เครื่องทดสอบสายสื่อสัญญาณ

BIT ERROR RATE TESTER

โดย

นายพรพิริม คำจันทร์ รหัส 38012059

นายอโนทัย ศรีระจินดา รหัส 38012084

นายอภิชาติ รัตนธรรมบุตร รหัส 38012085

วัน เดือน ปี 7 ตค 2541

เลขทะเบียน 038430

เลขเรียกหนังสือ T 59283 พ211ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038430

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องทดสอบสายสื่อสัญญาณ BIT ERROR RATE TESTER	
ชื่อนักศึกษา	นายพรพิรม คำจันทร์	รหัส 38012059
	นายอโนทัย ศรีระจินดา	รหัส 38012084
	นายอภิชาติ รัตนธรรมบุตร	รหัส 38012085
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
( )
.....กรรมการ
( )
.....กรรมการ
( )
.....กรรมการ
( )
.....กรรมการ
( )

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องทดสอบสายสื่อสัญญาณ		
ชื่อนักศึกษา	นายพรพิรม คำจันทร์	รหัส	38012059
	นายอโนทัย ศรีระจินดา	รหัส	38012084
	นายอภิชาติ รัตนธรรมบุตร	รหัส	38012085
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต		
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2539		

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่ามีโครงข่ายที่ให้บริการด้านการสื่อสารข้อมูลอยู่หลายชนิด ดังนั้น เพื่อให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสายส่งหรือสายสื่อสัญญาณ ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล เช่นสายทองแดง สายใยแก้วนำแสง เครื่องมือชุดนี้เรียกว่า เครื่องทดสอบสายสื่อสัญญาณ ซึ่งเครื่องมือชุดนี้ช่วยทดสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เกิดจากการรบกวนของสายสื่อสัญญาณข้างเคียงและการสูญเสียจากความต้านทานของสายส่ง ทดสอบโดยการชอร์ทปลายสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

At present, there are many kinds of network for data transmission service. In order to obtain more efficient the transmission line such as copper wire and fiber optic cable must be tested. This equipment is call Bit error rate tester. It use to check the energy distortion,cross talk,attenuation and leakage of wire by loop test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการจัดทำโครงการมาด้วยดีโดยตลอด

20 มีนาคม 2540

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		
กิตติกรรมประกาศ		
สารบัญ		
บทที่ 1	บทนำ	1
	จุดประสงค์ของการสร้าง BIT ERROR RATE TESTER	1
	พื้นฐานการสื่อสาร	1
บทที่ 2	การส่งข้อมูล	2
	ระบบสื่อสารแบบดิจิตอล	6
	โมเด็มกับการส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์	7
บทที่ 3	ขีดจำกัดของเครือข่ายโทรศัพท์	13
	คุณภาพการส่ง	17
บทที่ 4	หลักการทำงาน	21
	คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	21
	การอินเตอร์เฟสกับจอแสดงผล LCD โมดูล	34
	MAX232	49
บทที่ 5	ขั้นตอนในการดำเนินการ	52
	FLOWCHART แสดงการทำงานของ BIT ERROR RATE TESTER	53
	วงจรที่ใช้งาน	60
	ลายวงจรที่ใช้งาน	61
	การใช้งานเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER	63
	การทดลองและผลการทดลอง	66
	สรุปผลการสร้างและผลการทดลอง	68
ภาคผนวก		
หนังสืออ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารในระบบโทรคมนาคมในปัจจุบันเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และทางด้านสังคม ทำให้ความที่ต้องการที่จะใช้ระบบโทรคมนาคมมีปริมาณมากขึ้น จึงมีการพัฒนาระบบโทรคมนาคมเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้บริการที่พอเพียง จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์และระบบสื่อสารสัญญาณจากระบบอนาลอกเปลี่ยนมาใช้ระบบดิจิตอล ทำให้มีการออกแบบโครงข่ายเพื่อใช้สำหรับบริการได้ทุกรูปแบบ โดยการพัฒนาเป็นโครงข่ายระบบดิจิตอล แต่ในการส่งข้อมูลระบบดิจิตอลไปในสายส่งที่มีระยะทางไกล ๆ โดยไม่มีการทดสอบว่าที่สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทำให้ข้อมูลที่ด้านรับ รับข้อมูลที่ผิดพลาด ทำให้ต้องเสียเวลาในการส่งใหม่ และจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการวัดสายสัญญาณที่ใช้เป็นตัวกลางว่ามีบิตที่ผิดพลาดเท่าไร แต่เครื่องมือที่ใช้ในการวัดจะต้องทำการสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงเกิดความคิดที่จะทำเครื่องทดสอบสายสื่อสัญญาณเพื่อลดค่าใช้จ่ายและสามารถนำมาใช้งานจริงได้

จุดประสงค์ของการสร้าง BIT ERROR RATE TESTER

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสื่อสารข้อมูล เพื่อให้สอดคล้องกับสาขาวิชาที่กำลังศึกษา และทำให้เกิดความรู้และประสบการณ์มากขึ้น
2. เพื่อศึกษาระบบการสื่อสารข้อมูลและระบบโทรคมนาคม ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเรียนรู้เพื่อให้ทันกับการสื่อสารด้วยระบบคอมพิวเตอร์
3. เพื่อใช้เป็นแนวทางประยุกต์ และการใช้งานของเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด
4. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการทำงานของเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER ซึ่งอาจนำไปใช้งานในระบบสื่อสารข้อมูล และนำไปพัฒนา
5. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจเช็ค BIT ERROR ในสายส่ง

พื้นฐานการสื่อสาร

ในปัจจุบัน การสื่อสารระหว่างคนด้วยกัน หรือระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกันมีบทบาทมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเป็น สังคม ข่าวสาร (Information Society) อย่างชัดเจน เป็นเหตุให้เกิดการบริการทางการสื่อสารมากชนิดกว่าแต่ก่อน เช่น

- การให้บริการโทรศัพท์ระบบดิจิตอล
- การให้บริการลักษณะ และรูปแบบของข่าวสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์
- การให้บริการสื่อสารแบบเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การให้บริการด้านสื่อสารข้อมูล ฯลฯ

การสื่อสาร (Communication)

โดยความหมายดั้งเดิม คือ การติดต่อระหว่างมนุษย์ด้วยกัน แต่ในต่อมารวมไปถึงการอ่านหนังสือ การสนทนาทางโทรศัพท์ หรือการวาดภาพต่าง ๆ

สิ่งที่สำคัญในการสื่อสาร แบ่งออกได้ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. แหล่งกำเนิด หรือ ผู้ส่ง
2. สื่อกลาง หรือ ตัวกลาง
3. แหล่งรับ หรือ ผู้รับ

ระบบการสื่อสาร (Communication System)

1. ต้องมีข่าวสาร (Message) ที่จะส่ง ถ้าไม่มีส่วนนี้ถือว่าไม่เกิดการสื่อสารขึ้น อย่างเช่น ต้องการส่งข้อมูลการพยากรณ์อากาศ เป็นต้น

2. ต้องมีแหล่งกำเนิด และแหล่งรับ โดยแหล่งกำเนิดทำหน้าที่สร้างข่าวสาร ในขณะที่ตัวรับทำการรับข่าวสารนั้นผ่านทางสื่อกลาง ซึ่งเป็นตัวนำพาข่าวสารมา เช่น การกระจายเสียงวิทยุให้กับประชาชนโดยสถานีวิทยุ

ประสิทธิภาพ (Performance) ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 3 อย่าง

1. เพื่อให้การสื่อสารมีประสิทธิผล ข่าวสารที่ใช้ต้องเป็นที่เข้าใจกัน อย่างเช่น ภาษาในการพูดควรเป็นภาษาเดียวกัน

2. รูปแบบของข่าวสาร ควรเข้ากันได้กับแหล่งกำเนิด, สื่อกลาง, และแหล่งรับ อย่างเช่น ถ้าเป็นการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกัน ข่าวสารจะต้องอยู่ในรูปของเลขฐานสองซึ่งเป็นรหัส ที่วงจรภายในคอมพิวเตอร์เข้าใจได้

3. ในระบบสื่อสารแล้ว โอกาสที่จะเกิดการรบกวนจากภายนอก หรือภายในระบบเอง ก็มีได้เช่นกัน จึงต้องมีการป้องกันไว้ส่วนหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การส่งข้อมูล

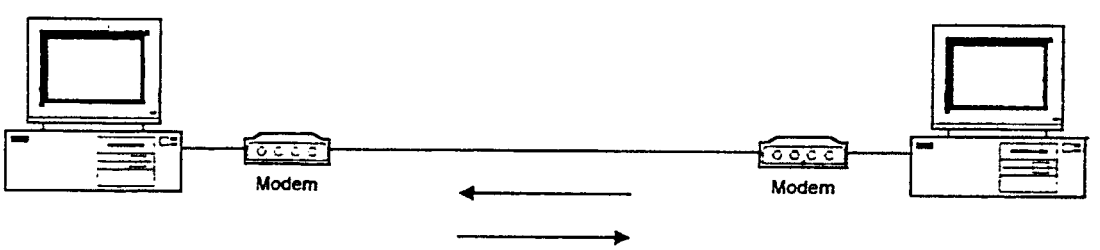
ในการรับส่งข้อมูลนั้น อาจแบ่งตามลักษณะของการรับส่งได้ 3 วิธี

- การรับหรือส่งทางเดียว (Simplex)
- การรับส่งแบบผลัดกันส่ง (Half Duplex)
- การรับส่งสวนทางได้พร้อมกัน (Full Duplex)

การติดต่อสื่อสารที่รับหรือส่งทางเดียวนั้น เรียกว่าการสื่อสารแบบ Simplex ตัวอย่างที่เห็นกันง่าย ๆ คือ การรับส่งโทรทัศน์และวิทยุกระจายเสียง สถานีโทรทัศน์จะเป็นตัวส่งและเครื่องรับจะทำหน้าที่รับอย่างเดียว จะส่งข่าวหรือภาพกลับมาสถานีส่งไม่ได้ การสื่อสารแบบ Simplex นี้ ไม่นิยมนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูล

รูปที่ 1 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบ Simplex

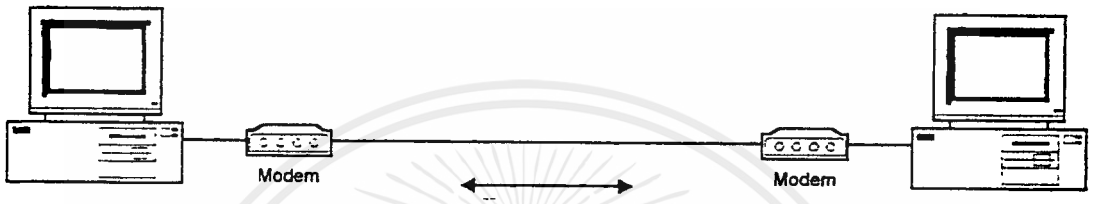
การรับส่งแบบ Half Duplex มีคุณสมบัติสามารถรับและส่งข้อมูลได้ แต่ว่าต้องสลับกันส่ง จะส่งพร้อมกันสองด้านไม่ได้ อุปกรณ์ที่ใช้ระบบการติดต่อสื่อสารแบบ Half Duplex ได้แก่ INTERCOM คือเมื่อฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งส่งอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับ จนกระทั่งฝ่ายแรกส่งจบฝ่ายหลังจึงจะเป็นฝ่ายส่งได้ และฝ่ายส่งในตอนแรกก็จะเป็นฝ่ายรับ สลับเช่นนี้เรื่อยไป ทั้งสองฝ่ายจะเป็นผู้ส่งพร้อมกันไม่ได้ เพราะสัญญาณจะชนกันทำให้ฟังไม่รู้เรื่อง การรับส่งแบบ Half Duplex นับว่าซับซ้อนกว่าในแบบ Simplex ขึ้นมาหน่อย เพราะทั้งสองสามารถทำหน้าที่รับและส่งได้ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงการรับส่งแบบ Half Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งแบบสวนทางกันได้พร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า Full Duplex การส่งแบบนี้ ผู้รับและส่งสามารถรับและส่งได้พร้อม ๆ กัน ในเวลาเดียวกันได้ ไม่จำเป็นที่จะต้องรอให้อีกฝ่ายหนึ่งส่งจบเสียก่อนอย่างใน Half Duplex ตัวอย่างเช่น การพูดคุยโทรศัพท์ ถึงแม้ปกติผู้หนึ่งพูดอีกฝ่ายหนึ่งจะคอยฟัง แล้วตอบกลับมาเมื่อฝ่ายแรกพูดจบซึ่งเป็นลักษณะของการติดต่อแบบ Half Duplex ก็ตาม แต่เราอาจจะพูดพร้อม ๆ กัน หรือพูดสวนกลับไปได้ทันทีโดยยังคงฟังอยู่เหมือนเดิม ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการติดต่อในแบบ Full Duplex การสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่อง มีใช้ทั้งแบบ Half Duplex และ Full Duplex ขึ้นกับลักษณะของการเชื่อมต่อและงานของมัน



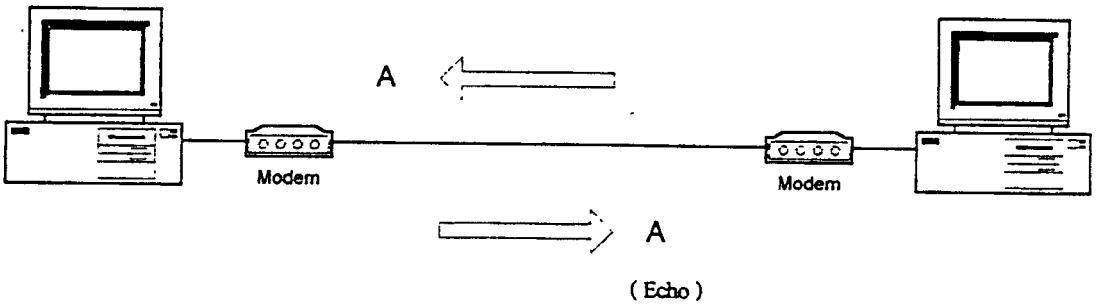
รูปที่ 3 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex

ลักษณะการรับส่งและการ Echo ของข้อมูล

เมื่อคอมพิวเตอร์รับส่งข้อมูลในแบบ Half Duplex และ Full Duplex ก็ตามมันจะต้องใช้การรับส่งให้เหมือนกันทั้งสองด้าน การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex เครื่องคอมพิวเตอร์ผลัดกันส่งข้อมูลและมีหน้าที่พิมพ์ข้อความที่ตัวเองส่งออกไปขึ้นแสดงผลบนจอภาพด้วย หรือมีคุณสมบัติที่เรียกว่า "Echo On" นั่นเอง ข้อความไม่ว่าจะส่งออกไปโดยจากการพิมพ์จากแป้นพิมพ์หรือจากแผ่นดิสก์ก็ตาม เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการส่งข้อความจะต้องนำข้อความนั้นแสดงผลออกทางจอภาพด้วยตนเอง การรับส่งข้อมูลในแบบ Half Duplex จึงต้องกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินัลที่ใช้ ทำงานในลักษณะ Echo On เสมอ มิฉะนั้นเราจะมองไม่เห็นข้อความที่เราส่งออกไป แต่จะมองเห็นแต่เฉพาะข้อความที่อีกฝ่ายหนึ่งส่งมาเท่านั้น

