” ในขณะที่สายส่งมีลอจิกคงที่โดยไม่มีเปลี่ยนแปลง นั้นแสดงว่าไม่มีการส่งข้อมูลมาเลย สภาวะของสายส่งในลักษณะนี้เรียกว่า Idle Line และเพื่อความสะดวกจะให้สภาวะของ Idle Line มี ลอจิกทางไฟฟ้าเป็น “1” ในบางครั้งอาจเรียกสภาวะ Idle Line นี้ว่า Mark Condition สำหรับสภาวะ ที่ตรงกับข้ามกับสภาวะนี้ คือมีลอจิก “0” และในบางครั้งจะเรียกสภาวะนี้ว่า Space Condition หรือ สภาวะว่างเปล่า หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสภาวะสายเปิด (Open Line) จะสังเกตได้ว่าสภาวะ

Idle Line นี้เป็นสภาวะที่ตัวส่งสัญญาณส่ง ค่าบิตเป็น “1” มาติดกัน โดยตลอดเมื่อต้องการส่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษร เครื่องส่งสัญญาณ จะใส่บิตข้อมูลหนึ่งบิตมานำหน้ากลุ่มของบิตที่แทนตัวอักษรนั้น ซึ่งบิตที่ใส่นำหน้านี้อาจทำหน้าที่เป็นบิตนำหน้าเพื่อบ่งบอกว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการส่งตัวอักษร ถ้าพิจารณาในแง่ของลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าจะเห็นว่า เครื่องส่งสัญญาณจะสร้างบิตเริ่มต้นโดยการสับเปลี่ยนลอจิกของสายส่งจากการรักษาระดับไฟฟ้าคงที่ ซึ่งถือเป็น “1” เข้าสู่สถานะ “0” โดยใช้เพียงบิตเดียว พร้อมกันนี้ข้อความที่ต้องการส่งก็จะตามบิตที่เริ่มต้นเข้าสู่เครื่องรับต่อไป



รูปที่ 2.24 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เมื่อเครื่องรับสัญญาณตรวจพบที่มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก “1” ไปเป็นลอจิก “0” ก็จะมีการเปรียบเทียบสัญญาณนาฬิกาทันที ภายหลังจากการผ่านพ้นไปได้ครึ่งบิตสัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวบอกเครื่องรับให้ตรวจสอบสถานะของสายส่ง ถ้าตรวจสอบสถานะของสายส่งแล้วยังคงอยู่ในสถานะ “0” เครื่องก็จะเริ่มตรวจสอบข้อมูลนั้น ถ้าในจุดเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก “1” เป็น “0” นี้เป็นสัญญาณรบกวน (Noise) ช่วงสั้นๆ และก็จะหยุดตรวจสอบสถานะสายส่งเพราะไม่ต้องการรวมบิตข้อมูลอีกต่อไป

สัญญาณนาฬิกาที่เครื่องรับจะทำให้เกิดการซิงโครไนส์ที่ตอนต้นของตัวอักษรที่รับเข้ามา อาจยอมให้เกิดการแตกต่างกันไปได้เล็กน้อยระหว่างความเร็วในการส่งข้อมูลกับสัญญาณนาฬิกาที่เครื่องรับใช้ ที่จุดสิ้นสุดของแต่ละตัวอักษรที่ส่งมาจะถูกส่งมายังเครื่องรับเพื่อทำให้เกิดสภาวะคงที่ ก่อนที่ตัวอักษรอื่นจะตามมา กลุ่มบิตข้อมูลจะถูกปิดหัวเปิดท้ายไว้ด้วยบิตเริ่มต้นและบิตสิ้นสุดในบางครั้งจึงเรียกการรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนี้ว่า การรับ-ส่งข้อมูลแบบเริ่มต้น/หยุด (Start/Stop Transmission)

สัญญาณหยุดหรือบิตสิ้นสุดจะมีสถานะของสายลอจิก “1” สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลที่มี

รูปแบบเป็นรหัสแอสกี (ASCII) อาจใช้สัญญาณหยุดหรือบิตสิ้นสุดด้วยความยาวเป็น 1 บิตหรือ 2 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต ก็ได้ และสำหรับบอด (BAUDO) บิตสิ้นสุดมักจะมี ความยาวเท่ากับ 1.5 บิต แต่อย่างไรก็ตาม อาจมีบางกรณีใช้บิตสิ้นสุดที่มีความยาว 1.42 บิต จุดประสงค์ดั้งเดิมของสัญญาณหยุดที่ใช้ในยุคแรก ใช้เพื่อบอกจุดสิ้นสุดแก่อุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทเครื่องจักรไฟฟ้า (ไม่ใช่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนดังปัจจุบัน) โดยใช้ตัวอักษรหนึ่งๆ ส่งมายังอุปกรณ์ เครื่องรับปลายทาง จะรับข้อมูลที่ส่งเข้ามาเป็นบิตและระหว่างช่วงเวลาที่เกิดสัญญาณหยุดหรือบิตสิ้นสุดนี้เครื่องจะต้องตีความหมายด้วยว่าจะต้องทำอะไรกับข้อมูลเหล่านั้น (ดังเช่น ต้องเจาะรูบนเทปกระดาษหรือต้องพิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามานั้น)

ด้วยเหตุนี้ความยาวของบิตสิ้นสุดจึงมีผลในการขีดเวลาให้เครื่องรับปลายทางด้วยว่า จะกระทำอย่างไรกับข้อมูลที่รับเข้ามาแล้วจึงจะสามารถรับข้อมูลชุดต่อไปได้ ในยุคแรกๆ อุปกรณ์รับข้อมูลปลายทางที่ใช้รูปแบบแทนตัวอักษรด้วยรหัสแอสกีต้องใช้บิตสิ้นสุดที่มีความยาวถึง 2 บิต จึงจะทำให้การทำงานของเครื่องเสร็จและพร้อมที่จะรับตัวอักษรตัวต่อไป แต่ในยุคปัจจุบันนี้ความเจริญทางเทคโนโลยีช่วยให้อุปกรณ์เหล่านี้มีน้ำหนักเบาและมีความเร็วในการทำงานสูงขึ้นมาก ทำให้เครื่องรับสัญญาณปลายทางตีความหมายของตัวอักษรพร้อมทั้งทำงานอื่นที่ต้องกระทำกับตัวอักษรนั้นให้เสร็จภายในระยะเวลาเพียง 1 บิตได้ ดังนั้นในปัจจุบันนี้การรับ-ส่งข้อมูลในรูปแบบของรหัสแอสกีจึงใช้บิตสิ้นสุดเพียง 1 บิตเท่านั้น

บิตพาริตีใช้ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่าข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่ บิตพาริตีนี้จะถูกส่งออกมาพร้อมกับบิตข้อมูล ซึ่งบิตนี้จะเป็น "0" เป็น "1" นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ส่งออกมามีจำนวนของบิตที่เป็น "1" เป็นจำนวนคู่ หรือจำนวนคี่ และยังขึ้นกับอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลด้วยว่าถูกออกแบบหรือ โปรแกรมไว้ให้รับส่งบิตพาริตีในลักษณะของพาริตีคู่หรือคี่อีกด้วย ในกรณีที่อุปกรณ์รับ-ส่งถูกออกแบบไว้ให้เป็นพาริตีคู่ อุปกรณ์ส่งข้อมูลจะทำการส่งพาริตีบิต เป็นลอจิก "1" ออกไปเมื่อเป็นจำนวนบิตที่เป็น "1" ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่และจะทำการส่งพาริตีบิตเป็นลอจิก "0" เมื่อจำนวนบิตที่เป็น "1" ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ ในทางกลับกันเมื่ออุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลถูกออกแบบไว้ให้เป็นพาริตีคี่ พาริตีบิตจะเป็น "1" ในกรณีที่จำนวนบิตที่เป็น "1" ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ และจะเป็น "0" ในกรณีที่จำนวนบิตที่เป็น "1" ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ เมื่อส่วนรับข้อมูลรับข้อมูลจากส่วนส่งข้อมูลไปแล้วจะทำการตรวจสอบบิตที่เป็น "1" ว่ามีจำนวนเป็นคู่หรือคี่ ถูกต้องตามที่ส่วนส่งส่งมาหรือไม่ หากตรวจสอบแล้วพาริตีบิตไม่เป็นไปตามเงื่อนไขแล้วแสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามามีความผิดพลาดเกิดขึ้น

สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งคือถ้าอุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่หรือคี่ก็ตาม อุปกรณ์รับข้อมูลก็จะต้องการรับในลักษณะพาริตีเดียวกันกับอุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วย เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ส่งข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลก็ต้องรับข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232C

โดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตอนุกรมเรียกชื่อกันว่า RS-232C อยู่ในตัวอยู่แล้วแต่บางเครื่องอาจไม่มีก็เป็นได้ ตัวอย่างเช่น IBM PC จำเป็นจะต้องมีการ์ดที่เรียกว่า อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ (Asynchronous Adapter) มาเสียบใส่พอร์ต RS-232C นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม เรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS-232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา (Electronics Industries Association: EIA) ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ ภายใต้ชื่อว่า RS-232C ความจริงมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือ RS-232C หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

### รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณที่เข้ามาอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับเข้ามา
3. คัดบิตสิ้นสุดและพาริตี้ออก
4. ส่งสัญญาณให้ซีพียูว่าได้รับสัญญาณเรียบร้อยแล้ว

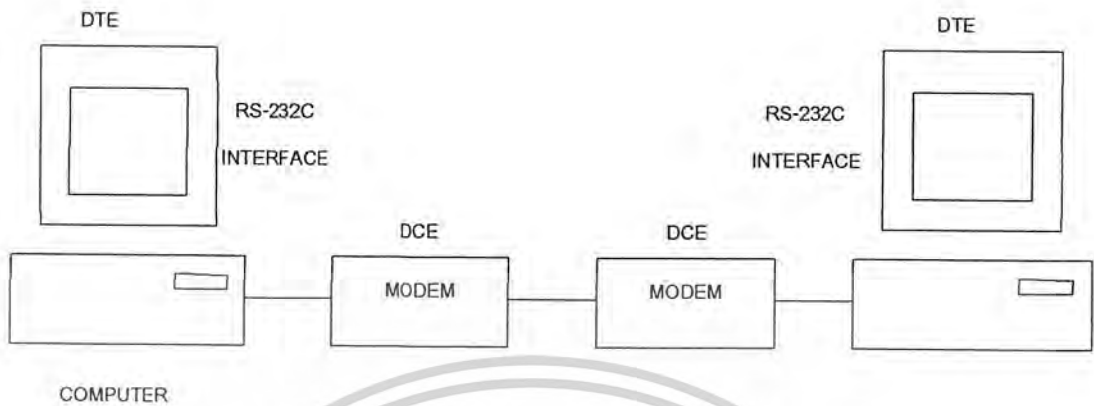
### ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูแล้วทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มบิตสิ้นสุดและพาริตี้ออก
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่เชื่อมต่ออยู่(ถ้ามี)

### 2.7.1 มาตรฐานของ RS-232C

มาตรฐาน RS-232C ได้จัดทำเพิ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกถึงมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับท้ายสุดของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment: DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment: DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็จะหมายถึง ไมโครคอมพิวเตอร์ส่วน DCE ก็จะหมายถึง โมเด็มหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจเป็นได้ทั้ง DTE และ DCE ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตข้อแตกต่างของ DTE เป็น DCE จะเป็นได้จากรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 อุปกรณ์ DTE และ DCE

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของ RS-232C คือความเร็วและระยะทางของการรับ-ส่งข้อมูล RS-232C สามารถเชื่อมต่อการรับ-ส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็ว 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอกับการเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีอัตราเร็ว 110 ถึง 9,600 บิตต่อวินาที ความยาวของสายเชื่อมต่อสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232C จำกัดอยู่แค่ความยาว 50 ฟุต ซึ่งก็เพียงพอสำหรับการสื่อสารของไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงรอบนอก

### 2.7.2 ลักษณะของสัญญาณ RS-232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้องและอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้มาตรฐาน RS-232C กำหนดย่านแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อตอบสนอง

แรงดันไฟฟ้า	สถานะภาพลอจิก	สถานะภาพสัญญาณ	ฟังก์ชันการควบคุม
3 ถึง 25 V	"0"	สเปซ	ON
-25 ถึง -3 V	"1"	มาร์ค	OFF

หมายเหตุ ช่วงของระดับแรงดันระหว่าง -3V ถึง +3V จะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงลอจิก ดังนั้นจึงไม่มีการระบุสถานะของสัญญาณ ในช่วงนี้ คอมพิวเตอร์บางเครื่องใช้แต่สัญญาณลอจิกที่ออกมาเป็นสัญญาณของ RS-232C เลข ตัวอย่างเช่น อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ของ IBM PC ในกรณีเช่นนี้ ระยะความยาวของสายที่ใช้เชื่อมต่ออาจจะสั้นกว่า 50 ฟุต เนื่องจากระดับของกราวด์เปลี่ยนไปอันเป็นผลจากการสูญเสียของแรงดันในทางด้านทานของสาย

### 2.7.3 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232C

ในปัจจุบันเรามักใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 ในการอินเตอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232C

คอนเน็คเตอร์แบบนี้เทียบเท่าแบบมาตรฐาน ISO2113 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ประกาศใช้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Organization for Standardization (ISO) คอนเน็คเตอร์ตัวผู้ใช้จะใช้กับอุปกรณ์ที่เป็น DTE ส่วนคอนเน็คเตอร์ตัวเมียจะใช้กับอุปกรณ์ที่เป็น DCE

#### 2.7.4 ขาสัญญาณต่างๆ ของคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9

ขา 1 Carrier detect โมเด็มจะส่งสัญญาณที่อยู่ในสถานะออน (ลอจิก “0”) ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณจาก โมเด็มของอีกฝ่ายหนึ่ง สัญญาณนี้จะนำไปจุด LED บอกว่าได้รับสัญญาณจากโมเด็มอีกฝ่ายหนึ่งแล้วไฟ LED จะอยู่บนหน้าปัดของโมเด็มเอง

ขา 2 Receive data DTE จะรับสัญญาณจาก DCE เข้ามาทางขานี้ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งเข้ามาสถานะของลอจิกที่ขานี้จะเป็น “1”

ขา 3 Transmit data สัญญาณของขานี้จะถูกส่งจาก DTE ไปยัง DTE หรือ DCE ตัวอื่น เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่น เครื่องพิมพ์ หรือ โมเด็ม เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออก สถานะของลอจิกที่ขานี้จะเป็น “1”

ขา 4 Data terminal ready อุปกรณ์ DTE จะเปิดสัญญาณสายนี้ให้ออน (ลอจิก “0”) เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับอุปกรณ์ DCE โดยส่วนมากอุปกรณ์ DCE จะไม่รายงานสถานภาพของตัวเอง เช่น CD DSR และ CTS ให้อุปกรณ์ DTE รู้ ดังนั้นหากต้องการให้อุปกรณ์ DCE รายงาน สถานภาพตัวเองต้องปิดสัญญาณ DTR ให้ออน

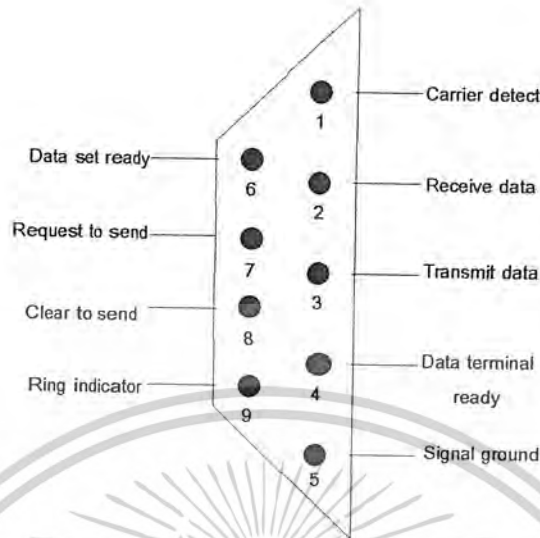
ขา 5 Signal ground ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิง สำหรับสายสัญญาณทุกๆสายจะมีแรงดันเป็น 0 โวลต์

ขา 6 Data set ready เมื่อสัญญาณขานี้อยู่ในสถานะออน (ลอจิก “0”) เป็นการบอก DTE ว่า DCE พร้อมเรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะส่งข้อมูลได้แล้ว

ขา 7 Request to send ใช้สำหรับส่งสัญญาณจาก DTE ไป DCE เพื่อเป็นการร้องขอที่จะส่งสัญญาณออกจากขา 2 สัญญาณนี้จะใช้ควบคู่กับ CTS หรือ Clear to send หากอุปกรณ์ DCE ได้รับ RTS จะตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมจะรับข้อมูลได้หรือยัง หากพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วจะส่งสัญญาณไปบอกขา CTS

ขา 8 Clear to send เมื่อสัญญาณนั้นอยู่ในสถานะออฟ (ลอจิก “1”) หมายความว่าอุปกรณ์รับกำลังบอกว่าพร้อมแล้วที่จะรับข้อมูล

ขา 9 Ring indicator สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบโต้ตอบอัตโนมัติ (Auto-Answer) สัญญาณนั้นจะออนเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งเข้ามา และออฟระหว่างเสียงดิ่งของกระดิ่ง



รูปที่ 2.26 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232C แบบ DB-9

## 2.8 การมอดดูเลชัน

ในการมอดดูเลชันนั้นจะทำการฝากสัญญาณข่าวสารไปกับคลื่นพาห์ ปรกติจะทำโดยการ  
ใช้สัญญาณข่าวสารมาเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในคลื่นพาห์นั้น คลื่นพาห์นั้น โดยปรกตินิยมใช้  
คลื่นพาห์รูปไซน์ (sinusoidal wave) ซึ่งเขียนแสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$V = A \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.28)$$

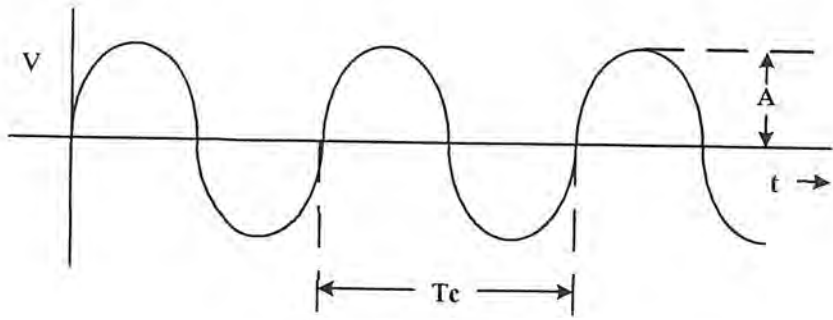
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปลี่ยนเมื่อเวลาทำการมอดดูเลชันได้ตามสมการ 2.28 มี 3 ค่าคือ

- ก. แอมพลิจูด หรือ ขนาด A
- ข. ความถี่ f
- ค. เฟส  $\theta$

แอมพลิจูด คือ ความสูงของยอดของสัญญาณ (ตามรูปที่ 2.27) ค่าความถี่ของสัญญาณคำนวณ  
ได้จากค่า คาบเวลา (period) ที่สัญญาณเปลี่ยนแปลงไปจนครบ 1 รอบ ( $T_c$  ในรูปที่ 2.27) โดยสูตร

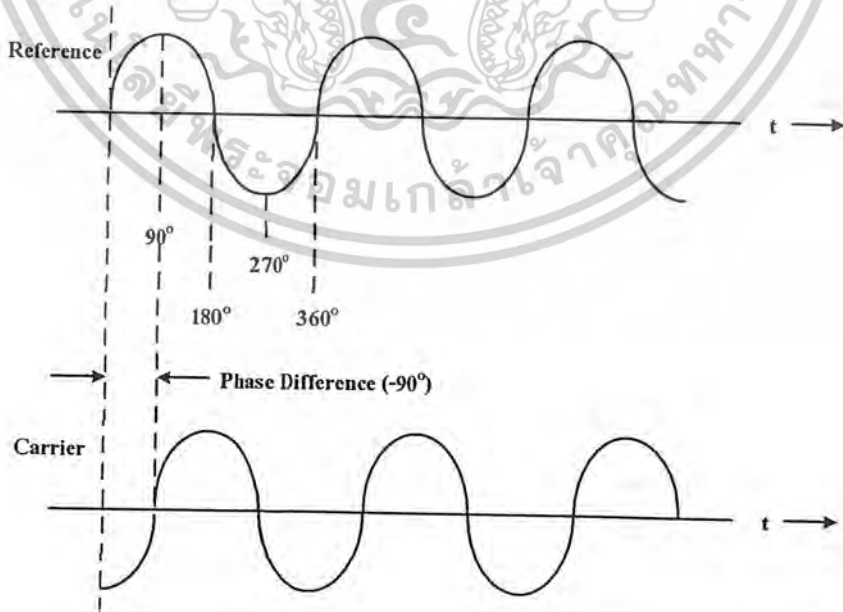
$$F = 1/T_c \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 คลื่นพาท์

ส่วน เฟส นั้นเป็นค่าพหามิตอร์ที่ไม่สามารถจะวัดได้โดยสมบูรณ์ ถ้าไม่มีการเปรียบเทียบกับคลื่นอ้างอิง (reference wave) คลื่นอ้างอิงจะเป็นคลื่นรูปไซน์อีกคลื่นหนึ่งที่มีความถี่เดียวกับคลื่นพาท์กระบวนการในการวัดเฟสแสดงในรูปที่ 2.28 ใน 1 รอบของคลื่นพาท์ที่ถูกแบ่งเป็น 360° ความต่างเฟส (phase difference) หรือบางทีเรียกว่า เฟสชิฟท์ (phase shift) คือจำนวนองศาระหว่างจุดตัดศูนย์ไปสู่ค่าบวก (positive-going zero crossing) ของสัญญาณอ้างอิง และจุดตัดศูนย์ไปสู่ค่าบวกที่ใกล้ที่สุดของสัญญาณคลื่นพาท์ ในรูปที่ 2.28 คลื่นพาท์จะมีเฟสตาม (lag) สัญญาณอ้างอิงอยู่ 90° ที่กล่าวว่คลื่นพาท์มีเฟสตาม เพราะว่าจุดตัดศูนย์ไปสู่ค่าบวกของคลื่นพาท์เกิดขึ้นภายหลังจุดตัดค่าศูนย์ไปสู่ค่าบวกของสัญญาณอ้างอิง ค่าเฟสตามเรามักจะใช้เครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นคลื่นพาท์ตามรูปที่ 2.28 จึงมีค่าเฟสเท่ากับ -90°



รูปที่ 2.28 การวัดเฟสของคลื่นพาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

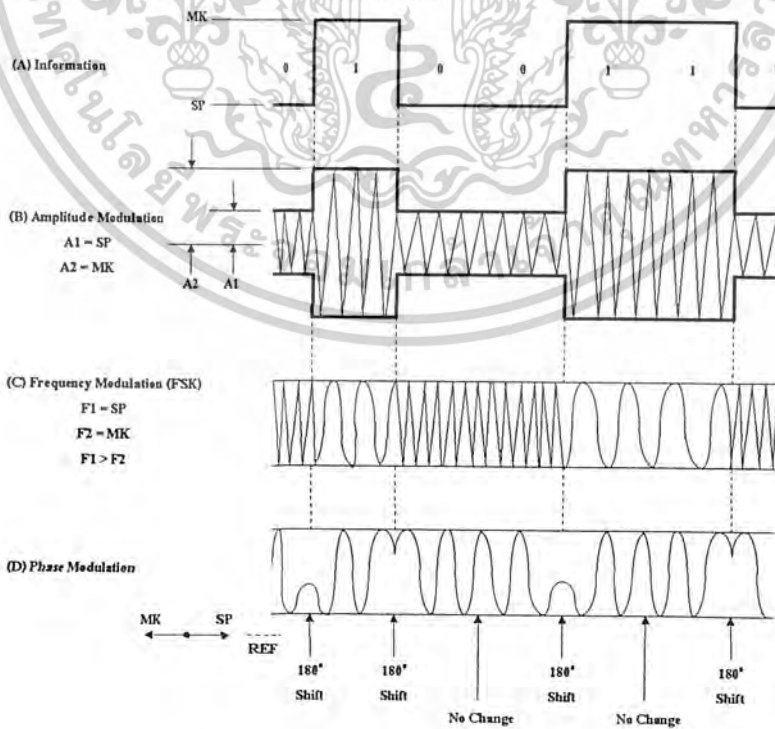
2.8.1 การมอดคูเลชัน

เราเรียกการมอดคูเลชันที่เกิดการนำสัญญาณข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของคลื่นพาห้ว่า แอมพลิจูดมอดคูเลชัน นิยมเขียนย่อว่า AM และถ้าใช้สัญญาณข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของคลื่นพาห้ เราจะเรียกว่า ฟรีควเอนซีมอดคูเลชัน (frequency modulation) ซึ่งนิยมเรียกว่า FM และจะเรียกการมอดคูเลชันที่ใช้สัญญาณข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงค่าเฟสของคลื่นพาห้ว่า เฟสมอดคูเลชัน ซึ่งนิยมเขียนย่อว่า PM

การสร้างสัญญาณข้อมูลกลับคืนมาจากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของคลื่นพาห้นั้นเรียกว่า การดีมอดคูเลชัน (demodulation) รูปคลื่นที่เกิดจากการมอดคูเลชันด้วยสัญญาณข้อมูลไบนารีมีดังแสดงในรูปที่ 2.29

ในตัวอย่างแรกคือ AM (รูปที่ 2.29 B) เรากำหนดการมอดคูเลชันที่ได้ค่า A1 แทนสเปซ และ A2 แทนมาร์ก กรอบสัญญาณ (envelope) ของคลื่นพาห้จะมีลักษณะเหมือนสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่นำมามอดคูเลชันนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.29 A

ในรูปที่ 2.29 C แสดงรูปสัญญาณจากการมอดคูเลชันแบบ FM และรูปที่ 2.29 D แสดงรูปสัญญาณจากการมอดคูเลชันแบบ PM ตามรูปนี้ เมื่อสัญญาณดิจิทัลมีสถานะเป็นมาร์ก คลื่นพาห้จะมีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นอ้างอิง และถ้าสัญญาณดิจิทัลมีลักษณะเป็นสเปซ คลื่นพาห้จะมีเฟสเดียวกันกับคลื่นอ้างอิง



รูปที่ 2.29 การมอดคูเลชันของสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัญญาณ ไบนารีมีเพียง 2 ระดับ การมอดคูเลทแบบต่างๆ จึงเหมือนกับการสวิทช์ เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นั้นของคลื่นพาห้ตามค่าข้อมูลไบนารีนั้น จึงทำให้การมอดคูเลทแบบ AM, FM และ PM มีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ASK (Amplitude Shift Keying), FSK(Frequency Shift Keying) และ PSK(Phase Shift Keying) ตามลำดับ

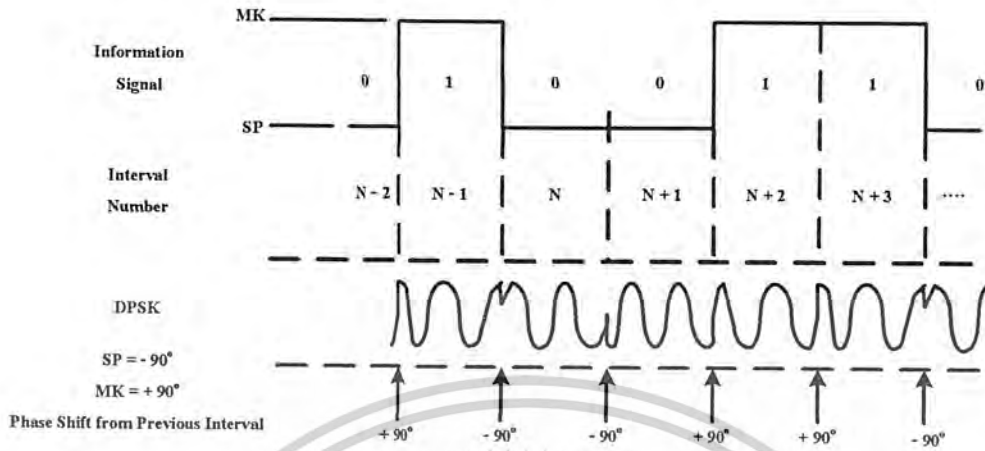
### 2.8.2 การมอดคูเลชันสัญญาณข้อมูลแบบซิงโครไนส์

ในการส่งสัญญาณแบบซิงโครไนส์นั้นเราอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ปลายขอบของเวลาบิท (bit time) เพื่อเป็นเครื่องหมายในการช่วยควบคุมการสัมพันธ์ของสัญญาณ เกิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูลเป็นระยะเวลาสั้น เราก็จะไม่สามารถพบความเปลี่ยนแปลงของคลื่นที่มอดคูเลทมา เช่นถ้าเราส่งมาร์กไป 100 บิท การมอดคูเลชันแบบที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.7.1 ทั้งสามวิธีจะมีเอาที่พุดออกมาเป็นสัญญาณรูปไซน์บริสุทธิ์ยาวนานถึง 100 ช่วงเวลาบิท ทำให้ยากแก่การที่จะแบ่งแยกขอบของสัญญาณแต่ละบิท ได้อย่างถูกต้อง ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในเรื่องการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครไนส์ ในระบบซิงโครไนส์ก็ต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขอบของเวลาบิท เพื่อจะได้มีข้อมูลบางอย่างจากสัญญาณในขณะนั้นมาสร้าง สัญญาณสัมพันธ์ (synchronizing signal) หรือ สัญญาณนาฬิกา

เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการมอดคูเลชันสัญญาณข้อมูลซิงโครไนส์ มีดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งเรียกว่า differential phase shift keying (DPSK) โดยหลักการเบื้องต้นแล้วมันจะเหมือนกับ PM ในหัวข้อที่แล้วคือ สัญญาณข้อมูลดิจิทัลจะทำให้เฟสของคลื่นพาห้เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับคลื่นอ้างอิง แต่มีข้อที่แตกต่างกันที่สำคัญอยู่สองประการ คือ

- การวัดเฟสอ้างอิงสำหรับแต่ละช่วงเวลาบิทจะยึดอ้างอิงกับคลื่นพาห้ในช่วงเวลาบิทที่มีมาก่อนนั้น
- การเลื่อนเฟสจะเกิดขึ้นที่ปลายขอบของช่วงเวลาบิท แม้ว่าสถานะของสัญญาณข้อมูลจะไม่เปลี่ยนแปลง

ในกรณีตัวอย่างนี้มีกฎการเข้ารหัสของสัญญาณดังนี้คือ ที่ขอบปลายของเวลาบิท ให้ตรวจสถานะของบิทถัดไปของสัญญาณข้อมูล ถ้าสัญญาณข้อมูลมีสถานะเป็นมาร์กให้เลื่อนเฟสของสัญญาณเพิ่มอีก  $90^\circ$  แต่ถ้าสัญญาณข้อมูลมีสถานะเป็นสเปซก็ให้เลื่อนเฟสของสัญญาณลดลง  $-90^\circ$  ดังนั้น สัญญาณ DPSK จึงมีดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 DPSK

เราสรุปข้อดีของ DPSK ในการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการสื่อสารได้คือ

- สามารถใช้ตัวคลื่นพาห์เองเป็นสัญญาณอ้างอิงได้ในเวลาเดียวกัน
- มีการประกันไว้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสที่ปลายขอบเวลาบิตทุกบิต ทำให้โมเด็มภาครับสามารถตรวจจับหาสัญญาณนาฬิกาจากสัญญาณข้อมูลซึ่งโครนัสได้

### 2.8.3 อัตราบอดและการมอดดูเลขชั้นหลายระดับ

ถ้า  $T_s$  คือ ช่วงคาบเวลาที่สั้นที่สุดที่จัดไว้สำหรับควบคุมค่าพารามิเตอร์ของคลื่นพาห์ให้คงที่ในการส่งสัญญาณ เรากล่าวว่าคลื่นพาห์ในช่วงเวลานี้คือ อนุภาคสัญญาณ (signal element) ค่าอัตราบอด ถูกกำหนดว่าเป็น อัตราของอนุภาคสัญญาณต่อวินาที หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ

$$\text{อัตราบอด} = 1/T_s \quad (2.30)$$

สมมุติว่าเรามีวิธีการบางอย่างที่จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ของคลื่นพาห์ ให้เปลี่ยนแปลงตามการจัดชุดของสัญญาณข้อมูลได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราสามารถใส่ข้อมูล 2 บิต มาควบคุมค่าพารามิเตอร์ของอนุภาคสัญญาณ ได้ ดังแสดงดังรูปที่ 2.31 เราก็จะได้ค่าเวลาของอนุภาคสัญญาณมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของเวลาบิต นั่นคือเราสามารถที่จะส่งข้อมูล (บิต/วินาที) ออกไป ด้วยอัตราที่สูงกว่าอัตราการส่งสัญญาณ หรืออัตราบอดเป็น 2 เท่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า อัตราบอดจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของอัตราข้อมูลเท่านั้น ดังนั้นถ้าอนุภาคสัญญาณหนึ่งมีโอกาที่จะแปรสภาพภาพของพารามิเตอร์ได้  $2^N$  สถานภาพ ก็หมายความว่า มันสามารถจะรองรับข้อมูลได้ N บิต เมื่อเราใช้สัญญาณข้อมูล N บิต เพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอนุภาคสัญญาณแล้ว เราก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า อัตราการส่งข้อมูลนั้นมีค่าสูงขึ้นเป็น  $N$  เท่าของอัตราบอด เพราะฉะนั้นเราจึงสรุปเป็นสูตรทั่วไปได้ว่า

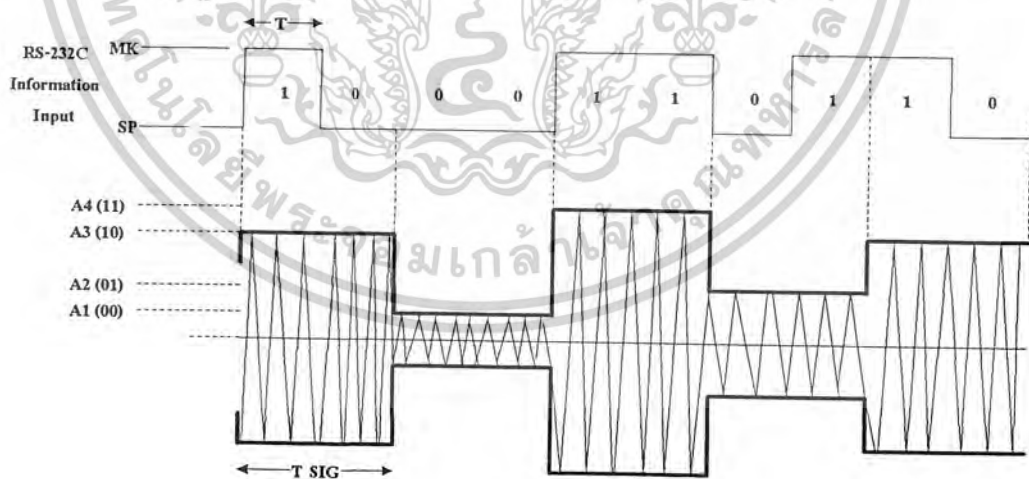
$$\text{อัตราส่งข้อมูล (บิต/วินาที)} = \text{อัตราบอด} \times \text{ค่าจำนวนบิตต่ออนุภาคสัญญาณ} \quad (2.31)$$

โดยการใช้การมอดคูเลชันสัญญาณหลายระดับดังกล่าวแล้วนี้ ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราสูงได้ โดยที่อัตราการส่งสัญญาณหรืออัตราบอดนั้นมีค่าต่ำได้ ตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงชนิดของโมเด็มในท้องตลาดที่ใช้เทคนิคการมอดคูเลชันและอัตราบิตต่ออนุภาคสัญญาณที่ต่าง ๆ กันเพื่อเป็นข้อมูลประกอบ

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างข้อมูลของโมเด็มในท้องตลาด

TYPE	SPEED RANGE (B_P_S)	MODULATIONS TECHNIQUE	BITS PER SIGNAL (N)
Asynchronous	0-1800	FSK	1
Synchronous	1200-9600	DPSK	2, 3, or 4

โดยแท้จริงแล้ว โมเด็ม 9,600 บิต/วินาที แบบเชิงโครนนั้นนั้นใช้การมอดคูเลชันที่ผสมกันระหว่าง DPSK และ AM



รูปที่ 2.31 การมอดคูเลชันหลายระดับ

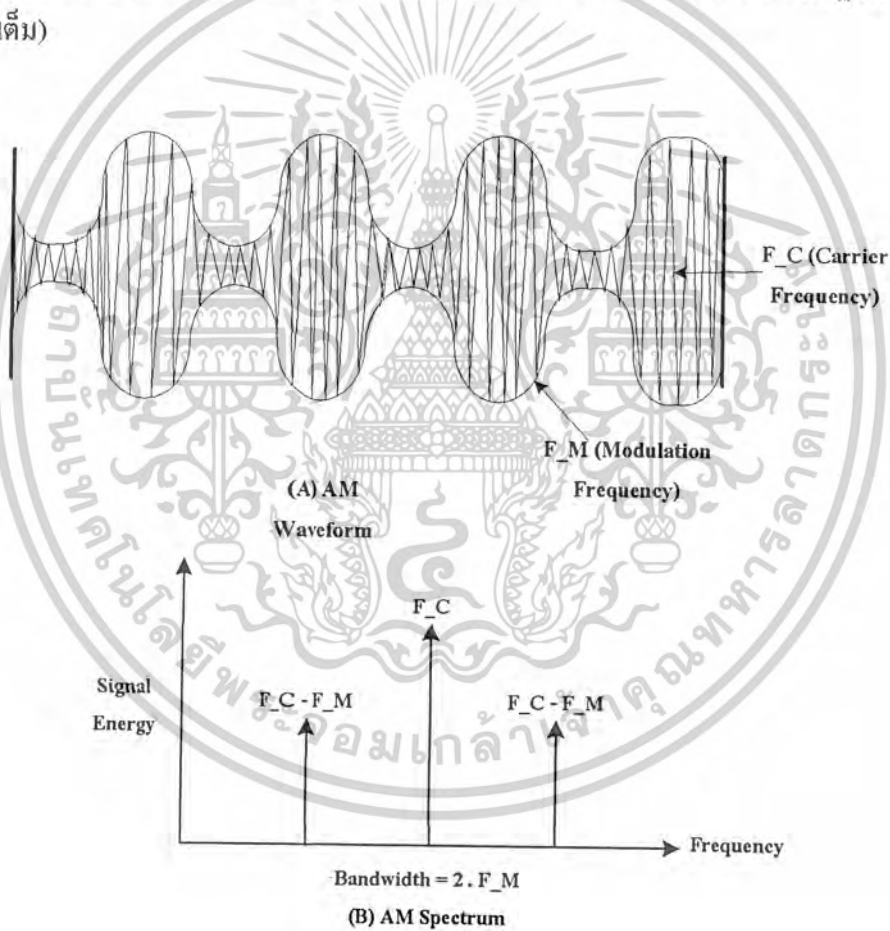
#### 2.8.4 แบบต้วทัศน์ของการส่งสัญญาณ

ในการมอดคูเลชันแบบ AM ด้วยสัญญาณข้อมูลที่เป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่  $F_M$  กับคลื่นพาห้ความถี่  $F_C$  จะเกิดสเปกตรัมขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.32 ซึ่งจะใช้แบบต้วทัศน์ในการส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตเห็นชอบจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเท่ากับ  $2F_M$  ค่าความถี่ต่ำสุด และความถี่สูงสุดที่เกิดขึ้นนั้น มีค่าเท่ากับ  $F_C - F_M$  และ  $F_C + F_M$  ตามลำดับ

ในกรณีที่สัญญาณข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัลอนันต์ จะมีความถี่ต่างๆ ประกอบอยู่มากมาย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราส่งข้อมูล 1 และ 0 สลับกัน ด้วยอัตรา 100 บิต/วินาที รูปคลื่นของสัญญาณข้อมูลจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.33 A และองค์ประกอบของความถี่ หรือสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 2.33 B ค่าความถี่เหล่านี้ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการส่งข้อมูลเพราะ 1 และ 0 ถูกส่งสลับกันออกมา ดังนั้นความถี่ของคลื่นพื้นฐานจึงเท่ากับ 50 Hz หรือครึ่งหนึ่งของอัตราส่งข้อมูลฮาร์โมนิกต่างๆ หรือ องค์ประกอบความถี่อื่นๆ จะมีค่าความถี่เป็นจำนวน  $n$  เท่าของความถี่พื้นฐาน ( $n$  เป็นเลขจำนวนเต็ม)



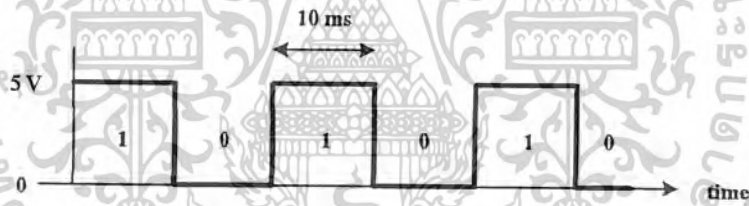
รูปที่ 2.32 การมอดคูเลชันเชิงอนาลอก

โดยทางทฤษฎีแล้ว ถ้าสัญญาณข้อมูลมีการเกิดมาเป็น 1 และ 0 สลับกันดังรูปที่ 2.33 A ตลอดไป องค์ประกอบของความถี่จะมีค่าเฉพาะฮาร์โมนิกคี่ ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ) เท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติ การเกิด 1 และ 0 จะเป็นไปอย่างกระจัดกระจาย ตามรูปแบบของรหัสที่ใช้ จึงเป็นเหตุให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

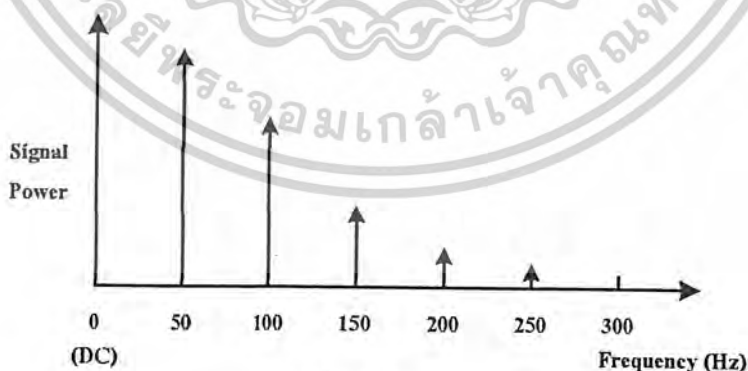
ฮาร์โมนิคต่างๆ ครอบคลุมความถี่อย่างต่อเนื่องกัน ตั้งแต่ความถี่ต่ำสุด คือ ความถี่ศูนย์หรือสัญญาณ DC ไปจนถึงความถี่ที่มีค่าอนันต์ แต่อย่างไรก็ดี ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบความถี่ก็ยังคงมีลักษณะเข้าโค้งตามรูปเดิม คือ คล้ายตามรูปที่ 2.33 B เราจะสังเกตเห็นว่า ค่าองค์ประกอบความถี่สูงนั้นมีน้อยมาก จนสามารถที่จะตัดทิ้งได้ ในตัวอย่างตามรูปที่ 2.33 B นี้ จะเห็นว่า แบนด์วิดท์ที่จำเป็นของสัญญาณข้อมูลนั้นเริ่มจากไฟ DC ถึงความถี่ประมาณ 200 Hz คือจากไฟ DC ถึงประมาณ 2 เท่าของอัตราส่งข้อมูลและโดยการปฏิบัติจนเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปนั้น ก็จะมีผลในทำนองเดียวกันนี้ กล่าวคือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลจะประมาณเท่ากับ 2 เท่าของอัตราส่งข้อมูล และบ่อยครั้งที่เราจะเรียกสัญญาณข้อมูลที่ใช้นำไปมอดูเลตต่อไปว่า สัญญาณแบนด์พื้นฐาน (baseband signal) ดังนั้นสูตรในการกำหนดค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณพื้นฐานจึงเป็นดังต่อไปนี้คือ

$$\text{BASE\_BW} = 2 \times \text{BIT RATE} \quad (2.32)$$

โดยในที่นี้ BASE BW คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลและ BIT RATE คืออัตราการส่งข้อมูล



(A) Wave Form (100 bits/s)



(B) Spectrum

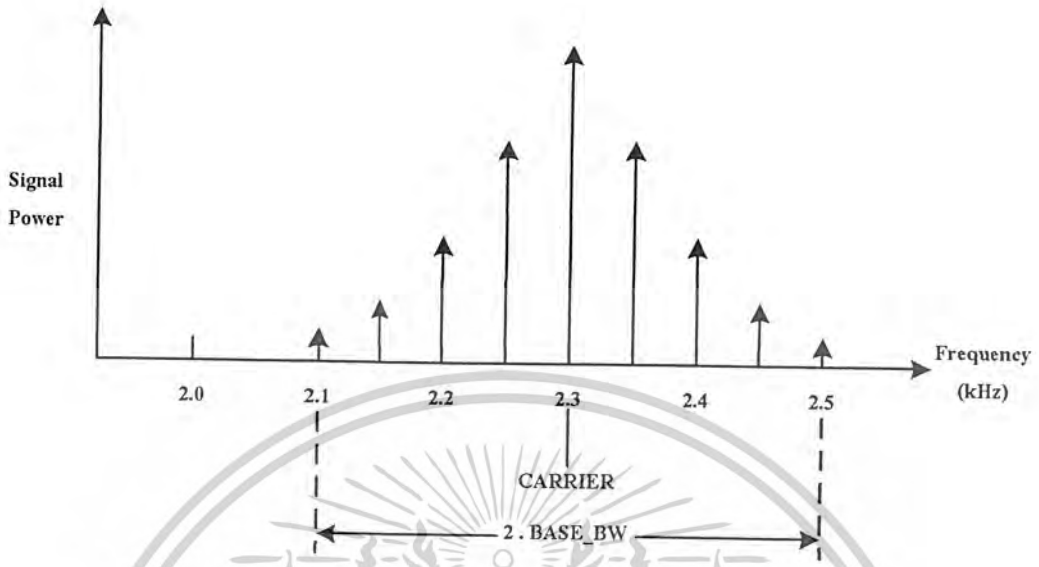
รูปที่ 2.33 สเปกตรัมของสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสรุปได้ว่าพลังงานส่วนที่เป็นนัยสำคัญทั้งหมดของสัญญาณข้อมูลดิจิทัล จะรวมอยู่ภายในความถี่ที่ต่ำกว่าสองเท่าของอัตราส่งข้อมูลนั้น ต่อคำถามที่ว่าอะไรจะเกิดขึ้น ถ้าเราส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่มีอัตราส่งข้อมูล 100 บิตต่อวินาทีไปในสายโทรศัพท์ ค่าขอบที่สรุปได้ก็คือเนื่องจากว่าสัญญาณข้อมูลดิจิทัลของเราจะมีพลังงานอยู่ในย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 200 Hz แต่โครงข่ายวงจรโทรศัพท์นั้นถูกออกแบบมาให้ใช้ส่งความถี่เสียง ซึ่งมีความถี่ประมาณจาก 300 Hz ถึง 3,400 Hz ดังนั้นสัญญาณดิจิทัล 100 บิตต่อวินาที จึงไม่สามารถผ่านโครงข่ายวงจรโทรศัพท์ไปได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงจำเป็นต้องทำการหาคลื่นพหุมาอดคุณลักษณะกับสัญญาณข้อมูลก่อน ถ้าเราใช้คลื่นพหุที่มีความถี่ 2,300 Hz เราจะได้สเปกตรัมของสัญญาณผลลัพธ์จากการมอดคูเลชันเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.34 ซึ่งเราจะพบว่า กระบวนการมอดคูเลชันนั้นทำการย้ายสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลเข้าไปในย่านความถี่ที่จะทำการสื่อสารได้ ดังนั้นเราอาจจะสรุปความหมายของการมอดคูเลชัน ในที่นี้สมมุติได้ว่า

“การมอดคูเลชัน คือกระบวนการที่แปลงย้ายสเปกตรัมของสัญญาณแบนด์พื้นฐานไปสู่ย่านของความถี่ที่สามารถใช้ติดต่อได้ในโครงข่ายการสื่อสาร”

ให้สังเกตจากรูปที่ 2.34 ว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณผลลัพธ์มีค่าเท่ากับสองเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณพื้นฐาน ตามที่เคยอ้างไว้ในย่อหน้าแรกของหัวข้อนี้ว่า แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณเท่ากับ  $2F_M$  ดังนั้นจะพบว่าถ้าเราส่งสัญญาณข้อมูลด้วยอัตรา 775 บิตต่อวินาที เราจะต้องใช้แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณเต็มของการสื่อสาร โทรศัพท์ (3,400-300 = 3,100 Hz) พอดี ทำให้เกิดปัญหาว่า ถ้าเราต้องการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 9,600 บิตต่อวินาที เราจะทำอย่างไร ถ้าคิดให้ดีผู้อ่านจะพบคำตอบว่าเราสามารถนำเอาเทคนิคการมอดคูเลชันสัญญาณหลายระดับที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.8.3 มาใช้ได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้การมอดคูเลชัน 16 ระดับ เราจะใช้อัตราการส่งสัญญาณ หรืออัตราบอดคลลงได้เหลือเพียงหนึ่งในสี่ของอัตราการส่งข้อมูล (ผู้อ่านควรนึกย้อนถึงรูป 2.31) นัยที่ควรกล่าวเกี่ยวกับเรื่องนี้อีกประเด็นหนึ่งที่เป็นที่น่าสังเกตก็คือ เทคนิคการมอดคูเลชันสัญญาณหลายระดับทำให้สามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้ โดยการรักษาระดับแบนด์วิดท์ของสัญญาณผลลัพธ์จากการมอดคูเลชันให้มีค่าจำกัดอยู่ในย่านความถี่ที่ต้องการได้



รูปที่ 2.34 สเปกตรัมของสัญญาณในรูปที่ 2.33 ที่ถูกมอดูเลตแล้ว

### 2.9 รหัส ASCII

รหัส ASCII (อ่านว่า ask-ee) จะเป็นรหัสเลขฐานสองขนาด 7 บิต ซึ่งใช้แทนค่าต่างๆในระบบคอมพิวเตอร์ คีย์บอร์ด หน่วยแสดงผล และเครื่องพิมพ์ ซึ่งเป็นรหัสที่นิยมใช้มาก คำว่า ASCII ย่อมาจาก American Standard Code for Information Interchange

ตารางที่ 2.8 The U.S. ASCII code

		000	100	010	110	001	101	011	111
		0	1	2	3	4	5	6	7
0000	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	P
1000	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	A	Q
0100	2	STX	DC2	"	2	B	R	B	R
1100	3	ETX	DC3	#	3	C	S	C	S
0010	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	D	T
1010	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	E	U
0110	6	ACK	SYN	&	6	F	V	F	V
1110	7	BEL	ETB	'	7	G	W	G	W
0001	8	BS	CAN	(	8	H	X	H	X
1001	9	HT	EM	)	9	I	Y	I	Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0101	A	LF	SUB	*	:	J	Z	J	Z
1101	B	VT	ESC	+	;	K	[	K	{
0011	C	FF	FS	,	<	L	\	L	
1011	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
0111	E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

จากตารางที่ 2.8 จะเป็นรหัส ASCII ที่ใช้แทนตัวอักษรและรหัสพิเศษต่างๆ จากตารางรหัสพิเศษและรหัสฟังก์ชันควบคุมต่างๆ จะเห็นว่า DEL จะแทนด้วย 111 111 ตัว A จะแทนด้วย รหัส ASCII ที่เป็นเลข 100 0001 ถ้าหาก CPU ประมวลผลได้ค่า 100 0001 ก็จะได้ทันทีว่านี่คือตัว A จากตาราง จะเห็นว่าฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ก็ใช้รหัส ASCII แทนเช่นกัน เช่น BEL (bell), BS (backspace), LE (line feed), CR (carriage return), DEL (delete) และ SP (space) ซึ่งจะใช้กันมากในคอมพิวเตอร์

รหัส ASCII นี้เป็นรหัสที่ใช้แทนตัวเลข ตัวอักษร และเครื่องหมาย ซึ่งเรียกว่าเป็นรหัสอัลฟานิวเมริก (Alphanumeric code)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

ในการออกแบบโครงสร้างของการก้านหมุน เราจะต้องออกแบบให้ตัวแกนหมุนต้องมีความสมดุลเนื่องจากเราต้องวางแผงวงจรที่ควบคุมการแสดงผลและต้องติดทั้งเบตเตอรี่ถ่านไฟฉาย 9 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเพื่อให้วงจรควบคุมการแสดงผลสามารถทำงานได้

ในการออกแบบระบบแสดงผลรอบทิศทางโดยใช้ LED จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

3.1. การออกแบบวงจรที่ควบคุมมอเตอร์ เพื่อกำหนดความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งในส่วนของวงจรควบคุมมอเตอร์ จะออกแบบให้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้เพื่อกำหนดความเร็วรอบในการแสดงผลที่เหมาะสมออกมาได้

3.2. การออกแบบในส่วนของวงจรควบคุมการแสดงผล

3.2.1 ส่วนควบคุมการทำงานแสดงผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ส่วนเก็บข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลที่รับมาจากคอมพิวเตอร์

3.2.3 ส่วนตรวจสอบจุดสิ้นสุดของรอบ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดให้ระบบแสดงผลสามารถแสดงผลออกมาได้ ไม่ผิดพลาดตำแหน่ง

3.2.4 ส่วนที่ทำการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ ด้วยรูปแบบพอร์ตอนุกรม

RS-232

3.1. การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์

จะเป็นวงจรที่ควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของตัวมอเตอร์ซึ่งมีความสำคัญมาก เพื่อเป็นตัวกำหนดความเร็วของรอบการแสดงผลให้ตาของเรามองเห็นว่าหลอด LED ที่กระพริบสว่างอยู่กับที่จนตาของเรามองเห็นได้ชัดซึ่งความเร็วรอบในการหมุนนั้น จะส่งผลต่อลักษณะของการมองเห็นจากดวงตาของเรา ซึ่งหากความเร็วมีค่ามากเกินไปจะลดการกระพริบของตัวอักษรลงแต่ความเข้มของแสงจะลดลงไป แต่ถ้าหากความเร็วรอบการหมุนมีค่าน้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดการกระพริบของตัวอักษรเพิ่มความเข้มของแสงของตัวอักษรจะมีค่ามีค่ามากขึ้น

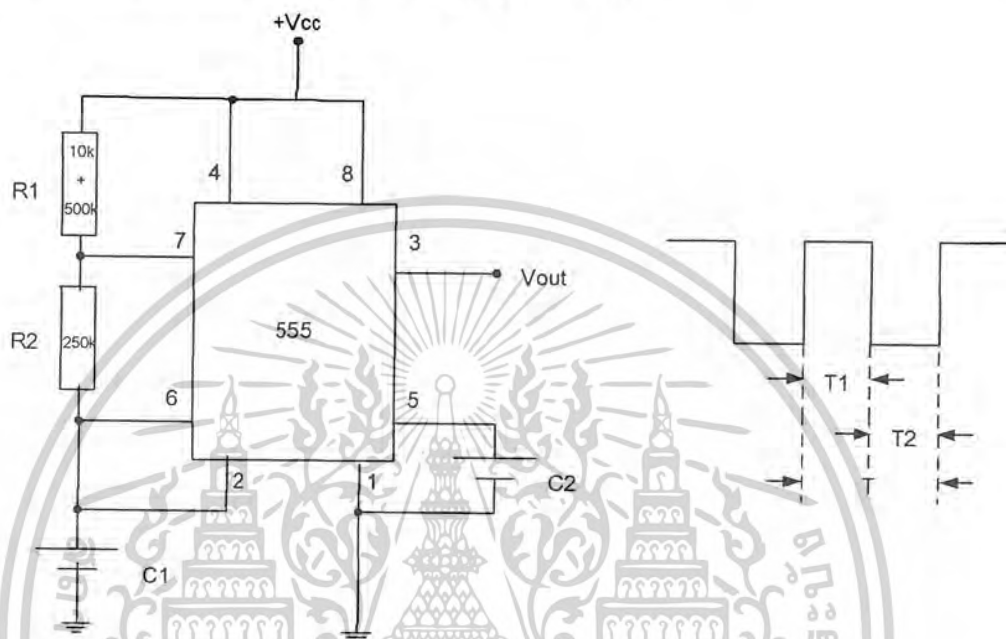
ดังนั้นในโครงการนี้จึงทำการออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ในลักษณะที่สามารถปรับความเร็วรอบของการหมุนของมอเตอร์ได้ โดยจะใช้ตัวอุปกรณ์ไทมเมอร์ 555 ในการสร้างวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ ซึ่งจากหลักการทำงานของตัวไทมเมอร์ 555 จะสามารถสร้างคลื่นเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีคาบความถี่ต่างๆออกมาได้ โดยเราจะนำหลักการที่ใช้การเปลี่ยนความถี่ของ

สัญญาณคลื่นพัลส์ที่ขานเอาท์พุทมาใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการทำงานของไทมเมอร์ 555 เราจะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อที่จะสามารถสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมออกมาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งคาบเวลาของสัญญาณที่ขาเอาต์พุตจะถูกควบคุมจากช่วงเวลาที่มีการชาร์จและดิสชาร์จตัวเก็บประจุ จากรูปวงจรรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ 555

ในช่วงเวลา  $T_1$  จะเป็นช่วงที่ตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะทำการชาร์จประจุ ซึ่งขณะนี้อาท์พุตจะมีค่าเป็น "1" ซึ่งตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะชาร์จประจุผ่านตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ซึ่งจะคำนวณค่าได้ออกมาเป็น

$$T_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1 \quad (3.1)$$

จากวงจรที่เราใช้ เราใช้ค่า  $R_1 = 10k$  ต่ออนุกรมกับ  $R$ ปรับค่า  $500k$

$$R_2 = R \text{ปรับค่า } 250k$$

$$C_1 = 0.1\mu F$$

ดังนั้นจะได้  $T$  ออกมาเป็น

$$T_{1,max} = 0.693(510k+250k) \times 0.1\mu = 52.868 \text{ ms}$$

$$T_{1,min} = 0.693(10k) \times 0.1\mu = 0.693 \text{ ms}$$

ในช่วงเวลา  $T_2$  จะเป็นช่วงตัวเก็บประจุ  $C_2$  ทำการดิสชาร์จประจุ ซึ่งในขณะนี้เอาท์พุตจะมีค่าเป็น "0" โดยตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะทำการดิสชาร์จประจุผ่านตัวต้านทาน  $R_2$  ซึ่งจะสามารถวัดจำนวนค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_2 = 0.693 (R_2 C_1) \quad (3.2)$$

จากวงจรเราใช้  $R_2 = R$ ปรับค่า 250k

ดังนั้นจะได้ T ออกมาเป็น

$$T_{2max} = 0.693(250k)(0.1\mu) = 17.325 \text{ ms}$$

$$T_{2min} = 0.693(0) = 0$$

ซึ่งเราสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อความเร็วรอบการหมุนได้โดยการมองผลของเอาท์พุทของวงจร ไทมเมอร์ 555 ในรูปของค่า duty cycle

$$\text{ซึ่งค่า duty cycle} = T_1/(T_1+T_2) = (R_1+R_2)/(R_2+2R_1) \quad (3.3)$$

โดยถ้าหากเราต้องการให้ความเร็วรอบการหมุนมีค่ามากต้องทำการลดค่า duty cycle ให้มีค่าสูงๆ เข้าใกล้ 1 ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดค่า  $T_2$  ลง หรือทำการเพิ่มค่า  $T_1$  ซึ่งหากทำการเพิ่มค่า  $T_1$  ให้มีค่ามากกว่า  $T_2$  มากๆ จะได้ค่า duty cycle มีค่าประมาณ 1 ซึ่งจะทำให้ในขณะนี้จะเสมือนว่าป้อนแรงดันไฟตรงเข้าไปยังมอเตอร์ จากความสัมพันธ์ของค่า duty cycle จะพบว่าถ้าหากเราทำการปรับลดค่า  $T_2$  ลงหรือทำการเพิ่มค่า  $T_1$  ก็จะส่งผลทำให้ ช่วงเวลา  $T_{on}$  จะลดลง ซึ่งผลทำให้ค่า duty cycle มีค่าลดลง จึงส่งผลทำให้ค่ากระแสที่ป้อนให้มอเตอร์มีลักษณะของสัญญาณเป็นรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์มีค่าน้อยกว่าในกรณีที่มีค่า duty cycle = 1 ดังนั้นเราจึงสามารถทำการปรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้จากการปรับค่า ความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  เพื่อกำหนดค่าของ duty cycle ที่เอาท์พุทของไทมเมอร์ 555 ซึ่งผลของสัญญาณเอาท์พุทของไทมเมอร์ 555 จะนำไปใช้กับขั้วทรานซิสเตอร์ TIP142 ซึ่งจะทำให้ตัวทรานซิสเตอร์มีลักษณะการทำงาน ON-OFF ไปเรื่อยๆ เป็นจังหวะสอดคล้องกับค่า duty cycle โดยที่ตัวทรานซิสเตอร์ TIP142 จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยขับเคลื่อนกระแส ซึ่ง TIP142 จะสามารถทำการขับเคลื่อนกระแสได้สูงมาก โดยที่สถานะ saturation เมื่อป้อน  $I_b = 10\text{mA}$  จะได้ค่า  $I_c = 5\text{A}$  TIP142 จะมีโครงสร้างภายในเป็นทรานซิสเตอร์ NPN 2 ตัวต่อแบบคาร์ลิงตัน ซึ่งจะส่งผลทำให้สามารถขับเคลื่อนกระแสได้ปริมาณมาก และจากผลของการป้อนพัลส์เข้าไปที่ขาเบสของ TIP142 ก็จะส่งผลให้การ ทำงานของ TIP142 นั้นขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ซึ่งจะช่วยให้เราเลือกปรับความเร็วของมอเตอร์ได้

### 3.2. การออกแบบในส่วนควบคุมของการแสดงผล

ในการออกแบบส่วนควบคุมการแสดงผลจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

#### 3.2.1. ส่วนควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของการควบคุมการแสดงผลจะถูกควบคุมการทำงานด้วยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C52 เป็นตัวควบคุมการทำงานในการแสดงผล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C52 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด Flash Memory ขนาด 8 kbyte และมีหน่วยความจำข้อมูล 256 byte มี 40 ขา และเมื่อเรานำไปขับหลอด LED เราจะเลือกใช้ตัว buffer ช่วยในการขับหลอด LED เพื่อช่วยให้สามารถจ่ายกระแสขับ LED ให้สว่างได้อย่างเพียงพอ ซึ่งเราจะเลือกใช้ IC 74HC541 เป็นตัวบัฟเฟอร์(buffer)

ใช้ IC 74HC541 เป็นตัวบัฟเฟอร์ โดยจะช่วยจ่ายกระแสเพื่อขับหลอด LED ให้สว่าง ซึ่ง IC 74HC541 นั้นจะสามารถจ่ายกระแสเอาท์พุทให้กับหลอด LED มีค่าเท่ากับ 25mA ตัวบัฟเฟอร์ 74HC541 นี้มีคุณสมบัติที่เป็น 3-state output โดยเราสามารถควบคุมค่าของ OE1 และ OE2 เพื่อกำหนดสถานะการทำงานของตัวบัฟเฟอร์ ซึ่งเราจะใช้คุณสมบัติของ 3-state output ในการช่วยกำหนดการทำงานของบัฟเฟอร์ของแต่ละตัว เพื่อใช้ในการกำหนดสีที่ใช้ในการแสดงผลของ LED 2 สี

ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะการทำงาน 3-state ของตัวบัฟเฟอร์ 74HC541

INPUT		OUTPUT	
OE1	OE2	An	Yn
L	L	L	L
L	L	H	H
X	H	X	Z
H	X	X	Z

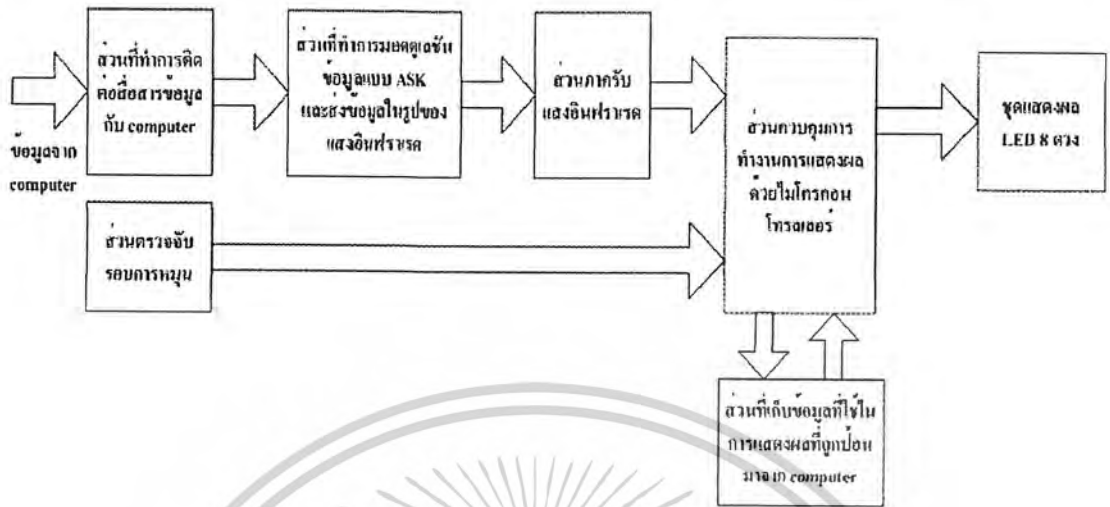
H: High Voltage Level

L: Low Voltage Level

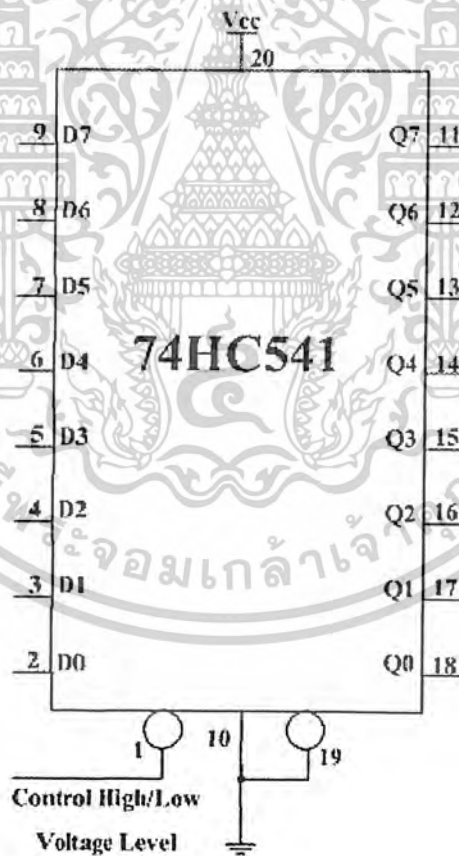
X: don't care

Z: High Impedance Off-State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงชุดการทำงาน

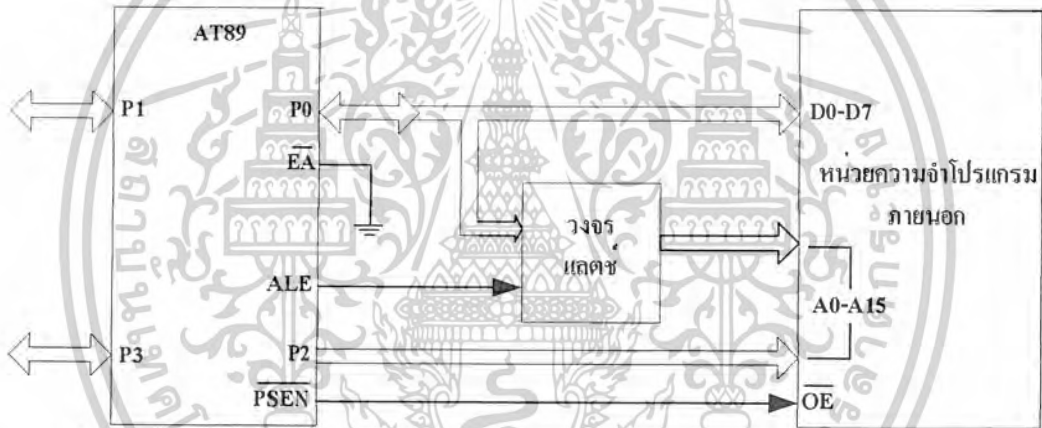


รูปที่ 3.3 ตัว IC buffer เบอร์ 74HC541

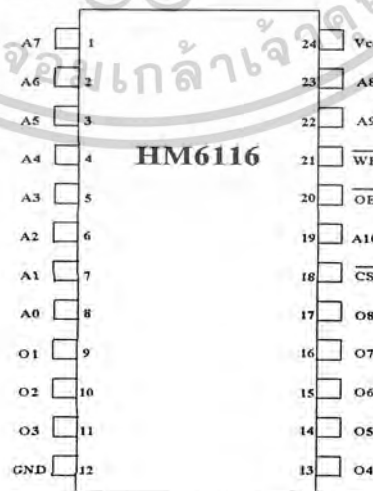
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2. ส่วนเก็บข้อมูลที่รับมาจากคอมพิวเตอร์

ในการออกแบบส่วนที่เก็บข้อมูลที่รับมาจากคอมพิวเตอร์เราจะใช้ RAM เบอร์ ในการเก็บข้อมูล ซึ่ง RAM เบอร์ HM6116 จะสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 2 kbyte โดยเมื่อนำเอาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มาต่อเราจะต้องใช้ ตัว Latch ค่า Address เอาไว้ เมื่อมีการติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และหน่วยความจำ RAM ภายนอก ซึ่งในการใช้ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก เราจะใช้พอร์ต 0 ในการบอกแอดเดรสของข้อมูลในส่วน ไบท์ต่ำ และใช้ติดต่อรับส่งข้อมูลกับ RAM ภายนอกส่วนขาพอร์ต 2 เราจะใช้บางขาในการบอกส่วนของแอดเดรสข้อมูล ไบท์สูงซึ่งในวงจรภายนอกเราจะเลือกใช้ขาพอร์ต P2.0 และขา P2.1 ในการบอกส่วนของแอดเดรสไบท์สูง



รูปที่ 3.4 รูปการติดต่อข้อมูลรับ-ส่งระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำข้อมูล



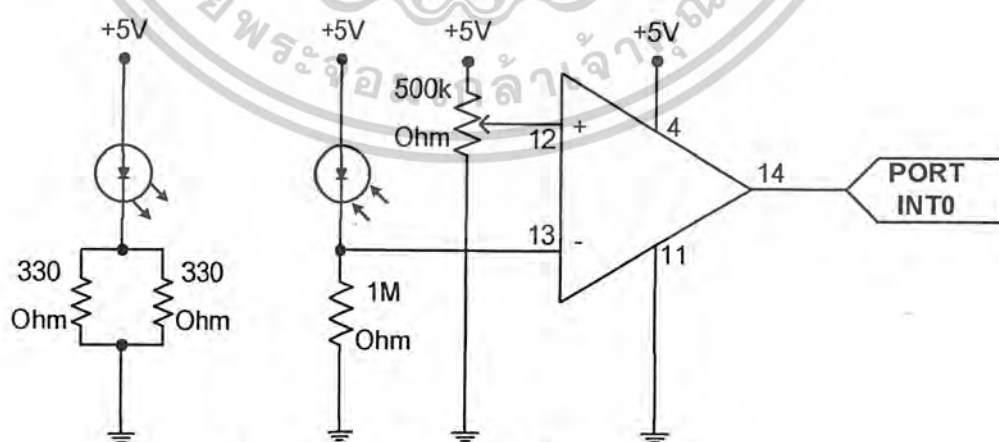
รูปที่ 3.5 แสดงขาหน่วยความจำ RAM เบอร์ HM6116.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3. ส่วนตรวจจ็อบรอบ

ในการออกแบบส่วนตรวจจ็อบรอบเราจะใช้ตัวรับส่งอินฟราเรด ในการตรวจสอบ ซึ่งเราจะติดชุดรับไว้ที่แกนที่หมุนเพื่อแสดงผล โดยจากรูปวงจรในส่วนของภาคส่ง จะเป็นการจ่ายไฟตรงป้อนเข้าตัวส่งอินฟราเรด โดยใช้ตัวส่งแบบอินฟราเรดไดโอด ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ไหลผ่านไดโอดมากเกินไปโดยจะต่อเป็นลักษณะไปอัสตรง

ในส่วนของภาครับ ตัวรับแสงอินฟราเรดเราจะใช้ตัวโฟโตไดโอดเป็นตัวรับแสง ซึ่งเราจะต้องต่อไฟไปอัสในลักษณะไปอัสย้อนกลับ โดยเราจะใช้ Op-Amp เบอร์ LM324 ซึ่งเป็นลักษณะ single supply (ไฟเลี้ยง Op-Amp เป็น +5V กับ GND) ซึ่งจะต่ออยู่ในลักษณะ Transfer Voltage โดยจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 500 k ต่ออยู่ที่ขา noninverting เพื่อสร้างแรงดันอ้างอิงขึ้นมา ใช้เปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่เกิดขึ้นที่ขา Inverting โดยค่าของแรงดันที่ขา Inverting จะเกิดมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดซึ่งปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนไป ตามปริมาณแสงที่ตัวโฟโตไดโอดตรวจจับได้ ซึ่งค่าแรงดันที่ขา Inverting ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแรงดันเอาต์พุทของตัว Op-Amp ซึ่งถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบโฟโตไดโอด แรงดันที่ inverting จะมีค่าเป็น "0" เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ขา noninverting จะส่งผลให้อเอาต์พุทเป็น High และเมื่อมีแสงอินฟราเรดเข้ามาที่ตัวโฟโตไดโอด จะทำให้เกิดค่าแรงดันที่ขา noninverting สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันที่ขาเอาต์พุทจะได้เป็น Low ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้ จะถูกนำไปเข้าที่ขาอินเตอร์รัปต์ In0 (ขาที่ 12 ของไมโครคอนโทรลเลอร์) เพื่อใช้ในการตรวจจ็อบรอบการหมุนเพื่อใช้ในขั้นตอนการแสดงผลต่อไป



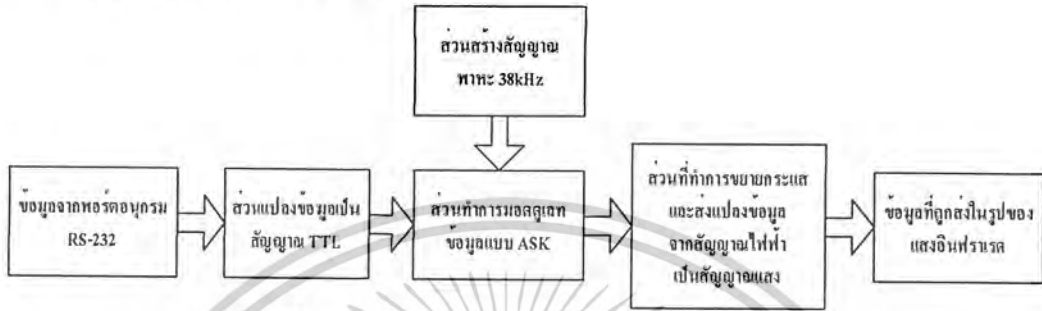
รูปที่ 3.6 รูปวงจรอินฟราเรดที่ใช้ในการตรวจจ็อบรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรรับส่งอินฟราเรด