เมื่อคอมพิวเตอร์รับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex มันก็สามารถรับส่งข้อมูลสวนทางกันได้ในเวลาเดียวกัน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่รับส่งแบบ Full Duplex จะไม่พิมพ์ข้อความที่ตัวเองส่งออกไปขึ้นแสดงบนจอภาพ แต่จะรอข้อความจากอีกฝ่ายหนึ่งกลับมาให้เท่านั้น เราเรียกว่า "Echo Off" ข้อความจากแป้นพิมพ์และจากแผ่นดิสก์ที่ส่งออกไป ปกติเราจะมองไม่เห็น เครื่องคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่งจะส่งข้อความนั้นกลับมาให้ปรากฏบนจอภาพของเราเองเมื่อมีความจำเป็น การส่งข้อมูลแบบ Full Duplex จึงต้องกำหนดให้คอมพิวเตอร์ทำงานในลักษณะ Echo Off ถ้ากำหนดผิดจะเห็นข้อความที่พิมพ์ออกไปกลายเป็นสองตัวซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การรับส่งแบบ Full Duplex ผู้รับจะส่งข้อมูลกลับ (Echo) ไปยังผู้ส่งเสมอ

ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์นั้น การรับส่งแบบ Half Duplex จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเนื่องจากต้องผลัดกันส่งข้อมูล แต่ก็มีข้อดี คือประหยัดสายส่งข้อมูล เพราะเราสามารถใช้สายส่งเพียงคู่เดียวในการรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex นี้ การรับส่งแบบ Full Duplex จะต้องสายสองคู่ คือ สำหรับส่งข้อมูลหนึ่งคู่ และรับข้อมูลอีกหนึ่งคู่ แยกวงจรรับส่งให้เป็นอิสระออกจากกัน ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลจึงสูงกว่าในแบบ Half Duplex ถึงสองเท่า

เทคนิคที่ใช้ส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ด้วยสายคู่เดียว

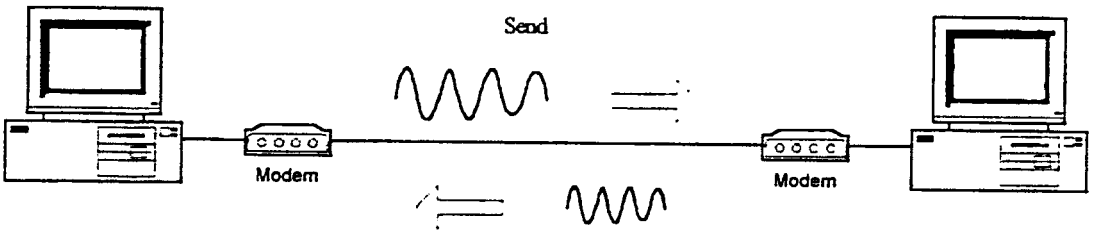
จากการที่ Full Duplex มีข้อดีหลายอย่างในการรับส่งข้อมูล แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้สายสองคู่หรือสี่เส้นเพื่อส่งข้อมูล จึงมีการพัฒนาลดจำนวนสายส่งให้เหลือเพียงหนึ่งคู่เท่ากับที่ใช้ใน Half Duplex ทั้งนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายของสายส่งระยะทางไกล ๆ มีราคาแพง ถ้าต้องใช้สายถึงสองคู่ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายของสายส่งข้อมูลแพงมากจนเกินไป สำหรับการเชื่อมต่อระยะสั้น ๆ สามารถใช้สายสองคู่ในการรับส่งข้อมูลได้ แต่ถ้าหากใช้งานในระยะทางไกล ๆ แล้ว สายคู่เดียวจะประหยัดและสะดวกกว่ามาก โดนเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีมี่เรารับส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่ไม่สูงมากนั้น การใช้สายเพียงคู่เดียวส่งข้อมูลในแบบ Full Duplex เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ และนับเป็นการใช้งานสายส่งข้อมูลอย่างคุ้มค่าอีกด้วย

คุณสมบัติของสายส่งข้อมูลนั้น จะสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านไปยังปลายทางได้ โดยมีความถี่ช่วงหนึ่ง ช่วงความถี่ที่สายส่งข้อมูลส่งผ่านไปถึงปลายทางได้นี้ เรียกว่า Bandwidth ของสายส่ง อย่างเช่น สายโทรศัพท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ รับส่งความถี่ได้ในช่วง 300 Hz ถึง 3000 Hz ความถี่ที่สูงกว่าและต่ำกว่านี้จะถูกดูดกลืน หรือถูกกำจัดออกไป ทำให้ส่งไปถึงปลายทางไม่ได้

ในการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ความเร็วไม่สูงมากนัก จะไม่ได้ใช้ความถี่ทั้งหมดของสายในการรับส่งข้อมูล จึงเกิดความคิดที่ว่า ความถี่ที่ไม่ได้ใช้ของสายส่งที่เหลือ น่าจะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้โดยการแบ่งความถี่ของสายส่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งใช้สำหรับส่งข้อมูล และส่วนที่สองใช้สำหรับในการรับข้อมูล เทคนิคอันนี้เรียกว่า Frequency Division เช่น ด้านส่งใช้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถี่ 1200 Hz และด้านรับใช้ความถี่ 2400 Hz เป็นต้น เพียงเท่านี้ก็สามารถที่จะส่งข้อมูลในแบบ Full Duplex ผ่านสายโทรศัพท์เพียงคู่เดียวได้



รูปที่ 5 เมื่อด้านรับและด้านส่งใช้ความถี่คนละความถี่ ทำให้สามารถใช้สายส่งเพียงคู่เดียวในการส่งแบบ Full Duplex wfh

ขีดจำกัดของการใช้เทคนิคแบ่งความถี่ของสายส่งก็คือ สายส่งจะต้องมีช่วงกว้างของความถี่ (Bandwidth) มากพอที่จะแบ่งออกได้ โดยไม่รบกวนกับระหว่างความถี่รับและความถี่ส่ง ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลของแต่ละด้านสูงสุดนั้น ขึ้นอยู่กับการใช้เทคนิคการเข้ารหัสที่ใช้ในการส่งเป็นหลัก ข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของการแบ่งความถี่ก็คือ จะนำมาใช้ในการรับส่งข้อมูลในแบบดิจิตอล (digital) ของคอมพิวเตอร์ไม่ได้ เนื่องจากสัญญาณข้อมูลของคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยความถี่หลาย ๆ ความถี่รวมกันขึ้นมา จึงมีการแบ่งความถี่ของสายส่งเพื่อส่งรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากสัญญาณของคอมพิวเตอร์ไม่ได้ ต้องส่งโดยวิธีทางอ้อมคือ แปลงสัญญาณข้อมูลของคอมพิวเตอร์ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมให้กลายเป็นสัญญาณต่อเนื่องแบบอนาลอกเสียก่อน ถึงจะรับส่งข้อมูลผ่านทางสายคู่เดียวในแบบ Full Duplex ได้

ระบบสื่อสารแบบดิจิตอล

ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในระบบนี้จะอยู่ในรหัส "0" หรือ "1" เช่นเลขฐานสองหรือเลขฐานสิบหก เป็นต้น

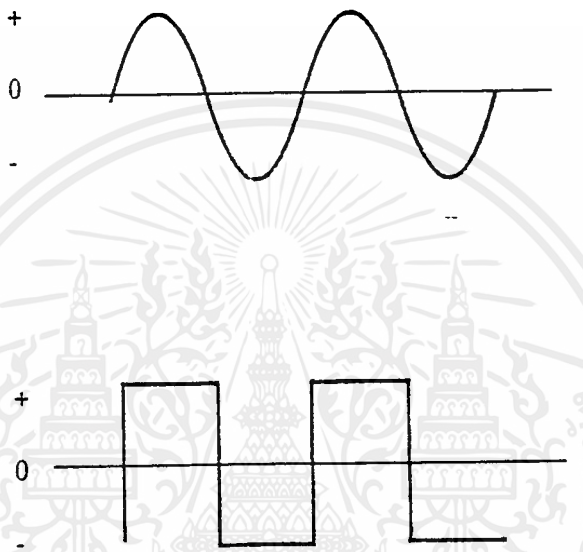
บางครั้งอาจจะมีความต้องการที่จะส่งสัญญาณอนาลอกผ่านระบบดิจิตอลจึงต้องมีการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเรียกว่าการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ ค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะเป็นเลขฐานสอง (binary code) ซึ่งสามารถจัดการตามเทคนิคดิจิตอลได้ อย่างเช่น การส่งข้อมูลแบบขนานหรือแบบอนุกรม

โดยการส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า MODEM ทำหน้าที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถรับและส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ได้ โดยการแปลงสัญญาณคอมพิวเตอร์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในด้านส่ง และแปลงกลับคืนทางด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเด็มกับการส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์

ข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าตามข้อมูล '0' และ '1' จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนี้ ถือว่าเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง คือ เมื่อมีการเปลี่ยนจาก '0' ไปเป็น '1' หรือเปลี่ยนจาก '1' ไปเป็น '0' สัญญาณจะกลับตัวอย่างรวดเร็วไม่ความต่อเนื่อง จึงมีลักษณะรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม เครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณไฟฟ้าแบบนี้ในการทำงานภายในและใช้ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างกันด้วย



รูปที่ 6 แสดงรูปสัญญาณแบบอนาลอกและแบบดิจิตอล

ส่วนสัญญาณไฟฟ้าอีกแบบหนึ่งนั้นเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง เรียกว่าสัญญาณแบบอนาลอก สัญญาณแบบอนาลอกจะมีรูปร่างแน่นอนอย่างคลื่นสี่เหลี่ยมในแบบดิจิตอล แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สัญญาณจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกันไป ไม่มีการกระโดดหรือกลับตัวอย่างรวดเร็วเหมือนสัญญาณดิจิตอล รูปร่างพื้นฐานที่สุดของสัญญาณอนาลอกคือคลื่นซายน์ (Sine Wave) เสียงพูดของคนเราและคลื่นต่าง ๆ ที่ปรากฏในธรรมชาติรวมทั้งแสงสว่าง มักจะเป็นคลื่นแบบต่อเนื่องทั้งสิ้น

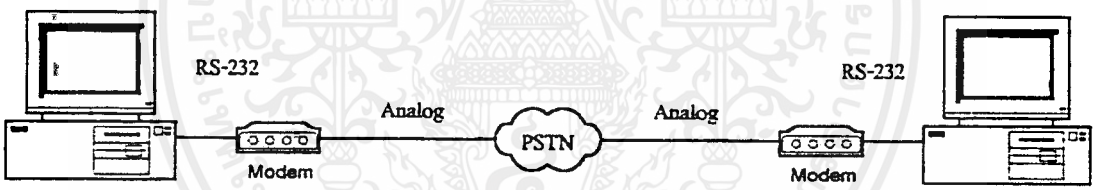
การทำงานของโมเด็ม

การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในระยะทางที่ไม่ไกลมากนัก สามารถใช้การรับส่งแบบอนุกรม (RS-232) ซึ่งส่งข้อมูลดิจิตอลของคอมพิวเตอร์ไปตามสายจนถึงผู้รับได้ กรณีนี้เราสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลถึง 35 เมตรตามคุณสมบัติของ RS-232 หรือถ้าสายเคเบิลที่ใช้มีคุณภาพดีอาจส่งได้ไกลถึง 50 เมตรที่ความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที แต่ถ้าต้องการส่งที่ระยะทางไกลมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น หลายสิบกิโลเมตรหลายร้อยกิโลเมตรจนถึงหลายพันกิโลเมตร การส่งข้อมูลที่เป็นดิจิตอลออกไปโดยตรงจะไม่เหมาะสมหลายอย่างปัญหาที่สำคัญก็คือ คลื่นสี่เหลี่ยมของสัญญาณดิจิตอล เมื่อส่งไปไกล ๆ จะเพี้ยนหรือมีรูปร่างผิดไปจากเดิมได้ง่าย ทำให้สายส่งและวงจรรับส่งสัญญาณดิจิตอลต้องถูกออกแบบมาเป็นอย่างดี ราคาของสายส่งสัญญาณแบบดิจิตอลจึงมีราคาแพงกว่าสายส่งสัญญาณแบบอนาลอก ในทางปฏิบัติเราอาจจะรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องโดยใช้สัญญาณดิจิตอลผ่ายสายส่งได้ ซึ่งทั้งสายส่งและวงจรเชื่อมต่อทั้งหมดเป็นแบบดิจิตอล แต่ว่าค่าใช้จ่ายจะมีราคาแพงมากจนกระทั่งไม่ค่อยคุ้มที่จะทำเช่นนี้วิธีหลีกเลี่ยงก็คือหาทางส่งข้อมูลไปตามสายส่งในแบบอนาลอกแทน การทำเช่นนี้ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการแปลงสัญญาณ นั่นคือ โมเด็มนั่นเอง

โมเด็ม (MODEM) จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่มาจากคอมพิวเตอร์ที่ส่งมาทาง RS-232 ให้กลายเป็นสัญญาณอนาลอกแล้วส่งออกไปตามสายส่ง กระบวนการนี้เราเรียกว่าการ Modulate สัญญาณ เมื่อถึงปลายทางโมเด็มก็จะแปลงสัญญาณอนาลอกที่ได้กลับมาเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งให้คอมพิวเตอร์ในรูปของสัญญาณดิจิตอลผ่านทาง RS-232 เช่นกัน กระบวนการแปลงสัญญาณกลับนี้เรียกว่า Demodulation ชื่อของโมเด็มก็ได้จากการทำงานทั้งสองแบบนั่นเอง คือ เอา MO มาจาก Modulate และเอา DEM มาจาก Demodulation กลายเป็น MODEM



รูปที่ 7 โมเด็มช่วยให้คอมพิวเตอร์ในการรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ได้โดยดารเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นเสียงก่อน

สัญญาณอนาลอกมีคุณสมบัติเหมาะที่จะส่งไปไกล ๆ มากกว่าสัญญาณดิจิตอล เพราะว่าสัญญาณอนาลอกจะเพี้ยนหรือมีรูปร่างผิดไปจากเดิมยากกว่า และสูญเสียกำลังในสายส่งน้อยกว่าทำให้ส่งได้ระยะทางไกลมากขึ้น นอกจากนี้เรายังสามารถกรองเอาสัญญาณรบกวนบางส่วนที่ไม่ต้องการ (Filter) ออกได้อีกด้วย ราคาของสายส่งข้อมูลและอุปกรณ์เชื่อมต่อก็จะมีราคาที่ถูก จึงนิยมที่จะใช้โมเด็มในการรับและส่งข้อมูล