#### 3.3.1 วงจรภาคส่งข้อมูล

จะสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้

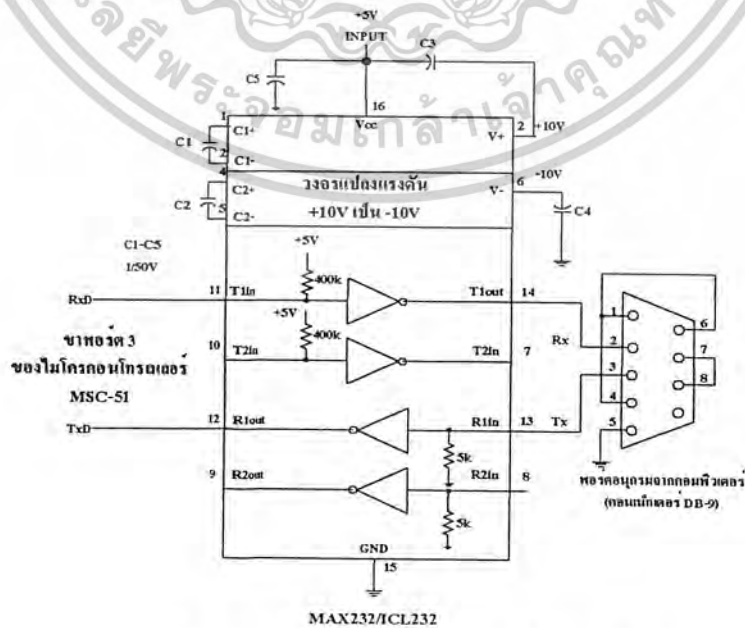


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่งข้อมูล

จากส่วนทำงานต่างๆสามารถอธิบายได้ดังนี้

(1) ส่วนแปลงข้อมูลที่รับจากพอร์ตอนุกรม RS-232 เป็นสัญญาณ TTL

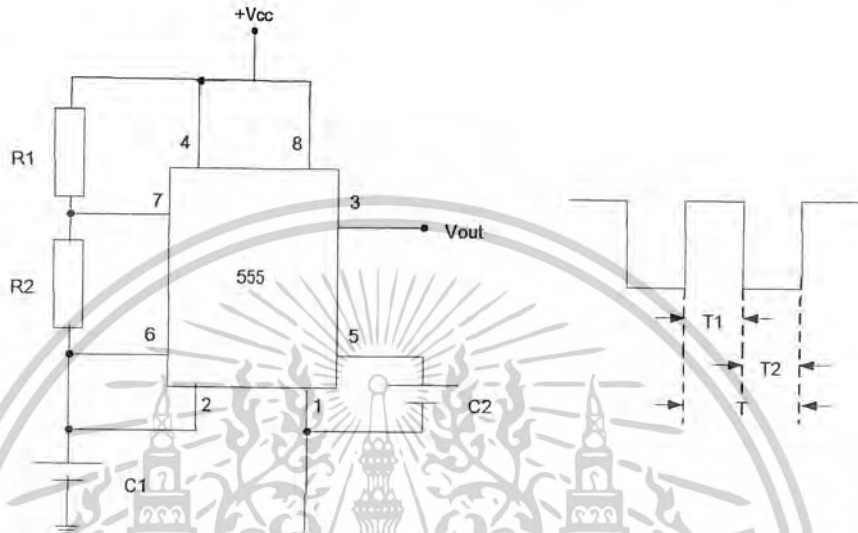
ในโครงงานนี้ เราได้ทำการติดต่อบริหารข้อมูลที่ต้องการแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้โดยผ่านระบบพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งจะส่งผ่านข้อมูลทางขา TxD และรับข้อมูลทางขา RxD ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์จะมีค่าระดับสัญญาณตั้งแต่  $\pm 3V$  ถึง  $\pm 12V$  และระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ที่ระดับ TTL ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง เราจึงต้องใช้ IC MAX232 ในการแปลงระดับสัญญาณระหว่างระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรมกับค่าสัญญาณที่เป็น TTL ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.8 วงจรติดต่อการข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (2) ส่วนสร้างสัญญาณพาหะ 38kHz

ในการที่จะทำการสร้างสัญญาณพาหะที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั้นเราจะใช้ไอพเมอร์ 555 ในการสร้างสัญญาณ 38kHz ขึ้นมา



รูปที่ 3.9 วงจรส่วนสร้างสัญญาณพาหะความถี่ 38kHz

จากรูปวงจรเราจะทำการกำหนดช่วงเวลา  $t_1$  และ  $t_2$  ได้จากค่าความต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $C_1$  โดยที่เราจะออกแบบให้สัญญาณพาหะมีค่าความถี่ 38 kHz และมีค่า Duty Cycle ใกล้เคียง 50% มากที่สุด โดยจะทำการออกแบบได้ดังนี้

เราจะทำการคำนวณหาช่วงเวลาเอาต์พุต High ( $T_1$ ) ได้จาก

$$T_1 = 0.693(R_1 + R_2)C_1 \quad (3.4)$$

ช่วงเวลาเอาต์พุต Low ( $T_2$ ) ได้จาก

$$T_2 = 0.693(R_2)C_1 \quad (3.5)$$

ซึ่งจะทำให้เราได้คาบเวลารวม

$$T = T_1 + T_2 = 0.693(R_1 + 2R_2)C_1 \quad (3.6)$$

และหา Duty Cycle ได้จาก

$$\text{Duty Cycle} = T_1 / (T_1 + T_2) \quad (3.7)$$

$$= \{0.693 (R_1 + R_2) C_1\} / \{0.693 (R_1 + 2R_2) C_1\}$$

$$= (R_1 + R_2) / (R_1 + 2R_2)$$

ซึ่งหากเราต้องการให้ Duty Cycle  $\approx 50\%$  จะได้

$$T_1 \approx T_2 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R1 + R2 \approx R2 \tag{3.9}$$

ดังนั้นเราจะต้องออกแบบให้ค่า  $R2 \gg R1$

จากนั้นทำการออกแบบให้ได้สัญญาณความถี่ 38kHz

$$f = 38\text{kHz} = 1/T = 1/[0.693 (R1 + 2R2) C1] \tag{3.10}$$

เลือกใช้  $C1 = 10\text{nF}$

$$38 \times 10^3 = 1 / [0.693 (R1 + 2R2) (10 \times 10^{-9})]$$

$$R1 + 2R2 = 1 / [0.693 (38 \times 10^3) (10 \times 10^{-9})]$$

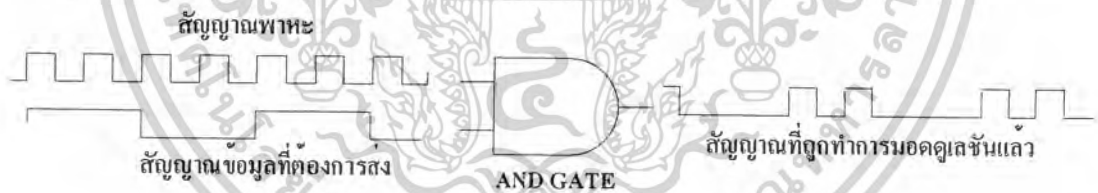
$$R1 + 2R2 = 3.797 \times 10^3$$

ซึ่งหากเราทำการเลือกค่า  $R2 = 1.5\text{k} \Omega$  จะทำให้เราได้ค่า  $R1 = 497 \Omega$  จากการคำนวณหาว่า Duty Cycle จะได้อัตราเท่ากับ 52.60%

(3) ส่วนทำการมอดูเลตข้อมูลแบบ ASK (Amplitude Shift Keying)

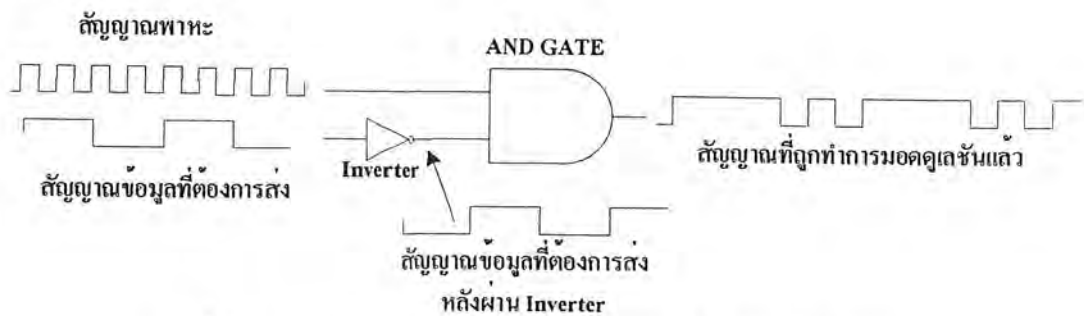
ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่มอดูเลตข้อมูลแบบ ASK หรือเรียกอีกอย่างว่า OOK (On-Off Keying) ซึ่งจะเป็นการทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาหะตามขนาดของสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง

โดยในการออกแบบวงจรจะใช้ AND GATE ในการมอดูเลตสัญญาณพาหะ 38kHz เข้ากับสัญญาณข้อมูล



รูปที่ 3.10 แสดงการมอดูเลตข้อมูลแบบ OOK

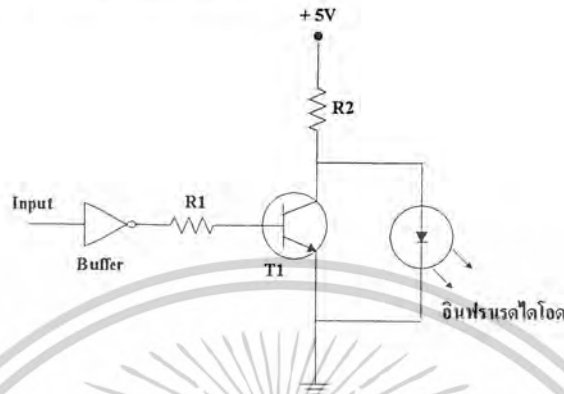
เนื่องจากในภาครับนั้นใช้โฟโตโมดูล TSOP48 ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานเป็น Active Low ซึ่งจะทำให้ต้องใช้ Inverter ในการกลับค่าของข้อมูลที่ต้องการส่งเสียก่อน ซึ่งจะทำให้ออกแบบวงจรในส่วนนี้ได้เป็น



รูปที่ 3.11 แสดงการมอดูเลตข้อมูลแบบ OOK ที่อินเวอร์ตข้อมูลแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ส่วนที่ทำการขยายกระแสและแปลงสัญญาณ  
 ในส่วนนี้เราจะออกแบบวงจรได้เป็น



รูปที่ 3.12 วงจรส่วนขับกระแสควบคุมไดโอดอินฟราเรด

จากรูปวงจรเราจะทำการใช้ทรานซิสเตอร์ T1 เป็นสวิตช์ในการควบคุมการ On-Off ของหลอดอินฟราเรดและทำการขับกระแสเพื่อนำไปขับหลอดไดโอดอินฟราเรด

ในการออกแบบเราจะเลือกใช้ 2SC1815 เป็นทรานซิสเตอร์ในการรับกระแสและใช้หลอดไดโอดอินฟราเรดเบอร์ TOIR-50b94bCEa ซึ่งเป็นหลอดอินฟราเรดที่ถูกสร้างมาจาก GaAs โดยจะมีค่า  $I_{FM} = 100mA$  ค่า  $V_F = 1.25V$

โดยในการออกแบบเราจะเลือกให้ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในสภาวะ Cutoff และ Forward ซึ่งในขณะที่อินพุตมีค่าเป็น Low ทรานซิสเตอร์จะทำงานในสภาวะ Cutoff



รูปที่ 3.13 วงจรเสมือนในขณะที่ทรานซิสเตอร์ T1 ทำงานในสภาวะ Cutoff

ดังนั้นจากรูปวงจรเสมือนในขณะที่ T1 ทำงานในสภาวะ Cutoff ไดโอดอินฟราเรดจะอยู่ในสภาวะ On จะมีกระแสไหลผ่านไดโอดอินฟราเรดมีค่าเป็น

$$I = (V_{CC} - V_{Forward\ Infrared\ Diode}) / R2 \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

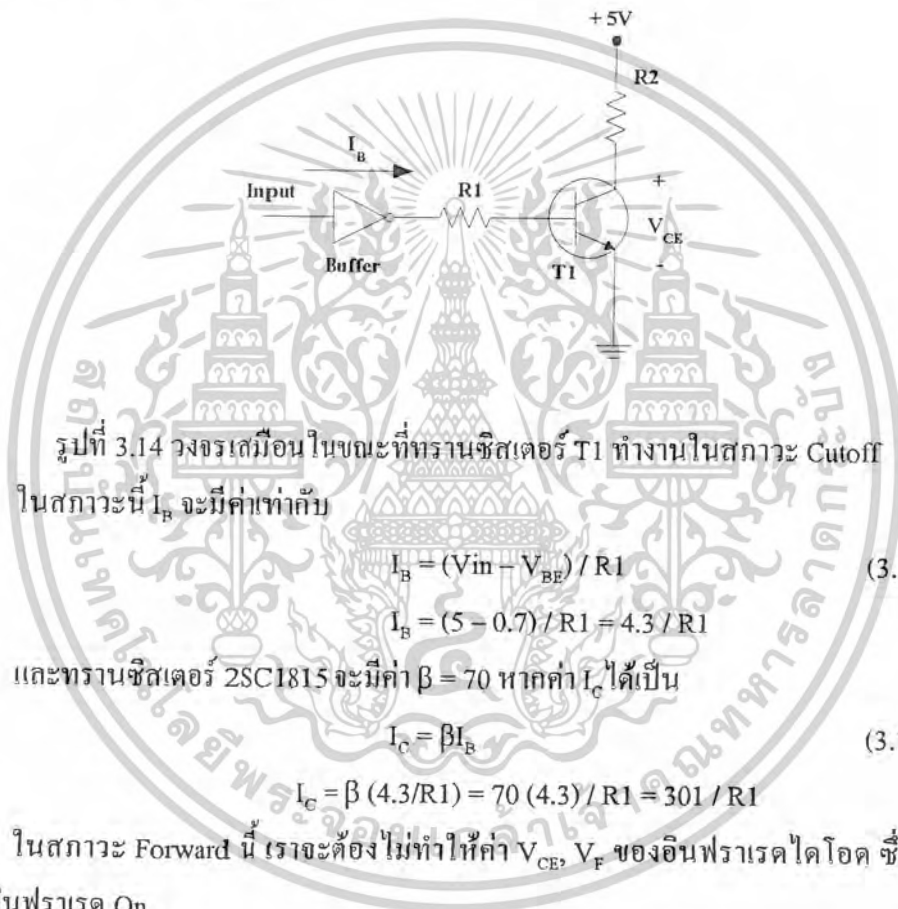
ในที่นี้เรากำหนดให้  $I_B$  ไหลผ่านมีค่าเท่ากับ  $96\mu\text{A}$  จะได้  $R_2$  มีค่าเท่ากับ

$$R_2 = (5 - 1.25) / 96\mu\text{A} \approx 39$$

ซึ่งในสภาวะนี้จะมีค่า Power ที่  $R_2$  เป็น

$$P_{R_2} = IV = (96 \times 10^{-3}) (3.75) = 0.36 \text{ W}$$

และเมื่ออินพุตมีค่าเป็น High ทรานซิสเตอร์  $T_1$  จะทำงานในสภาวะ Forward ในสภาวะนี้ หลอดอินฟราเรดไดโอดจะ Off



รูปที่ 3.14 วงจรเสมือนในขณะที่ยานซิสเตอร์  $T_1$  ทำงานในสภาวะ Cutoff ในสภาวะนี้  $I_B$  จะมีค่าเท่ากับ

$$I_B = (V_{in} - V_{BE}) / R_1 \quad (3.12)$$

$$I_B = (5 - 0.7) / R_1 = 4.3 / R_1$$

และทรานซิสเตอร์ 2SC1815 จะมีค่า  $\beta = 70$  หากค่า  $I_C$  ได้เป็น

$$I_C = \beta I_B \quad (3.13)$$

$$I_C = \beta (4.3 / R_1) = 70 (4.3) / R_1 = 301 / R_1$$

ในสภาวะ Forward นี้ เราจะต้องไม่ทำให้ค่า  $V_{CE}$ ,  $V_F$  ของอินฟราเรดไดโอด ซึ่งจะทำให้ หลอดอินฟราเรด On

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_2 \quad (3.14)$$

$$V_{CE} = 5 - (258 / R_1) (39) = 5 - (11739 / R_1)$$

เนื่องจาก  $V_F$  ของอินฟราเรดไดโอด =  $1.25 \text{ V}$  จะได้

$$R_{1_{MAX}} = 10062 / (5 - V_F) = 10062 / (5 - 1.25) = 3130.4 \Omega$$

ซึ่งถ้าใช้  $R_1 > 3130.4\Omega$  จะทำให้ อินฟราเรดไดโอด On ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูล

โดยจะเลือกใช้  $R_1 = 3030 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_C = 99.4 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 1.13 \text{ V}$$

ซึ่งในสภาวะนี้จะมี Power ที่ R2 เท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{R_2} &= I_C \times (V_{CC} - V_{CE}) & (3.15) \\ &= 99.4 \times 10^{-3} (5 - 1.13) \\ &= 384.68 \times 10^{-3} \text{ W} \\ &= 0.384 \text{ W} \end{aligned}$$

ซึ่งในการออกแบบในทรานซิสเตอร์ T1 ทำงานในย่าน Cutoff และ Forward จะส่งผลให้สามารถทำการสวิทช์ได้ที่มีความถี่สูงกว่าเมื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่าน Cutoff และ Saturation

### 3.3.2 วงจรภาครับข้อมูล

ในวงจรภาครับข้อมูลจะใช้ตัวอุปกรณ์โฟโตโมดูลเบอร์ TSOP4838 เป็นตัวรับข้อมูลซึ่งตัวโฟโตโมดูลเบอร์ TSOP4838 นี้จะทำงานในลักษณะ Active Low ซึ่งหมายความว่าในขณะที่ไม่มีอินพุตเข้ามา เอาท์พุทจะมีค่าเป็น High และถ้าหากมีอินพุตเข้ามาจะทำให้เอาท์พุทที่ออกมามีค่าเป็น High



รูปที่ 3.15 ภาพประกอบของโฟโตโมดูล TSOP4838

ซึ่งจากการที่โฟโตโมดูล TSOP4838 ทำงานในลักษณะ Active Low นี้เราจะต้องจัดการกับข้อมูลที่ต้องการส่งทางด้านฝั่งภาคส่งข้อมูลอย่างที่ได้อีกแล้ว

โดยโฟโตโมดูล TSOP4838 นี้เราจะต้องใช้สัญญาณพาหะที่ค่า 38kHz ในการมอดูเลตกับข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยจากข้อมูลของ Data Sheet จะบอกให้ทราบว่าตัวอุปกรณ์โฟโตโมดูล TSOP4838 นั้นจะมีย่านแบนด์พาสมีค่าเท่ากับ

$$\Delta f(3\text{dB}) = f_0 / 10 = 38\text{kHz} / 10 = 3.8\text{kHz} \quad (3.16)$$

ดังนั้นการเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลจึงมีความจำเป็น ซึ่งถ้าหากเราส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าสูงเกินไป ก็จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการรับข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น หากเราส่งข้อมูลอัตรา 2400bps ด้วยสัญญาณพาหะที่ 38kHz จะทำให้เราได้

$$\text{Low cut-off frequency} = 38\text{k} - 2.4\text{k} = 35.6\text{kHz}$$

$$\text{High cut-off frequency} = 38\text{k} + 2.4\text{k} = 40.4\text{kHz}$$

$$\text{จะมีสัญญาณอยู่ในช่วงความถี่} = 40.4\text{kHz} - 35.6\text{kHz} = 4800\text{Hz}$$

ซึ่งจะพบว่าจะมีสัญญาณบางส่วนที่อยู่นอกช่วงของแบนด์พาส 3.8kHz

ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราการส่งข้อมูล (bit per second) ของข้อมูลที่ต้องการส่งให้เหมาะสมซึ่งจะส่งผลทำให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์ โดยในโครงการนี้จะเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 1200bps ซึ่งจะส่งผลทำให้

$$\text{Low cut-off frequency} = 38\text{k} - 1.2\text{k} = 36.8\text{kHz}$$

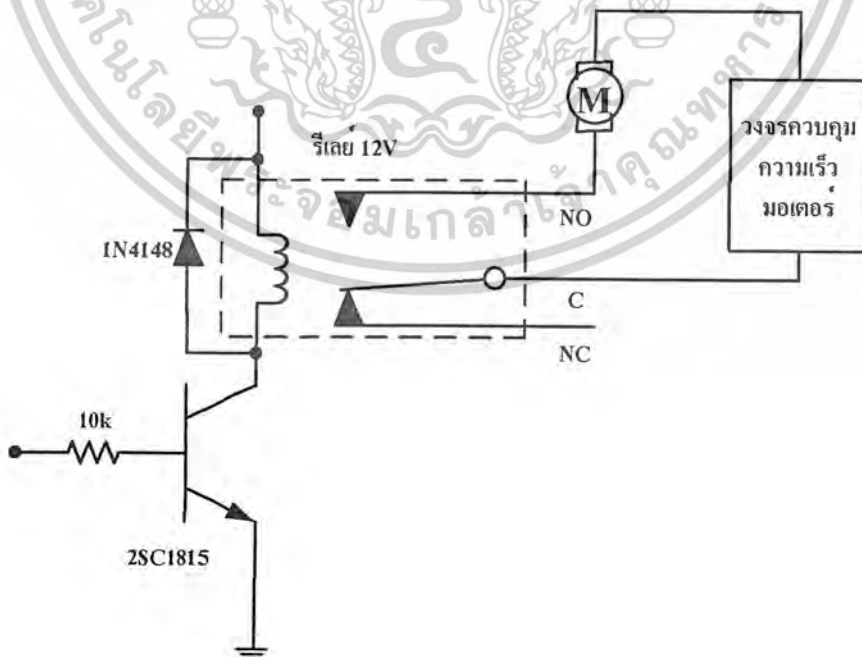
$$\text{High cut-off frequency} = 38\text{k} + 1.2\text{k} = 39.2\text{kHz}$$

$$\text{โดยจะมีสัญญาณอยู่ในช่วงความถี่} = 39.2\text{kHz} - 36.8\text{kHz} = 2400\text{Hz}$$

ซึ่งสัญญาณข้อมูลจะอยู่ในช่วงความถี่แบนด์พาสของข้อมูลของ TSOP4838

### 3.4 การออกแบบในส่วน On/Off มอเตอร์

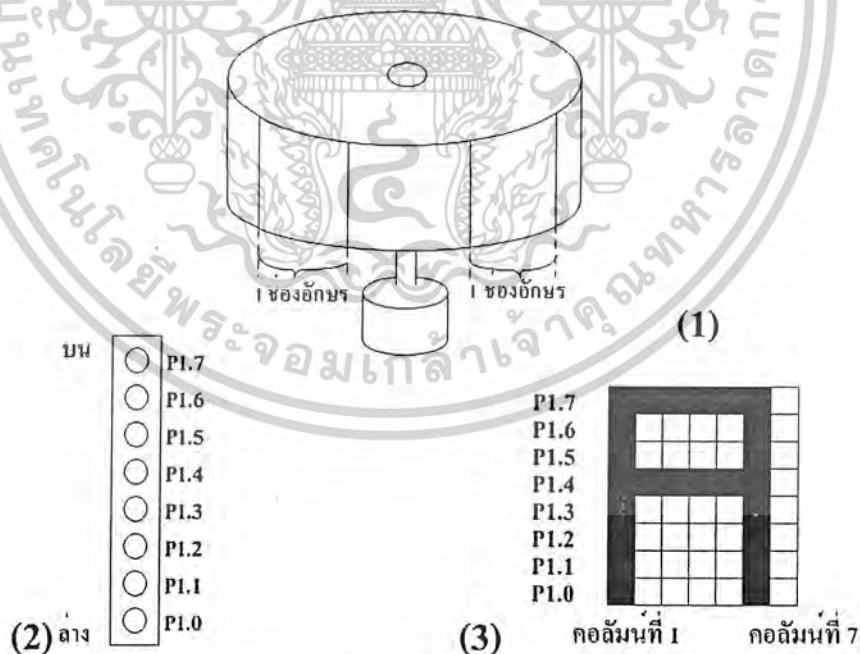
ในการออกแบบส่วนควบคุมการ On/Off มอเตอร์ ซึ่งเราสามารถควบคุมการ On/Off ผ่านการส่งงานทางคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ตัวรีเลย์ 12 V เป็นอุปกรณ์ในการเชื่อมมอเตอร์เข้ากับวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.16 วงจรส่วนควบคุมการ On/Off มอเตอร์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 หลักการในการแสดงผล

ในการแสดงผล เราจะมีวิธีในการแสดงผลในหนึ่งรอบการหมุน โดยแบ่งพื้นที่ในการแสดงผลออกเป็นช่องอักษรจำนวน 7 ช่อง ซึ่งในการแสดงผลจะเริ่มจากช่องอักษรที่ 1 ถัดไปคือช่องอักษรที่ 2 เรียงลำดับไปเรื่อยๆ จนครบ 27 ช่อง โดยตัวอักษรที่จะแสดงผลนั้นจะถูกแสดงออกมาที่ช่องอักษรทีละ 1 คอลัมน์ เริ่มจากคอลัมน์ที่ 1 จนถึงคอลัมน์ที่ 8 ข้อมูลตัวอักษรที่จะแสดงผลออกมา 1 ตัวจะประกอบด้วย 7 คอลัมน์ 8 แถว โดยเราจะแทนรูปแบบของตัวอักษรด้วยการติดดับของ LED ที่ละคอลัมน์รวมกัน 7 คอลัมน์จึงจะครบ 1 ตัวอักษร เมื่อแสดงครบ 1 ตัวอักษรก็จะทำการแสดงตัวอักษรตัวที่ 2 ที่จะแสดงผลในช่องอักษรถัดไป ซึ่งจะทำให้การแสดงผลแบบนี้ไปจนถึงข้อมูลที่จะแสดงผลตัวอักษรที่ 27 ในช่องอักษรที่ 27 จึงครบรอบในการแสดงผลเมื่อแกนหมุนแสดงครบ 1 รอบ ซึ่งเราจะตรวจจับรอบด้วยตัวรับ-ส่งอินฟราเรดเมื่อขึ้นรอบใหม่เราก็จะแสดงเหมือนกับในขั้นตอนแรกอีกครั้ง เมื่อเราทำการแสดงอย่างนี้ซ้ำหลายๆ รอบ ก็จะทำให้การกระพริบของหลอด LED ในตำแหน่งเดิมกลายเป็นแสงสว่างขึ้นมา โดยเมื่อรวมหลายๆ ตำแหน่งก็จะกลายเป็นตัวอักษรขึ้นมา



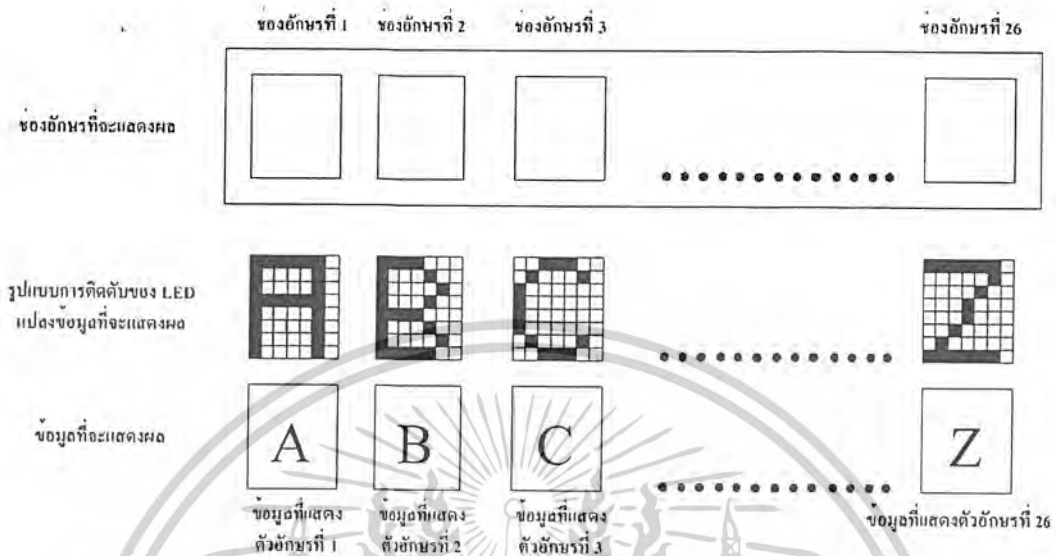
รูปที่ 3.17 ลักษณะโดยรวมของการแสดงผล

(1) แสดงลักษณะโครงสร้าง

(2) แสดงแถบ LED 1 คอลัมน์จำนวน 8 ดวง

(3) ตัวอย่างลักษณะของตัวอักษรที่ถูกแสดงผลรูปที่ 3.8 แบบวิธีการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รูปแบบวิธีแสดงผล

**ขั้นตอนวิธีการกำหนดรูปแบบการติดดับของหลอด LED**

ขั้นตอนวิธีการกำหนดรูปแบบการติดดับของหลอด LED เพื่อใช้ในการแสดงผลตัวอักษร จากลักษณะการต่อ LED กับพอร์ต 1 ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ในลักษณะการต่อ LED ดังรูปที่ เราจะทำการกำหนดให้หลอด LED ที่ตำแหน่งใดสว่างได้โดยกำหนดที่ LED ตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 1 และถ้าต้องการให้ดับ ให้กำหนดค่าเป็น 0 ตัวอย่างเช่น ถ้าหากเราต้องการสร้างตัวอักษร A ขึ้นมา จะมีขั้นตอนดังนี้ โดยในขั้นตอนแรกกำหนดรูปแบบที่ต้องการแสดงขึ้นมา ก่อน จากรูปที่กำหนดขึ้นมาในคอลัมน์ที่ 1 , 6 จะพบว่า LED ทุกตำแหน่งมีการติดทุกดวงจึงกำหนดค่าเป็น FFH(1111 1111) ในคอลัมน์ที่ 2, 3, 4, 5 LED ในตำแหน่งที่ P1.7 กับ P1.4 จะติดเท่านั้น จึงกำหนดค่าเป็น 90H (1001 0000) ส่วนในคอลัมน์ที่ 7 LED จะดับทุกดวงเพื่อเว้นเป็นช่องว่างระหว่างตัวอักษร จึงกำหนดค่าเป็น 00H (0000 0000) ซึ่งในตัวอักษรที่เหลือคือ B-Z ก็จะมีการกำหนดค่าเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่เราได้มาจะถูกเก็บเอาไว้ในตารางข้อมูลที่เอาไว้ในการแสดงผล โดยหากเราต้องการแสดงตัวอักษรตัวใดก็ให้ไปดึงข้อมูลลักษณะการแสดงผล LED ออกมาจากตารางข้อมูลแล้วนำค่าที่ดึงออกมาไปใช้ในการแสดงผล

ช่องอักษร



เอาข้อมูลที่แสดงผล(การติดดับของ LED 8 ดวง)ใส่ลงไป โดย

คอลัมน์ที่ 1



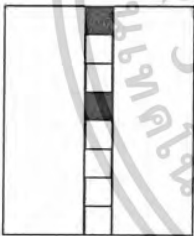
คอลัมน์ที่ 2



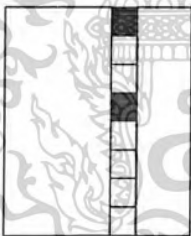
คอลัมน์ที่ 3



คอลัมน์ที่ 4



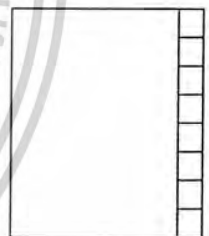
คอลัมน์ที่ 5



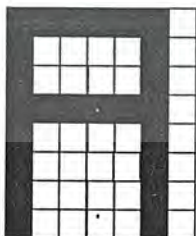
คอลัมน์ที่ 6



คอลัมน์ที่ 7



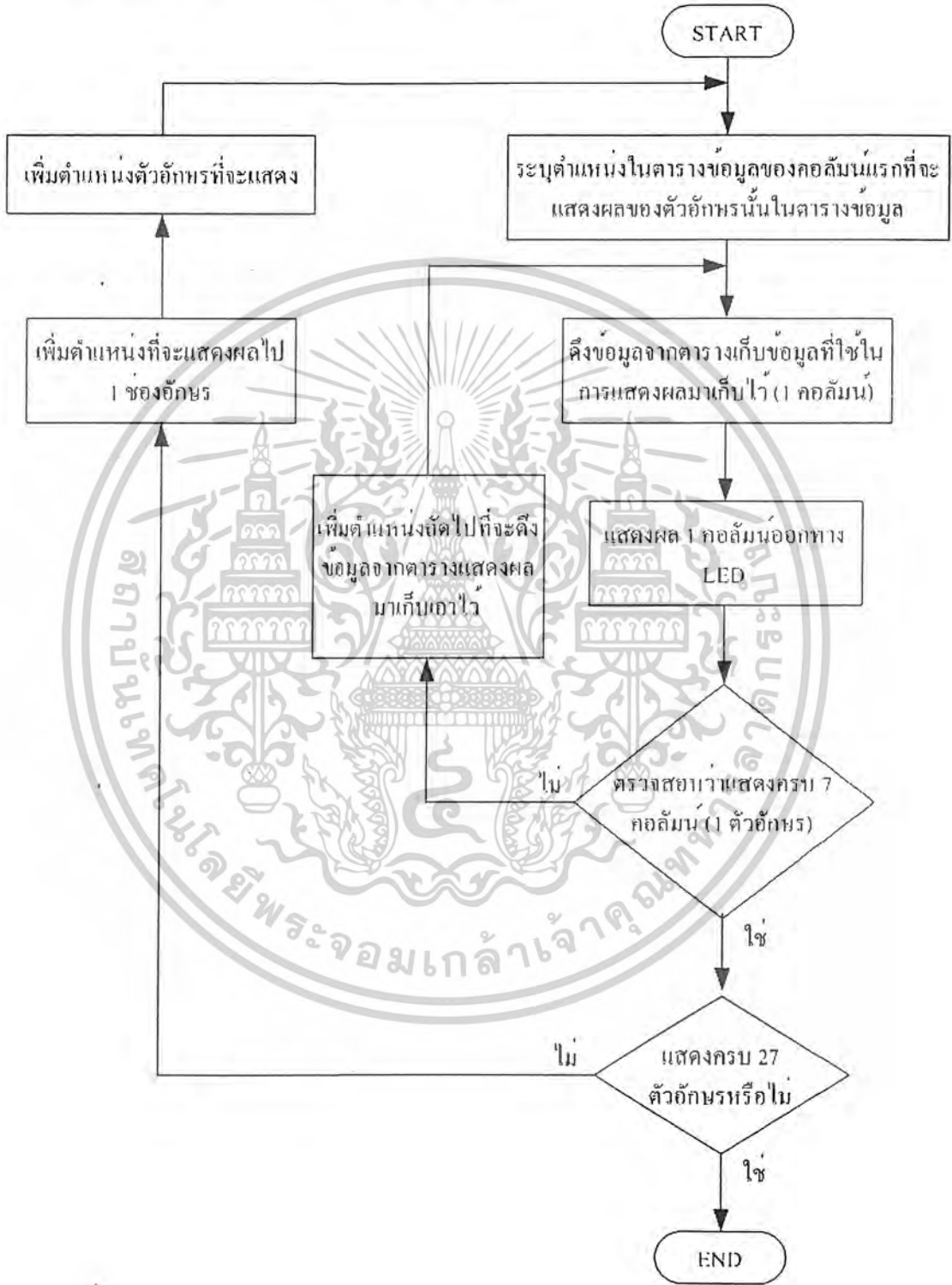
เอาแต่ละคอลัมน์มารวมกันจะได้ตัวอักษรออกมา



รูปที่ 3.19 แบบวิธีการแสดงผลในหนึ่งตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนวิธีการแสดงผลตัวอักษรของโปรแกรม



รูปที่ 3.20 Work flow แสดงการทำงานส่วนของการแสดงผลตัวอักษร

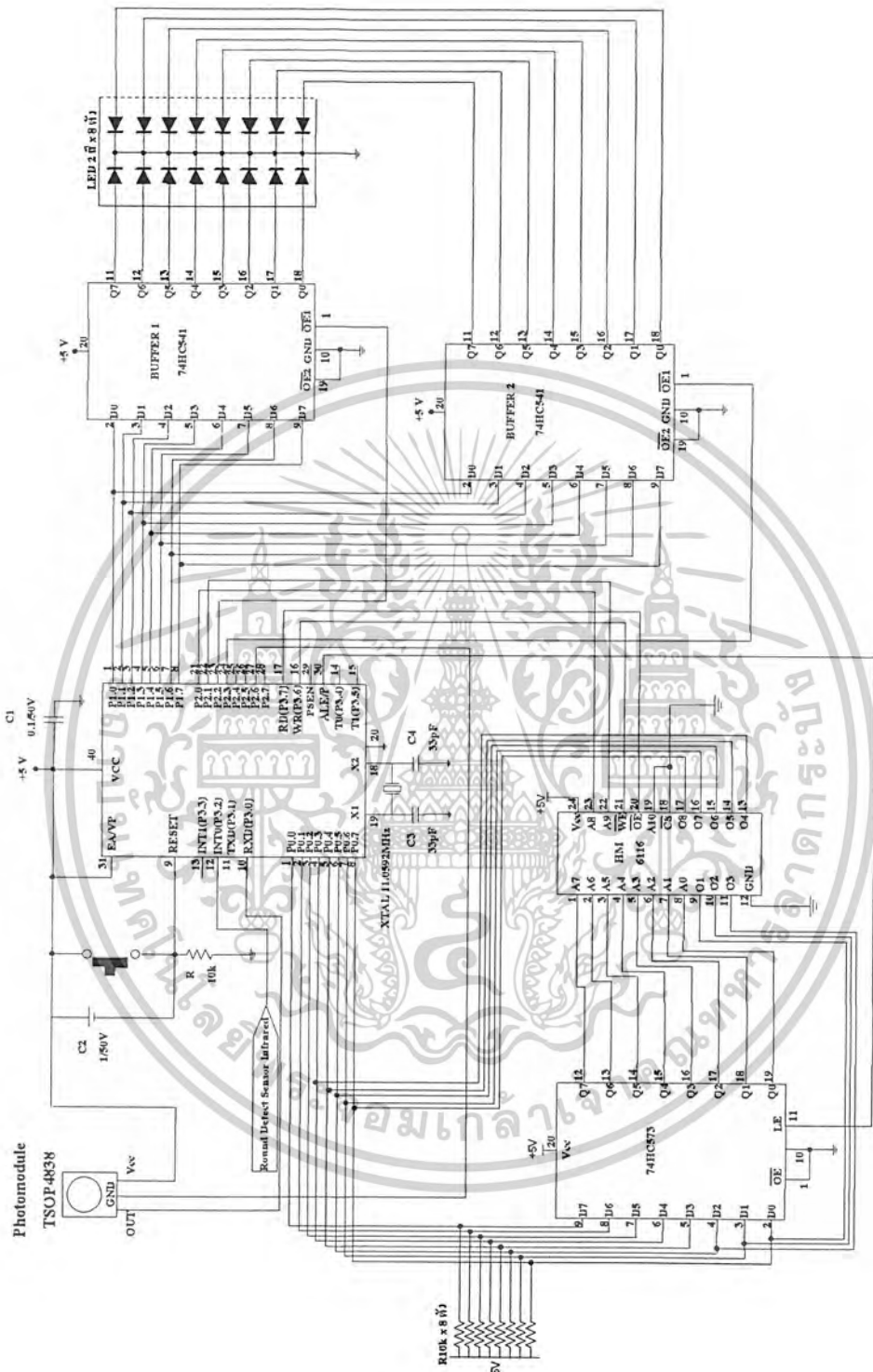
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Flow chart จะสรุปหลักการในการแสดงผลได้ดังนี้ ในตอนแรกเราจะต้องระบุว่าตัวอักษรที่จะแสดงเป็นตัวอักษรอะไร จากนั้นทำการระบุตำแหน่งแรกในตารางข้อมูลที่เก็บคอล์มน์แรกในการแสดงผลของตัวอักษรนั้น ต่อมาให้ดึงเอาข้อมูลในตำแหน่งนั้นของตารางข้อมูลออกมา ซึ่งข้อมูลที่เก็บอยู่ในตารางข้อมูลจะเป็นรูปแบบการระบุการติดดับของ LED แต่ละดวงใน 1 คอล์มน์ แล้วจึงเอาข้อมูลการติดดับของ LED แต่ละดวงแสดงออกมา จากนั้นทำการตรวจสอบว่าแสดงครบ 7 คอล์มน์หรือยัง(ซึ่ง 7 คอล์มน์ จะเท่ากับ 1 ตัวอักษร) หากไม่ครบ 1 ตัวอักษรก็ให้เพิ่มตำแหน่งของคอล์มน์ในตารางข้อมูลไปอีก 1 คอล์มน์ แล้วดึงข้อมูลออกมาแสดงผล แล้วจึงแสดงผลอย่างนี้ไปจนครบ 1 ตัวอักษร แล้วจึงตรวจสอบว่า แสดงตัวอักษรไปครบ 27 ตัวอักษรหรือยัง (1 รอบในการหมุนเพื่อแสดงผลจะมี 27 ตัวอักษรที่ปรากฏขึ้น) ถ้าไม่ครบ 27 ตัวอักษร ก็ให้เพิ่มตำแหน่งตัวอักษรที่จะแสดงผลไป 1 ตำแหน่ง ซึ่งจำเป็นตัวอักษรตัวที่จะแสดงผลตัวต่อไป



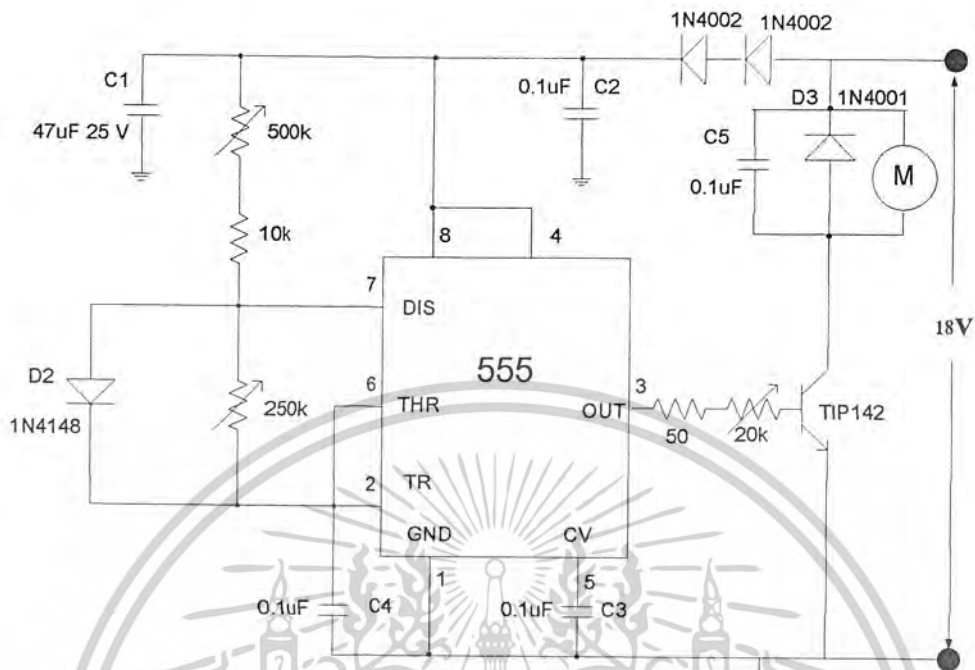
รูปที่ 3.21 รูปแบบการติดดับของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

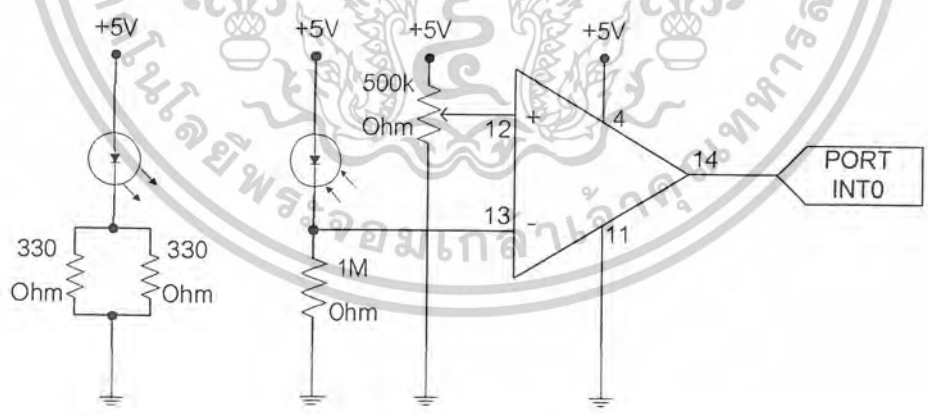


รูปที่ 3.22 วงจรส่วนควบคุมการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์



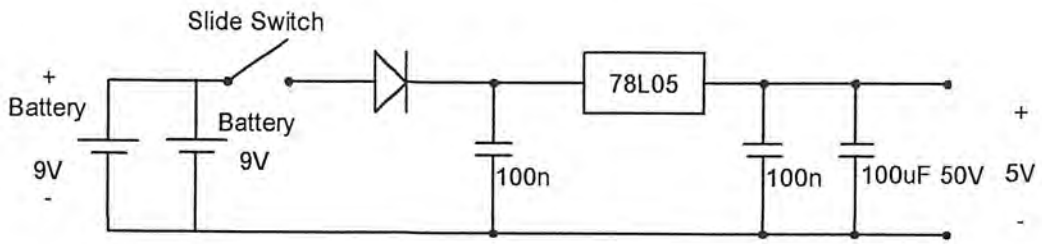
รูปที่ 3.24 วงจรตรวจจับรอบด้วยอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

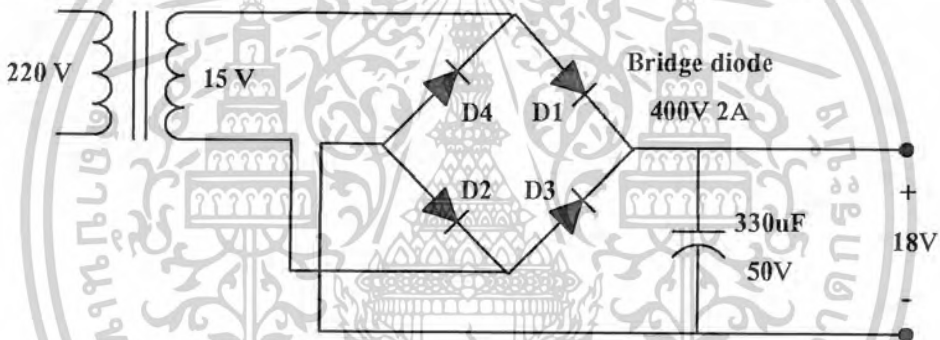


รูปที่ 3.25 วงจรส่วนส่งของชุดระบบอินฟราเรด

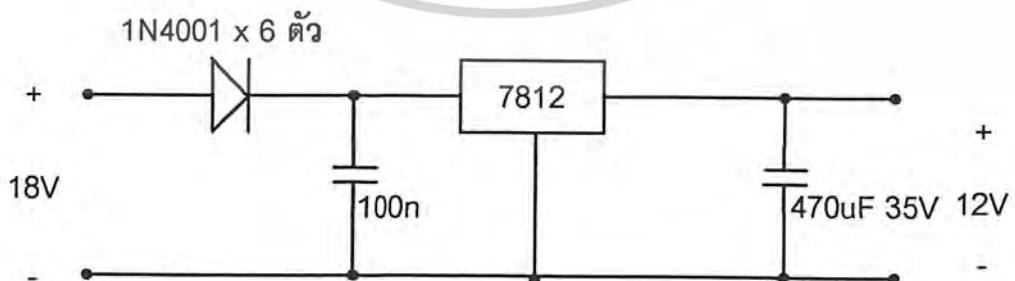
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของภาคแสดงผล

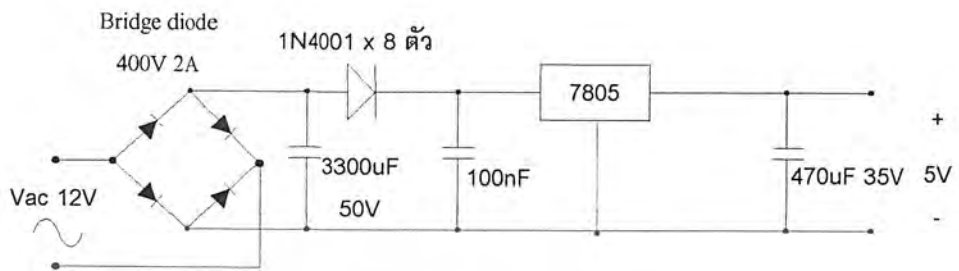


รูปที่ 3.27 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของส่วนควบคุมความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 3.28 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของอินฟราเรดตรวจจับรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟของระบบส่งข้อมูลอินฟราเรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองส่วนแสดงผล

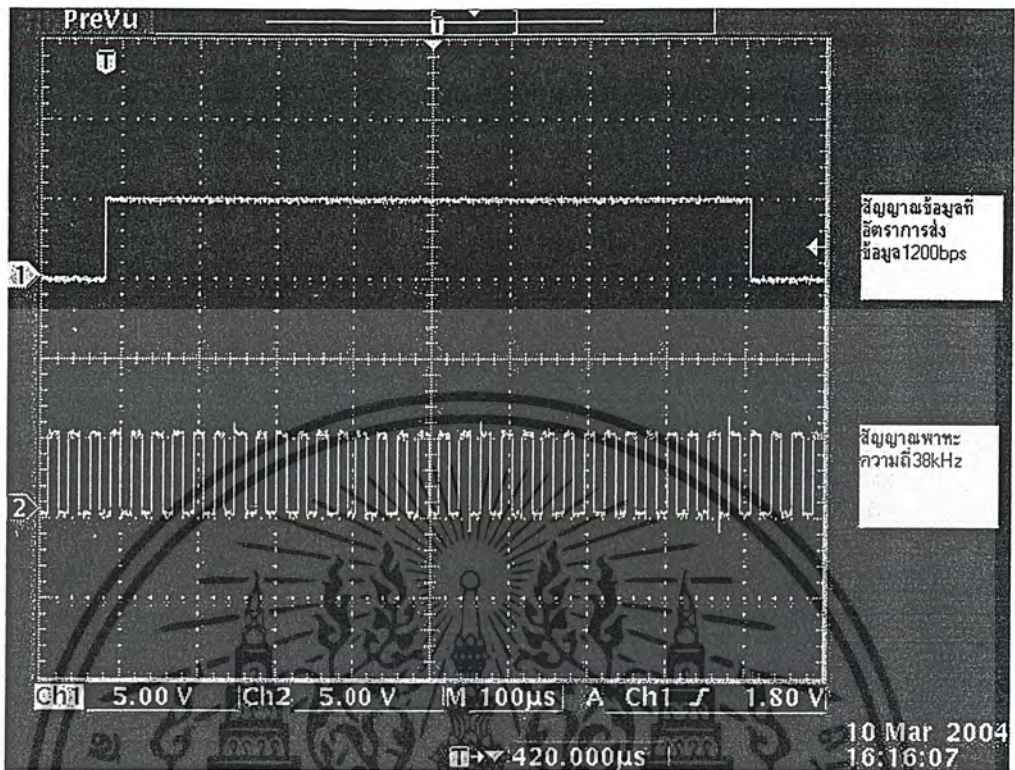
ในการแสดงผลจะถูกแสดงผลผ่านทางหลอด LED จำนวน 8 ดวง ซึ่งประเภทของ LED ที่ใช้จะมีผลต่อลักษณะของภาพที่เราจะเห็น ซึ่งหากใช้หลอด LED ธรรมดา จะให้ความสว่างที่ไม่สูง แต่จะมีการกินกระแสที่ต่ำ แต่ถ้าต้องการแสดงภาพให้มีความชัดเจนจะต้องเปลี่ยนมาใช้หลอด LED ประเภท Super bright โดยจะให้ความสว่างที่มากกว่าหลอด LED ปกติ แต่จะมีอัตราการกินพลังงานที่สูงกว่า LED ประเภทปกติด้วย

ซึ่งนอกจากประเภทของหลอด LED ที่เลือกใช้ จะมีผลต่อลักษณะของภาพที่เราจะเห็นแล้วยังมีผลเนื่องจากความเร็วของมอเตอร์ โดยเมื่อใช้ความเร็วมอเตอร์ที่สูงขึ้น อัตราการกระพริบของตัวอักษรจะลดลง ความชัดเจนของตัวอักษรจะดีขึ้น และหากลดความเร็วมอเตอร์ลง ตัวอักษรจะมีการกระพริบที่มากขึ้น ความชัดเจนของตัวอักษรจะลดลง ซึ่งในการใช้งานเมื่อเราใช้ความเร็วมอเตอร์ที่สูงขึ้น มอเตอร์จะต้องทำงานหนักขึ้น ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงควรเลือกความเร็วของมอเตอร์ให้มีอัตราที่เหมาะสมกับผลของความร้อนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ด้วย

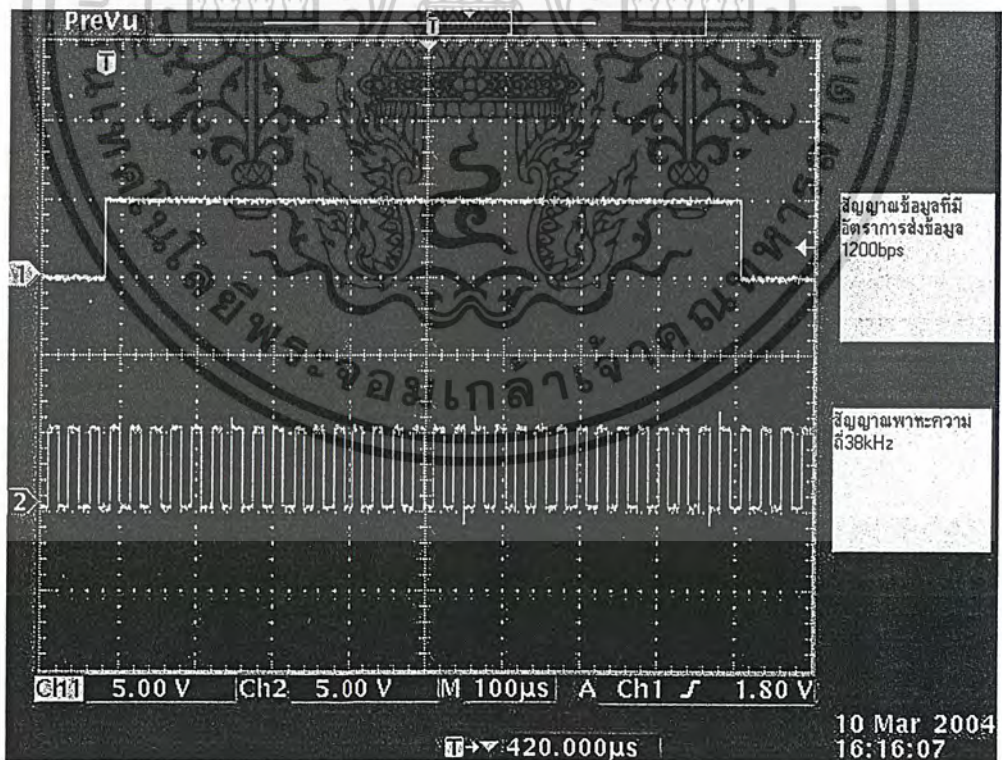
#### 4.2 ผลการทดลองการรับส่งข้อมูลทางอินฟราเรด

ในการส่งข้อความที่ต้องการแสดงผ่านอินฟราเรดนั้น เราจะต้องทำการมอดคูเลทข้อมูลที่ต้องการส่งเสียก่อน จึงจะสามารถส่งข้อมูลออกไปได้ ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้วิธีการมอดคูเลชันแบบ ASK หรือเรียกอีกอย่างว่า OOK (On-Off Keying) ซึ่งลักษณะการทำงานของวงจรได้ถูกอธิบายไว้ในส่วนของการออกแบบแล้ว

ในรูปที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูล 1200bps ที่มีลักษณะการเรียงค่าเป็น 10101010... ไปเรื่อยๆ กับสัญญาณพาหะความถี่ 38kHz ถูกนำมาใช้ในการทำการมอดคูเลชัน



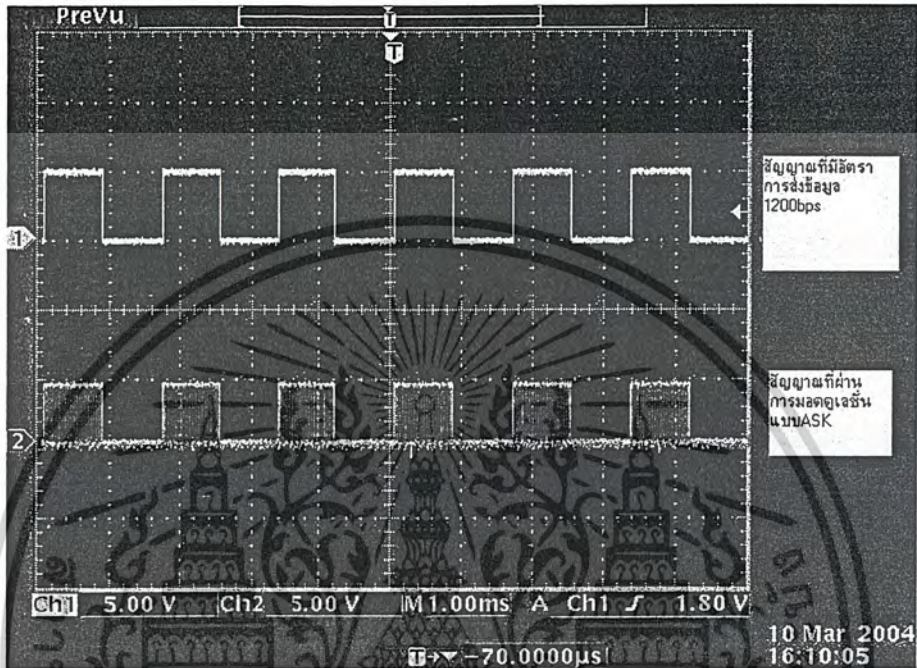
(ก)



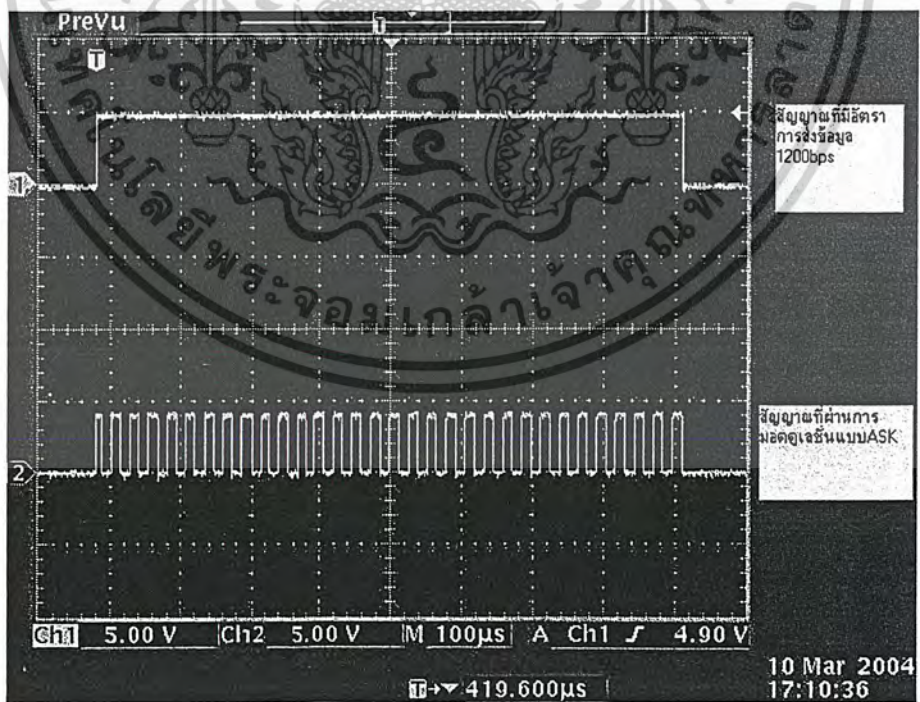
(ข)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่งที่มีอัตราการส่งข้อมูล 1200bps กับ สัญญาณพาหะความถี่ 38kHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของสัญญาณพาหะความถี่ 38kHz จะมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดตามลักษณะสัญญาณข้อมูล



(ก)

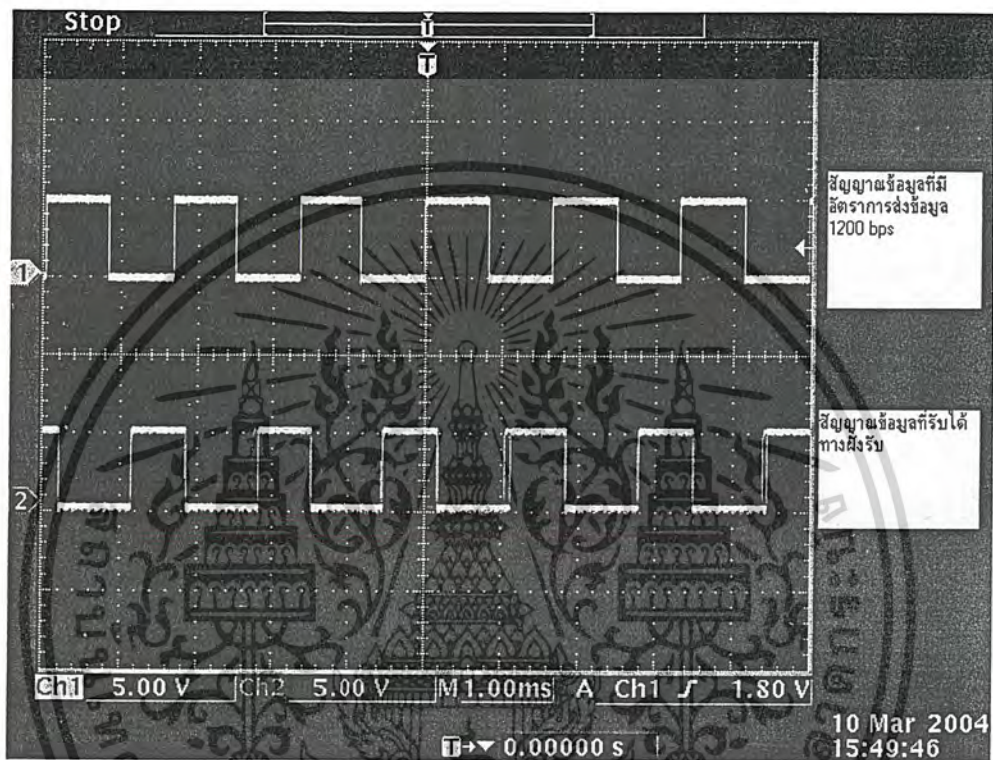


(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (อัตราการส่งข้อมูล 1200bps) เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้ออกมานี้จะถูกนำไปจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ซึ่งจะทำการขับกระแสจ่ายให้หลอด Infrared LED โดยสัญญาณที่ส่งไปที่โฟโตโมดูลจะถูก Demodulate เพื่อแยกเอาสัญญาณที่ต้องการส่งออกมา



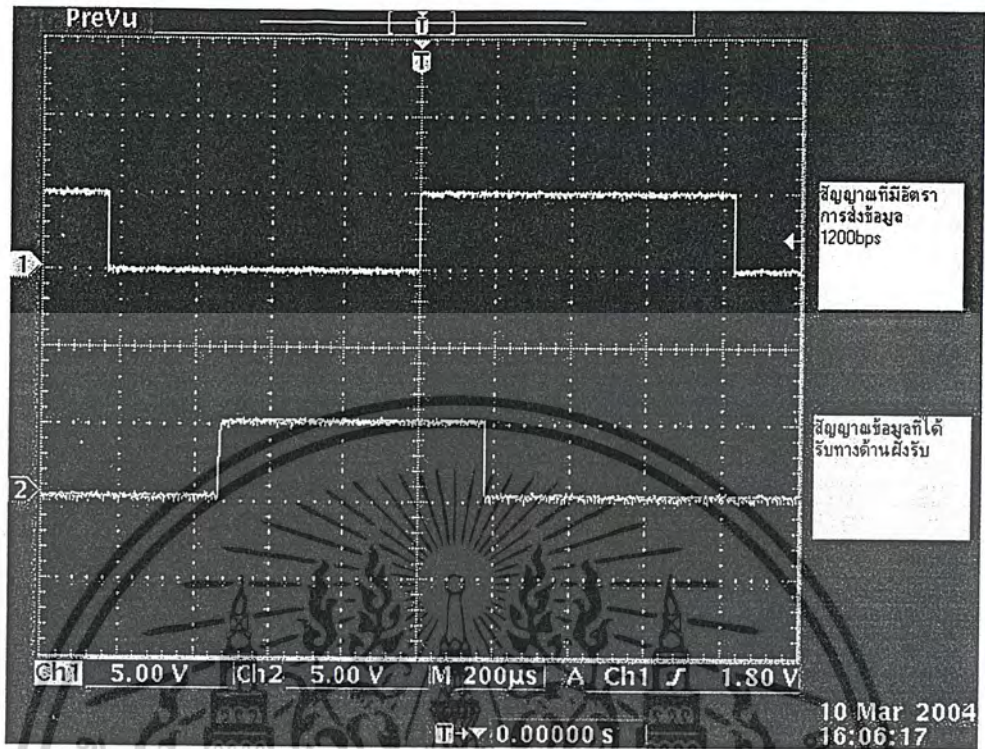
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (1200bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง out ที่ผ่านการ Demodulation

จากกราฟจะพบว่าลักษณะของสัญญาณทางด้านฝั่งส่งและฝั่งรับจะมีการ Delay เป็นช่วงเวลาหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.4

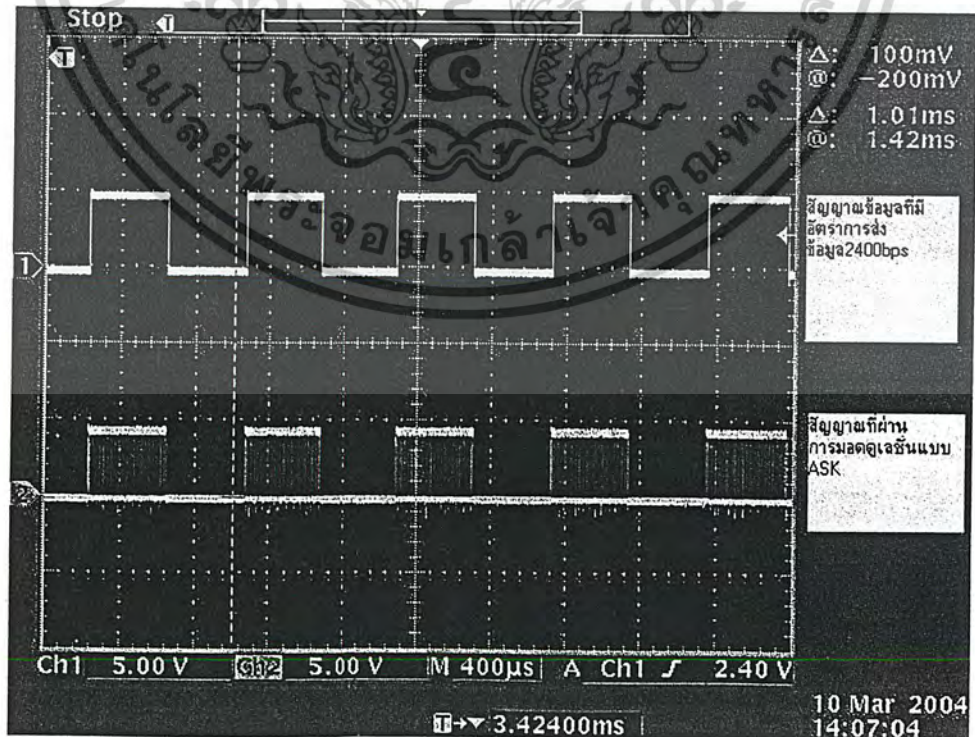
ในการเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลนั้นมีความจำเป็นมาก ซึ่งหากเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าสูงเกินไปก็จะส่งผลทำให้สัญญาณทางด้านฝั่งรับเกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งหลักการเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลได้ถูกอธิบายเอาไว้ในส่วนของ การออกแบบแล้ว

ซึ่งจากที่ได้กล่าวถึงเรื่องการเลือกอัตราการส่งข้อมูล (bit per second: bps) กับความสามารถในการรับข้อมูลซึ่งได้กล่าวเอาไว้ในการออกแบบ เมื่อเราทำการใช้อัตราการส่งข้อมูลต่างๆ กัน จะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13

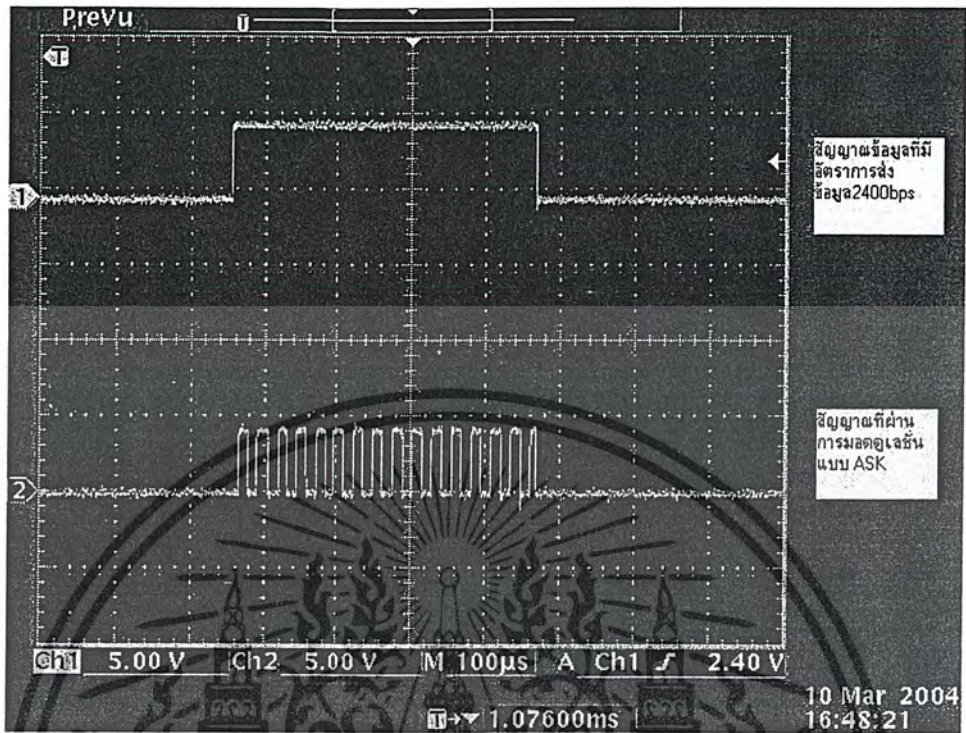
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการ delay ระหว่างสัญญาณทางด้านฝั่งส่งและฝั่งรับ (อัตราการส่งข้อมูล 1200bps)

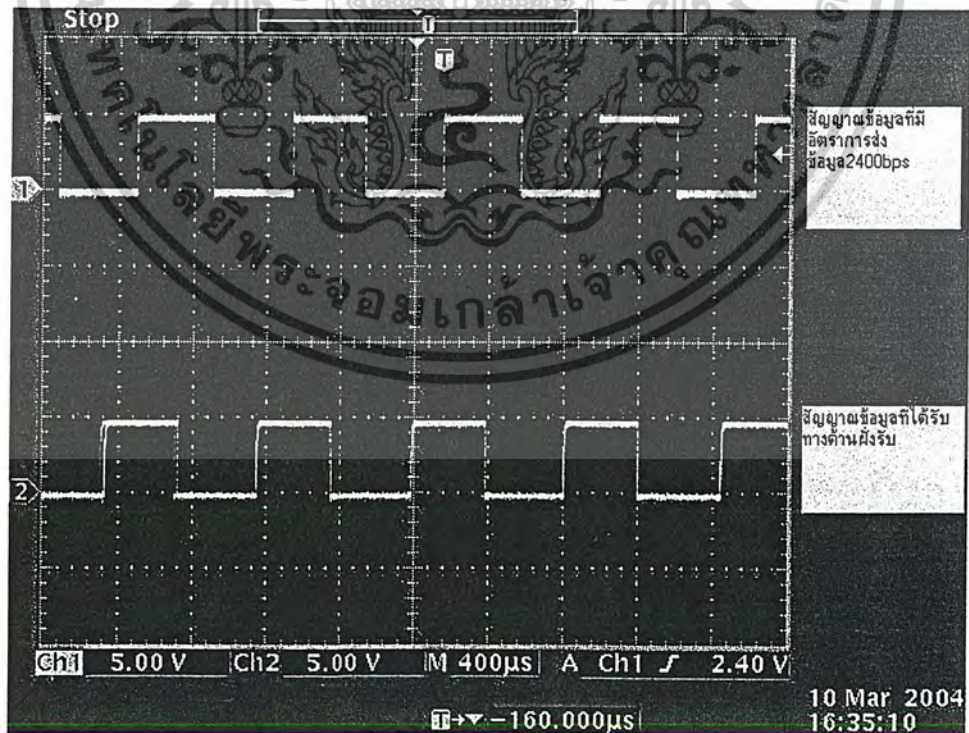


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น (ก) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

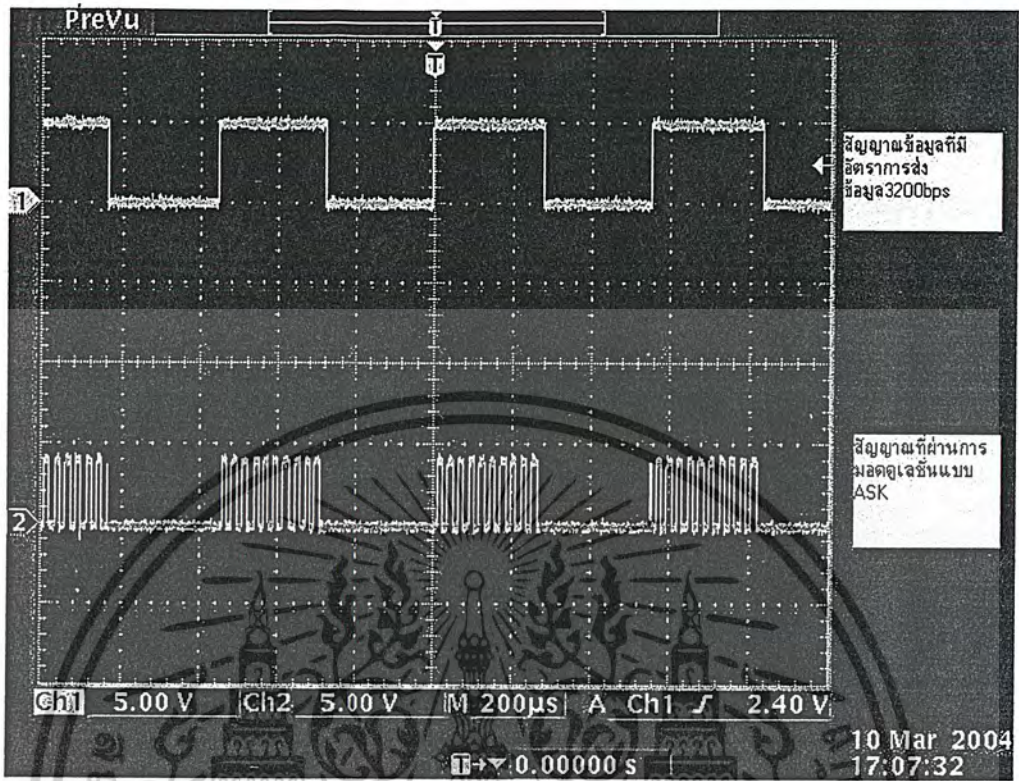
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK (อัตราการส่งข้อมูล 2400bps)