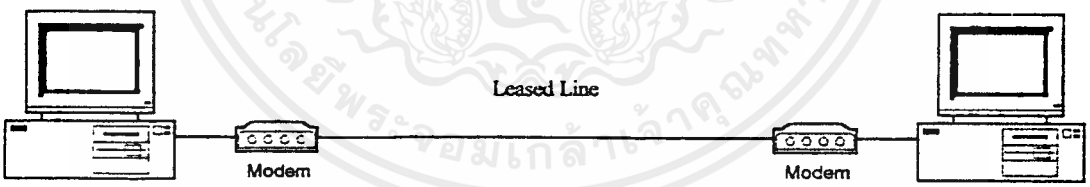
จากการที่โมเด็มแปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ให้กลายเป็นสัญญาณอนาลอกในการรับส่งข้อมูลนี้เอง ถ้าโมเด็มแปลงสัญญาณออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกแบบหนึ่งเราก็สามารถรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ได้ โมเด็มทั่ว ๆ ไปที่เราใช้งานจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเด็มที่แปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปคลื่นเสียงทั้งนั้น มีโมเด็มบางชนิดที่แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่สูง แต่โมเด็มแบบนั้นมีใช้น้อยและสายที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะต้องเป็นสายส่งแบบพิเศษจะส่งผ่านทางสายโทรศัพท์ธรรมดาไม่ได้ แต่ไม่ว่าจะเป็นโมเด็มแบบไหนก็ตาม เมื่อได้รับข้อมูลดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์มันจะเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณอนาลอก จากนั้นก็จะนำสัญญาณอนาลอกที่ได้นี้มาร่วมเข้ากับสัญญาณพาหะ (Carrier Wave) แล้วส่งออกไปทางสายส่งข้อมูล สัญญาณพาหะหรือคลื่นพาหะนี้จะทำหน้าที่พาข้อมูลที่อยู่ในรูปสัญญาณอนาลอกไปจนถึงปลายทาง

โมเด็มสำหรับ Leased Line และ Dial up Line

โมเด็มแบ่งตามการใช้งานได้สองแบบคือ โมเด็มที่ใช้กับสายตรง (Leased Line) และโมเด็มที่ใช้กับสายโทรศัพท์ (Dial up Line) โมเด็มที่ใช้กับสายตรงหรือสายเช่าจะส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง (9,600 บิตต่อวินาทีหรือสูงกว่า) ผ่านสายไปยังจุดหมายปลายทางตายตัว ซึ่งเป็นการติดต่อในลักษณะจุดต่อจุด (Point to Point) จะต่อไปยังจุดอื่น ๆ ไม่ได้ ส่วนมากจะเป็นการใช้ติดต่อส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีข้อมูลส่งไปมาเป็นจำนวนมาก เช่น เครือข่าย ATM ของธนาคาร เทอร์มินอลของคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่งอาจจะเป็นมินิคอมพิวเตอร์หรือเมนเฟรม เป็นต้น การส่งข้อมูลมักจะส่งเป็นกลุ่มและมีซอฟต์แวร์ควบคุมการรับส่งเฉพาะ ที่เรียกกันทั่วไปว่าการรับส่งแบบ Synchronous นั่นเอง ข้อดีของโมเด็มแบบที่ใช้กับสายตรงคือ ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็วสูง เนื่องจากสายส่งมีคุณภาพดีเหมาะกับงานส่งข้อมูลจำนวนมากระหว่างจุดสองจุด ข้อเสียก็คือไม่สามารถเปลี่ยนจุดรับข้อมูลไปที่ต่าง ๆ ได้

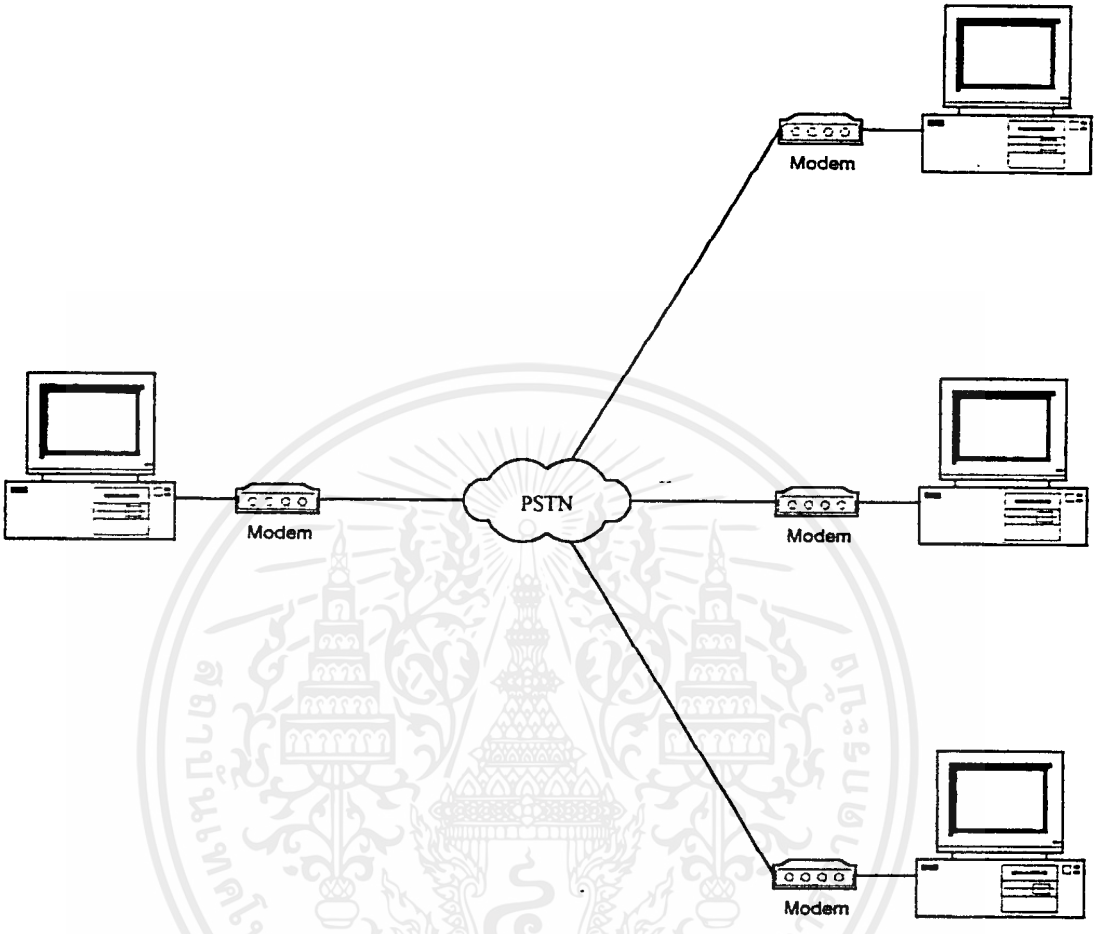


รูปที่ 8 การรับส่งข้อมูลผ่านสายตรงจะเป็นการติดต่อกันระหว่างจุดต่อจุดตายตัว

โมเด็มแบบที่ใช้กับสายโทรศัพท์ จะรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วตั้งแต่ 300 บิตต่อวินาทีจนถึง 9,600 บิตต่อวินาที ผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์ที่ใช้กันอยู่ ทำให้สามารถส่งข้อมูลไปยังที่ต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ ไม่มีการกำหนดจุดรับข้อมูลตายตัวเหมือนอย่างกับโมเด็มสายตรง เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและบริการรับส่งข้อมูลแบบต่าง ๆ จะใช้โมเด็มแบบนี้ในการทำงานเกือบทั้งหมด การรับส่งข้อมูลจะเป็นการรับส่งทีละหนึ่งตัวอักษรไม่ส่งเป็นกลุ่ม เรียกว่า การรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Asynchronous ปกติแล้วการรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์จะสามารถส่งด้วยความเร็ว 1,200 ถึง 2,400 บิตต่อวินาทีเท่านั้น



รูปที่ 9 แสดงการรับส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลกับจุดต่าง ๆ ได้หลายแห่ง โดยหมุนเบอร์ปลายทางผ่านชุมสาย

ความเร็วสูงสุดที่เชื่อถือได้คือ 9,600 บิตต่อวินาที ถ้าใช้โมเด็มความเร็วสูงกว่านี้ในการรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์อาจทำได้ในบางจุด แต่ส่วนมากจะมีการผิดพลาดสูง จึงถือความเร็ว 9,600 บิตต่อวินาทีเป็นความเร็วสูงสุดสำหรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ในปัจจุบัน ข้อดีของการใช้โมเด็มนี้ก็คือ มีความคล่องตัวสูง สามารถรับส่งข้อมูลไปยังที่ต่าง ๆ ได้ไม่จำกัด และไม่จำเป็นต้องมีการจัดหาวงจรสายตรงมาเป็นพิเศษเพื่อส่งข้อมูล แต่มีข้อเสียตรงที่ว่าความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำกว่าโมเด็มแบบสายตรง ข้อเสียอีกอันหนึ่งคือ ถ้ามีการรับส่งข้อมูลที่มีจำนวนมากไปยังจุดปลายทางจุดเดียวในระยะทางไกล ค่าโทรศัพท์อาจจะแพงกว่าการเช่าวงจรสายตรงมาใช้ก็ได้ อันนี้ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลเป็นหลัก ดังนั้นในการเลือกใช้เราจะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นตามมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communications Parameter

จากการที่โมเด็มต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง RS-232 และส่งข้อมูลไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง ดังนั้นองค์ประกอบในการรับส่งข้อมูล (Communications Parameter) จึงต้องตรงกันตลอดเส้นทางที่รับส่ง องค์ประกอบดังกล่าวคือ ความเร็ว (Speed) จำนวนบิตของข้อมูล (Data Bit) จำนวนบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตจบ (Stop Bit) การตรวจสอบพาริตี้บิต (Parity Bit) และการเลือกใช้ Echo (Duplex) ในการรับส่ง

ความเร็ว (Speed) คือ อัตราการรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตต่อวินาที จะต้องใช้ความเร็วเดียวกันตลอดเส้นทางในการรับส่งข้อมูล เช่นเดียวกันองค์ประกอบอื่น ๆ ทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ส่งข้อมูลออกไปโมเด็มที่ด้านส่ง โมเด็มที่ด้านรับและคอมพิวเตอร์เครื่องรับก็จะต้องมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่ากัน ความเร็วที่ใช้ในการรับส่งทั่วไปมีตั้งแต่ 300 บิตต่อวินาที 1,200 2,400 4,800 ไปจนถึง 9,600 บิตต่อวินาที

สำหรับจำนวนบิตของข้อมูล (Data Bit) นั้น คือในหนึ่งตัวอักษรจะใช้จำนวนข้อมูลกี่บิตในการส่ง ปกติจะเลือกได้ 2 แบบคือ 7 บิตต่อต่อหนึ่งตัวอักษรหรือ 8 บิตต่อต่อหนึ่งตัวอักษร การรับส่งข้อมูลภาษาไทยจำเป็นที่จะต้องใช้แบบ 8 บิตต่อต่อหนึ่งตัวอักษรเท่านั้น เนื่องจากภาษาไทยจะใช้รหัสครบทั้ง 8 บิต ถ้าหากส่งไปในแบบ 7 บิตต่อต่อหนึ่งตัวอักษร รหัสภาษาไทยจะถูกตัดบิตที่ 8 ทิ้งไป กลายเป็นตัวภาษาอังกฤษซึ่งใช้งานไม่ได้ จำนวนบิตเริ่มต้นและบิตจบนั้นกำหนดไว้ให้ตัวรับและตัวส่ง แยกออกว่าข้อมูลจะเริ่มต้นเมื่อใดและจบลงเมื่อใด

บิตเริ่มต้น (Start Bit) มักจะใช้ 1 บิตเสมอ ส่วนบิตจบข้อมูล (Stop Bit) จะมีสองแบบคือหนึ่งบิตหรือสองบิต การใช้งานทั่วไปมักจะใช้หนึ่งบิตจบเช่นกัน

การตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลที่ส่งมามีจำนวนข้อมูลที่เป็น '1' เป็นจำนวนคู่ (Even) หรือจำนวนคี่ (Odd) หรือไม่ต้องตรวจสอบ (None) เช่น ถ้าส่งข้อมูล 11000001 ไปให้ผู้รับและมีการตรวจสอบพาริตี้แบบจำนวนคู่ พาริตี้ในกรณีนี้จะมีค่าเป็น '1' เพื่อให้จำนวน '1' ทั้งหมดมีจำนวนเป็นเลขคู่ (Even) ถ้ากำหนดการตรวจสอบพาริตี้เป็นจำนวนคี่ พาริตี้ก็จะเป็น '0' เพื่อให้จำนวน '1' ของข้อมูลทั้งหมดเป็นจำนวนคี่ (Odd) และถ้าไม่มีการตรวจสอบ เครื่องส่งก็จะส่งบิตจบ (Stop Bit) ปิดท้ายข้อมูลทันที ไม่มีการส่งพาริตี้บิตไปให้ผู้รับ ส่วนมากถ้ารับส่งข้อมูลแบบ 7 บิต มักจะตั้งการตรวจสอบพาริตี้เอาไว้ แต่ถ้าส่งรับข้อมูลแบบ 8 บิตก็จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้บิตสำหรับการเลือกใช้ Echo ในการรับส่งก็เป็นการเลือกให้สอดคล้องกับ Full Duplex หรือ Half Duplex นั่นเอง ถ้าเป็นการรับส่งแบบ Full Duplex ก็ต้องเลือกใช้ Echo Off และถ้าเป็นแบบ Half Duplex ก็จะเลือกใช้ Echo On เมื่อองค์ประกอบทั้งหมดนี้ตรงกัน การรับส่งข้อมูลก็จะทำได้ถูกต้อง ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ด้านส่ง โมเด็มด้านส่ง โมเด็มด้านรับหรือคอมพิวเตอร์ด้านรับ เพียงส่วนเดียวใช้องค์ประกอบในการรับส่งข้อมูลผิดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลจะผิดพลาดได้ ทั้งผู้รับและผู้ส่งจึงต้องตกลงกันให้แน่นอนว่าจะใช้องค์ประกอบในการรับส่งข้อมูลแต่ละตัวอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

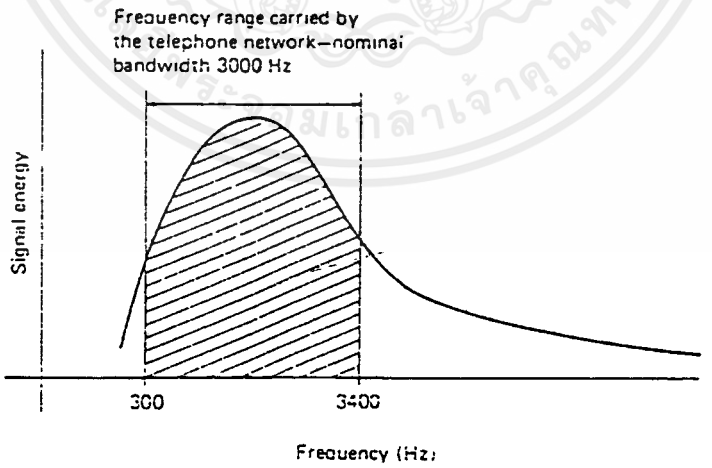
บทที่ 3

ขีดจำกัดของเครือข่ายโทรศัพท์

จะเห็นได้ว่าการส่งข้อมูลโดยใช้เสียงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์นั้น เป็นวิธีที่น่าสนใจมากเนื่องจากว่าโทรศัพท์มีอยู่ทุกหนทุกแห่ง ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน ที่ทำงาน หรือสถานที่ต่าง ๆ และสามารถใช้โทรศัพท์ติดต่อไปยังที่ต่าง ๆ ได้ทั่วโลก การรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์จึงทำให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากกว่าการใช้ระบบอย่างอื่น ๆ แต่เนื่องจากระบบโทรศัพท์ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้รับส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรือข้อมูลอื่น ๆ นอกจากรับส่งข้อมูลเสียงพูดได้เท่านั้น ระบบโทรศัพท์จึงมีขีดจำกัดหลายอย่างที่ทำให้การรับส่งข้อมูลต้องทำด้วยความระมัดระวัง ขีดจำกัดของระบบโทรศัพท์ที่มีผลต่อการรับส่งข้อมูลก็คือ ช่วงความถี่ของสัญญาณ (Bandwidth) ระบบกำจัดเสียงสะท้อนของโทรศัพท์ (Echo Suppressor) และเสียงรบกวนในสาย (Background Noise) ขีดจำกัดเหล่านี้ ทำให้การรับส่งข้อมูลทำได้ช้าและอาจผิดพลาดได้