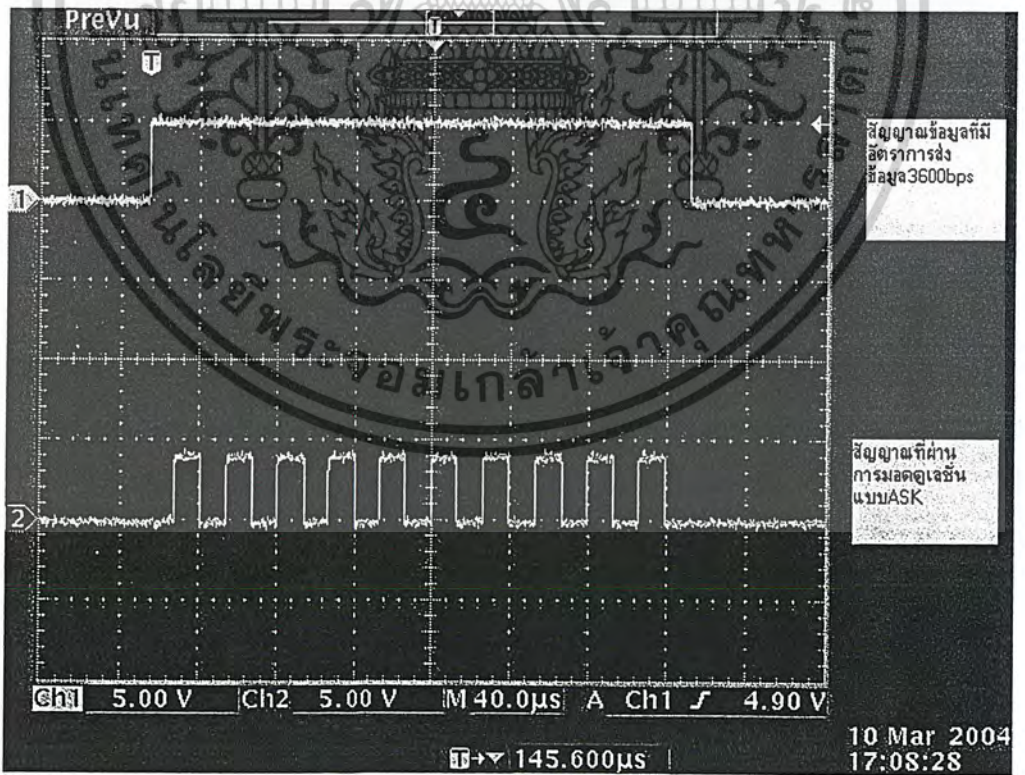
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (2400bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง

out ที่ผ่านการ Demodulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



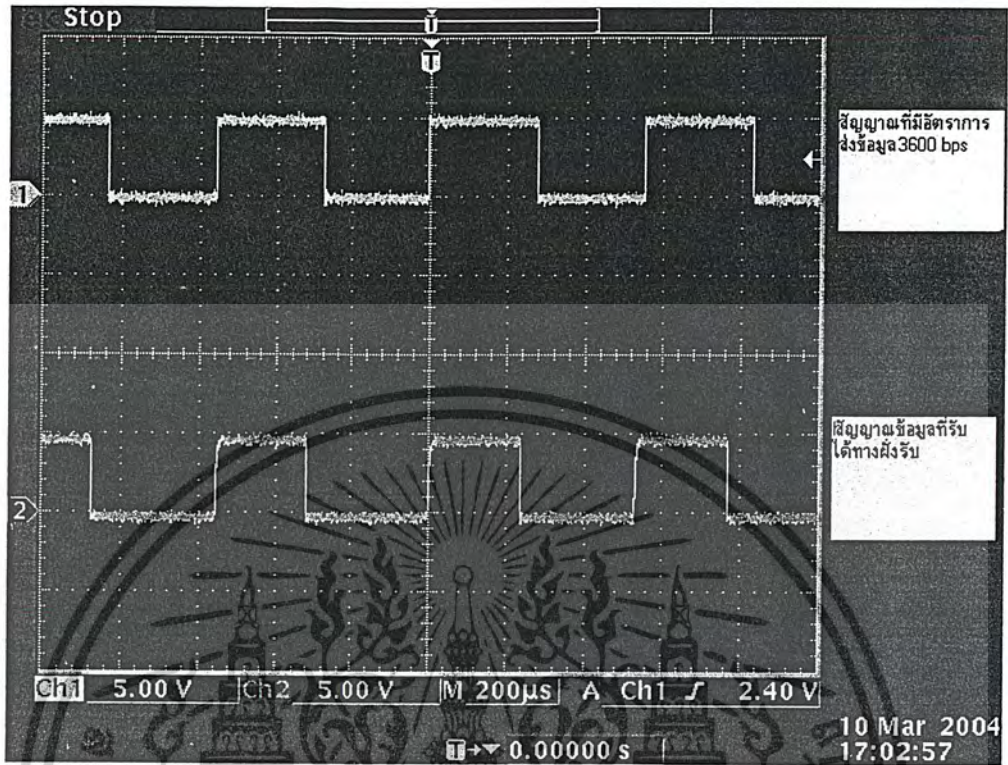
(ก)



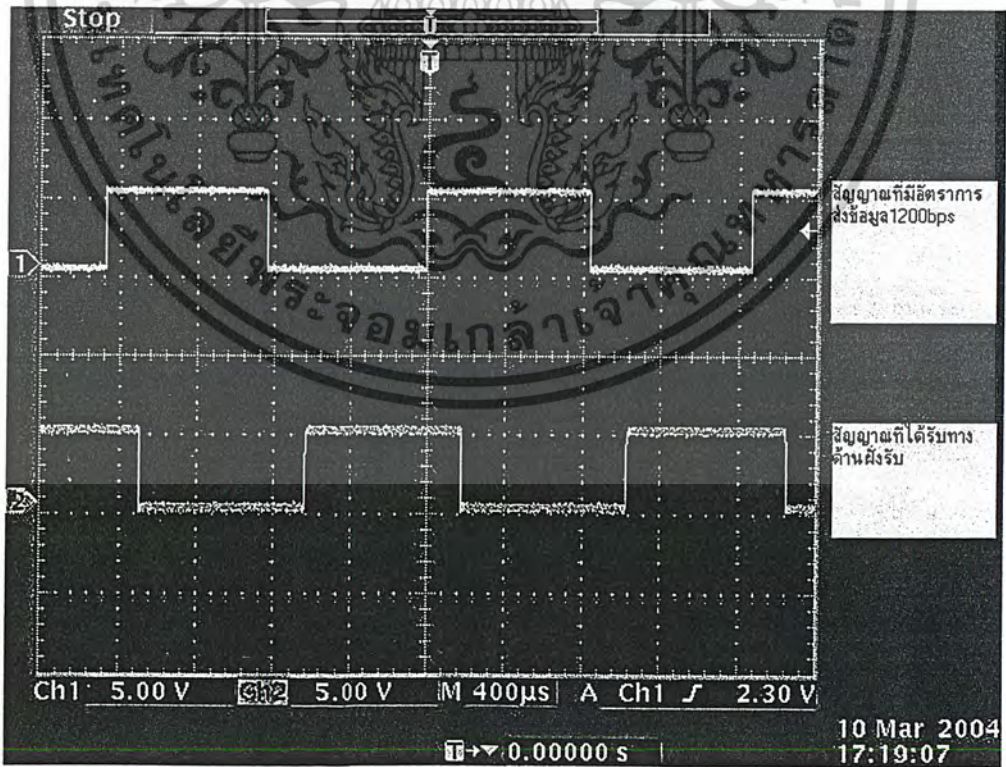
(ข)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันแบบ OOK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (อัตราการส่งข้อมูล 3600bps) ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

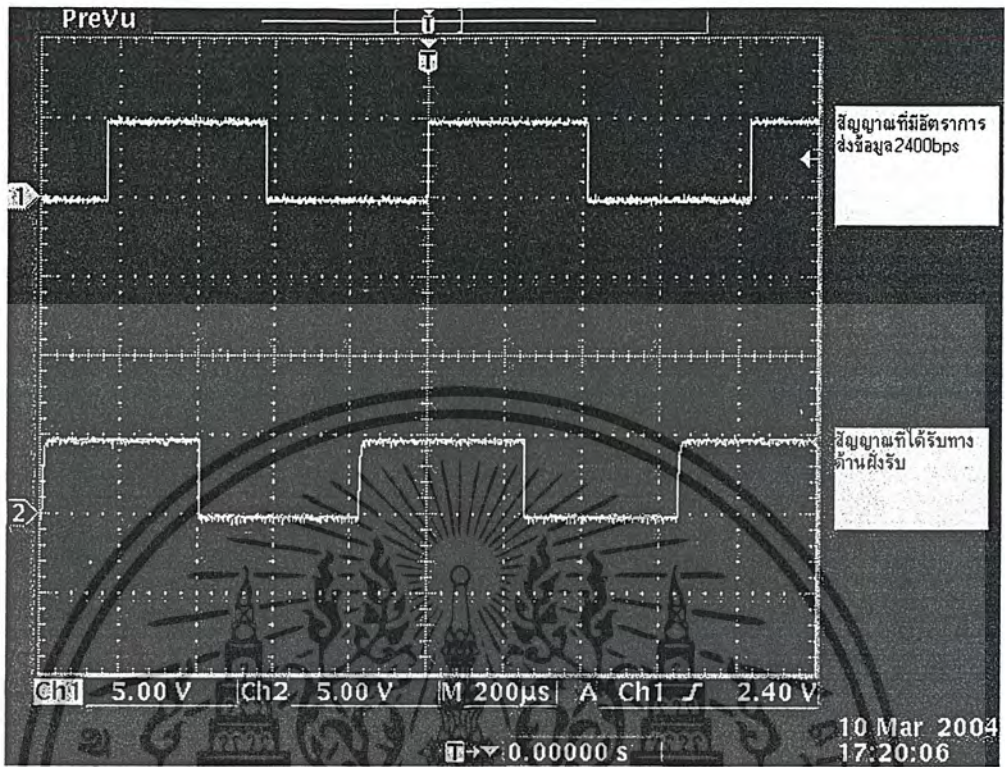


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการส่ง (3600bps) กับสัญญาณทางด้านฝั่ง out ที่ผ่านการ Demodulation

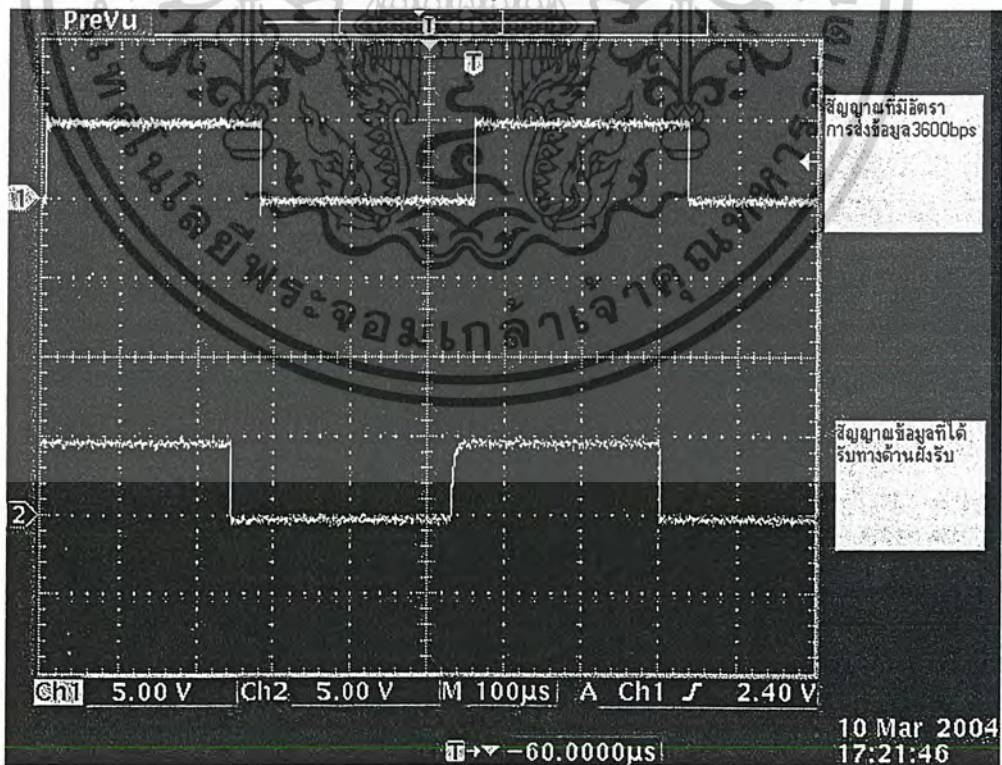


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตรา

การส่งข้อมูลที่ 1200bps เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

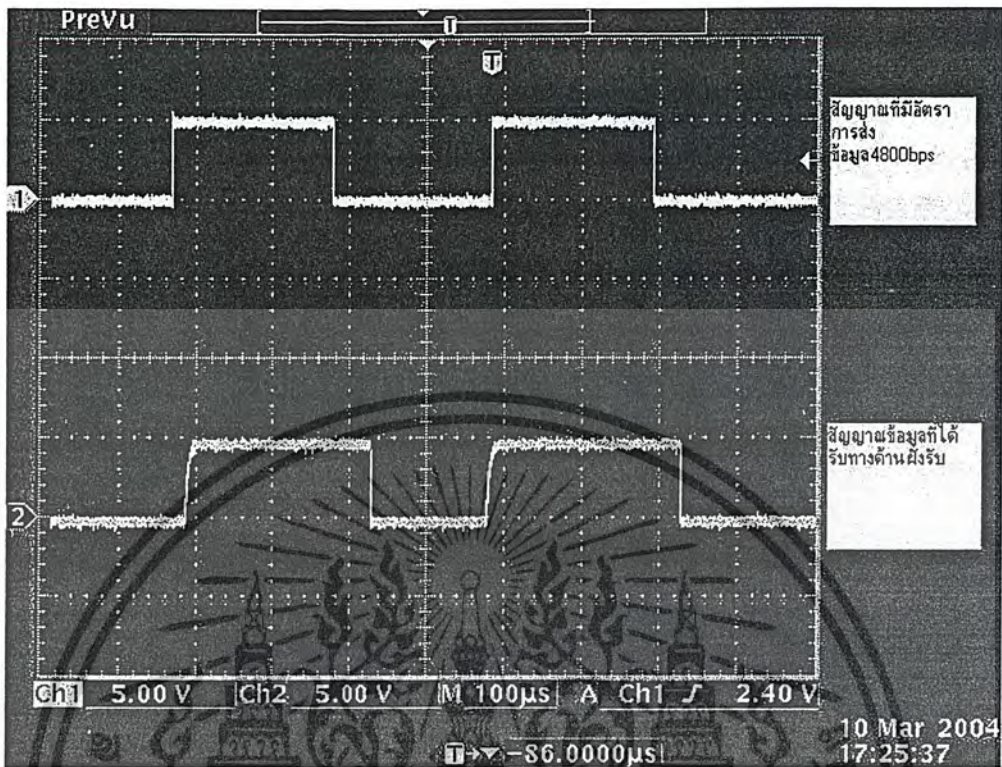


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 2400bps

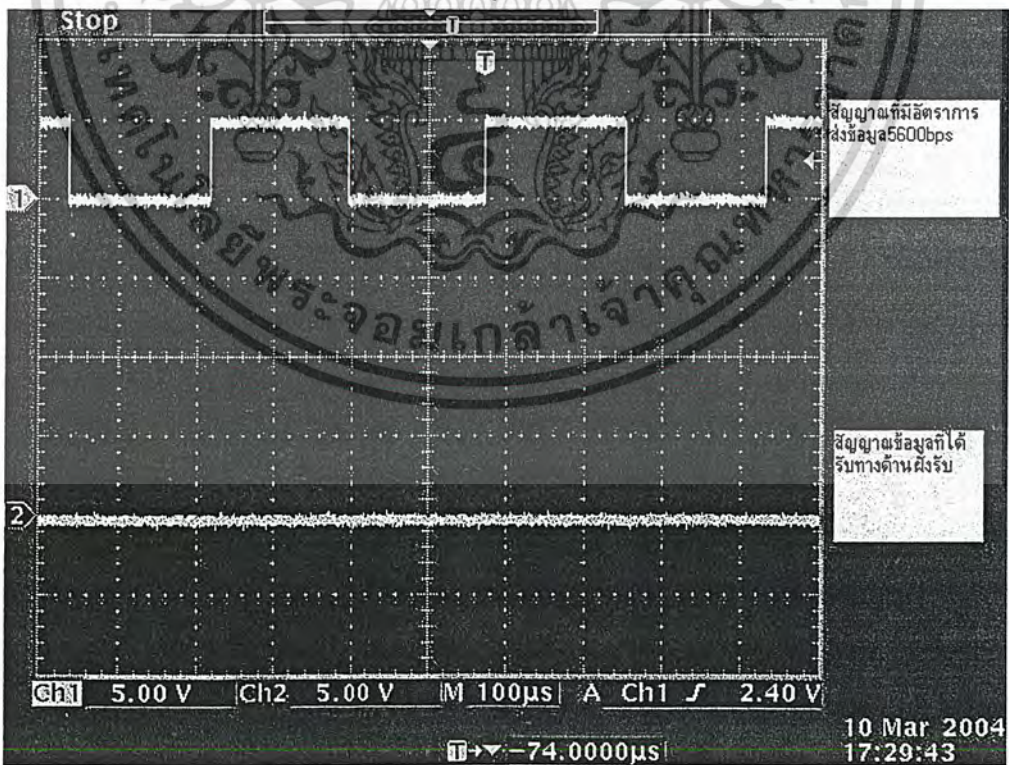


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 3600bps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตรา การส่งข้อมูลที่ 4800bps



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ต้องการส่งกับสัญญาณที่รับได้เมื่อเลือกใช้อัตรา

การส่งข้อมูลที่ 5600bps  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลการทดลองการทำงานของโปรแกรม Visual basic

เมื่อทำการเรียกใช้โปรแกรมที่ไว้ใช้ป้อนข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมซึ่งถูกเขียนด้วยภาษา Visual basic จะปรากฏหน้าต่างขึ้นดังรูป 4.14 โดยโปรแกรมจะมีไว้ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลข้อความที่ต้องการแสดงซึ่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านออกจากพอร์ตอนุกรมไปยัง External RAM โดยข้อมูลที่ถูกส่งออกจากพอร์ตอนุกรมจะประกอบด้วย ข้อความที่ต้องการแสดง(จำนวน 26 ตัวอักษรต่อการส่งหนึ่งครั้ง) และลักษณะรูปแบบการแสดงผลว่าต้องการแสดงในรูปแบบลักษณะใด โดยจะมีให้กำหนดยุบรวมการแสดงผล 3 รูปแบบ คือ แบบตัวอักษรอยู่หนึ่ง, ตัวอักษรปรากฏทีละตัว และตัวอักษรหมุนเลื่อนและแบบปรากฏทีละคอลัมน์ นอกจากนี้ในการแสดงผลเราสามารถที่จะเลือกสีที่ใช้ในการแสดงผลได้ 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีส้ม



รูปที่ 4.14 รูปแสดงหน้าจอ โปรแกรมส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

ซึ่งจะสามารถเลือกใช้ว่าจะทำการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม พอร์ตที่ 1 หรือ 2 ก็ได้ แล้วแต่จะกำหนด โดยจะต้องทำการป้อนข้อความที่ต้องการแสดงไปยังช่องว่าง จากนั้นทำการกำหนดพอร์ตที่จะใช้ติดต่อยุบรวมการแสดงผล แล้วจึงกดปุ่มส่งข้อความ ซึ่งหากยังไม่กรอกข้อความลงในช่องแล้วไปกดปุ่มส่งข้อความจะปรากฏข้อความขึ้นมาเตือนดังรูปที่ 4.15

ซึ่งจากทดลองใช้งาน โดยการส่งข้อมูล เมื่อส่งข้อมูลผ่านจากคอมพิวเตอร์ไปยังวงจรส่วนควบคุมการทำงานแสดงผล ซึ่งพบว่าค่าความถูกต้องในการรับส่งข้อมูลด้วยอินฟราเรดจะขึ้นกับผลของระยะทางและสภาพแวดล้อมในขณะนั้น เช่น ผลกระทบจากแสงแดด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

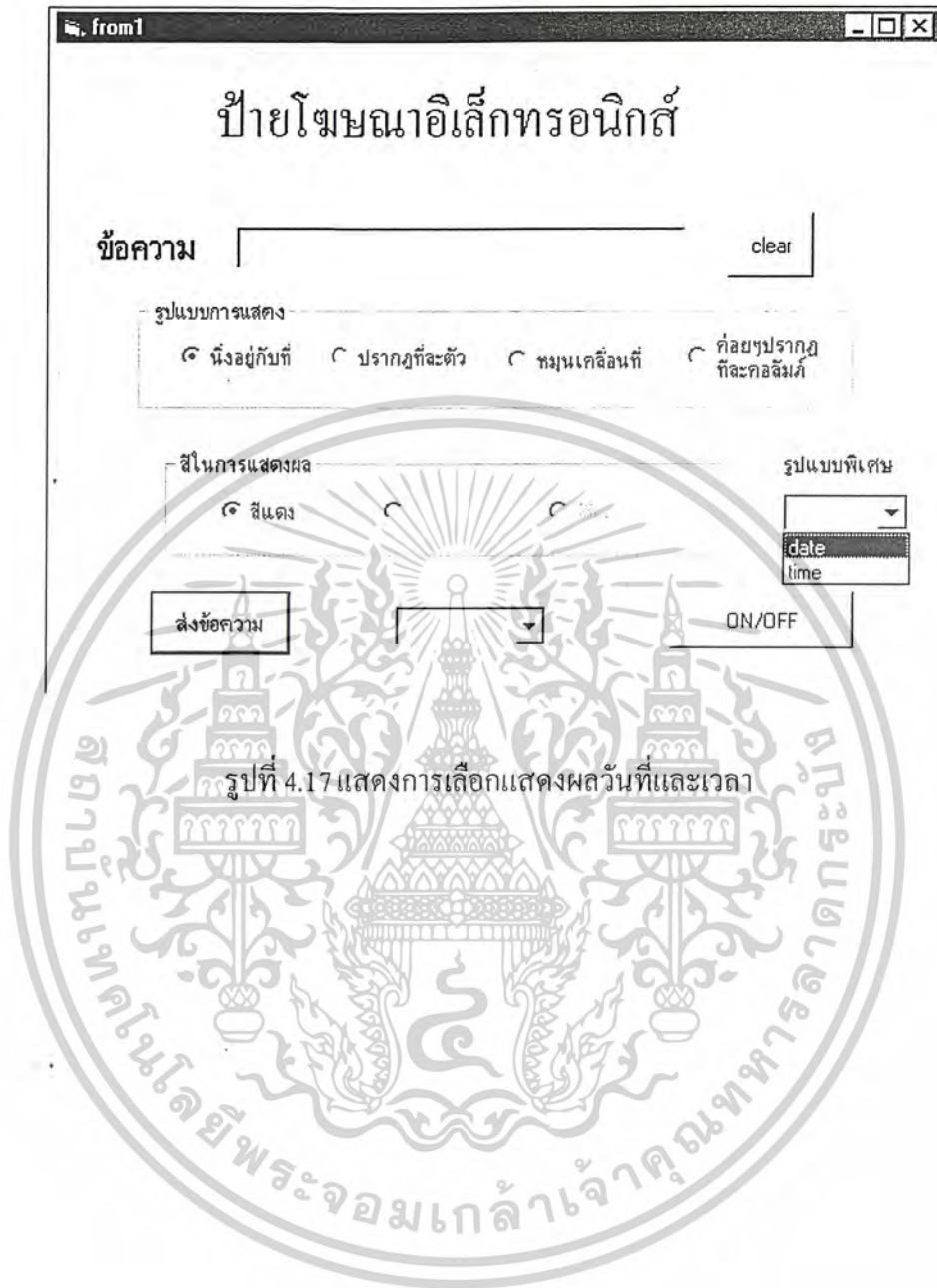
นอกจากนี้ยังมีรูปแบบพิเศษ ซึ่งจะใช้ในการแสดงเป็นวันที่หรือเวลาในเวลานั้นดังรูปที่

4.17



รูปที่ 4.16 การเลือกพอร์ตต่ออนุกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงการเลือกแสดงผลวันที่และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 โครงสร้างการทำงาน

ในการสร้างระบบแสดงผลแบบหมุน จะใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ในการทำการหมุนแกนที่ซึ่งบนแกนจะประกอบด้วย วงจรภาคแสดงผลและวงจรรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ และเบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรภาคแสดงผล และวงจรต่างๆ ที่อยู่บนแกนหมุน สาเหตุที่ต้องใช้เบตเตอรี่ 9 โวลต์ ติดตั้งบนแกนเพราะในขณะที่แสดงผลแกนจะหมุนทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟเลี้ยงจากข้างล่างขึ้นไปยังวงจรบนแกนแสดงผลได้

ซึ่งในการแสดงผลจะถูกแสดงผลด้วยหลอด LED จำนวน 8 หลอด โดยจะถูกควบคุมการแสดงผลด้วยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอยู่ในการแสดงผลข้อมูลที่จะแสดงผลให้เห็นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ถูกบรรจุอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่แล้ว และส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของข้อมูลที่ถูกเพิ่มเติมจากการติดต่อข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ส่งผ่านไปเก็บยัง External RAM เมื่อทำการแสดงผลข้อมูลส่วนแรกที่บรรจุอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่แล้วจะถูกแสดงผลออกมาก่อน จากนั้นจะตามด้วยข้อมูลที่ถูกรับอยู่ใน External RAM และเมื่อแสดงข้อมูลทั้งสองส่วนครบแล้วก็จะกลับไปข้อมูลจากส่วนแรกซ้ำอีกรอบ

#### 5.2 การพัฒนาต่อไปของโครงการ

โครงการนี้ยังมีจุดที่สามารถปรับปรุงได้อีกหลายส่วนดังนี้

##### 1. ส่วนการแสดงผล

เราสามารถเพิ่มขอบเขตในการแสดงผลได้ด้วยการเพิ่มจำนวนของหลอด LED จาก 8 หลอดให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อเพิ่มขอบเขตในการแสดงผลซึ่งจะทำให้เราสามารถแสดงผลออกมาได้ในลักษณะของตัวอักษรภาษาไทย หรือลักษณะที่เป็นรูปภาพขนาดใหญ่ได้

##### 2. ส่วนของแหล่งจ่ายไฟของแกนแสดงผล

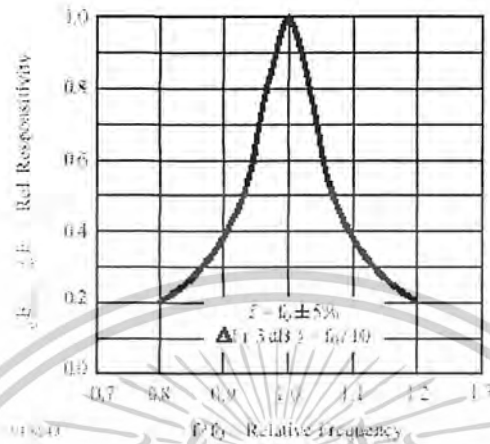
ในการปรับปรุงแหล่งจ่ายไฟของแกนแสดงผล เราสามารถที่จะนำเอาแปร่งถ่านมาใช้ในการจ่ายไฟให้กับระบบแสดงผลได้ ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน แต่จะส่งผลทำให้มอเตอร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าเดิม

##### 3. ส่วนของภาคส่ง-รับข้อมูลทางอินฟราเรด

เราสามารถที่จะเพิ่มการใช้อัตราการส่งข้อมูลให้มีค่ามากขึ้น ได้ด้วยการเลือกใช้โมดูลตัวรับ

ที่มีการรับสัญญาณพาหะที่มีค่ามากกว่า 38kHz ซึ่งจะทำให้มีค่าแบนด์พาสทางด้านฝั่งรับของโฟโตไดโอด เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลเพิ่มมากกว่าเดิม เนื่องจากค่าแบนด์พาสของโฟโตโมดูลนั้นขึ้นอยู่กับค่าของความถี่ สัญญาณพาหะดังรูป



รูปที่ 5.1 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของสัญญาณพาหะที่โฟโตโมดูลต้องการ กับค่าผลตอบสนองของโฟโตโมดูล

#### 4. ส่วนของการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

ในการปรับปรุงส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเราสามารถที่จะเพิ่มขนาดของส่วนเก็บข้อมูลให้มีค่ามากขึ้นได้ จากเดิมที่มีค่า 1024 bytes เป็น 2048 bytes เนื่องจากในการใช้ External RAM(HM6116) นั้นเราไม่ได้ใช้ Address ของ HM6116 หมดทุกขา

#### 5.3 สรุปผลการทดลองส่วนของการแสดงผล

จากการทดลองจะพบว่าระบบแสดงผลสามารถที่จะแสดงผลได้อย่างสมบูรณ์ตามข้อมูลที่ป้อนผ่านทางพอร์ตคอมพิวเตอร์ด้วยระบบอินฟราเรด ซึ่งความถูกต้องของการแสดงผลนั้นจะขึ้นกับผลจากสภาพแวดล้อมกับระยะทางในการส่งข้อมูล

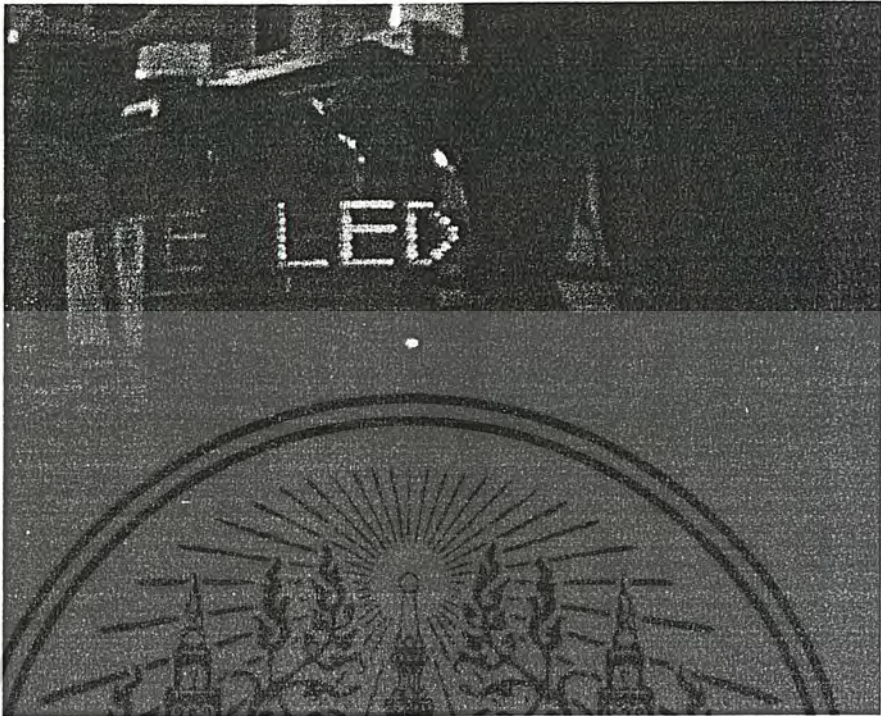
และในรูปที่ 5.2 – 5.4 จะแสดงรูปอุปกรณ์ในขณะที่กำลังแสดงผล



รูปที่ 5.2 รูปอุปกรณ์การแสดงผล

รูปที่ 5.3 รูปอุปกรณ์การแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 รูปอุปกรณ์การแสดงผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์อิทธิภูมิ บุญพิคำ ทั้งในเรื่องของคำแนะนำ และความช่วยเหลือเกี่ยวกับ โครงงานนี้ และขอขอบคุณภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ และเอกสารที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงาน ปริญญานิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและให้คำแนะนำใน โครงงานชิ้นนี้ จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

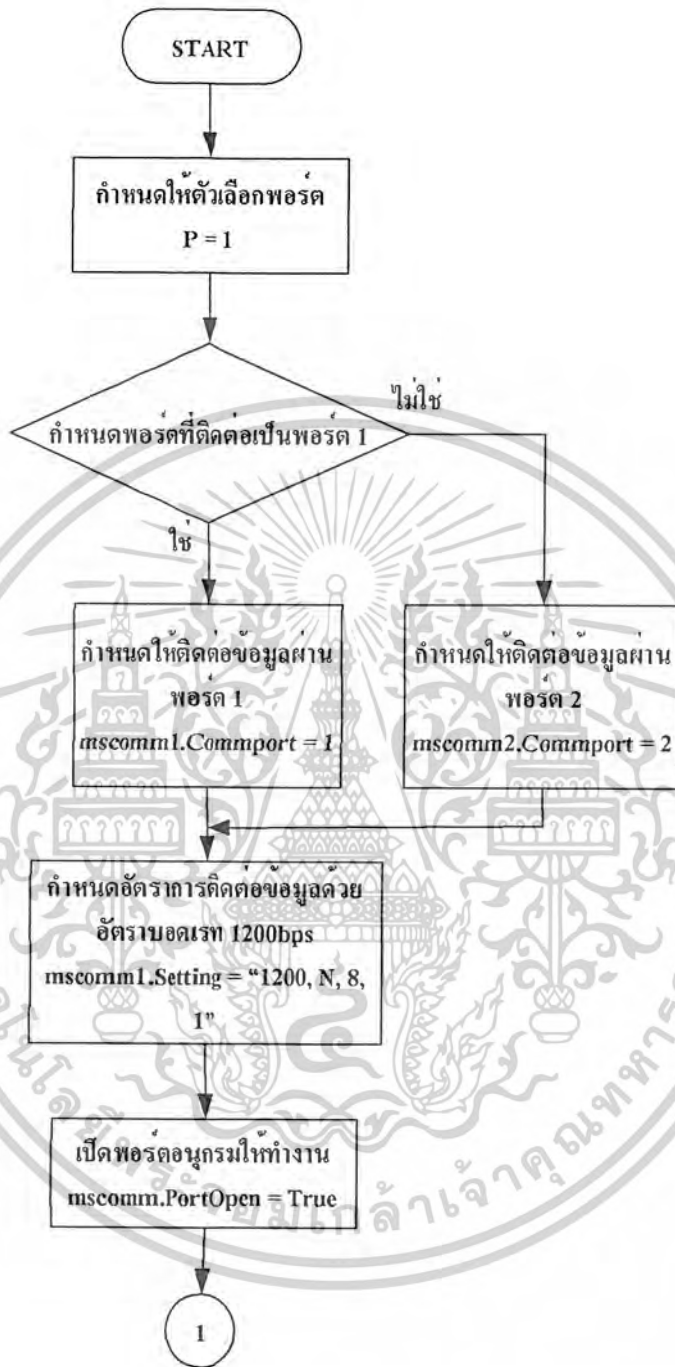
## หนังสืออ้างอิง

1. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Flash Microcontroller”, บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเม้นต์ จำกัด
2. ผศ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล, การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์, สำนักพิมพ์ ศ.ส.ท., 2544
3. กิตติ ภัคดีวัฒนกุล, จำลอง กล้วยตสาหะ, Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์, บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2545
4. อภิชาติ ภู่วลัย, เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic, บริษัท Infopress Developer Book, 2546
5. ผศ. ดร. ปรีชา ยูพิน, เครื่องข่ายใยแก้วนำแสง, สำนักพิมพ์ ศ.ส.ท., 2541
6. คณะผู้จัดทำแผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์, รวมบทความ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2538
7. วิวัฒน์ กิรานนท์, การสื่อสารข้อมูลดิจิทัล, ครุสภาลาดพร้าว, 2535
8. Behrouz A. Forouzon, Data Communications and Networking, McGraw-Hill Companies, 1998
9. Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith, Microelectronics Circuits, Oxford University Press, Inc., 1982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