ความสะดวกในการใช้สายโทรศัพท์ส่งข้อมูล

ความสะดวกเมื่อใช้สายโทรศัพท์ส่งข้อมูลที่เห็นชัดก็คือ สามารถส่งข้อมูลไปยังที่ต่าง ๆ ได้ตามต้องการ โดยแทบจะไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติมเลยนอกจากซื้อโมเด็มมาใช้เท่านั้น อุปกรณ์อื่น ๆ เป็นสิ่งที่มีอยู่แล้ว เพียงแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการรับส่งต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ในกรณีที่ส่งข้อมูลไม่มากนัก แต่ขีดจำกัดของระบบโทรศัพท์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงควรรู้เอาไว้ประกอบการใช้งาน



รูปที่ 10 สายโทรศัพท์รับส่งสัญญาณได้ในช่วงความถี่ 300 Hz ถึง 3,400 Hz เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการรับฟังเสียงของคนเรา สามารถรับรู้เสียงความถี่ได้ตั้งแต่ 20 Hz จนถึง 20,000 Hz โดยประมาณ ความถี่สูงกว่าและต่ำกว่านี้ หูคนจะไม่สามารถได้ยินเสียงได้ เมื่อมีการคิดระบบโทรศัพท์ขึ้นมาเทคโนโลยียังไม่สูงมากพอที่จะสร้างระบบโทรศัพท์ให้รับส่งเสียงได้เทียบเท่ากับที่หูคนเราได้ยิน การออกแบบจึงต้องมีการพิจารณาทางด้านเทคนิคและราคาที่พอยอมรับได้ในสมัยก่อนนั้น ผลที่ออกมาคือ ระบบโทรศัพท์สามารถรับส่งสัญญาณเสียงได้ตั้งแต่ความถี่ 300 Hz จนถึงประมาณ 3,400 Hz ซึ่งความถี่ช่วงดังกล่าวนี้มากพอสำหรับพูดคุยของคนทั่วไป ด้วยคุณภาพของเสียงดีพอสมควร แต่มันไม่มากพอให้เราส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวกผ่านทางสายโทรศัพท์ เพราะในการรับส่งข้อมูลทั่วไปสายส่งจะมี Bandwidth ยิ่งสูงเท่าใด ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วมากขึ้นเท่านั้น

ขีดจำกัดต่าง ๆ ของเครือข่ายโทรศัพท์

ช่วงความถี่ 300 Hz จนถึง 3,400 Hz ที่สายโทรศัพท์สามารถรับส่งสัญญาณได้นี้ นับว่าเป็นสายส่งที่มี Bandwidth แคบมาก เมื่อเรานำมาใช้รับส่งข้อมูล เพราะว่าตามธรรมดาแล้ว ความเร็วสูงสุดของการรับส่งข้อมูลจะมีค่าต่ำกว่าความถี่สูงสุดของสายส่งเสมอ ถ้าหากไม่ใช้เทคนิคพิเศษเข้าช่วย สายโทรศัพท์ก็จะรับส่งข้อมูลได้ไม่เกิน 3,000 บิตต่อวินาทีเท่านั้น ซึ่งเป็นตัวเลขที่ไม่น่าพอใจเท่าไร แรกเริ่มของการส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ มีความเร็วเพียง 300 บิตต่อวินาที และพัฒนาจนรับส่งได้ 1,200 ถึง 2,400 บิตต่อวินาทีตามลำดับ เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้น จากการที่ช่วงความถี่ของสัญญาณ (Bandwidth) จำกัดมากในสายโทรศัพท์ ในการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงกว่า 2,400 บิตต่อวินาที ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคการเข้ารหัสและการผสมสัญญาณที่ซับซ้อนเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงจึงถูกรบกวนได้ง่าย และมีอัตราการผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลขึ้นเป็นเงาตามตัว

วงจรสายตรงนับว่าได้เปรียบมากในข้อนี้ เนื่องจากคุณภาพของสายส่งและวงจรมีคุณภาพดีกว่า ทำให้รับส่งข้อมูลความเร็วสูงได้อย่างไม่มีปัญหาด้านขีดจำกัดของช่วงความถี่เหมือนที่เกิดขึ้นกับสายโทรศัพท์

ขีดจำกัดลำดับที่ 2 ของการส่งข้อมูลผ่ายสายโทรศัพท์ก็คือ วงจรกำจัดเสียงสะท้อน(Echo suppressor) ของระบบโทรศัพท์ เนื่องจากการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสายส่งเป็นระยะทางไกล ๆ นั้น สัญญาณที่ส่งออกไปจะมีส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมายังผู้ส่ง ซึ่งเราเรียกว่าเกิด Echo ขึ้น ปรากฏการณ์อันนี้เกิดขึ้นกับคลื่นทุกชนิด ไม่จำกัดจะต้องเป็นสัญญาณไฟฟ้าเท่านั้น เมื่อมันเกิดขึ้นในสายโทรศัพท์ เราก็จะได้ยินเสียงตัวเองสะท้อนกลับมาในลักษณะของเสียงก้อง คล้าย ๆ กับเวลาที่เราพูดอยู่ในถ้ำนั่นเอง การเกิดเสียงก้องนี้นอกจากจะทำให้การรับฟังโทรศัพท์มีคุณภาพต่ำลงแล้วมันยังทำให้การสนทนาเป็นไปอย่างลำบากอีกด้วย

ระบบโทรศัพท์จึงใช้วงจรกำจัดเสียงสะท้อนเข้ามาช่วยแก้ปัญหาอันนี้ การทำงานของมันจะยอมให้สัญญาณจากผู้พูดเดินทางไปยังผู้รับได้ทางเดียว สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะถูกกั้นเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้กลับมาหาผู้พูดได้ เมื่อผู้ฟังพูดสวนกลับไปวงจรกำจัดเสียงสะท้อนก็จะสลับทิศทางไปในทางตรงข้าม เพื่อให้สัญญาณจากผู้พูดถูกกั้นไม่ให้สะท้อนกลับมาหาตัวเองอีกเช่นกัน วิธีการนี้ทำให้เสียงสะท้อนถูกกำจัดออกไปได้ วงจรกำจัดเสียงสะท้อนจะรู้ว่าใครเป็นผู้พูดโดยดูจากความแรงของสัญญาณ ใช้กฎเกณฑ์ที่ว่าด้านที่พูดจะมีสัญญาณแรงกว่าด้านรับเสมอ และการสลับทิศทางของวงจรกำจัดเสียงสะท้อน ทำด้วยความเร็วสูงมากจนเราไม่รู้สึกผิดปกติเมื่อพูดและฟังตามธรรมดา ขณะที่เราสลับกันพูดโทรศัพท์ในการสนทนาทั่วไป วงจรกำจัดเสียงสะท้อนจะสลับทิศทางตลอดเวลา เพื่อป้องกันเสียงสะท้อนไม่ให้เกิดขึ้น

วิธีป้องกันเสียงสะท้อนของโทรศัพท์

เมื่อส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์วงจรกำจัดเสียงสะท้อนจะทำให้การรับส่งข้อมูลมีปัญหามากเนื่องจากการสลับทิศทางของวงจรกำจัดเสียงสะท้อนทำให้สัญญาณขาดหายไปในช่วงนั้น ถึงแม้ว่าเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ก็อาจจะทำให้ข้อมูลบางส่วนขาดหายไปได้ นอกจากนี้การสลับทิศทางของวงจรกำจัดเสียงสะท้อนยังทำให้เสียเวลาในการส่งข้อมูลอีกด้วย เพราะมันต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการสลับทิศทางเสมอสิ่งเหล่านี้มีผลมากเมื่อเราส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ด้วยความเร็วสูง

โมเด็มในปัจจุบันจะหยุดการทำงานของวงจรกำจัดเสียงสะท้อนได้ โดยส่งคลื่นเสียงความถี่ประมาณ 2,100 Hz ไปยังชุมสายโทรศัพท์นานประมาณครึ่งวินาที วงจรกำจัดเสียงสะท้อนก็จะหยุดสลับทิศทาง ทำให้การรับส่งข้อมูลเป็นไปได้โดยไม่มีปัญหา โมเด็มจะหยุดการทำงานของวงจรกำจัดเสียงสะท้อนเสมอ เพราะว่าการรับส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์มักจะเป็นการส่งแบบสวนทางกันได้ (Full Duplex) โดยใช้เทคนิคแบ่งความถี่เข้ามาช่วย ซึ่งถ้าหากว่าวงจรกำจัดเสียงสะท้อนยังคงทำงานอยู่ ข้อมูลบางส่วนอาจจะผิดพลาดหรือขาดหายไปได้ ในการรับส่งแบบ Half Duplex ก็ยังจำเป็นที่จะต้องหยุดการทำงานของวงจรกำจัดเสียงสะท้อนอยู่ดีเสมอ มีผลทำให้ข้อมูลเดินทางไปไม่ถึงผู้รับ เพราะถูกกั้นสัญญาณเอาไว้ วงจรกำจัดเสียงสะท้อนจึงเป็นปัญหาที่โมเด็มต้องจัดให้เรียบร้อยก่อนส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์เสมอ

สัญญาณรบกวนในสายโทรศัพท์เป็นปัญหาอีกอันหนึ่งในการรับส่งข้อมูล ปกติสัญญาณรบกวนจะมีอยู่ระดับหนึ่งตลอดเวลาในสายส่งซึ่งจะเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากที่อื่นถูกเหนี่ยวนำเข้ามาในสาย หรือเกิดจากอุปกรณ์รับส่งของชุมสายโทศัพท์เองก็ได้ เมื่อสัญญาณรบกวนมีขนาดไม่มากนักเทียบกับสัญญาณข้อมูลที่เราใช้รับส่งเราก็ยังคงแยกออกว่าส่วนไหนคือข้อมูล และส่วนไหนคือสัญญาณรบกวน แต่ในระยะทางไกล สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปจะมีกำลังอ่อนลงตามระยะทาง ทำให้ความแตกต่างระหว่างสัญญาณรับส่งและสัญญาณรบกวนน้อยลง การรับข้อมูลจะทำได้ลำบากมากยิ่งขึ้น

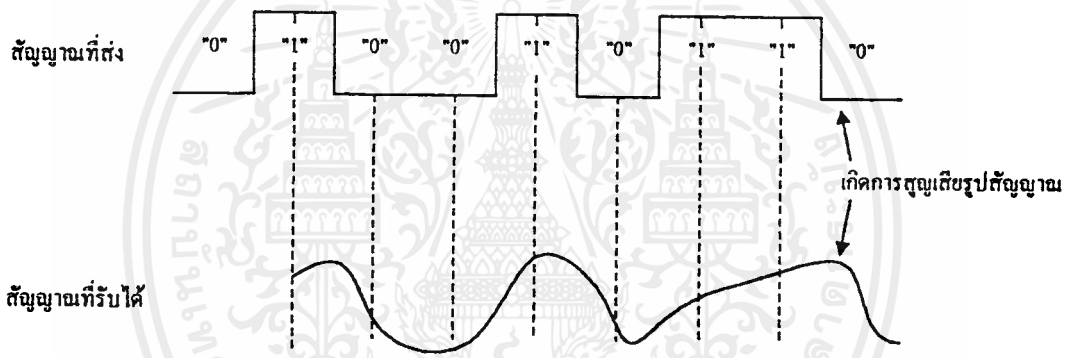
โมเด็มที่รับส่งข้อมูลด้วยความเร็วไม่เกิน 2,400 บิตต่อวินาที มักไม่ค่อยปัญหาเรื่องของสัญญาณรบกวน เนื่องจากความเร็วขนาดนี้การผสมสัญญาณในการรับส่งยังไม่ซับซ้อนมากนัก รูปคลื่นที่ส่งออกไปมีความแตกต่างกันชัดเจน เมื่อถูกรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ก็ยังสามารถแยกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

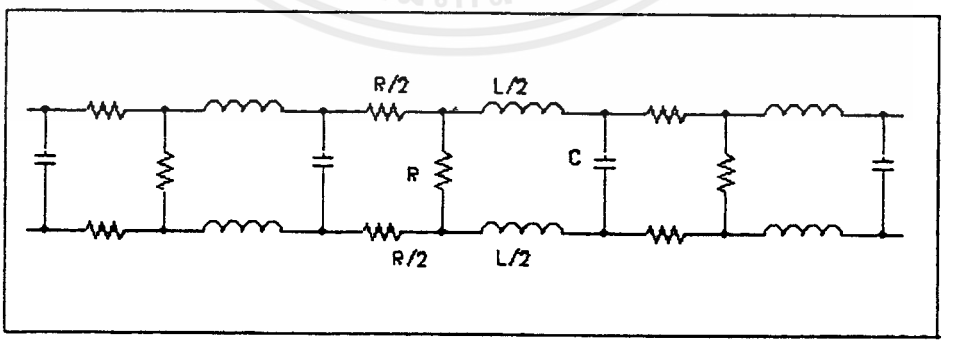
ได้ง่ายว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็นอย่างไร ปัญหาของสัญญาณรบกวนในสายจะมีผลกับโมเด็มที่ส่งด้วยความเร็วสูง เช่น 4,800 หรือ 9,600 บิตต่อวินาทีค่อนข้างมาก เพราะที่ความเร็วสูงโมเด็มจะต้องใช้เทคนิคการผสมสัญญาณซับซ้อนมาก เพื่อส่งข้อมูลไปในสายโทรศัพท์ ซึ่งมี Bandwidth 3,000 Hz เท่านั้น รูปคลื่นของสัญญาณที่ส่งออกไปจึงต้องมีความแม่นยำสูง ผู้รับถึงสามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สัญญาณรบกวนจะทำให้รูปคลื่นของสัญญาณที่ภาครับผิดไปจากเดิมมีผลถึงการรับข้อมูลผิดพลาดได้

การสูญเสียในสายส่ง

เนื่องจากที่ใช้สายโทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสาร ถ้าต้องการที่จะติดต่อไปในระยะทางไกลจะทำให้เกิดการสูญเสีย เนื่องจากระยะทางที่ไกลขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียในสายส่งขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากค่าความเร็วเฟสไม่คงที่ และความต้านทานของสายส่ง ทำให้เกิดการกระจายของสัญญาณขึ้น มีผลทำให้เกิดการสูญเสียในสายส่งทั้งทางด้าน Phase และ Amplitude ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 (ก) แสดงการสูญเสียในสายส่ง



รูปที่ 11 (ข) แสดงวงจรไฟฟ้าของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพการส่ง

การส่งแบบดิจิตอลจะใช้วิธีการแปลงค่ากระแสหรือแรงดันตามสัญญาณ "0" กับ "1" และระหว่างการส่งจะมีการสร้างรูปร่างสัญญาณขึ้นใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับการส่งแบบอนาลอกแล้ว ช่วงที่ยอมรับได้สำหรับความเสียหายนั้นจะกว้างกว่า เป็นผลให้ทนต่อความเสียหายได้ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการพัฒนา เซอร์กิตสวิตช์ชิ่ง (Circuit Switching) และแพ็กเกตสวิตช์ชิ่ง(Packet Switching) สำหรับระบบชุมสายข้อมูลแบบดิจิตอล ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาข้อเสียของการส่งแบบอนาลอกได้อย่างมากและยังเพิ่มคุณภาพในการส่งอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม เมื่อจัดเรียงลำดับสาเหตุที่คุณภาพในการส่งลดลง ได้แก่ ความเพี้ยนจากการบั่นทอนของคลื่น ความเพี้ยนจากความล่าช้า สัญญาณรบกวน การหยุดหายชั่วขณะ การกระโดดของเฟส ความแปรปรวนของความถี่ เป็นต้น โดยถ้าเส้นทางส่งมีขนาดความยาวขึ้นมากเท่าใดการลดทอนหรือสัญญาณรบกวนจะทำให้คุณภาพการส่งลดลงตามลำดับ และนอกจากคุณภาพของวงจรการรับส่งข้อมูลจะประกอบด้วยคุณภาพการส่งของเส้นทางส่งแล้ว ยังประกอบด้วยคุณภาพของอุปกรณ์ปลายทางวงจรรับส่งข้อมูลด้วย

ถ้าคุณภาพเส้นทางส่งข้อมูลทางการส่งลดลงแล้ว สัญญาณดิจิตอลที่สร้างขึ้นใหม่ทางด้านรับเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ถ้าอัตราความเพี้ยนมีขนาดมากขึ้นทำให้เกิดการผิดพลาดของ "0" กับ "1" คุณภาพของเส้นทางการส่งสามารถประมาณค่าระดับของความเพี้ยนของรหัสหรืออัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้

ในปัจจุบันนี้ ความต้องการที่จะให้ได้ความเร็วในการส่งข้อมูลให้มีค่าสูงขึ้นและรูปแบบที่ใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ทำให้แนวโน้มคุณภาพของวงจรส่งข้อมูลดียิ่งขึ้น ในการออกแบบระบบการสื่อสารจึงไม่เพียงแต่จะคำนึงถึงคุณภาพในการส่งของวงจร ยังต้องคำนึงถึงการใช้วิธีการมอดูเลชัน เพื่อจำกัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะต้องหาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบและแก้ไข

สาเหตุที่คุณภาพในการส่งลดลง

- ความเพี้ยนจากการบั่นทอนของคลื่น

ส่วนชองความถี่ที่เกิดจากมอดูเลชัน เมื่อถูกกำหนดด้วยแถบความถี่ที่จำกัดจากทางด้านส่งจะถูกส่งด้วยส่วนที่ใช้ในการสร้างรูปร่างที่จะต้องผ่านการดีมอดูเลชันกลับคือมาเท่านั้น แต่อัตราการลดทอนของแอมปลิจูดจะขึ้นอยู่กับความถี่ ดังนั้นเมื่อมีการมอดูเลชันคลื่นกลับคือมาในบางครั้งจึงไม่สามารถที่จะทำได้ เนื่องจากมีความผิดเพี้ยนที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่า ความเพี้ยนจากการลดทอน

- ความเพี้ยนจากความล่าช้า (ความเพี้ยนเฟส)

สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลชันออกไป จะประกอบด้วยส่วนของความถี่ต่าง ๆ มากมาย และถึงแม้ขนาดของสัญญาณทางด้านรับจะเท่ากับทางด้านส่ง แต่ถ้าเฟสที่เกี่ยวข้องของแต่ละส่วนกัน รูปร่างของคลื่นส่งก็จะต่างกับก่อให้เกิดความเพี้ยนขึ้นที่วงจร ความแตกต่างของเฟสที่เกี่ยวข้องนี้ เรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า ความเพี้ยนของความล่าช้า (หรือเรียกว่า ความเพี้ยนของเฟส) แสดงค่าความแตกต่างของความถี่ของเวลาสัญญาณเดินทาง

เมื่อความเร็วในการส่งสูงขึ้น จะทำให้ช่วงเวลาในการส่งพัลส์ (Pulse) สั้นลงและทำให้ขอบข่ายความถี่ของแต่ละสัญญาณซึ่งเป็นโครงสร้างของคลื่นที่ถูกการมอดูเลชันกว้างขึ้น และเป็นเหตุได้รับผลกระทบจากความเพี้ยนจากความล่าช้าได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการลดทอนนี้เป็นลักษณะการเพิ่มทวีมากขึ้น

- สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนในเส้นทางของการส่งข้อมูลมีสาเหตุมาจาก สัญญาณรบกวนในอุปกรณ์ส่ง สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ การเหนี่ยวนำ การรั่ว หรือการสะท้อนจากสายเคเบิลข้างเคียง สัญญาณรบกวนมีอยู่ 2 ชนิด สัญญาณรบกวนโดยสม่ำเสมอ และสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะอินพัลส์ (ImPulse) ซึ่งเกิดเป็นครั้งคราว ในเครือข่ายโทรศัพท์จะมีส่วนของสัญญาณรบกวนในชุมสายที่มีลักษณะแบบอิมพัลส์นี้มาก

สัญญาณรบกวนจะก่อให้เกิดความเสียหายในการรับ ดังนั้นจึงต้องลดระดับของสัญญาณเหล่านี้ให้มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าเฉลี่ยสัญญาณรบกวนในเครือข่ายโทรศัพท์มาตราฐานแสดงค่า 1 mW ด้วย 0 dBm จะมีค่าต่ำกว่า - 45 dBm ระดับสัญญาณรบกวนเมื่อเทียบดูอัตราที่ยอมรับได้จะใช้อัตราส่วนของระดับสัญญาณส่งกับระดับของสัญญาณรบกวน (S/N) และอัตราส่วนนี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของเส้นทางการส่ง

โดยทั่วไปอัตรา S/N ของวงจรส่งข้อมูลจะต้องมีค่าประมาณ 25 ถึง 27 dB เช่น เมื่อระดับสัญญาณที่รับได้ - 20 dB และต้องการอัตราส่วน S/N มากกว่า 25 dB ค่าของสัญญาณรบกวนจะมีขนาดไม่เกิน - 45 dBm

ความต้านทานสัญญาณรบกวนในแต่ละวิธีของการมอดูเลชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับการมอดูเลชันแอมปลิจูดแล้ว การมอดูเลชันเฟสหรือการมอดูเลชันความถี่จะทนต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าและเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าของ S/N ต่ำสุดของแต่ละวิธีที่ยอมรับได้ตามทฤษฎีแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมอดูเลชันแอมปลิจูด ค่า S/N ของวิธีมอดูเลชันความถี่จะลดลง 3 dB และ S/N ของวิธีมอดูเลชันเฟส (2เฟส) ลดลง 6 dB และ S/N ของวิธีมอดูเลชันเฟส (4เฟส) ลดลง 3 dB เป็นต้น

- การหยุดชั่วขณะ

ในบางครั้งสัญญาณอาจมีการหยุดหายเป็นช่วง ๆ หรือมีระดับสัญญาณต่ำลงมาก เรียกว่า "การหยุดหายชั่วขณะ" การหยุดหายชั่วขณะนี้เกิดจากการแตะสัมผัสไม่ดีของอุปกรณ์ส่ง การสับสวิตช์ไปยังอุปกรณ์สำรองหรือการก่อสร้างร่องสายเคเบิล เป็นต้น สำหรับช่วงเวลาการขาดหายจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ~ 2 มิลลิวินาที ถึง 10 ~ 100 มิลลิวินาที หรืออาจจะขาดหายไปเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การหยุดชั่วขณะมิใช้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบเห็นบ่อยนั้น สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ (ประมาณ + 3 dB) ตามเวลา เรียกว่า "ระดับการเปลี่ยนแปลง"

การหยุดหายชั่วขณะทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณที่ส่งและการเลื่อนของจังหวะเวลา นอกจากนี้ยังติดตามด้วยสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ สำหรับความผิดพลาดส่วนใหญ่ อาจจะกล่าวได้ว่ามีสาเหตุจากการหยุดหายชั่วขณะและสัญญาณรบกวนนั่นเอง

สำหรับความผิดพลาดของจำนวนบิตที่เกิดจากการหยุดหายชั่วขณะนั้น ถ้าความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเท่าไร ช่วงเวลาของบิตก็จะสั้นลงตามไปด้วย และแน่นอนบิตที่ผิดพลาดยอมมากตามไปด้วย และถึงแม้ช่วงเวลาหยุดชะงักจะมีเพียง 0.5 ~ 2 มิลลิวินาทีก็ตาม อาจจะเกิดความผิดพลาดในบิตจากหลายบิตไปจนกระทั่งหลาย 10 บิต ขึ้นอยู่กับความเร็วในการส่งข้อมูล

- การเปลี่ยนแปลงความถี่

การเปลี่ยนแปลงความถี่คือ การที่ด้านส่ง ส่งด้วยความถี่ 1200 Hz แต่ความถี่ที่ไปถึงทางด้านรับกลับกลายเป็น 1201 Hz กล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่จะเท่ากับ 1 Hz

ในขณะวิธีการมอดูเลแอมปลิจูดอ่อนไหวต่อระดับการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงความถี่สำหรับวิธีการมอดูเลชันความถี่ มีผลกระทบต่อการมอดูเลชันของสัญญาณเดิมที่ถูกต้องกับคือมา แต่ถ้าวงจรที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีความเร็วในการส่งสูงกว่า 200 บิตต่อวินาที ขอบเขตความถี่ที่สามารถยอมรับได้ประมาณ 2 Hz โดยไม่มีปัญหาต่อการมอดูเลชันค่า 2 ค่า

อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ส่งที่ใช้สายส่งความเร็วต่ำ 50 บิตต่อวินาที ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ 1 Hz จะทำให้เกิดค่าผิดเพี้ยนประมาณ 0.5 ~ 2.5 % สำหรับปรากฏการที่คล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ คือ เฟสจิทเตอร์ (phase Jitters) เป็นการเปลี่ยนแปลงของเฟสเมื่อเทียบกับเฟสเดิมของสัญญาณ ส่วนมากเกิดจากอิทธิพลของสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟของอุปกรณ์ส่งซึ่งเป็นส่วนประกอบของวงจรส่งข้อมูล

สำหรับการส่งข้อมูลแบบดิจิตอล การเลื่อนของเฟสหลังจากควอนไตซ์ สัญญาณแซมปลิงที่สร้างจากอุปกรณ์ PCM (Pulse Code Modulation) เป็นสาเหตุหนึ่งของเฟสจิทเตอร์ ในกรณีการสับเปลี่ยนเส้นทางส่งของคลื่นพาห์ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกว่า "การกระโดดของเฟส" (Phase Hit)

สาเหตุของคุณภาพการส่งแบบดิจิตอลที่ลดลง

เนื่องจากอุปกรณ์ภายนอกที่จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนส่วนใหญ่จะมาจากสายส่งอาจเนื่องมาจาก ความเพี้ยนจากการบั่นทอนของคลื่น ความเพี้ยนจากความล่าช้า สัญญาณรบกวน การหยุดหายชั่วขณะ การกระโดดของเฟส ความแปรปรวนของความถี่ เป็นต้น โดยถ้าเส้นทางส่งมีขนาดความยาวขึ้นมากเท่าใดการลดทอนหรือสัญญาณรบกวนจะทำให้คุณภาพการส่งลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038430

นอกจากสาเหตุที่กว่ามาแล้วนี้ยังมีสาเหตุมาจากการเสื่อมคุณภาพของการส่งดิจิตอลโดยเฉพาะด้วย คือ เครือข่ายข้อมูลดิจิตอล (เซอร์กิตสวิตช์ชิง) จะทำงานด้วยสัญญาณนาฬิการ่วมกันทั้งเครือข่าย ดังนั้น สาเหตุใด ๆ ที่ทำให้สัญญาณนาฬิกาเกิดความเสียหายขึ้นแล้ว จังหวะร่วมที่สถานีชุมสายก็จะเลื่อนไปด้วย นำไปสู่ปรากฏการณ์ "สลิป" (Slip) ซึ่งจะทำให้ข่าวสารที่ส่งมาขาดหายไปบ้าง ทับกับบ้าง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการทำงาน

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

AT89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตขึ้นโดย ATMEL ซึ่งมีโครงสร้างหรือชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ DIP ขนาด 40 ขา ข้อมูลทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์AT89C51 มีดังนี้

มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต

มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด Flash Memory ขนาด 4 Kbyte สามารถโปรแกรมซ้ำได้ 1000 ครั้ง

มีหน่วยความจำแบบ RAM 8 - Bit ขนาด 128 Byte (Internal RAM)

มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี

มีขาสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจำนวน 32 บิต

มีวงจรไทเมอร์และวงจรนับขนาด 16 บิต (16 Bit Timet/Counter) จำนวน 2 channel

RUN ด้วยความเร็วนาฬิกา 0 Hz - 24 MHz

มีพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมภายในตัวเองซึ่งทำงานแบบฟูลดุเพล็กซ์

มีระบบประหยัดพลังงาน (Loe Power Idle and Power Down Mode)

หน่วยความจำของข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลทำให้เขียนโปรแกรมทำได้ง่าย

การอินเตอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ

มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์

คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์

ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว

คุณสมบัติพิเศษของ AT89C51 คือมีระบบประหยัดพลังงานไฟ ซึ่งเป็นผลดีอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์หรือเครื่องที่ใช้แบตเตอรี่ในการจ่ายพลังงานไฟ ระบบประหยัดพลังงานของ AT 89C51 สามารถกระทำได้ 2 วิธี ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างกัน

- ระบบประหยัดพลังงานไฟโหมดแรกคือระบบประหยัดพลังงานไฟในโหมด Idle ในโหมดนี้การทำงานในส่วนของ CPU (Central Processing Unit) จะถูกสั่งให้หยุดการทำงานในขณะที่วงจรภายนอกส่วนอื่น ๆ ยังคงทำงานอยู่เช่นเดิม เช่น วงจรในภาคไทเมอร์,เคาน์เตอร์ และวงจรการควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมการอินเตอร์รัปต์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกสั่งงานจากซอฟต์แวร์ให้เข้าสู่โหมด Idle นี้แล้ว CPU จะสามารถออกจากโหมดนี้ได้ เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นหรือทำการรีเซตระบบใหม่

- ระบบประหยัดพลังงานโหมดที่ 2 คือระบบประหยัดพลังงานในโหมด Power Down เมื่อเข้าสู่การทำงานในโหมดนี้ระบบประมวลผลทั้งหมดจะหยุดการทำงานและสามารถเริ่มทำงานใหม่ได้อีกครั้งด้วยการรีเซตระบบใหม่เท่านั้นแต่อย่างไรก็ตามข้อมูลต่าง ๆ ที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ RAM ภายในและรีจิสเตอร์ SFR จะไม่สูญหายไป