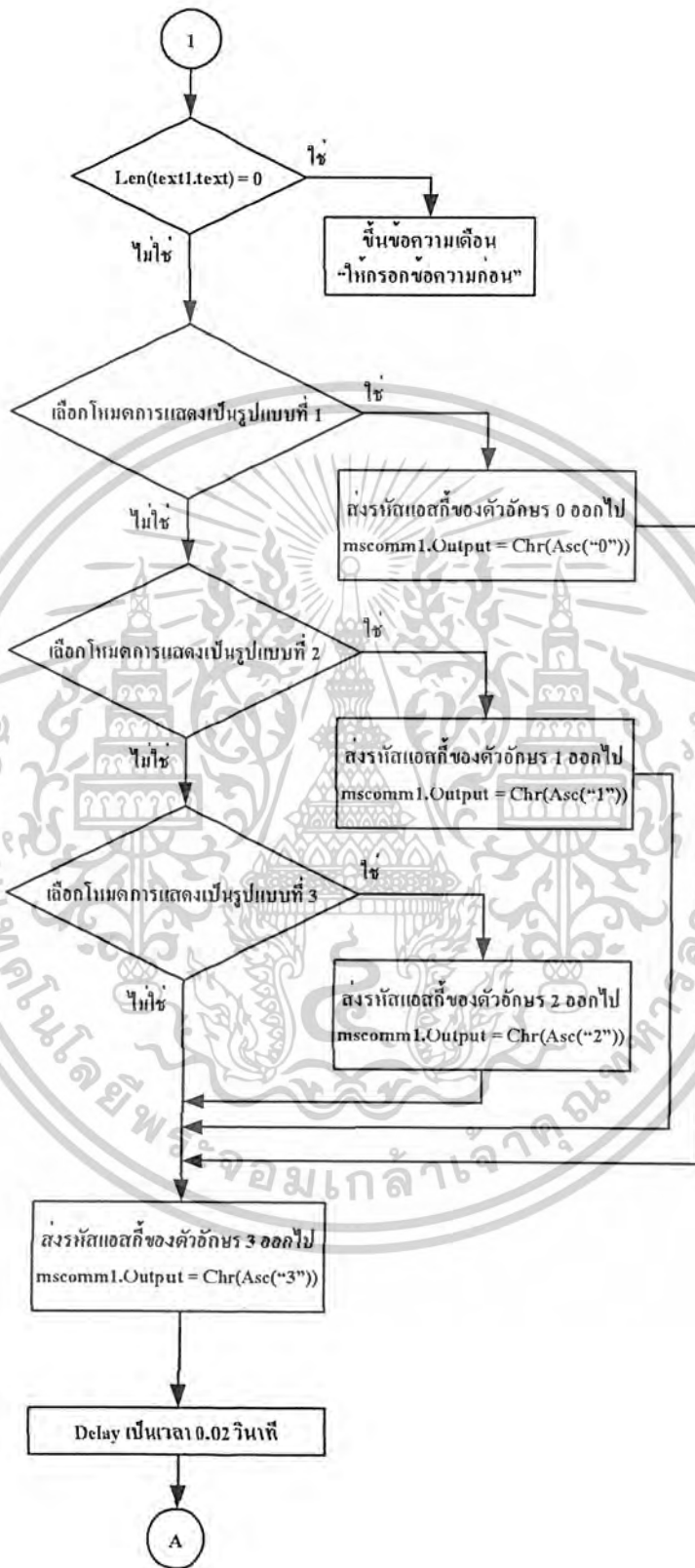


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5a Work Flow แสดงการทำงานของ Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



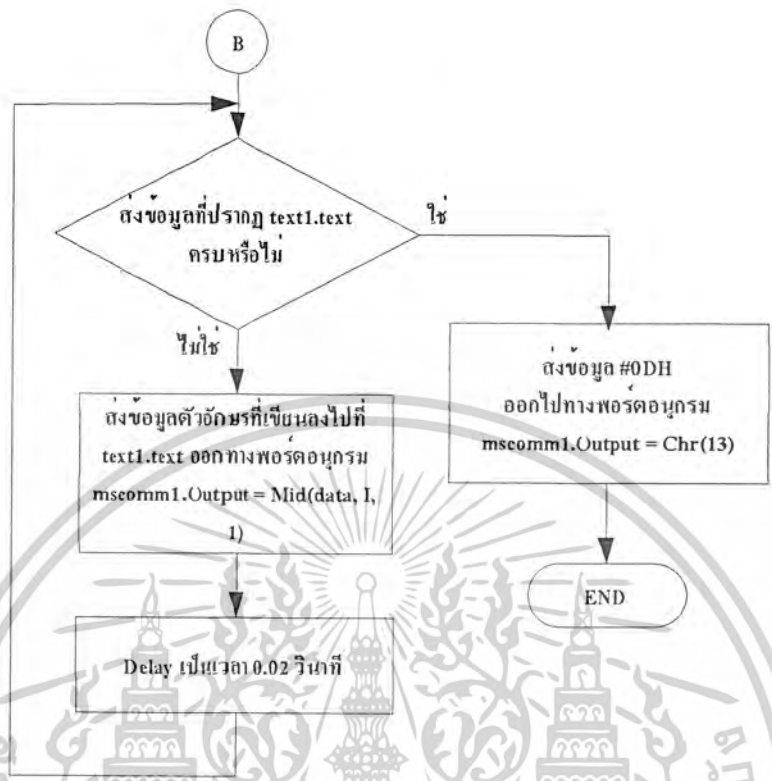
รูปที่ 5b Work Flow แสดงการทำงานของ Visual Basic (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



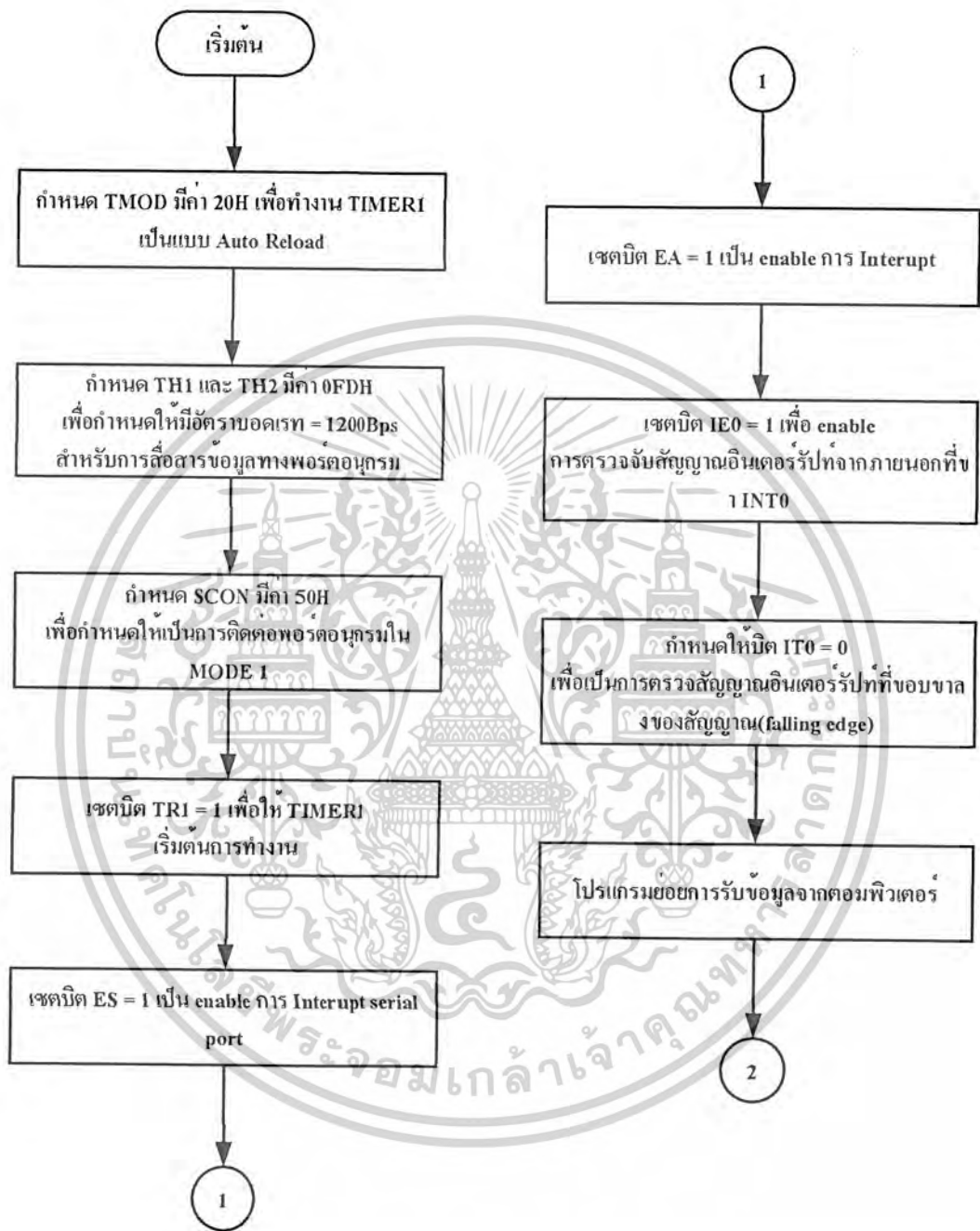
รูปที่ 5c Work Flow แสดงการทำงานของ Visual Basic (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



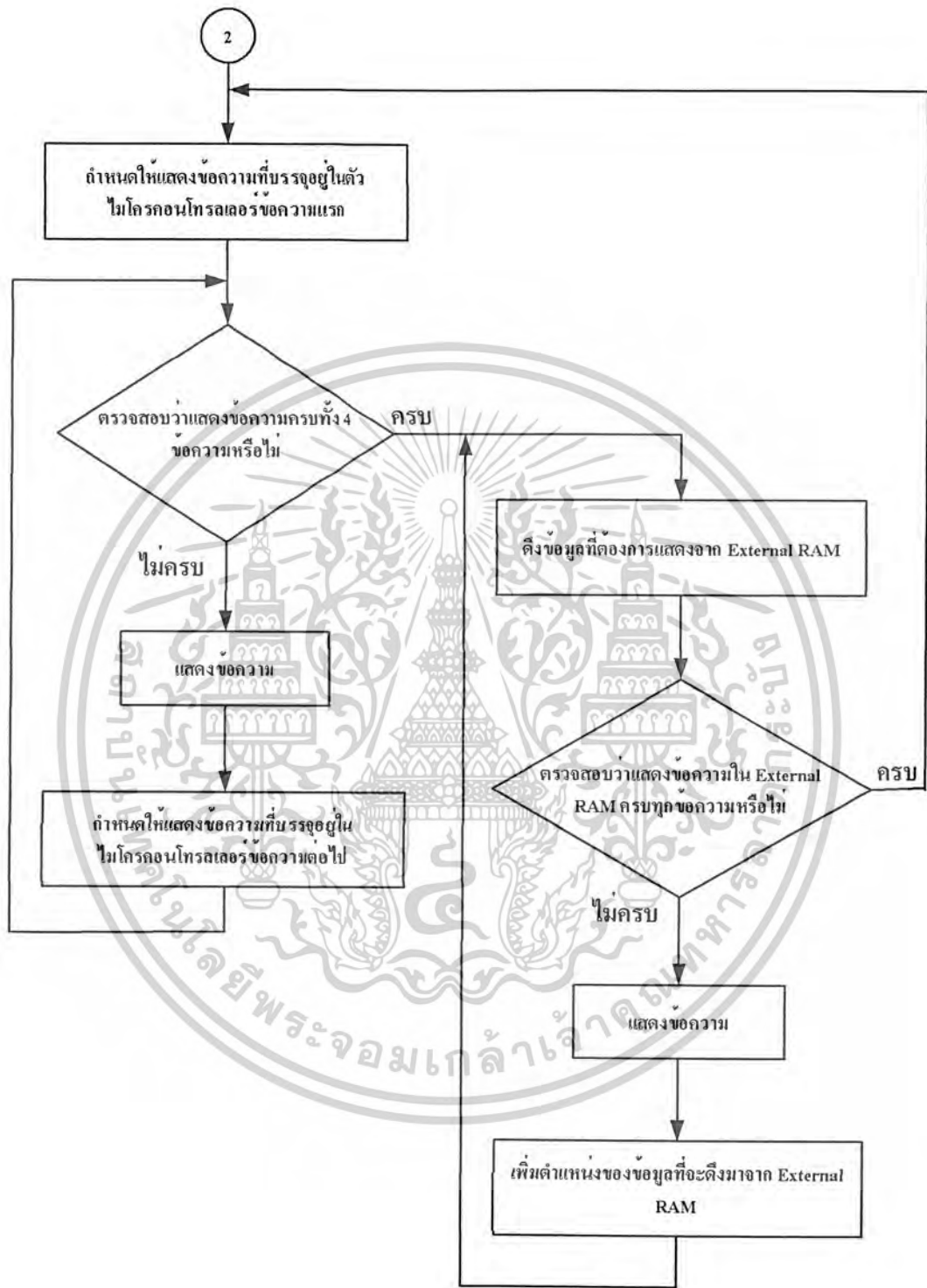
รูปที่ 5d Work Flow แสดงการทำงานของ Visual Basic (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



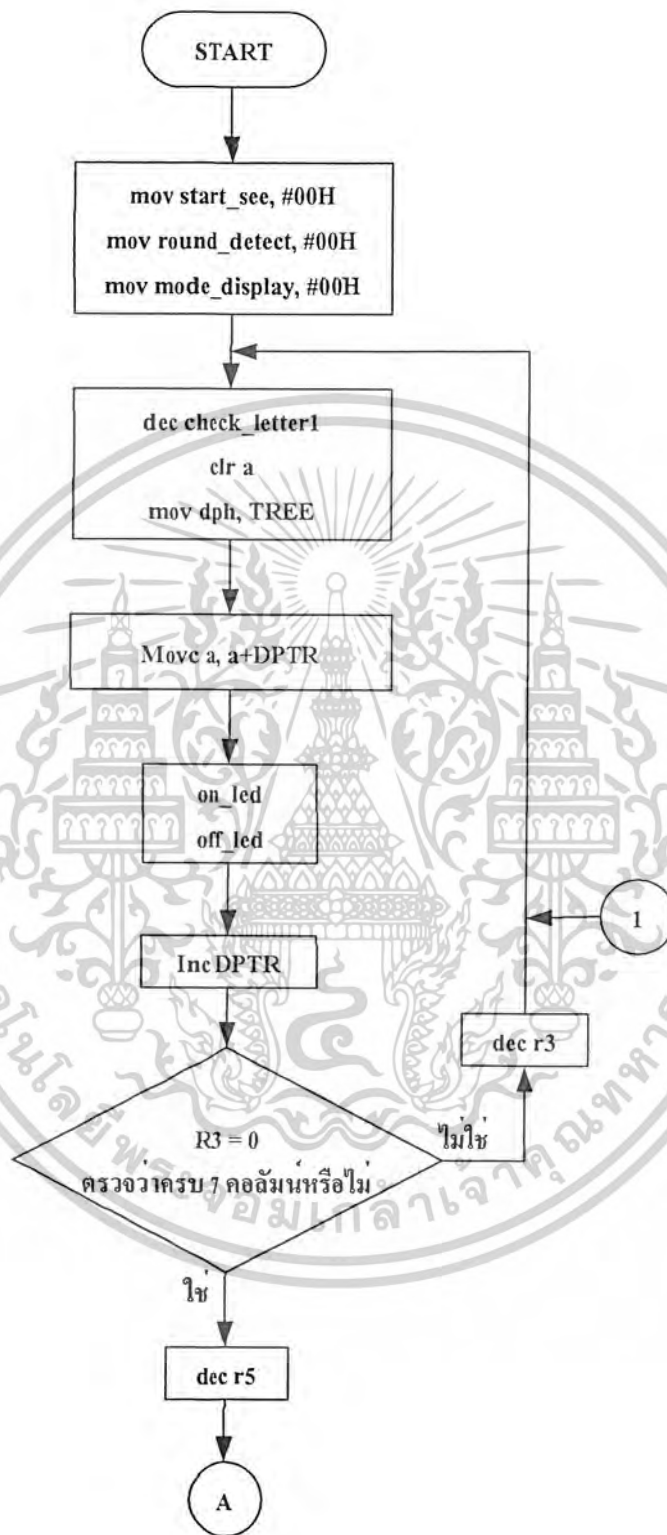
รูปที่ 5c Work Flow แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



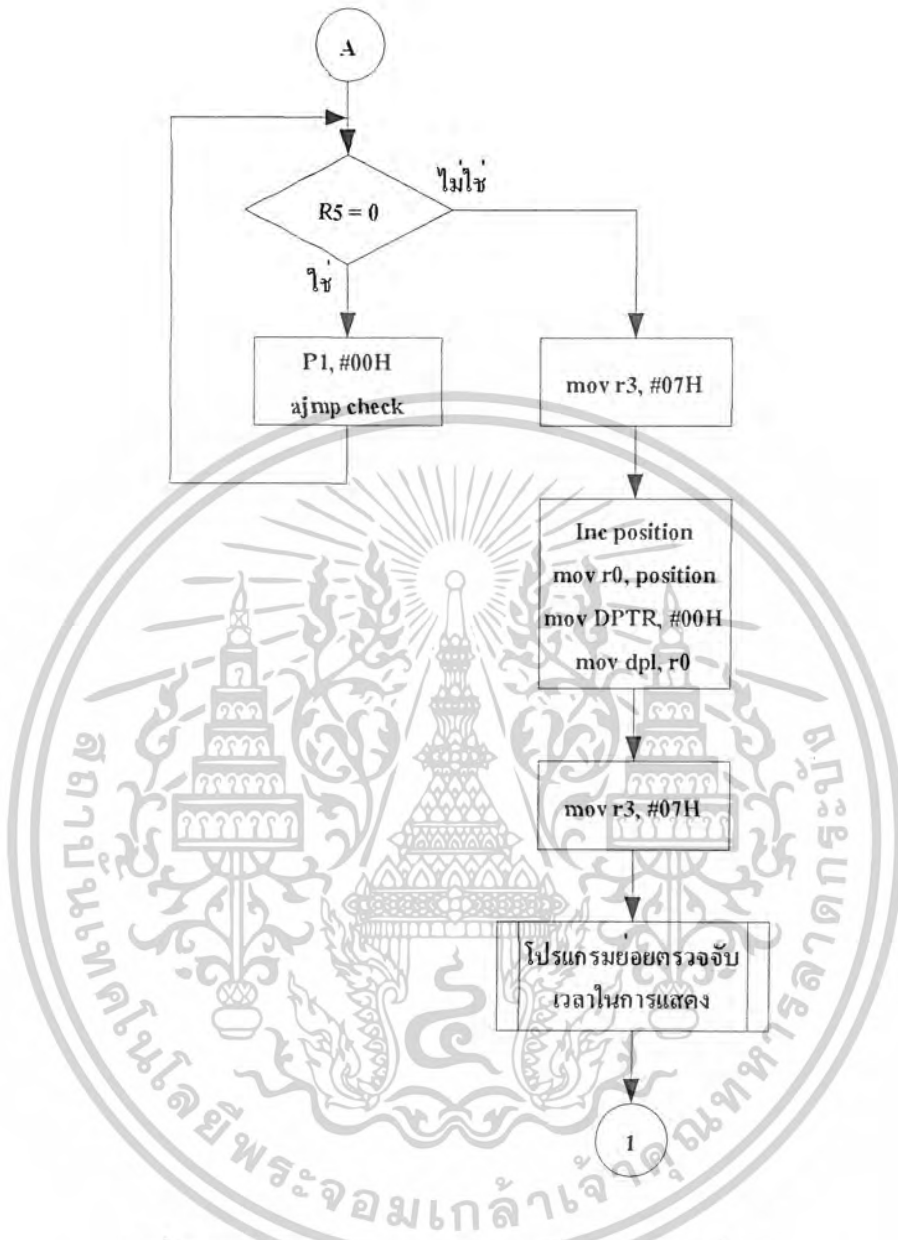
รูปที่ 5f Work Flow แสดงการทำงานของ โปรแกรมหลัก(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



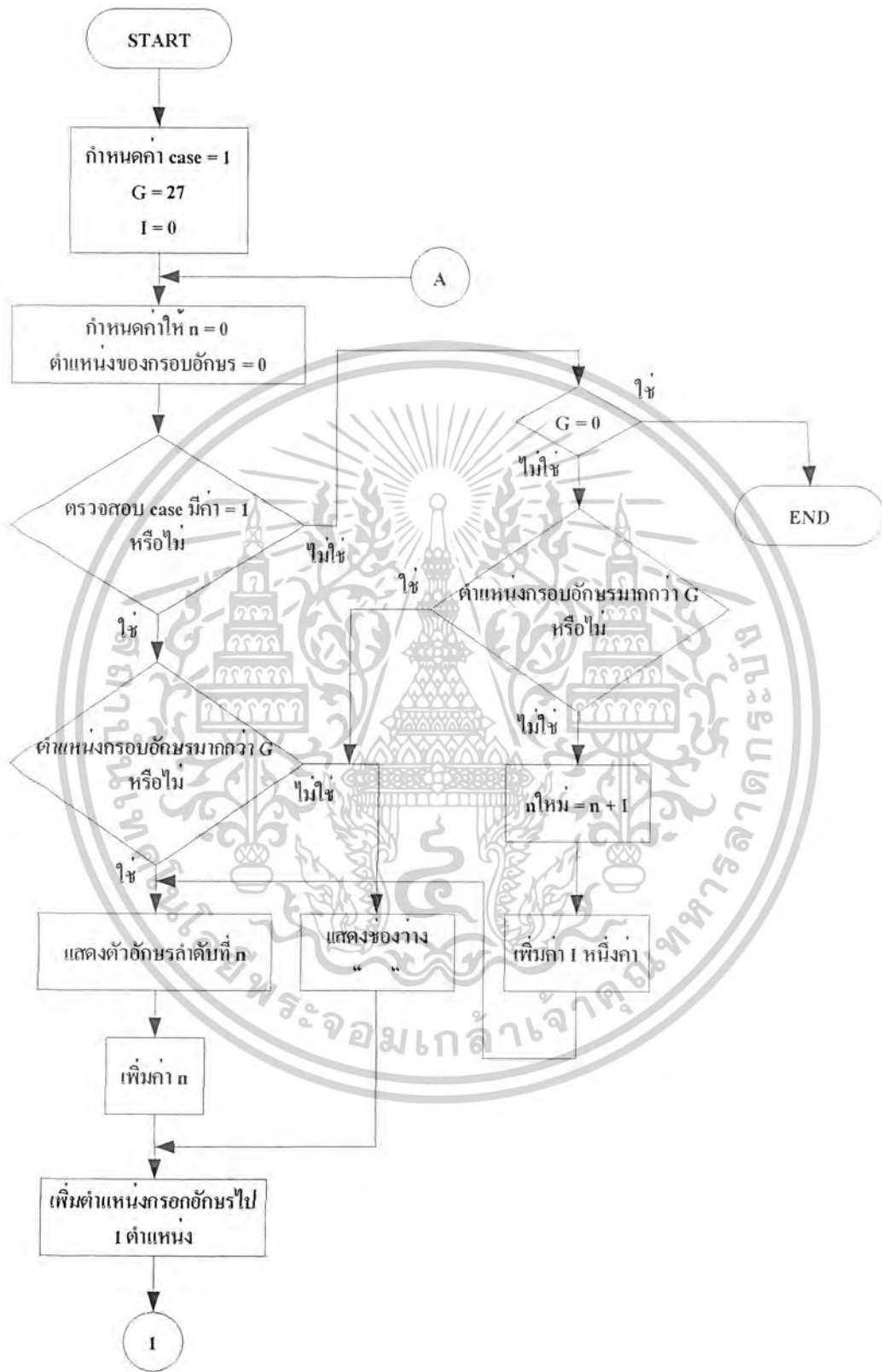
รูปที่ 5g Work Flow แสดงการทำงานของโมดอัครหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



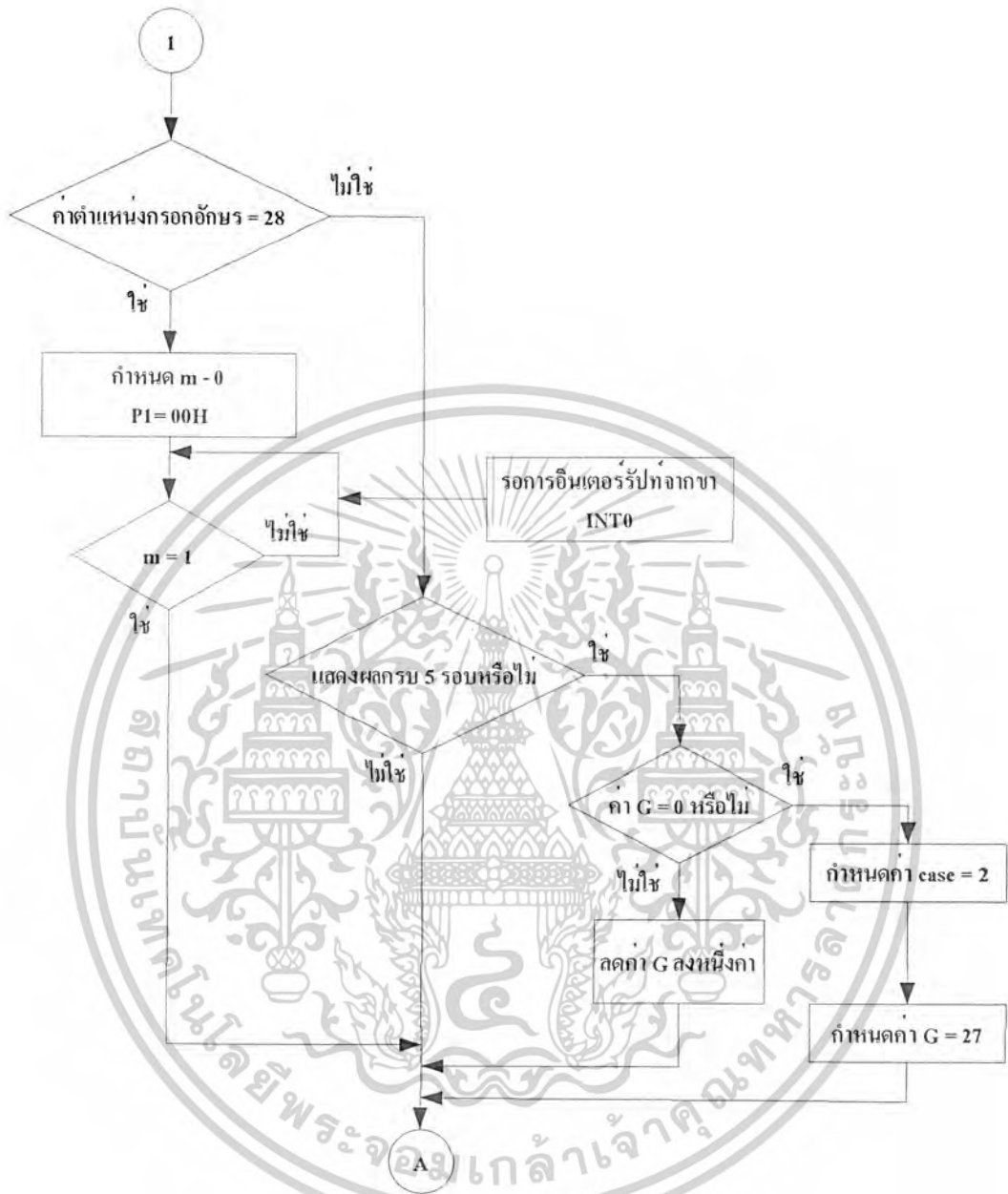
รูปที่ 5h Work Flow แสดงการทำงานของโหมคอักขรหนึ่ง(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



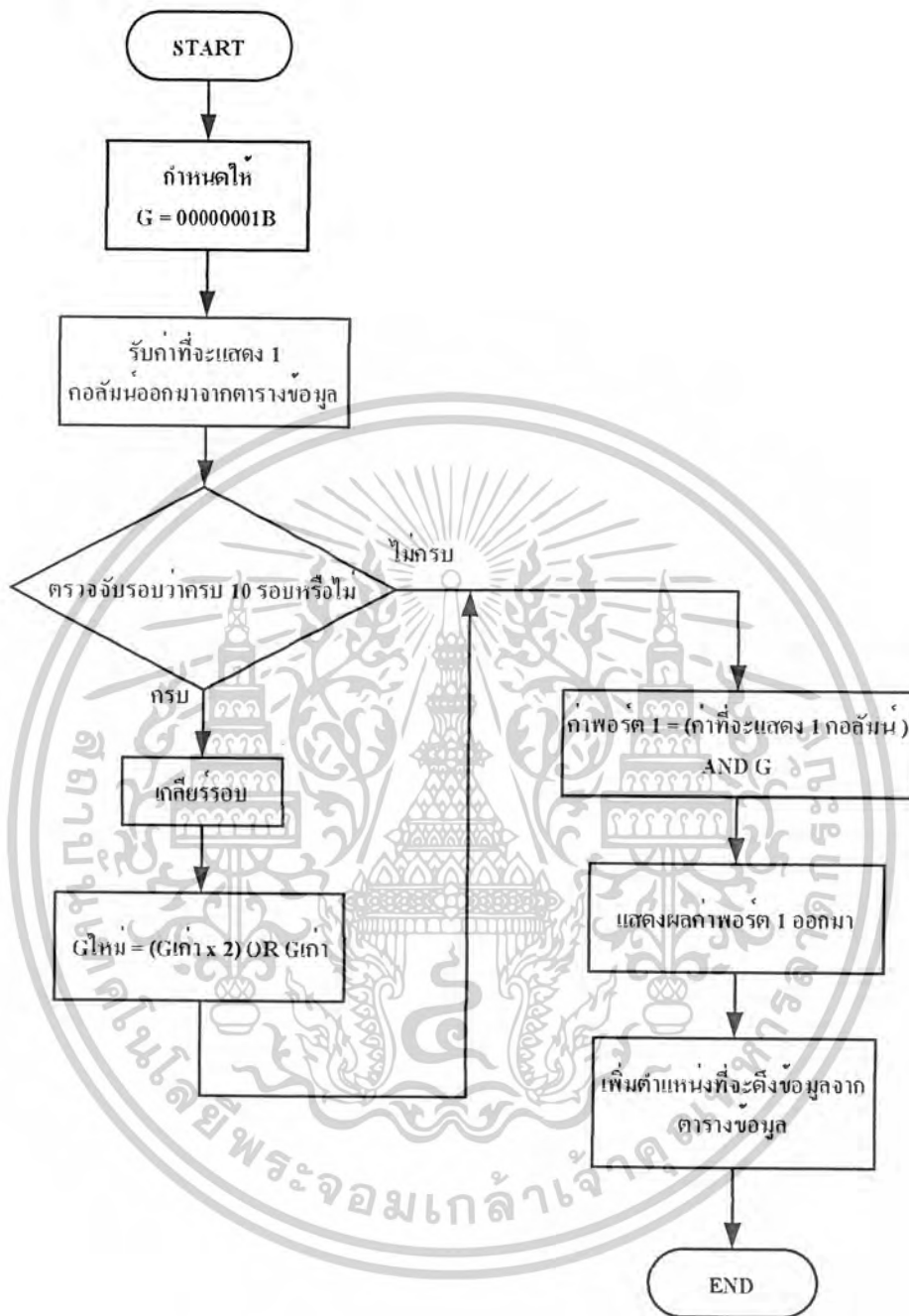
รูปที่ 5i Work Flow แสดงการทำงานของโหมคอักษรเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5j Work Flow แสดงการทำงานของโหมค็อักษรเดือน(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5k Work Flow แสดงการทำงานของ โหมดอักษรรูปภาพที่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 51 Work flow แสดงวิธีการที่ใช้ในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

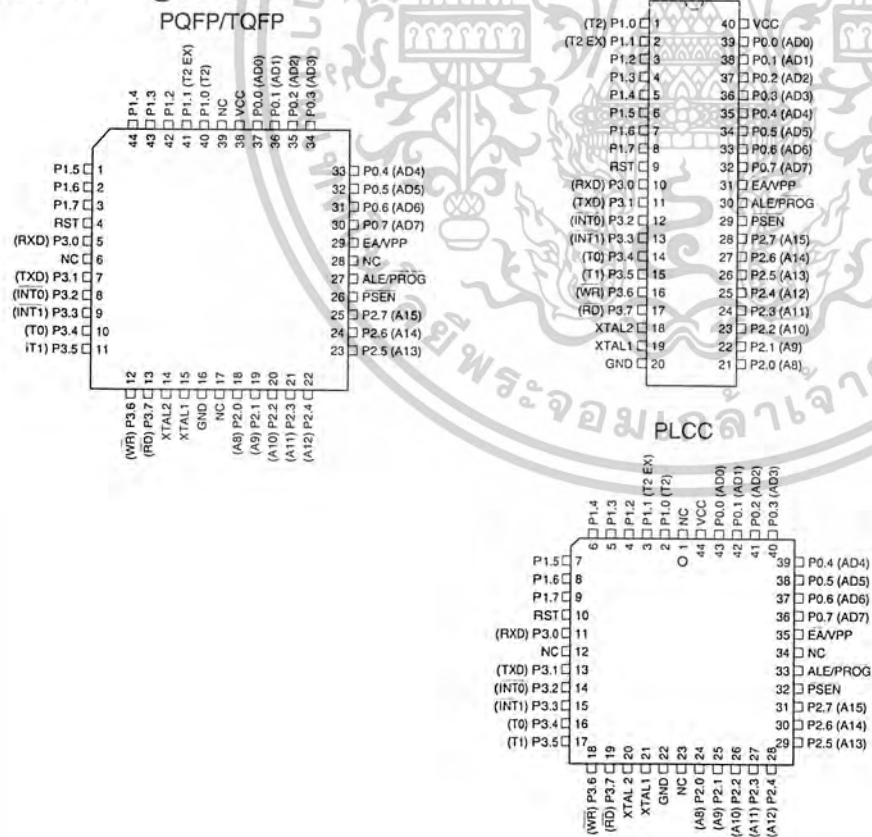
## Features

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

## Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K 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 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

## Pin Configurations



## 8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

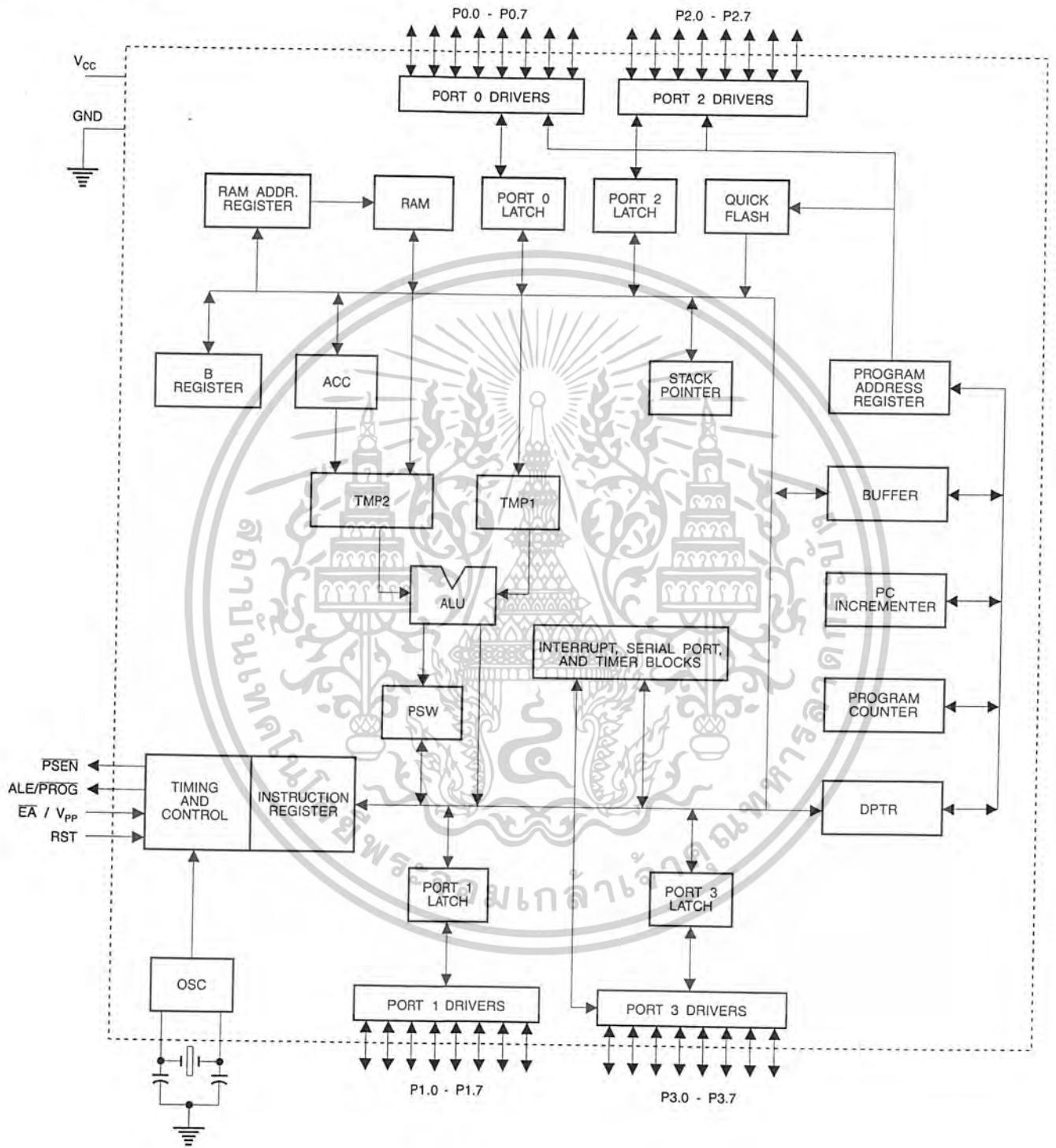
## AT89C52

Rev. 0313H-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full-duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Description

### VCC

Supply voltage.

### GND

Ground.