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้ระบบประหยัดพลังงานทั้ง 2 แบบ ระบบที่ใช้การประหยัดพลังงานในแบบ Power Down จะประหยัดพลังงานมากกว่าในโหมด Idle แต่ก็มีข้อเสียของระบบประหยัดพลังงานทั้ง 2 แบบคือ ถ้าใช้กับระบบที่ทำงานแบบไม่มีการหยุด (no break system) ซึ่งจะทำให้ระบบทั้งหมดหยุดการทำงานหรือขาดการควบคุม ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมด Power Down แล้ว และไม่มีทางเลือกอื่นใด นอกจากที่จะต้องเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมดโดยการปิดและเปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

โครงสร้างภายนอกของ AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูป I2 สำหรับหน้าที่การใช้งานแต่ละขามีดังนี้

ขา vcc เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง + 5 โวลท์

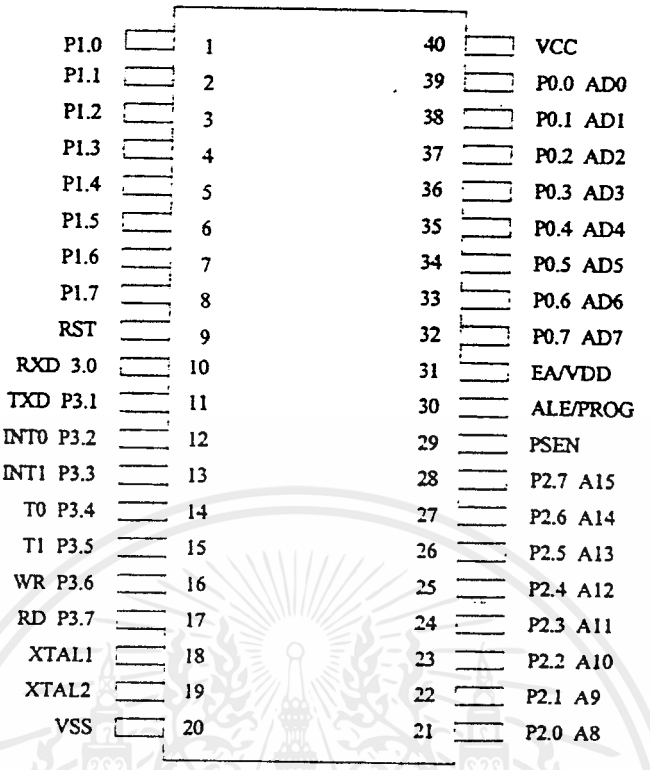
ขา vss เป็นขา gnd

ขาพอร์ต 0 มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{0.0}$-$P_{0.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับการใช้งานทั่วไป โดยใช้เป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้เป็นพอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากจะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแล้วยังสามารถใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้อีกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A_0 - A_7) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0 - D_7)

ขาพอร์ต 1 มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{1.0}$ - $P_{1.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้ในงานทั่วไป โดยใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต

ขาพอร์ต 2 มี 8 ขาได้แก่ $P_{2.0}$ - $P_{2.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A_8 - A_{15})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

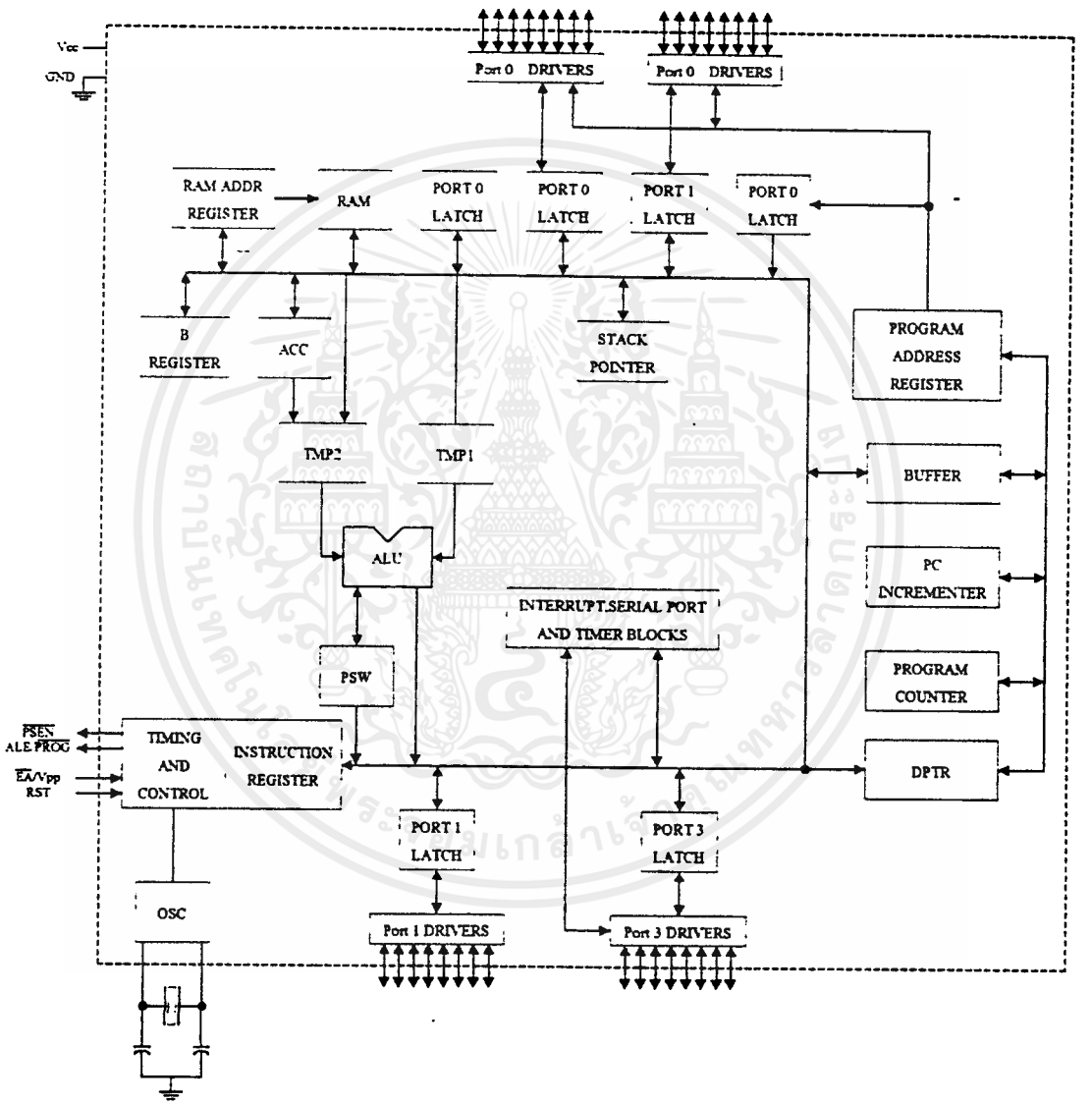
ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
$P_{3.0}$	RXD (serial input port)
$P_{3.1}$	TDX (serial output port)
$P_{3.2}$	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
$P_{3.3}$	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
$P_{3.4}$	T0 (Timer 0 external input)
$P_{3.5}$	T1 (Timer 1 external input)
$P_{3.6}$	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
$P_{3.7}$	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

ตารางที่ 1 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ต 3 มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{3.0}$ - $P_{3.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไปโดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้เป็นพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตแล้วยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆในตารางที่ 1

ขารีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมชีนไซเกิล ในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังคงทำงานอยู่



รูปที่ 13 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

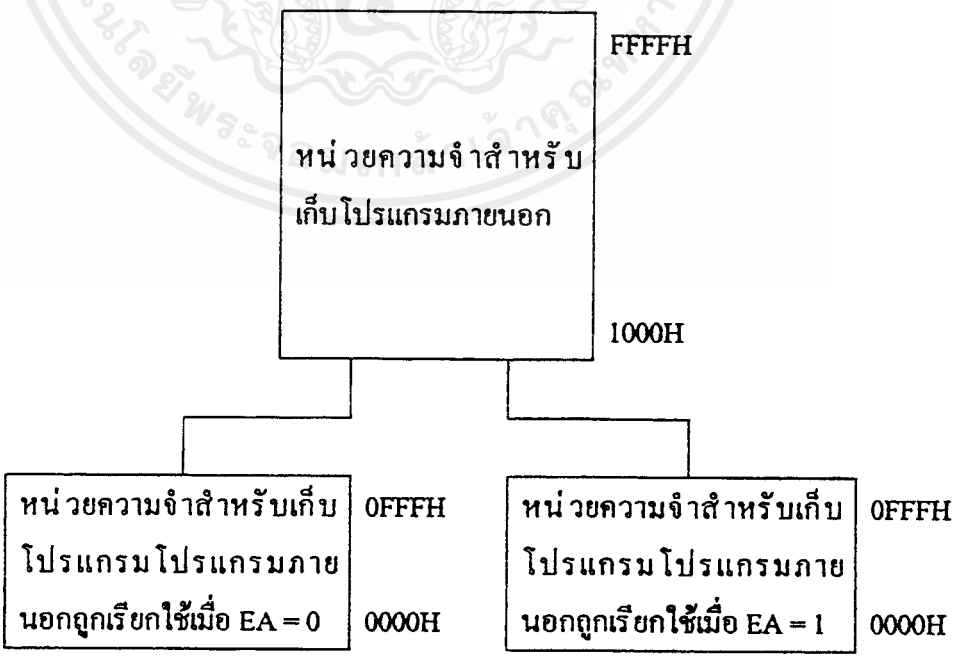
ขา ALE/$\overline{PROG}$ เป็นขาสัญญาณที่ทำหน้าที่ควบคุมการแลตช์ (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enabel) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

ขา $\overline{PSEN}$ (program store enabel) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรปเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลตามคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรปจำนวน 2 ครั้งในแต่ละแมชีนไซเกิล แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะไม่มีการส่งสัญญาณสโตรปแต่อย่างใด

ขา $\overline{EA}$/VPP (external access enabel /VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายใน โดยถ้ามีสถานะเป็นศูนย์จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-0FFFH อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (seçurity bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าสำหรับโปรแกรม (vpp) ขนาด 21โวลท์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM ขา $XTAL_1$ และขา $XTAL_2$ เป็นขาอินพุตและเอ้าท์พุตของวงจรอินเวอร์ติ้งออสซิลเลเตอร์แอมป์ปลิไฟล์เออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตอลภายนอก

โครงสร้างภายใน AT89C51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 แสดงในรูปที่ 13



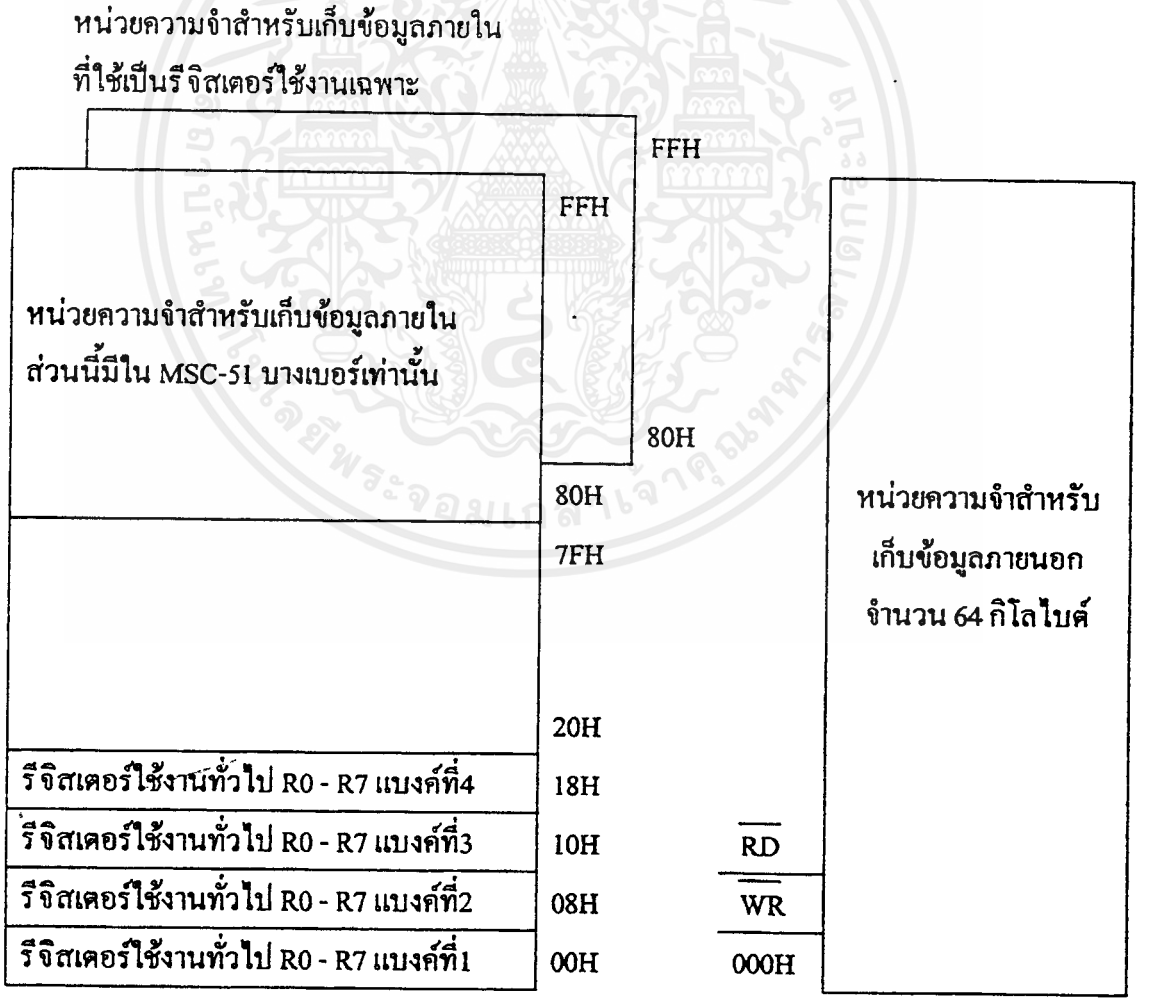
รูปที่ 14 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 แบ่งชนิดและหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับการเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ในตัว โดยอาจมีขนาดไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่นบางเบอร์เป็น ROM บางเบอร์เป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บในหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลและตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน AT89C51 มีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์ สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมแสดงในรูปที่ 14 และหน่วยความจำข้อมูลแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกใช้งานถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0 - 0FFFH นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0 - 0FFFHจะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ SFR (special function register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ(SFR)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และทำให้การเขียนโปรแกรมทำได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานซึ่งในรีจิสเตอร์พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต แสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ ในรูป 16

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปพักไว้ชั่วคราวหรือใช้งานทั่วไปตามต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมี 8 ตัว คือ R_0-R_7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว ถูกจัดให้อยู่รวมกันและมีให้เลือกใช้ถึง 4 แบงค์ นั่นคือมีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปถึง 32 ตัว เพียงแต่การเลือกใช้รีจิสเตอร์ R_0 - R_7 ในแบงค์ใดแบงค์หนึ่งจะถูกกำหนดจากบิต RS_0,RS_1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ PSW ดังนั้นการเลือกใช้จะเลือกใช้ได้แบงค์เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง อย่างไรก็ตามข้อมูลที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์แบงค์ใดก็ตามที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละแบงค์จะไม่มีผลซึ่งกันและกัน ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปได้ทั้ง 32 ตัวอย่างเต็มที่และไม่ยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งแอดเดรส	MSB							LSB	รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ
	WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF	
0F8H	FF	FE	FD	FC	FB	FA	F9	F8	IOCON
0F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	B
0E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	ACC
	CY	AC	F0	RS1	RS0	0V	F1	P	
0D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	PSW
0C0H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH2
0CCH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL2
0CBH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2H
0CAH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2L
	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2	
0C8H	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8	T2CON
	PCT		PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0	
0B8H	BF	-	BD	BC	BB	BA	B9	B8	IP
0B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	P3
	EA		ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
0A8H	AF	-	AD	AC	AB	AA	A9	A8	IE
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	P2
99H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SBUF
	SMO	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	R1	
98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98	SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

90H	97	96	95	94	93	92	91	90	P1
8DH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH1
8CH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH0
8BH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL1
8AH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL0
89H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TMOD
	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	
88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88	TCON
87H									PCON
83H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPH
82H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPL
81H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SP
80H	87	86	85	84	83	82	81	80	P0

รูปที่ 16 แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ

การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

รูปที่ 17 เป็นตัวอย่างโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่เขียนขึ้นภายใต้โปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ซึ่งมีชื่อว่า XAMPLE01.A51 โปรแกรมนี้เรียกว่าซอร์สโค้ดโปรแกรม (source code programe) ในแต่ละบรรทัดจะบรรจุซึ่งสาระสำคัญต่างๆ ในรูปของคำสั่ง คำสั่งที่ถูกเขียนขึ้นเรียกว่านิวโมนิก (mnemonic) นอกจากแต่ละบรรทัดประกอบด้วยคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วยังมีส่วนของคำอธิบาย (comment) ด้วย

```
;FILE XAMPLE01.A51
;
                ORG 4100H           ; start object code at 4100H
START           MOVE DPTR,  #text   ; DPTR point to text
                LCALL STXT          ; MONITOR Routine print text
                RET                 ; return to MONITOR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

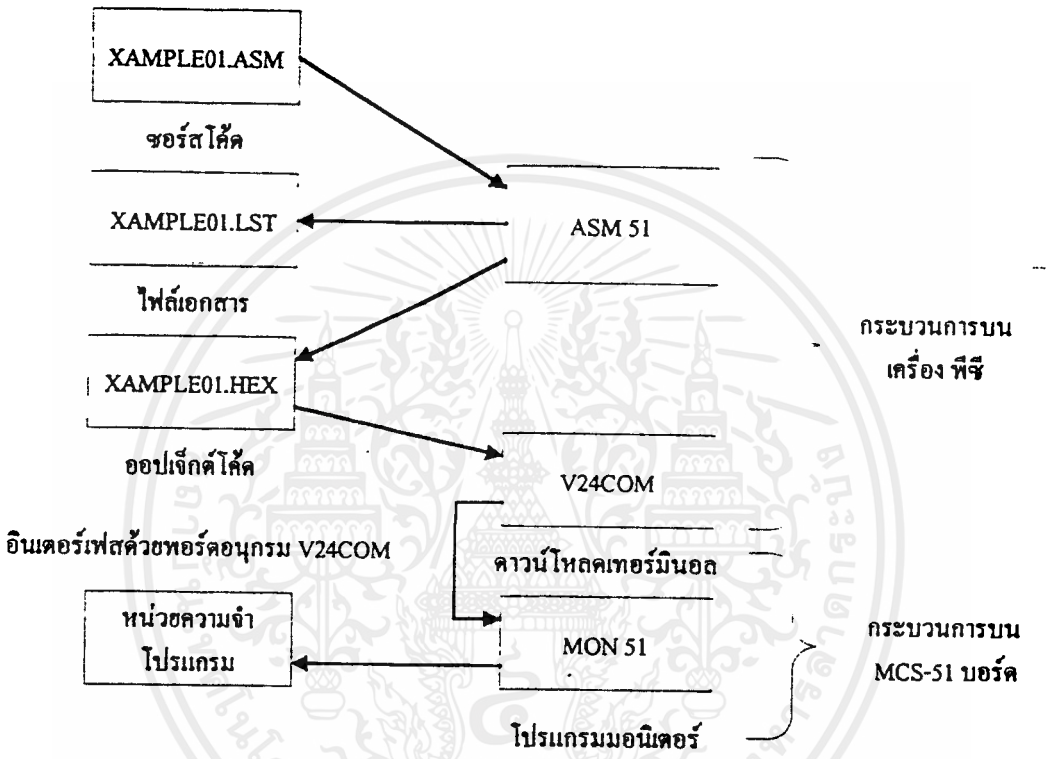
```
;
text            DB          'The FIRST Program.....', 13, 10, 0
;.....
; MONITOR INTERFACE
;
ccSTXT          EQU   2             ; MONITOR command to send text
COMMAND         EQU   030H          ; MONITOR command memory
                                    ; location
MON             EQU   0200H         ; MONITOR entry address
;
STXT   MOV    COMMAND, #ccSTXT  ; MONITOR set command
       LIMP   MON               ; MONITOR call it!
;.....
                END
```

รูปที่ 17 ตัวอย่างโปรแกรมแอสเซมบลีหรือซอร์สโค้ด

โปรแกรมแอสเซมบลียังไม่สามารถนำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที แต่ต้องนำมาทำการแปลงจากซอร์สโค้ดไฟล์เป็นภาษาเครื่อง (machine code) ทั้งคำสั่งต่างๆ ,ข้อมูลและการอ้างแอดเดรสทั้งหมดถูกแปลงไปเป็นภาษาเครื่องที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจได้ หรือเรียกว่า ออปเจคโค้ด (object code) โดยใช้โปรแกรมแอสเซมเบลอร์ในที่นี้คือ EASM51.EXE มาใช้งาน หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ทำการสร้างไฟล์ใหม่ขึ้นมาอีกไฟล์หนึ่ง โดยการนำเอาออปเจคโค้ดมาแทนที่คำสั่งหรือนิวโมนิกที่เขียนขึ้น โดยไม่สนใจคำอธิบายต่างๆ ที่เขียนไว้หรือตัดส่วนนี้ออกไปไม่นำมาใช้งานเลย เอ้าต์พุตไฟล์ที่ได้จากการแอสเซมเบลอร์จะมีนามสกุลเป็น .HEX ตัวอย่างเช่น XAMPLE01.HEX ไฟล์ที่ถูกแปลงเป็นภาษาเครื่องแล้วจะอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหกจำนวน 2 หลัก เรียงตามลำดับคำสั่งต่างๆ ที่เขียนขึ้น ไฟล์นี้เองที่ประมวลผลได้ทันที เมื่อมันถูกส่งผ่านไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำบน AT89C51 บอร์ด หรือกล่าวได้ว่าเครื่องพีซีสร้างออปเจคโค้ดขึ้นมา และทำการส่งผ่านหรือดาวน์โหลดไปยัง AT89C51 บอร์ด โดยการติดต่อผ่านโปรแกรม V24COM เพื่อส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมถูกโหลดมาเก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรมบน AT89C51 บอร์ด นอกจาก EASM51 จะสร้างออปเจคโค้ดขึ้นมาไฟล์หนึ่งแล้วมันยังสร้างไฟล์เอกสาร (list file) ขึ้นมาชุดหนึ่งมีนามสกุล .LST ตัวอย่างเช่น XAMPLE01.LST ไฟล์เอกสารนี้สร้างขึ้น เพื่อรวบรวมและแสดงออปเจคโค้ดที่สร้างโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแอสเซมเบลอร์จากซอร์สโค้ดโปรแกรมและข้อมูลอื่นที่สำคัญ ดังนั้นไฟล์เอกสารนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เมื่อต้องการศึกษาโปรแกรมและการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อพัฒนาในครั้งต่อไป ถึงแม้ว่าไฟล์เอกสารนี้จะไม่สามารถนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่มันก็มีประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้ว รูปที่ 18 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการแปลงโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี จนกระทั่งเป็นโปรแกรมที่สามารถประมวลผลได้ทันทีกับ AT89C51 บอร์ด



รูปที่ 18 แสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากซอร์สโค้ดที่เขียนบนเครื่องพีซีจนเป็นออปเจ็กต์โค้ด

การใช้งานรีจิสเตอร์

โดยปกติไมโครคอนโทรเลอร์ AT89C51 จะทำการประมวลข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ ซึ่งกระทำกับรีจิสเตอร์ภายในโดยที่รีจิสเตอร์แต่ละตัวเก็บข้อมูลได้ขนาด 1ไบต์เช่นกัน เช่นรีจิสเตอร์ A ซึ่งเป็นแอกคิวมูเลเตอร์ (accumulator) ทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์กลางสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือทางโลจิกของตัวกระทำ 2 ตัว ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการบวกค่า 10 กับข้อมูลตัวหนึ่ง ให้ทำการโหลดข้อมูลไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A จากนั้นให้ใช้คำสั่งนำค่า 10 ไปบวกกับ A ผลที่ได้จากการบวกข้อมูลและค่า 10 จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ A นอกจากรีจิสเตอร์ A ทำการบวกด้วยการกำหนดค่าโดยตรงแล้ว มันยังทำการคำนวณร่วมกับรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตตัวอื่นๆอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานในคำสั่งพิเศษ โดยผู้เขียนโปรแกรมอาจกำหนดขึ้นเอง โดยที่กำหนดให้อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสพิเศษ ในที่นี้มีค่ามากกว่า 07FF ขึ้นไป ตัวอย่างเช่นแอกคิวมูเลเตอร์ถูกกำหนดให้ใช้หน่วยความจำภายในที่ 0E0H รีจิสเตอร์เหล่านี้เรียกว่า รีจีสเตอร์หน้าที่พิเศษ (special function registers หรือ SFRs) จำนวนของรีจีสเตอร์พิเศษอาจจะมีไม่เท่ากันในไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51 ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ทำการตั้งค่าไว้ เพราะรีจิสเตอร์พิเศษเหล่านี้ถูกรวมอยู่หรือใช้พื้นที่ในส่วนของหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหน่วยความจำภายในหรือแรมภายในจะมีขนาดไม่เท่ากันในแต่ละเบอร์

นอกจากรีจิสเตอร์พิเศษหรือ SFR แล้วยังมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานอีก 8 ตัว คือรีจิสเตอร์ R_0 ถึง R_7 รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว ถูกบรรจุอยู่ภายในแรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปของแบงค์ (bank) และใช้สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวระหว่างการประมวลผลในที่นี้จะใช้รีจิสเตอร์เฉพาะแบงค์ศูนย์เท่านั้น และหลังจากรีเซตระบบทุกครั้งรีจิสเตอร์ที่แบงค์ศูนย์จะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

การจัดสรรหน่วยความจำบน MCS-51 บอร์ด

ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51 มีขนาดหน่วยความจำไม่เท่ากัน ทำให้การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแตกต่างกัน

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสามารถขยายได้สูงถึง 64 กิโลไบต์ มีหน้าที่เก็บคำสั่งต่างๆ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ มันสามารถใช้เก็บตารางข้อมูลและค่าคงที่ได้ในการใช้งาน ในที่นี้จะใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเท่านั้น ที่ขา 31 หรือค่า EA (external access enabel) จึงถูกต่อลงกราวด์ไว้เพื่อกำหนดให้ไม่ใช้งานหน่วยความจำภายในที่มีอยู่แล้ว เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกมันจะสัญญาณลอจิก LOW ที่ขา 29 หรือขาPSEN ออกมา

หน่วยความจำโปรแกรมไม่จำเป็นเสมอไปว่าต้องเป็นรอมหรืออีพรอม เช่นเดียวกับตำแหน่งแอดเดรสที่ว่างแต่ละแอดเดรส อาจอยู่ในรูปหน่วยความจำหรือเป็นตำแหน่งของพอร์ตอินพุตเอ้าท์พุตก็ได้ หน่วยความจำโปรแกรมในที่นี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้คือช่วงแอดเดรสต่ำ 00000H-04000H เป็นส่วนของอีพรอม IC_5 และช่วงแอดเดรสจาก 04000H ถึง 08000H เป็นหน่วยความจำแรม IC_6 ของระบบ คำสั่งต่างๆจะถูกป้อนให้ไปเก็บไว้และทำการประมวลผลจากที่แรมนี้