### Port 0

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

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

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

### Port 1

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

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

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

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

### Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

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

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

### Port 3

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

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

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

### RST

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

### ALE/PROG

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

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external





timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

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

**PSEN**

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

When the AT89C52 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

**EA/VPP**

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

EA should be strapped to VCC for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (VPP) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

**XTAL1**

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

**XTAL2**

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TLO 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

**AT89C52**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke

new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

**Timer 2 Registers** Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

**Interrupt Registers** The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

**Table 2. T2CON – Timer/Counter 2 Control Register**

T2CON Address = 0C8H					Reset Value = 0000 0000B			
Bit Addressable								
Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2
	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/T2	Timer or counter select for Timer 2. C/T2 = 0 for timer function. C/T2 = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/RL2	Capture/Reload select. CP/RL2 = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/RL2 = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

## Data Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The upper 128 bytes occupy a parallel address space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction

specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

## Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

## Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit  $C/\overline{T2}$  in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK +TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external

input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

## Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

## Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Figure 1. Timer in Capture Mode

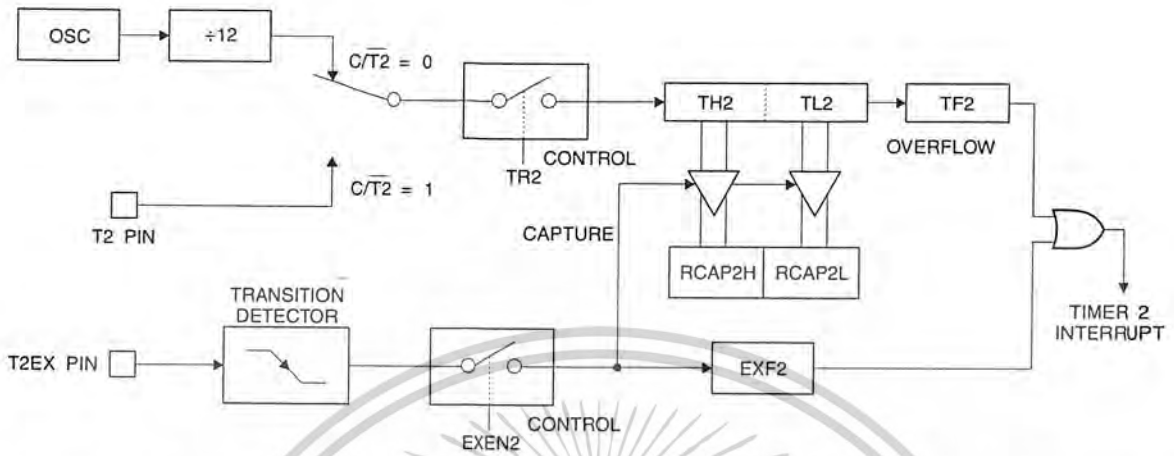


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in Timer in Capture Mode RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled. Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls

the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

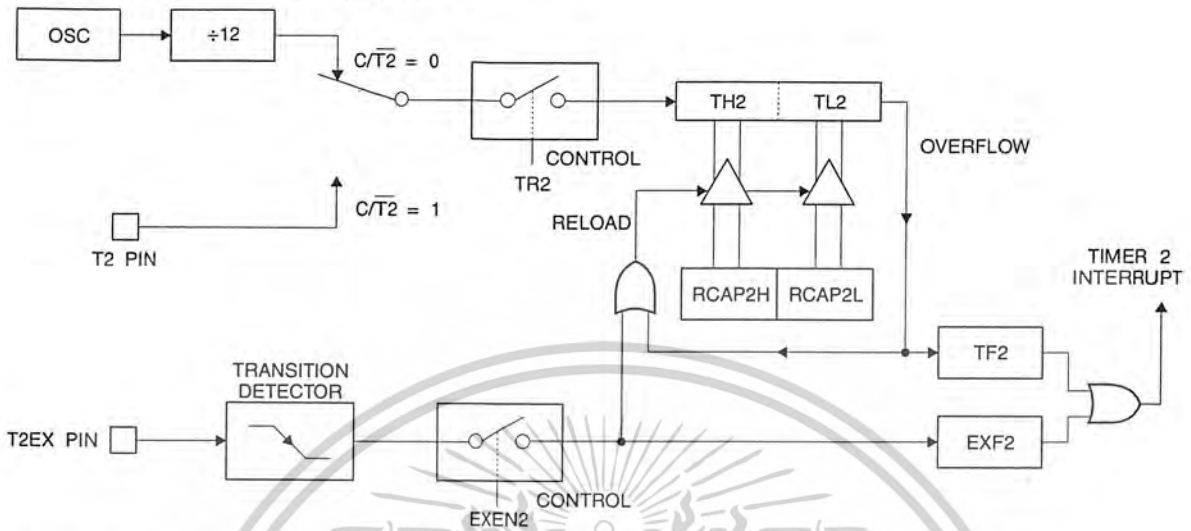


Table 4. T2MOD – Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H								Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable									
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN	

Symbol	Function
-	Not implemented, reserved for future
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.

Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

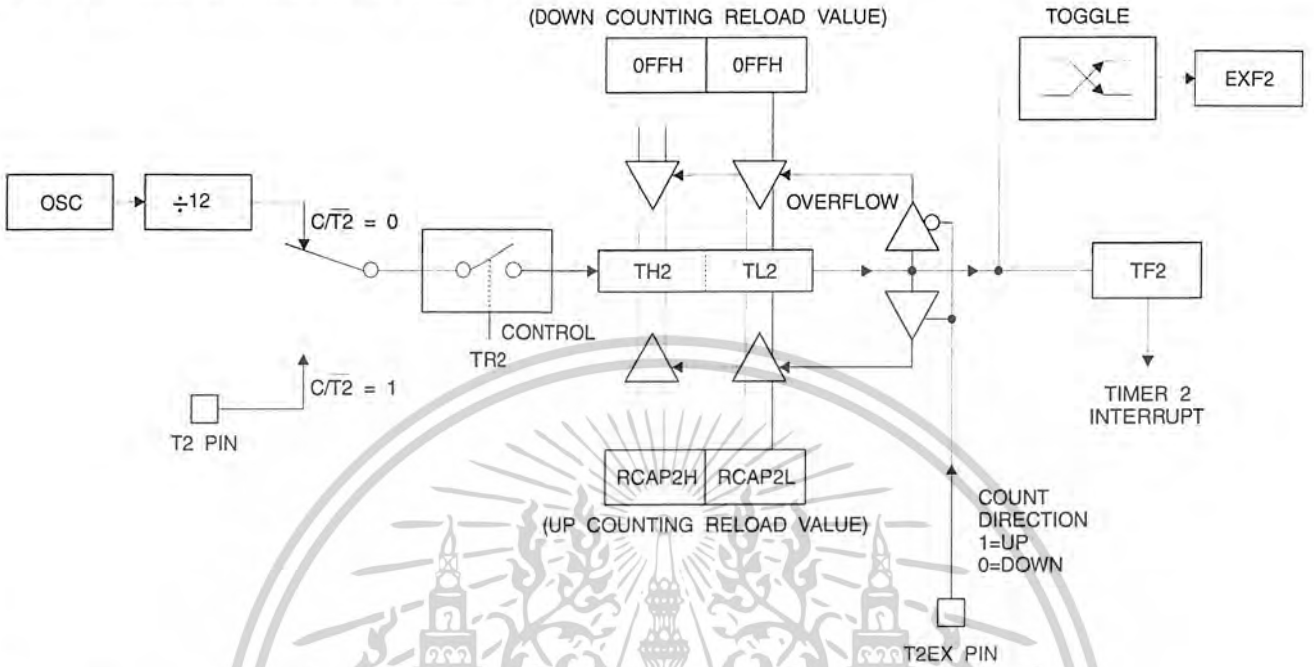
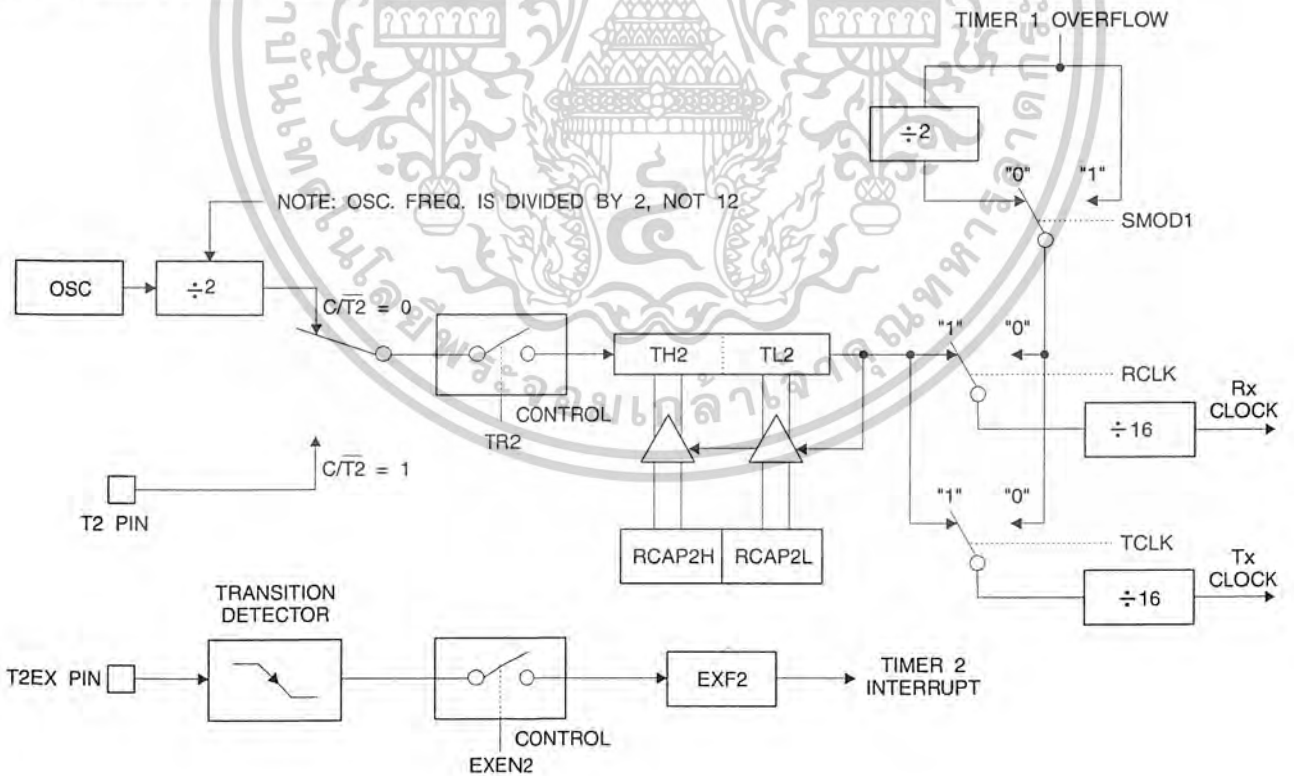


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



## Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation (CP/T2 = 0). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

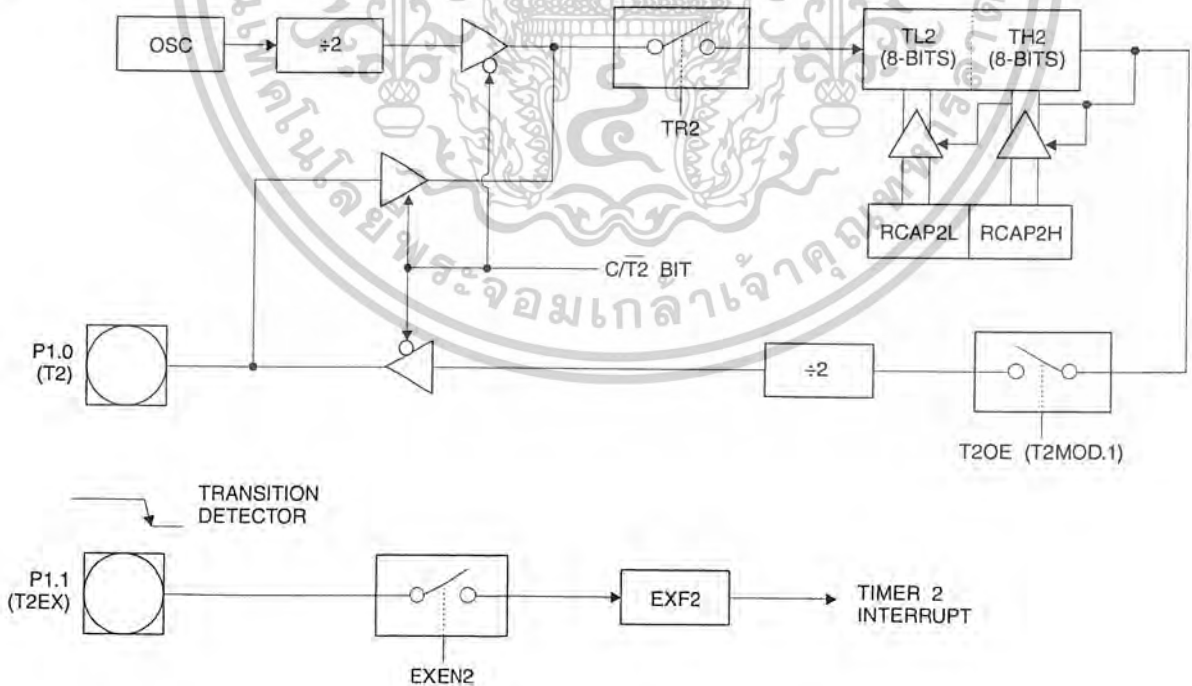
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running (TR2 = 1) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode



### Programmable Clock Out

A 50% duty cycle clock can be programmed to come out on P1.0, as shown in Figure 5. This pin, besides being a regular I/O pin, has two alternate functions. It can be programmed to input the external clock for Timer/Counter 2 or to output a 50% duty cycle clock ranging from 61 Hz to 4 MHz at a 16 MHz operating frequency.

To configure the Timer/Counter 2 as a clock generator, bit C/T2 (T2CON.1) must be cleared and bit T2OE (T2MOD.1) must be set. Bit TR2 (T2CON.2) starts and stops the timer.

The clock-out frequency depends on the oscillator frequency and the reload value of Timer 2 capture registers (RCAP2H, RCAP2L), as shown in the following equation.

$$\text{Clock-Out Frequency} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{4 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

In the clock-out mode, Timer 2 roll-overs will not generate an interrupt. This behavior is similar to when Timer 2 is used as a baud-rate generator. It is possible to use Timer 2 as a baud-rate generator and a clock generator simultaneously. Note, however, that the baud-rate and clock-out frequencies cannot be determined independently from one another since they both use RCAP2H and RCAP2L.

### UART

The UART in the AT89C52 operates the same way as the UART in the AT89C51.

### Interrupts

The AT89C52 has a total of six interrupt vectors: two external interrupts (INT0 and INT1), three timer interrupts (Timers 0, 1, and 2), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 6.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89C51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

Timer 2 interrupt is generated by the logical OR of bits TF2 and EXF2 in register T2CON. Neither of these flags is cleared by hardware when the service routine is vectored to. In fact, the service routine may have to determine whether it was TF2 or EXF2 that generated the interrupt, and that bit will have to be cleared in software.

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However,

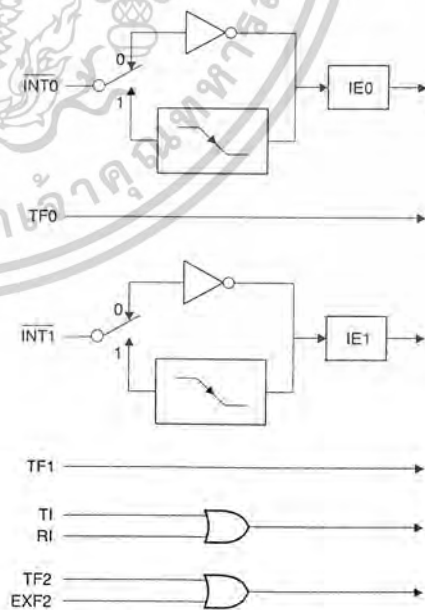
the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

Table 5. Interrupt Enable (IE) Register

(MSB)	EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	(LSB)
Enable Bit = 1 enables the interrupt.									
Enable Bit = 0 disables the interrupt.									

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
-	IE.6	Reserved.
ET2	IE.5	Timer 2 interrupt enable bit.
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit.
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit.
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit.
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit.
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit.
User software should never write 1s to unimplemented bits, because they may be used in future AT89 products.		

Figure 6. Interrupt Sources



## Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 7. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 8. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

## Idle Mode

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

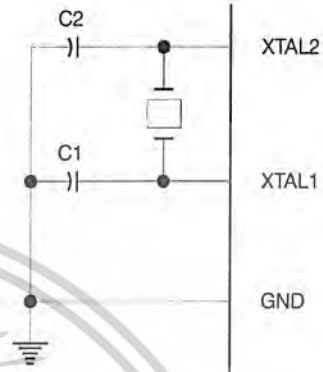
Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is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

## Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before  $V_{CC}$

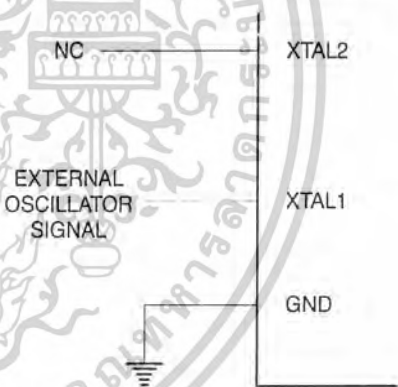
is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note:  $C1, C2 = 30 \text{ pF} \pm 10 \text{ pF}$  for Crystals  
 $= 40 \text{ pF} \pm 10 \text{ pF}$  for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



## Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

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

## Program Memory Lock Bits

The AT89C52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

## Lock Bit Protection Modes

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

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

## Programming the Flash

The AT89C52 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage ( $V_{CC}$ ) program enable signal. The Low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C52 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C52 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx - 5 yyww

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = 05H

The AT89C52 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

**Programming Algorithm** Before programming the AT89C52, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 9 and Figure 10. To program the AT89C52, take the following steps.

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

**Data Polling** The AT89C52 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

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

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

**Chip Erase** The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all 1s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be reprogrammed.





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

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 52H indicates 89C52
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

## Programming Interface

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

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

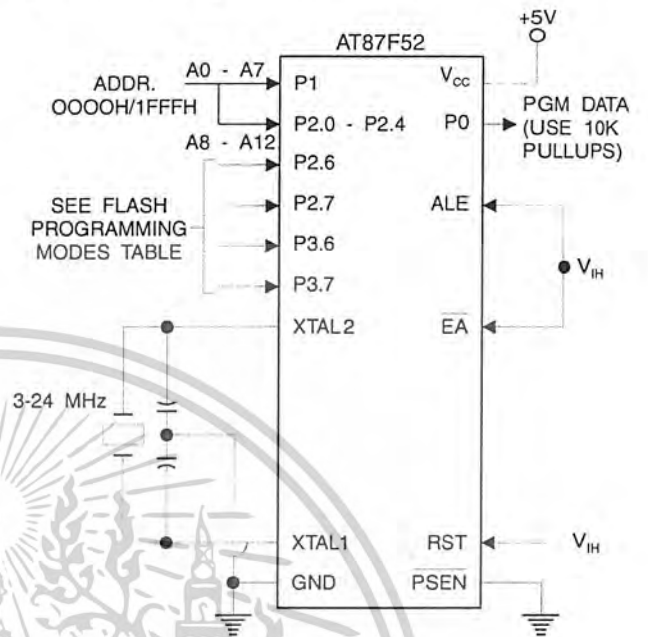
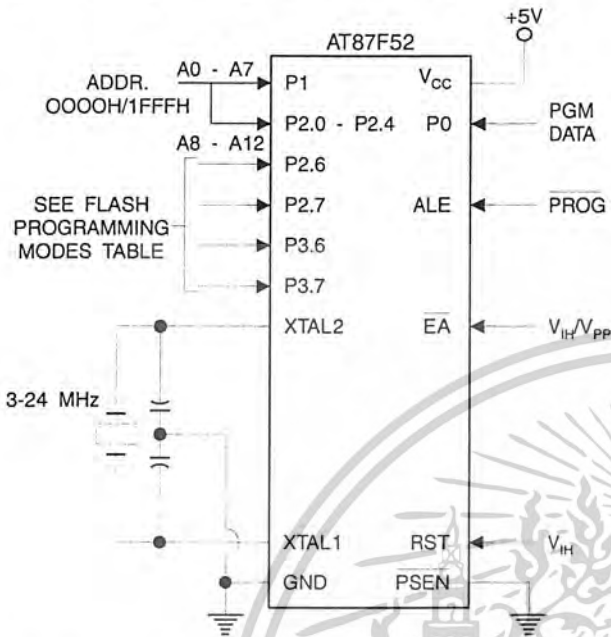
## Flash Programming Modes

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

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

**Figure 9.** Programming the Flash Memory

**Figure 10.** Verifying the Flash Memory



## Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}, V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

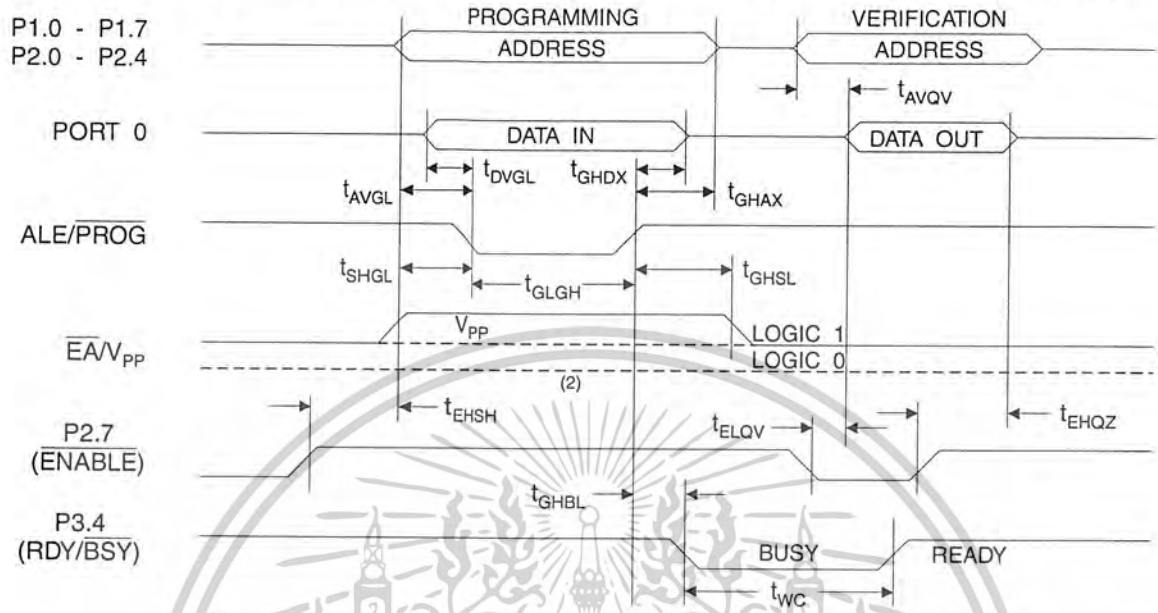
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
$t_{AVGL}$	Address Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHAX}$	Address Hold after $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$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

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

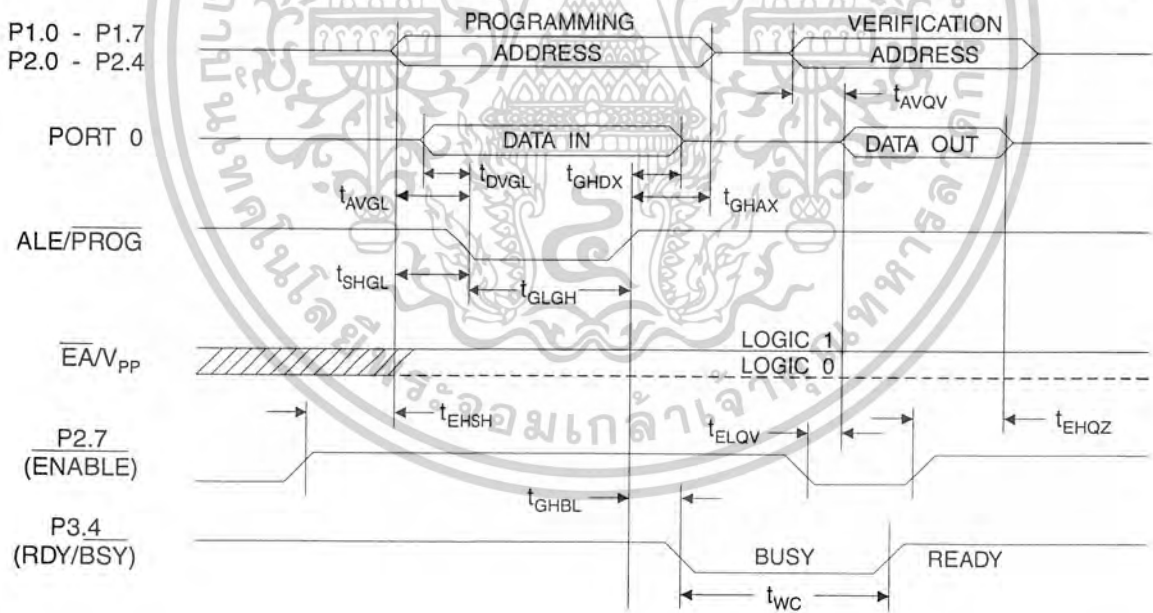


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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



## Absolute Maximum Ratings\*

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

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

## DC Characteristics

The values shown in this table are valid for  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  and  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ , unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$ )	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IL1}$	Input Low-voltage ( $\bar{E}A$ )		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
$V_{IH}$	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH1}$	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{OL}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = 60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$V_{OH1}$	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$I_{IL}$	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$ )	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	$\text{mA}$
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	$\text{mA}$
	Power-down Mode <sup>(1)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	$\mu\text{A}$

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:

Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 10 mA

Maximum  $I_{OL}$  per 8-bit port:

Port 0: 26 mA      Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 71 mA

If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum  $V_{CC}$  for Power-down is 2V.



## AC Characteristics

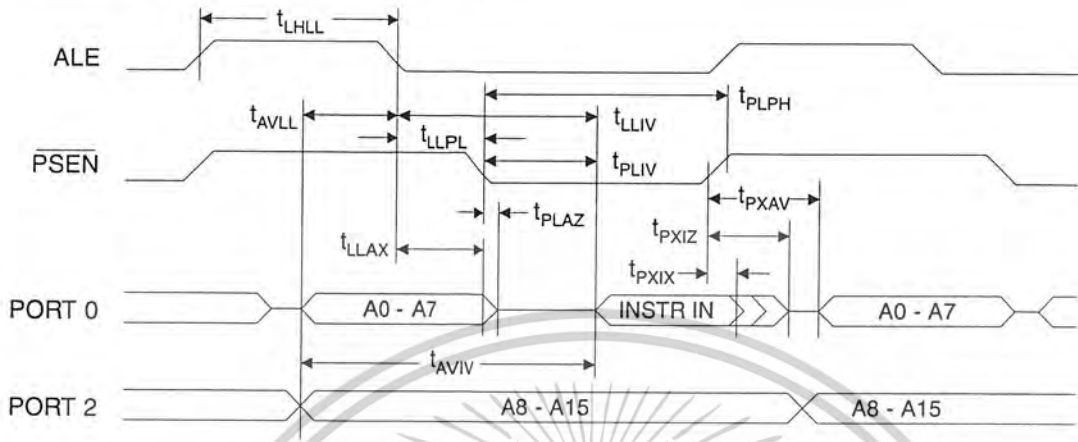
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ , and  $\overline{\text{PSEN}}$  = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

### External Program and Data Memory Characteristics

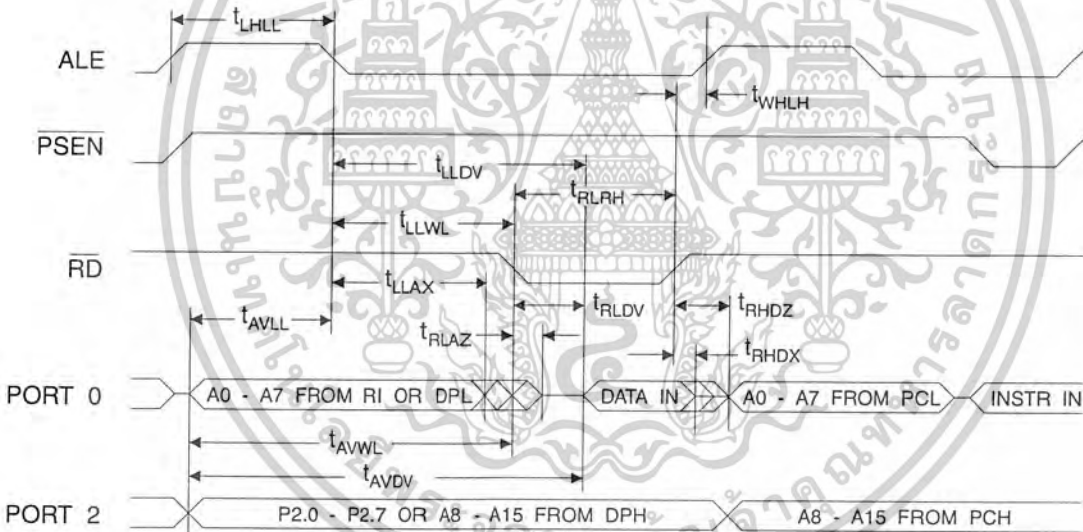
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
$t_{\text{LHLL}}$	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
$t_{\text{AVLL}}$	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
$t_{\text{LLAX}}$	Address Hold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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

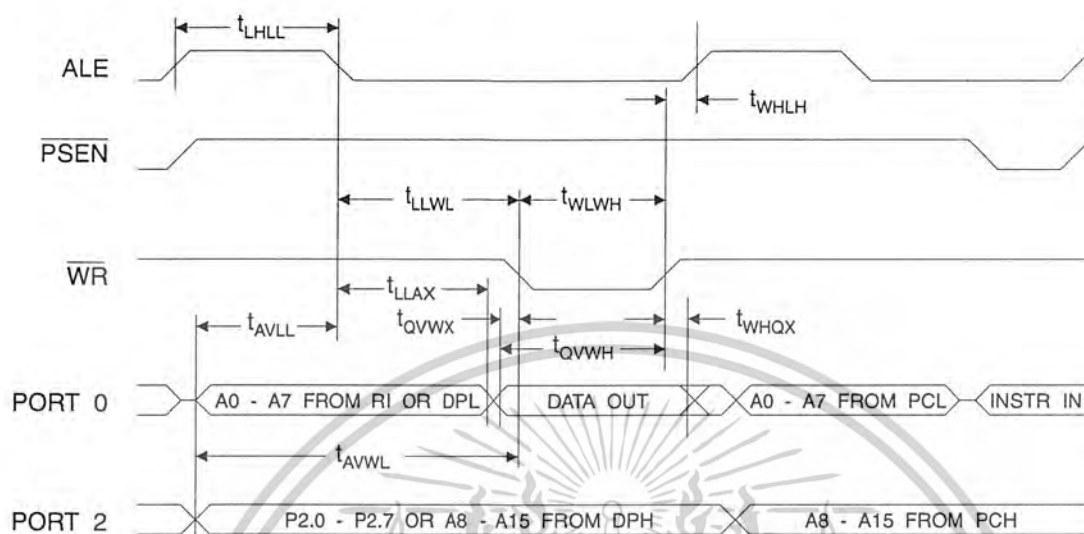
External Program Memory Read Cycle



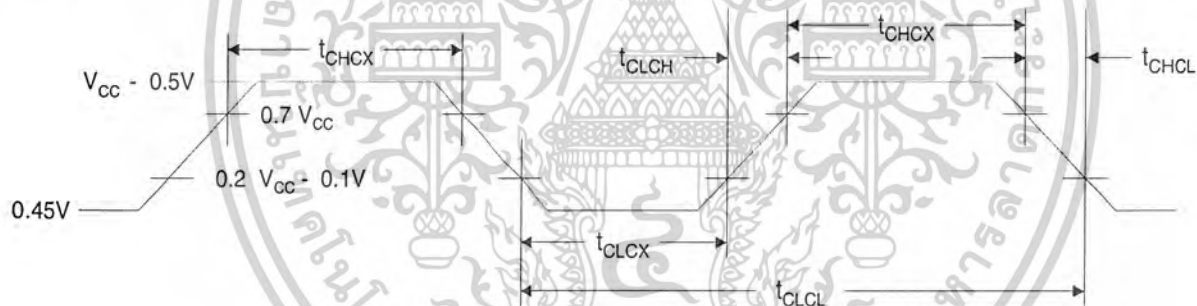
External Data Memory Read Cycle



## External Data Memory Write Cycle



## External Clock Drive Waveforms



## External Clock Drive

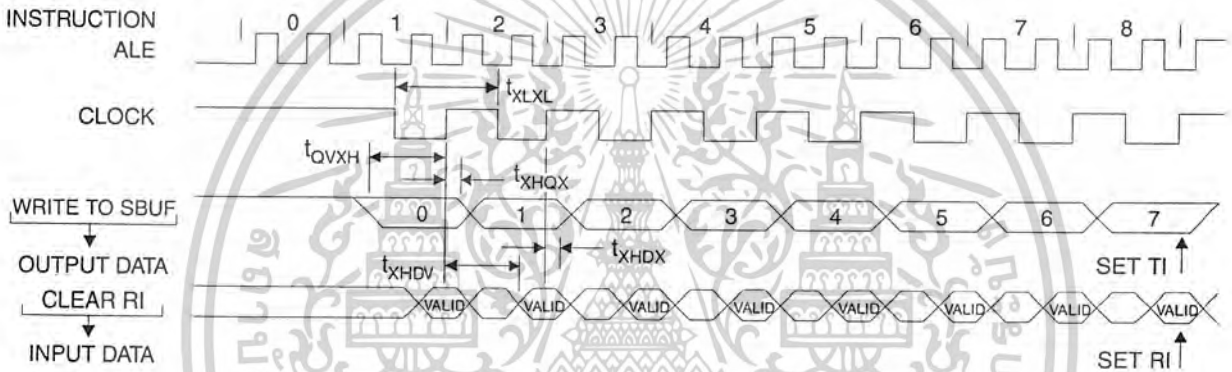
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
$t_{CLCL}$	Clock Period	41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	15		ns
$t_{CLCH}$	Rise Time		20	ns
$t_{CHCL}$	Fall Time		20	ns

**Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions**

The values in this table are valid for  $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$  and Load Capacitance = 80 pF.

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

**Shift Register Mode Timing Waveforms**



**AC Testing Input/Output Waveforms<sup>(1)</sup>**

**Float Waveforms<sup>(1)</sup>**



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

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





## Ordering Information

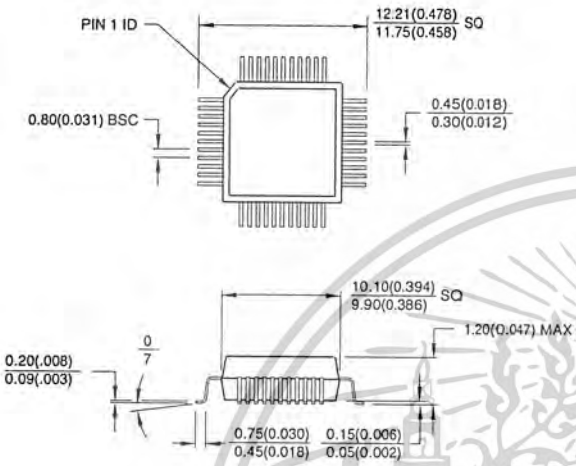
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-12JC	44J		
		AT89C52-12PC	40P6		
		AT89C52-12QC	44Q		
			AT89C52-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-12JI	44J	
			AT89C52-12PI	40P6	
			AT89C52-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-16JC	44J		
		AT89C52-16PC	40P6		
		AT89C52-16QC	44Q		
			AT89C52-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-16JI	44J	
			AT89C52-16PI	40P6	
			AT89C52-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C52-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-20JC	44J		
		AT89C52-20PC	40P6		
		AT89C52-20QC	44Q		
			AT89C52-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-20JI	44J	
			AT89C52-20PI	40P6	
			AT89C52-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C52-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-24JC	44J		
		AT89C52-24PC	40P6		
		AT89C52-24QC	44Q		
			AT89C52-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-24JI	44J	
			AT89C52-24PI	40P6	
			AT89C52-24QI	44Q	

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

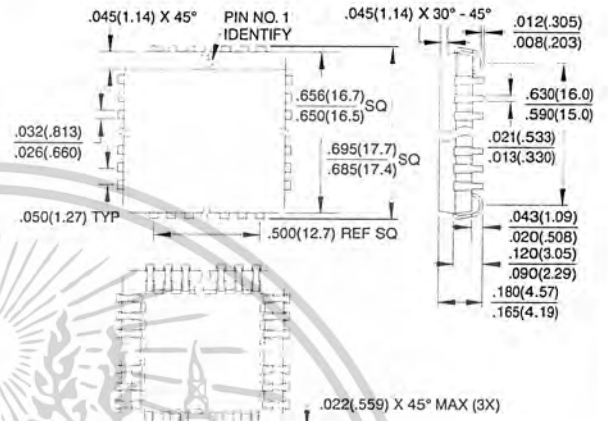
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packaging Information

**44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)**  
 Dimensions in Millimeters and (Inches)\*  
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

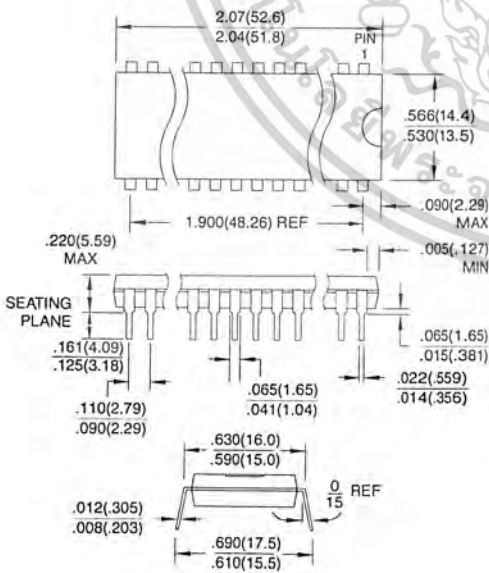


**44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)**  
 Dimensions in Inches and (Millimeters)  
 JEDEC STANDARD MS-018 AC

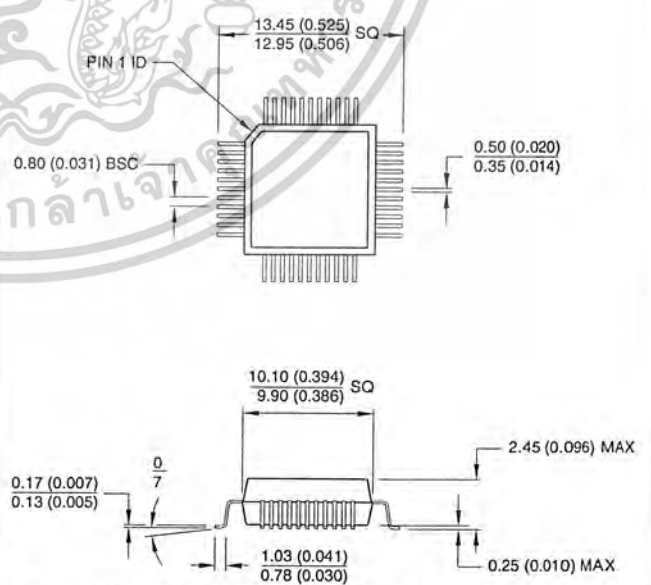


Controlling dimension: millimeters

**40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)**  
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



**44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)**  
 Dimensions in Millimeters and (Inches)\*  
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Atmel Headquarters

**Corporate Headquarters**  
2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131  
TEL (408) 441-0311  
FAX (408) 487-2600

## Europe

Atmel U.K., Ltd.  
Coliseum Business Centre  
Riverside Way  
Camberley, Surrey GU15 3YL  
England  
TEL (44) 1276-686-677  
FAX (44) 1276-686-697

## Asia

Atmel Asia, Ltd.  
Room 1219  
Chinachem Golden Plaza  
77 Mody Road Tsimhatsui  
East Kowloon  
Hong Kong  
TEL (852) 2721-9778  
FAX (852) 2722-1369

## Japan

Atmel Japan K.K.  
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.  
1-24-8 Shinkawa  
Chuo-ku, Tokyo 104-0033  
Japan  
TEL (81) 3-3523-3551  
FAX (81) 3-3523-7581

## Atmel Operations

**Atmel Colorado Springs**  
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906  
TEL (719) 576-3300  
FAX (719) 540-1759

## Atmel Rousset

Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex  
France  
TEL (33) 4-4253-6000  
FAX (33) 4-4253-6001

## Fax-on-Demand

North America:  
1-(800) 292-8635  
International:  
1-(408) 441-0732

## e-mail

literature@atmel.com

## Web Site

<http://www.atmel.com>

## BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 1999.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0313H-02/00/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Octal buffer/line driver; 3-state

## 74HC/HCT541

## FEATURES

- Non-inverting outputs
- Output capability: bus driver
- $I_{CC}$  category: MSI

The 74HC/HCT541 are octal non-inverting buffer/line drivers with 3-state outputs. The 3-state outputs are controlled by the output enable inputs  $\overline{OE}_1$  and  $\overline{OE}_2$ . A HIGH on  $\overline{OE}_n$  causes the outputs to assume a high impedance OFF-state.

The "541" is identical to the "540" but has non-inverting outputs.

## GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT541 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

## QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V;  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_r = t_f = 6\text{ ns}$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
$t_{PHL}/t_{PLH}$	propagation delay $A_n$ to $Y_n$	$C_L = 15\text{ pF}$ ; $V_{CC} = 5\text{ V}$	10	12	ns
$C_i$	input capacitance		3.5	3.5	pF
$C_{PD}$	power dissipation capacitance per buffer	notes 1 and 2	37	39	pF

## Notes

1.  $C_{PD}$  is used to determine the dynamic power dissipation ( $P_D$  in  $\mu\text{W}$ ):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

$f_i$  = input frequency in MHz

$f_o$  = output frequency in MHz

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$  = sum of outputs

$C_L$  = output load capacitance in pF

$V_{CC}$  = supply voltage in V

2. For HC the condition is  $V_i = \text{GND to } V_{CC}$   
For HCT the condition is  $V_i = \text{GND to } V_{CC} - 1.5\text{ V}$

## ORDERING INFORMATION

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information".

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 19	$\overline{OE}_1, \overline{OE}_2$	output enable input (active LOW)
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	A <sub>0</sub> to A <sub>7</sub>	data inputs
10	GND	ground (0 V)
18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11	Y <sub>0</sub> to Y <sub>7</sub>	bus outputs
20	V <sub>CC</sub>	positive supply voltage

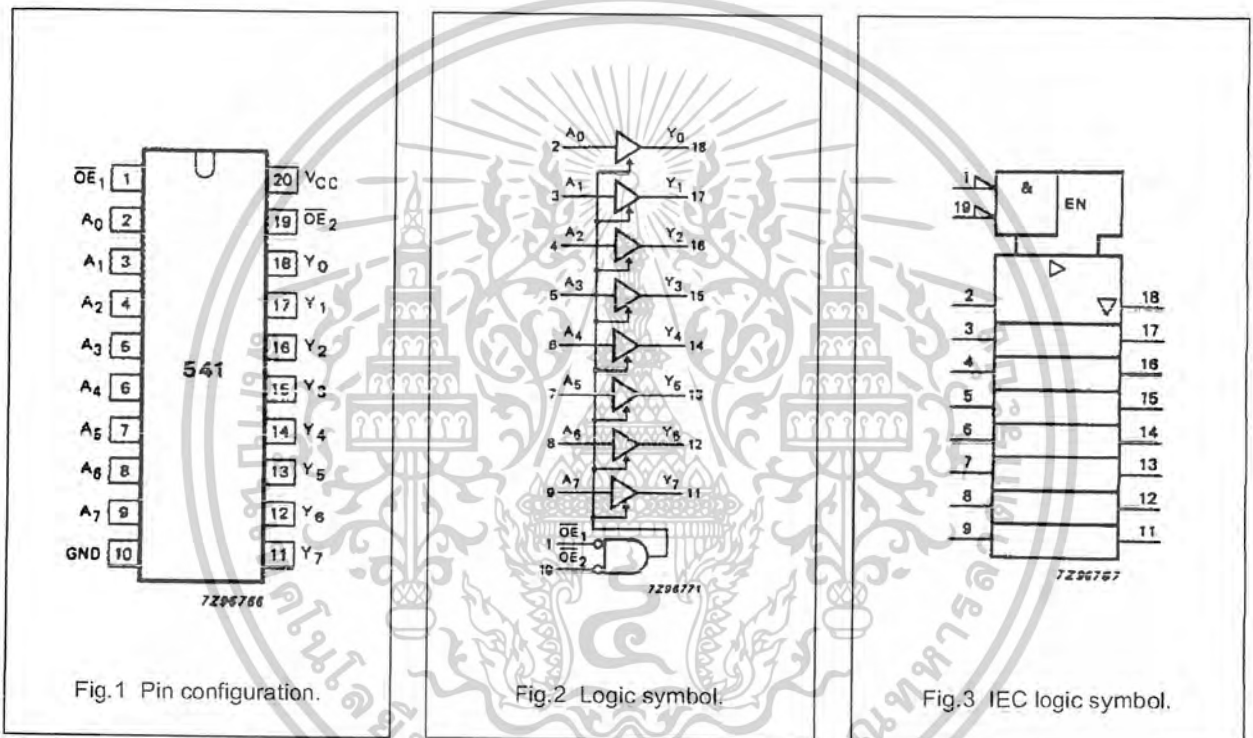


Fig. 1 Pin configuration.

Fig. 2 Logic symbol.

Fig. 3 IEC logic symbol.

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

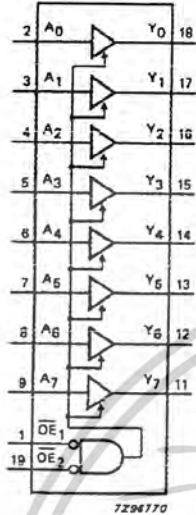


Fig.4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUT
$\overline{OE}_1$	$\overline{OE}_2$	A <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>
L	L	L	L
L	L	H	H
X	H	X	Z
H	X	X	Z

Notes

- 1. H = HIGH voltage level
- L = LOW voltage level
- X = don't care
- Z = high impedance OFF-state

7296170

7296170

EIGHT IDENTICAL CIRCUITS

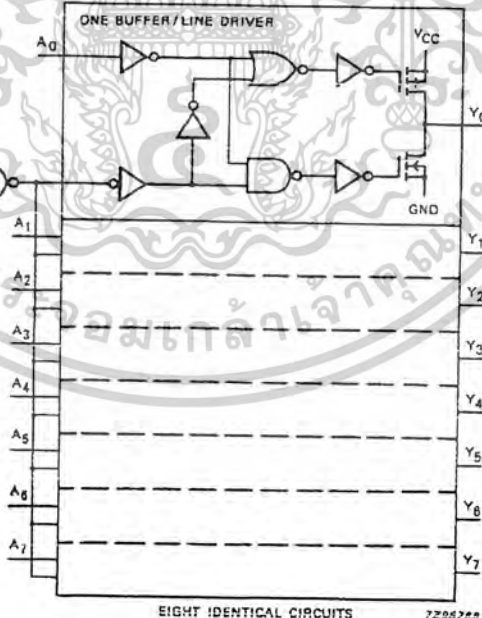


Fig.5 Logic diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Octal buffer/line driver; 3-state

## 74HC/HCT541

## DC CHARACTERISTICS FOR 74HC

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: bus driver

I<sub>CC</sub> category: MSI

## AC CHARACTERISTICS FOR 74HC

GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS	
		74HC							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS
		+25			-40 to +85		-40 to +125			
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.			
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay A <sub>n</sub> to Y <sub>n</sub>	33	115		145		175	ns	2.0	Fig.6
		12	23		29		35		4.5	
		10	20		25		30		6.0	
t <sub>PZH</sub> / t <sub>PZL</sub>	3-state output enable time OE to Y <sub>n</sub>	55	160		200		240	ns	2.0	Fig.7
		20	32		40		48		4.5	
		16	27		34		41		6.0	
t <sub>PHZ</sub> / t <sub>PLZ</sub>	3-state output disable time OE to Y <sub>n</sub>	61	160		200		240	ns	2.0	Fig.7
		22	32		40		48		4.5	
		18	27		34		41		6.0	
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time	14	60		75		90	ns	2.0	Fig.6
		5	12		15		18		4.5	
		4	10		13		15		6.0	

## Octal buffer/line driver; 3-state

## 74HC/HCT541

## DC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: bus driver

I<sub>CC</sub> category: MSI

## Note to HCT types

The value of additional quiescent supply current ( $\Delta I_{CC}$ ) for a unit load of 1 is given in the family specifications.

To determine  $\Delta I_{CC}$  per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
$\overline{OE}_1$	1.50
$\overline{OE}_2$	1.00
A <sub>n</sub>	0.70

## AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

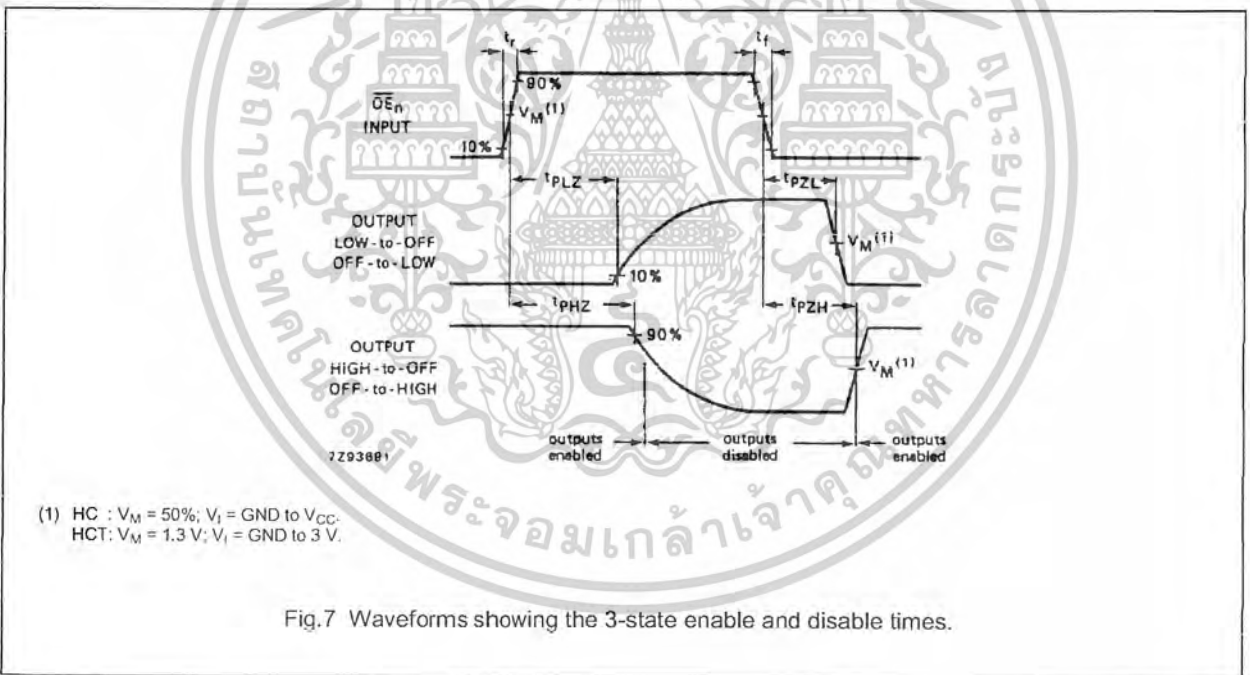
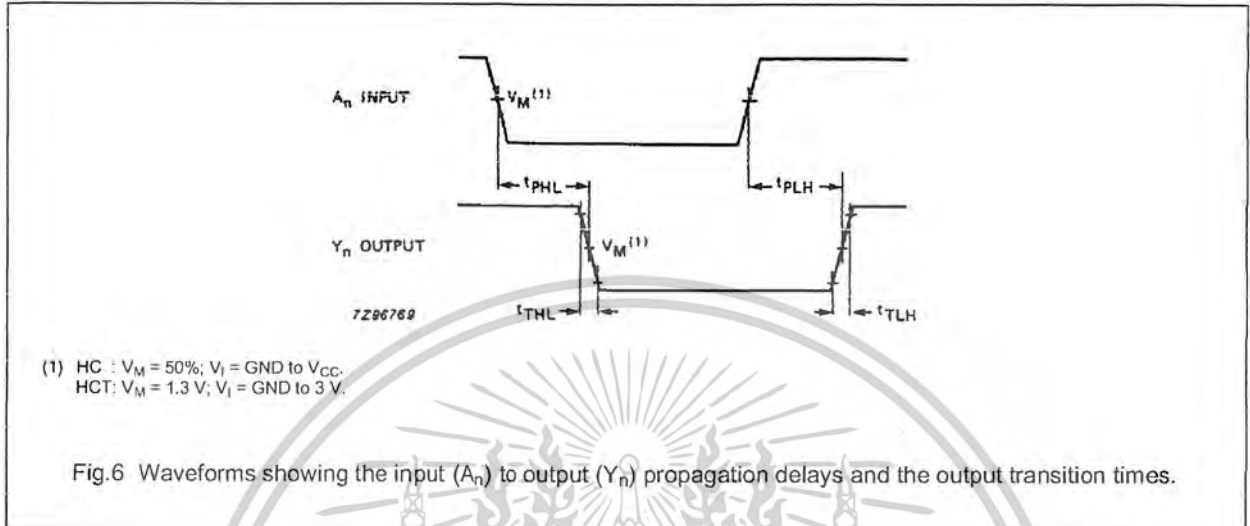
GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS	
		74HCT							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS
		+25		-40 to +85		-40 to +125				
min.	typ.	max.	min.	max.	min.	max.				
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay A <sub>n</sub> to Y <sub>n</sub>	15	28	35	42	ns	4.5	Fig.6		
t <sub>PZH</sub> / t <sub>PZL</sub>	3-state output enable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	21	35	44	53	ns	4.5	Fig.7		
t <sub>PHZ</sub> / t <sub>PLZ</sub>	3-state output disable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	21	35	44	53	ns	4.5	Fig.7		
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time	5	12	15	18	ns	4.5	Fig.6		

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

AC WAVEFORMS



PACKAGE OUTLINES

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# TAIWAN OASIS LED DATA SHEET (FOR INFRARED)

PART NO. : TOIR-50b94bCEa

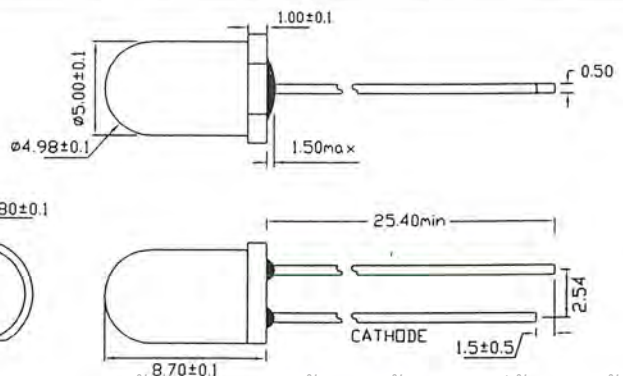
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS AT TA=25°C

PARAMETER	SYMBOL	DATA	UNIT
Forward Current	$I_{FM}$	100	mA
Peak Forward Current (duty=1:100, f=100KHZ)	$I_{FP}$	1000	mA
Reverse Voltage	$V_R$	6	V
Power Dissipation	$P_D$	150	mW
Operating Temperature Range		-25 to +85	°C
Storage Temperature Range		-30 to +85	°C
Lead Sold Temperature (1/10 Inch Below Seating Plane)		260°C for 3 sec.	

ELECTRICAL/OPTICAL CHARACTERISTICS AT TA=25°C

PARAMETER	SYMBOL	DATA	UNIT	TEST CONDITION
Radiated Output Power	$P_o(Typ.)$	12.0	mW	Distance: 10cm $I_F=50mA$ Detector Area: 1cm <sup>2</sup>
Forward Voltage	$V_F$	TYP: 1.25	V	$I_F=20mA$
		MAX: 1.45		
Wavelength	$\lambda_p$	940	nm	$I_F=20mA$
Spectrum Width of Half Value	$\Delta\lambda$	50	nm	$I_F=20mA$
Reverse Current	$I_R$	10	uA	$V_R=5V$
Full Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$	25	°	$I_F=20mA$
Lens		Water Clear		
Radiation Material		GaAs/GaAs		

## PACKAGE DIMENSIONS & INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากบริษัท

ไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนี้ และจะไม่มีผลบังคับใช้หากมีการแก้ไขโดยไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้า

DATE	01/10/01	SCALE	2.5:1	TOLERANCE	±0.25	DRAWN	李明	CHECKED
UNIT	M/M	SHEET NO.	1/2	DRAWING NO.	S-50b94bCEa-A	CUSTOMER		APPROVED

## Photo Modules for PCM Remote Control Systems

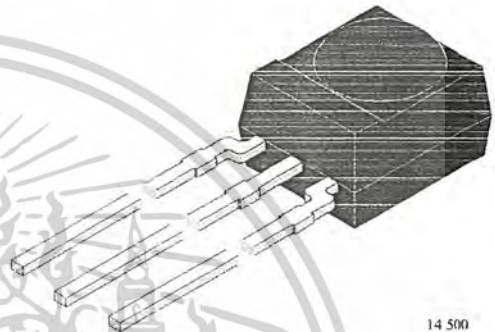
### Available types for different carrier frequencies

Type	fo	Type	fo
TSOP4830	30 kHz	TSOP4833	33 kHz
TSOP4836	36 kHz	TSOP4837	36.7 kHz
TSOP4838	38 kHz	TSOP4840	40 kHz
TSOP4856	56 kHz		

### Description

The TSOP48.. – series are miniaturized receivers for infrared remote control systems. PIN diode and preamplifier are assembled on lead frame, the epoxy package is designed as IR filter.

The demodulated output signal can directly be decoded by a microprocessor. TSOP48.. is the standard IR remote control receiver series, supporting all major transmission codes.

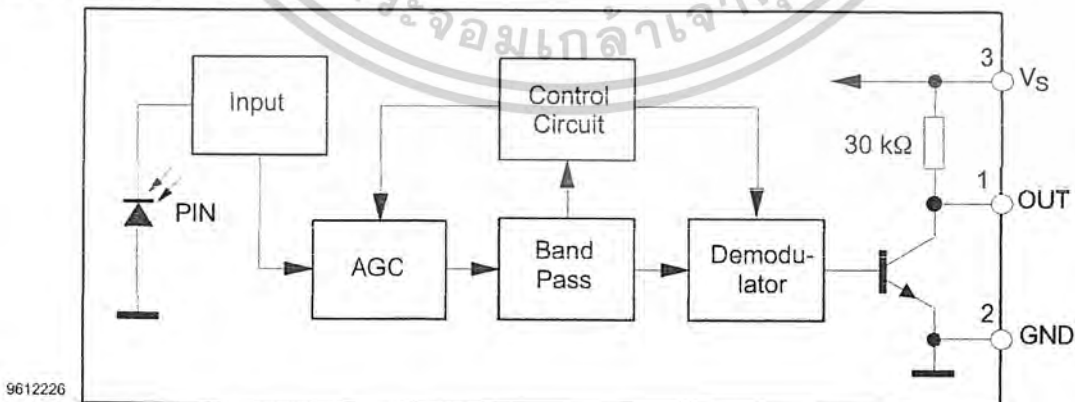


14 500

### Features

- Photo detector and preamplifier in one package
- Internal filter for PCM frequency
- Improved shielding against electrical field disturbance
- TTL and CMOS compatibility
- Output active low
- Low power consumption
- High immunity against ambient light
- Continuous data transmission possible (800 bit/s)
- Suitable burst length  $\geq 10$  cycles/burst

### Block Diagram



9612226

### Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

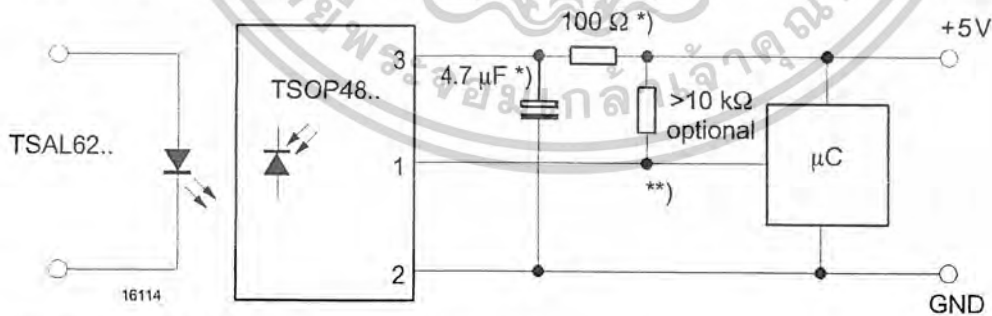
Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	(Pin 3)	$V_S$	-0.3...6.0	V
Supply Current	(Pin 3)	$I_S$	5	mA
Output Voltage	(Pin 1)	$V_O$	-0.3...6.0	V
Output Current	(Pin 1)	$I_O$	5	mA
Junction Temperature		$T_j$	100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range		$T_{stg}$	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range		$T_{amb}$	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Power Consumption	( $T_{amb} \leq 85^{\circ}\text{C}$ )	$P_{tot}$	50	mW
Soldering Temperature	$t \leq 10\text{ s}$ , 1 mm from case	$T_{sd}$	260	$^{\circ}\text{C}$

### Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current (Pin 3)	$V_S = 5\text{ V}$ , $E_V = 0$	$I_{SD}$	0.8	1.1	1.5	mA
	$V_S = 5\text{ V}$ , $E_V = 40\text{ klx}$ , sunlight	$I_{SH}$		1.4		mA
Supply Voltage (Pin 3)		$V_S$	4.5		5.5	V
Transmission Distance	$E_V = 0$ , test signal see fig.7, IR diode TSAL6200, $I_F = 250\text{ mA}$	$d$		35		m
Output Voltage Low (Pin 1)	$I_{OSL} = 0.5\text{ mA}$ , $E_e = 0.7\text{ mW/m}^2$	$V_{OSL}$			250	mV
Irradiance (30 – 40 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pi} - 5/f_o < t_{po} < t_{pi} + 6/f_o$ , test signal see fig.7	$E_{e\ min}$		0.2	0.4	$\text{mW/m}^2$
Irradiance (56 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pi} - 5/f_o < t_{po} < t_{pi} + 6/f_o$ , test signal see fig.7	$E_{e\ min}$		0.3	0.6	$\text{mW/m}^2$
Irradiance	$t_{pi} - 5/f_o < t_{po} < t_{pi} + 6/f_o$	$E_{e\ max}$	30			$\text{W/m}^2$
Directivity	Angle of half transmission distance	$\varphi_{1/2}$		$\pm 45$		deg

### Application Circuit



\*) recommended to suppress power supply disturbances

\*\*) The output voltage should not be hold continuously at a voltage below 3.3V by the external circuit.

### Suitable Data Format

The circuit of the TSOP48.. is designed in that way that unexpected output pulses due to noise or disturbance signals are avoided. A bandpassfilter, an integrator stage and an automatic gain control are used to suppress such disturbances.

The distinguishing mark between data signal and disturbance signal are carrier frequency, burst length and duty cycle.

The data signal should fulfill the following condition:

- Carrier frequency should be close to center frequency of the bandpass (e.g. 38kHz).
- Burst length should be 10 cycles/burst or longer.
- After each burst which is between 10 cycles and 70 cycles a gap time of at least 14 cycles is necessary.
- For each burst which is longer than 1.8ms a corresponding gap time is necessary at some time in the data stream. This gap time should be at least 4 times longer than the burst.
- Up to 800 short bursts per second can be received continuously.

Some examples for suitable data format are:

NEC Code, Toshiba Micom Format, Sharp Code, RC5 Code, RC6 Code, R-2000 Code.

When a disturbance signal is applied to the TSOP48.. it can still receive the data signal. However the sensitivity is reduced to that level that no unexpected pulses will occur.

Some examples for such disturbance signals which are suppressed by the TSOP48.. are:

- DC light (e.g. from tungsten bulb or sunlight)
- Continuous signal at 38kHz or at any other frequency
- Signals from fluorescent lamps with electronic ballast with high or low modulation (see Figure A or Figure B).

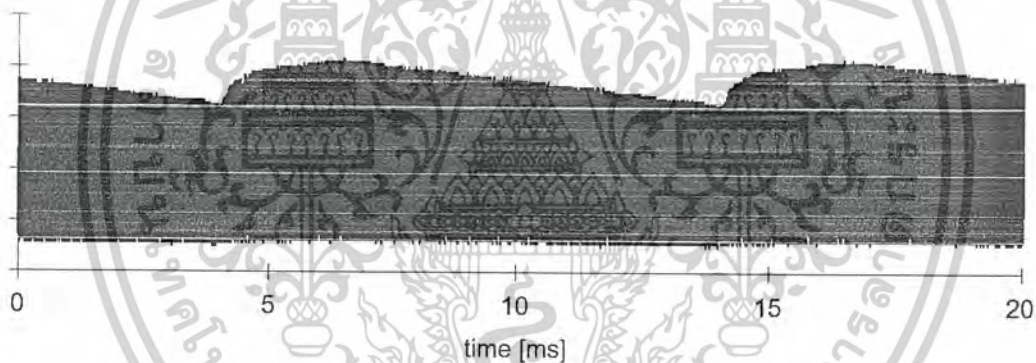


Figure A: IR Signal from Fluorescent Lamp with low Modulation

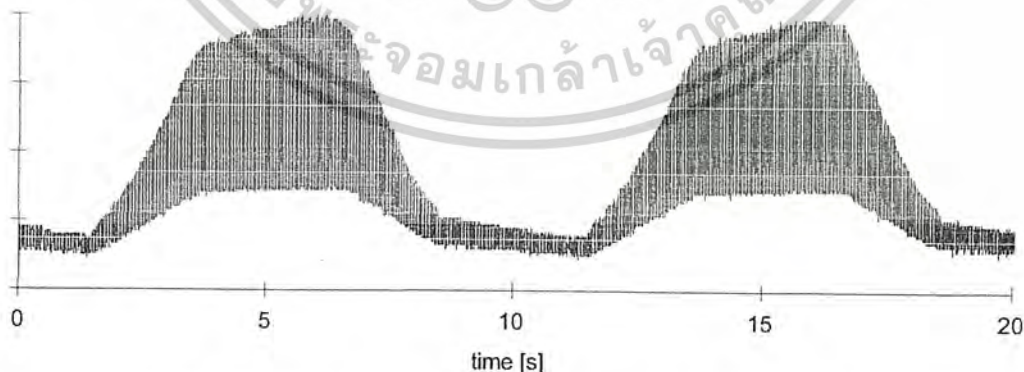
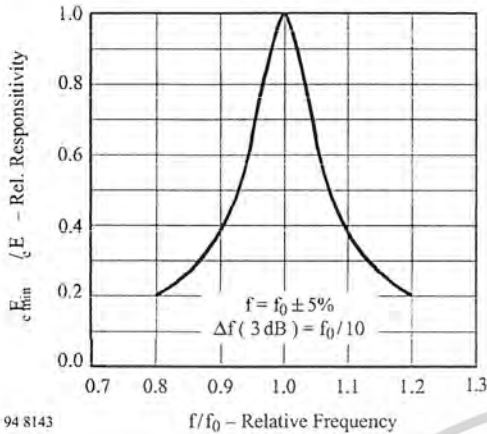


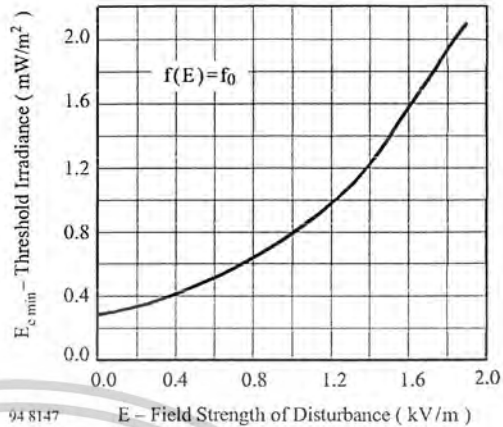
Figure B: IR Signal from Fluorescent Lamp with high Modulation

Typical Characteristics ( $T_{amb} = 25^{\circ}C$  unless otherwise specified)



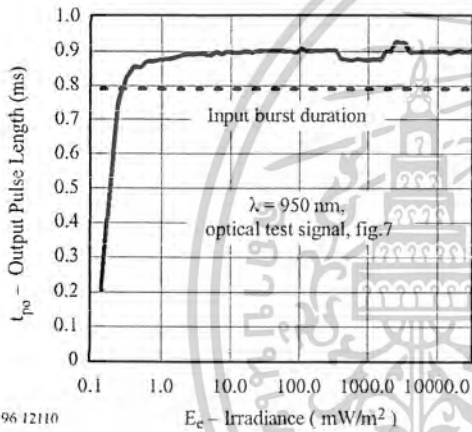
94 8143

Figure 1. Frequency Dependence of Responsivity



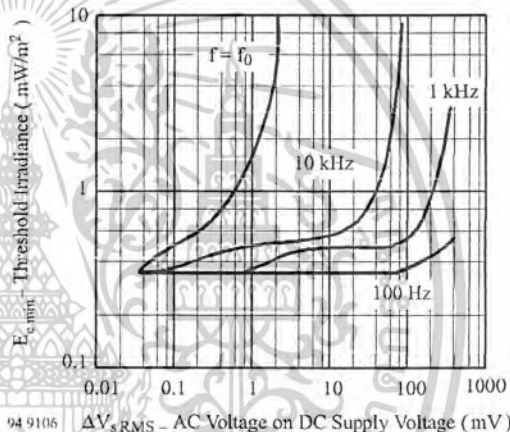
94 8147

Figure 4. Sensitivity vs. Electric Field Disturbances



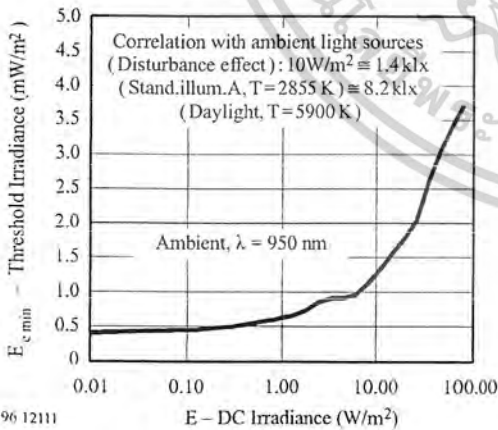
96 12110

Figure 2. Sensitivity in Dark Ambient



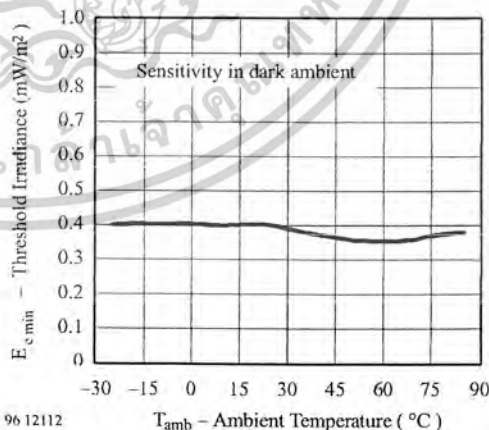
94 9106

Figure 5. Sensitivity vs. Supply Voltage Disturbances



96 12111

Figure 3. Sensitivity in Bright Ambient



96 12112

Figure 6. Sensitivity vs. Ambient Temperature

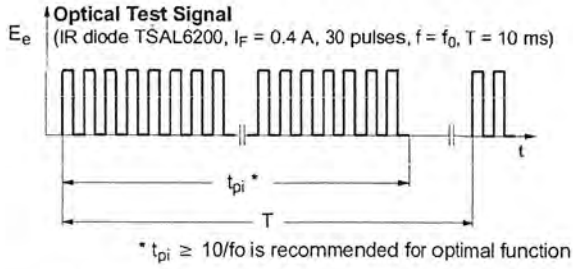


Figure 7.

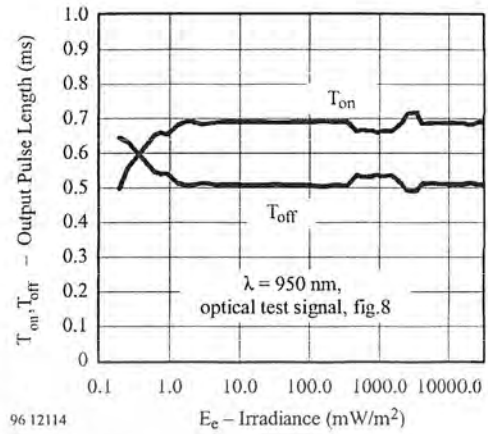


Figure 10. Output Pulse Diagram

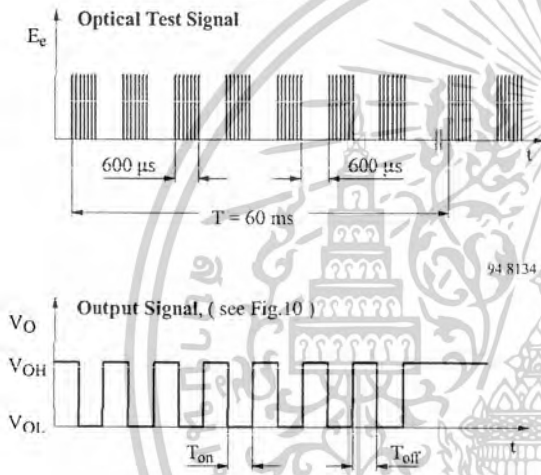


Figure 8. Output Function

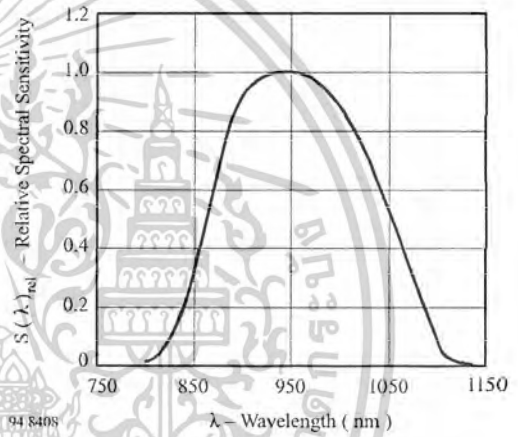


Figure 11. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

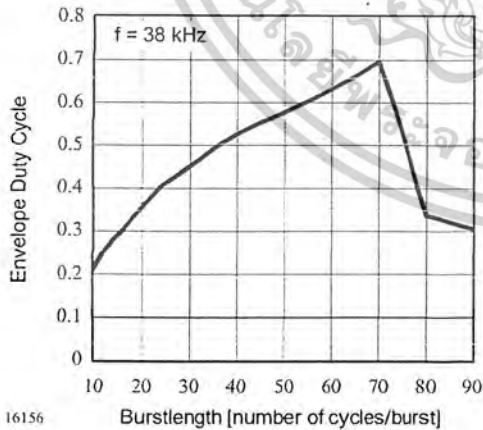


Figure 9. Max. Envelope Duty Cycle vs. Burstlength

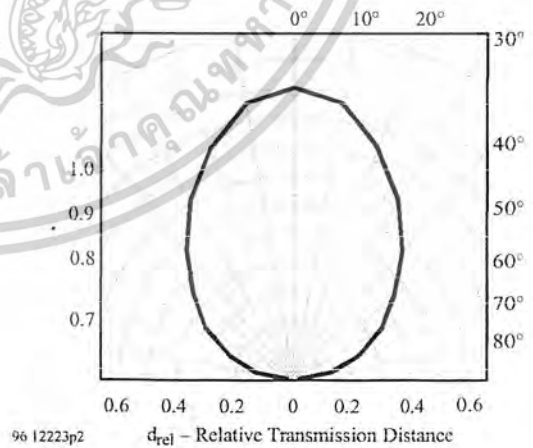


Figure 12. Directivity



## Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of Vishay Semiconductor GmbH to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

**Vishay Semiconductor GmbH** has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

**Vishay Semiconductor GmbH** can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

**We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.** Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay-Telefunken products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay-Telefunken against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany  
Telephone: 49 (0) 7131 67 2831, Fax number: 49 (0) 7131 67 2423