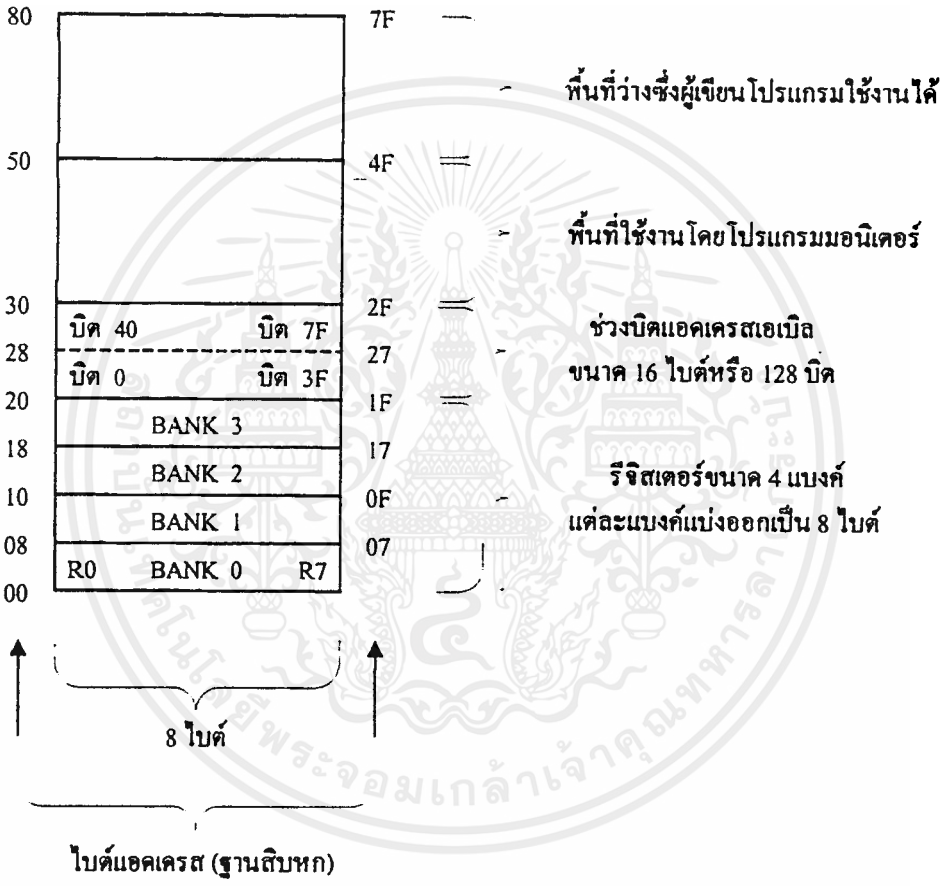
หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 สามารถทำการอ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดสูงสุดได้ 64 กิโลไบต์ หน่วยความจำในส่วนนี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลใช้งานเป็นจำนวนมากเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งบางครั้งอาจเรียกได้ว่าแรมบน AT98C51 บอร์ด หรือ IC_6 เป็นผู้ทำหน้าที่นี้ หน่วยความจำข้อมูลบนบอร์ด AT89C51 กำหนดให้มีตำแหน่งใช้งานตั้งแต่ 00000H ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

08000H ซึ่งตามที่กล่างมาแล้วหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมโดยใช้แรมถูกกำหนดให้เริ่มต้นที่ตำแหน่ง 04000H เป็นต้นไป นั่นคือโปรแกรมที่ทดลองหรือโปรแกรมที่ดาวน์โหลดจากคอมพิวเตอร์จะต้องเริ่มประมวลผลที่ตำแหน่ง 04000H ขึ้นไปเสมอ

การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่แล้วสามารถทำงานโดยไม่ต้องใช้หน่วยความจำข้อมูลมากเท่าใดนัก ทำให้เมื่อต้องการใช้หน่วยความจำก็อาศัยแรมภายในที่มีอยู่แล้วมากกว่าที่จะใช้งานแรมที่อยู่ภายนอก ขนาดของแรมภายในมีขนาด 128 ไบต์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51



รูปที่ 19 แผนที่แสดงการจัดแบ่งช่วงแอดเดรสใช้งานของแรมภายใน ซึ่งมีขนาด 128 ไบต์

ในส่วนของแรมภายในประกอบด้วยรีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำสแต็กสำหรับใช้งานและจัดการระบบภายในซับรูทีนก็อยู่ในส่วนของแรมภายในด้วย ดังนั้นขนาดของหน่วยความจำภายในที่ใช้งานได้จริงจึงน้อยกว่า 128 ไบต์ ในช่วงแอดเดรสระหว่าง 20H ถึง 2FH เรียกว่าบิตแอดเดรสเอเบิ้ล (bit addressable range) ในส่วนนี้ใช้งานในการจัดแจงหรือโยกย้ายถ่ายเทบิตข้อมูลคำสั่งไปยังแอดเดรส เปลี่ยนหรือเรียกใช้บิตใดบิตหนึ่ง ส่วนประกอบสุดท้ายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แรมภายในก็คือโปรแกรมมอนิเตอร์ซึ่งบรรจุอยู่ในอีพรอม ซึ่งการประมวลผลในส่วนนี้ต้องใช้งานแรมภายในบางส่วนด้วยเช่นกัน รูปที่ 18 แสดงการแบ่งช่วงแอดเดรสของแรมภายใน

การอินเตอร์เฟสกับจอแสดงผล LCD โมดูล

ในระบบที่ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานแบบระบบเดี่ยว (stand alone microcontroller application) บ่อยครั้งที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์แสดงผลด้วย เพื่อแสดงข้อความ,ตัวเลข,ผลการวัดค่า หรือข้อมูลต่างๆ ในการสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ และอุปกรณ์หนึ่งที่นำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางก็คือจอแสดงผล LCD โมดูล ตัวอย่างที่เห็นได้บ่อยก็คือนำมาใช้แสดงผลแบบเมนูเพื่อให้ผู้ใช้งานกดคีย์บอร์ดในการเลือกรูปแบบการทำงานต่อไป

DOT MATRIX LCD MODULE สามารถแบ่งออกเป็นพวก ๆ ได้ดังนี้

1. CHARACTER LCD MODULE
2. GRAPHIC LCD MODULE
3. SEGMENT DISPLAY LCD MODULE

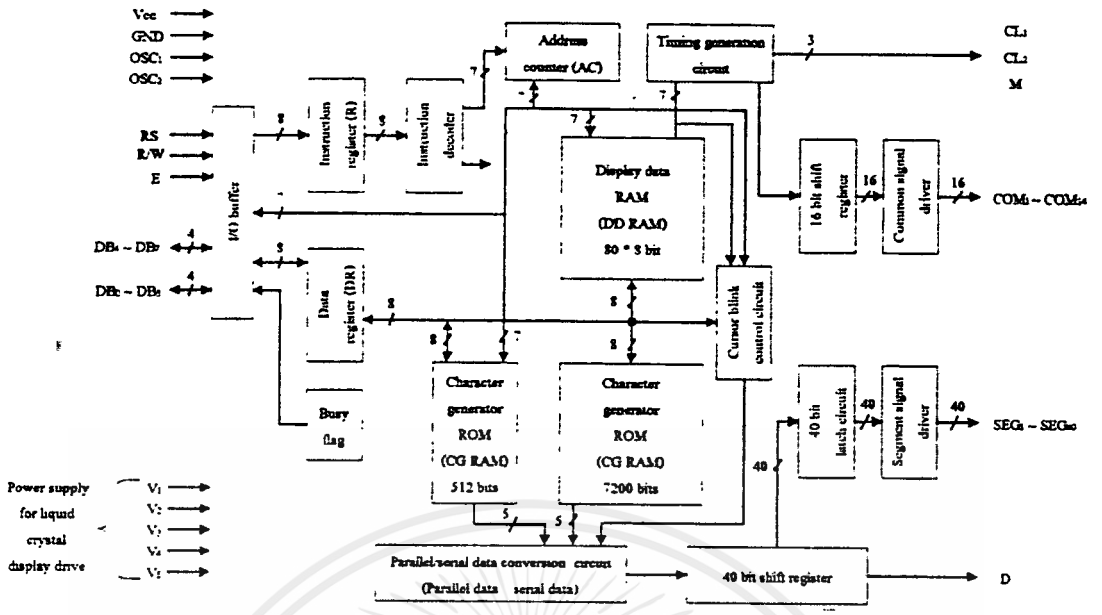
โดยในแต่ละแบบนี้ก็จะมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ แบ่งได้เป็น

1. DOT MATRIX LCD เป็นตัวเลขแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงก็คือส่วนที่เป็นดังกระจกบรรจุผลึก
2. DRIVER เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD อีกทีหนึ่งโดยมีเบอร์ที่นิยมใช้ใน LCD MODULE เช่น HD44100H,MSM5259
3. CONTROLLER เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกและจัดการควบคุม LCD MODULE ให้ทำการแสดงผลต่าง ๆ เช่น การลบจอภาพ,การเกิดตัวอักษร เป็นต้น

การเชื่อมต่อและการควบคุม

การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างบอร์ด AT89C51 และจอแสดงผล LCD โมดูลใช้จั๊มหรือสายไฟแพขนาด 14 เส้น จอแสดงผล LCD โมดูลกำหนดให้ใช้รุ่นใดยี่ห้อใดก็ได้ที่ใช้ไอซีคอนโทรลเลอร์อ้างอิงเป็นเบอร์ HD44780 หรือ เบอร์อื่นที่เทียบเท่า ตัวอย่างเช่นรุ่น H2570 (ฮิตาชิ), LM016L และ LM1612A (ชาร์ป) เป็นต้น รูปที่ 20 แสดงโครงสร้างภายในของ HD44780 ขาเชื่อมต่อของ LCD โมดูลของแต่ละยี่ห้อแต่ละแบบไม่มีมาตราฐานที่แน่นอนเหมือนกัน การเชื่อมต่อขาต่างๆ จึงต้องอาศัยดาต้าชีตของ LCD โมดูลรุ่นนั้นๆ ที่จัดซื้อมาอ้างอิงเป็นหลัก เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพราะ LCD มีราคาแพงและถ้าป้อนไฟผิดจะทำให้ LCD เสียหายได้โดยง่าย ตำแหน่งขาต่างๆ ที่เชื่อมต่อไปยัง LCD โมดูลที่คอนเน็กเตอร์ K10 บนบอร์ดดังแสดงในรูปที่ 21 อาศัยรายละเอียดจากรูปนี้เพื่อเชื่อมต่อไปยัง LCD โมดูลและอ้างอิงในการตรวจสอบวงจรได้

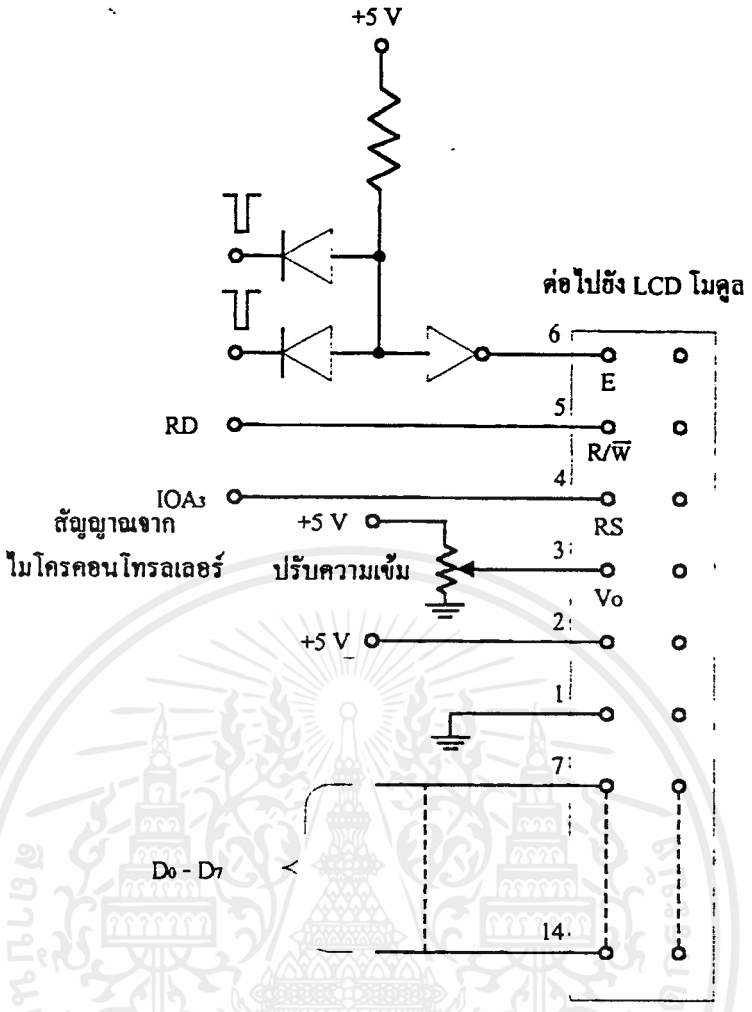
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 แสดงโครงสร้างภายในของ HD44780

การควบคุมการทำงานของ LCD โมดูลอาศัยสัญญาณอีนาเบิลซึ่งจะถูกส่งไปยัง LCD โมดูลหลังจากที่มีการกำหนดรูปแบบการทำงานว่าอยู่ในโหมดอ่านหรือเขียนไปยังตำแหน่งแอดเดรส 0C009H หรือ 0C001H จากรูปที่ 21 เห็นได้ว่าขาสัญญาณเลือกโหมดการอ่านหรือเขียน (R/W) ต่อวงจรโดยตรงกับขา RD ของ AT89C51 บอร์ด เมื่อระบุโหมดการอ่านหรือเขียนแล้วต้องกำหนดการทำงานของ LCD โมดูลว่าในโหมดการอ่านหรือเขียนนั้นอยู่ในรูปของข้อมูลตัวอักขระหรือข้อมูลคำสั่งการกำหนดรูปแบบของข้อมูลทำได้ที่ขาสัญญาณ RS (Register Select) ของ LCD โมดูลซึ่งเชื่อมต่อโดยตรงกับขา IOA_3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยถ้า RS = IOA_3 = 1 และติดต่อกับแอดเดรส 0C009H จะเป็นโหมดการอ่าน/เขียนข้อมูลอักขระ และถ้า RS = IOA_3 = 0 และติดต่อกับแอดเดรส 0C001H จะเป็นโหมดการอ่าน/เขียนข้อมูลคำสั่งควบคุมภายใน LCD โมดุลการส่งผ่านข้อมูลทั้งตัวอักขระและคำสั่งควบคุมถูกป้อนเข้ากับบัสข้อมูล 2 ทิศทางของระบบ จริงๆแล้วการใช้งานจอแสดงผล LCD โมดูลสามารถทำงานได้ได้ทั้งในโหมด 4บิต (D_0-D_3) หรือโหมด 8 บิต (D_0-D_7) ก็ได้แต่ที่ใช้อยู่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงาน 8 บิต ดังนั้นการเชื่อมต่อ LCD โมดูลจึงต้องต่อใช้งานแบบ 8 บิตกับบัสข้อมูลได้พอดี และสามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานในโหมดส่งผ่านข้อมูล 8 บิตกับจอ LCD โมดูลได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง LCD โมดูลและบอร์ด MCS-51

จากรูปที่ 21 ที่ตำแหน่งขา 3 ของ K_{10} ถูกต่อเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับแรงดัน Vo ที่ป้อนให้กับจอแสดงผล LCD โมดูล แรงดันที่จุดนี้มีผลต่อการปรับความเข้ม (contrast) ในการแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้ปรับความเข้มได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ทั้งความเข้มของแสงจากภายนอกและมุมมองของผู้ใช้งาน ก่อนการเชื่อมต่อ LCD โมดูลกับ K_{10} ควรแน่ใจว่าตำแหน่งขาต่างๆในการเชื่อมต่อทั้งหมดถูกต้องแล้วจึงทำการเชื่อมต่อจริง ถ้ายังไม่แน่ใจควรตรวจสอบจากดาต้าชีตให้แน่ใจเสียก่อนเสมอ เพราะไม่เช่นอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

คำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD โมดูล

ความสามารถหลักที่ LCD โมดูลถูกหยิบยกมาใช้งานก็เพราะมันสามารถแสดงผลตัวอักขระแอสกีได้ (ASCII character) ซึ่งมีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ของ LCD โมดูล และใน LCD โมดูลแต่ละรุ่นก็มักใช้คอนโทรลเลอร์เบอร์เดียวกันเสมอ นั่นคือคำสั่งควบคุมต่างๆจึงใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันใน LCD โมดูลแต่ละรุ่น เช่นตารางชุดคำสั่งทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งใช้งานกับ LCD โมดูลทั่วไป เช่นรุ่น H2570,LM016L,LM1612A เป็นต้น

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษารูปแบบคำสั่งควบคุมต่างๆ ควรทราบถึงคำศัพท์บางคำเกี่ยวกับองค์ประกอบและการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน LCD โมดูลกันก่อน การทำงานใน LCD โมดูลจะมีบัฟเฟอร์อยู่ภายใน ซึ่งมีความจุประมาณ 80 ตัวอักขระมีชื่อเรียกว่า DD-RAM (display data RAM) มีตำแหน่งแอดเดรสอยู่ระหว่าง 000H ถึง 05FH ยกตัวอย่างเช่นถ้าเป็น LCD โมดูลขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด DD-RAM ที่จัดเก็บข้อมูลตัวอักขระที่จะแสดงผลทั้ง 16 ตัวอักษรจะถูกเก็บอยู่ที่ตำแหน่งแอดเดรส 00H ถึง 0FH โดยเริ่มต้นจากด้านซ้ายของจอแสดงผลการทำให้เกิดช่องว่าง (window) ใน DD-RAM สามารถทำได้โดยการใช้คำสั่งชิฟต์ตัวอักขระ ในการแสดงผล หรืออีกอย่างหนึ่งที่ง่ายก็คือในขณะที่ข้อมูลตัวอักขระเก็บไว้ในแอดเดรสค่าหนึ่ง การแสดงผลอักขระต่อไปหรือทำให้เกิดช่องว่างอาจทำได้โดยการกำหนดจุดเริ่มต้นของแอดเดรสแตกต่างจากเดิมไป 1 แอดเดรสของ DD-RAM ซึ่งทำให้คนให้ได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน ในกรณีที่เป็นจอแสดงผล LCD โมดูลแบบ 2 บรรทัด เช่นในรุ่น LM16255 เป็นต้น บรรทัดแรกจะใช้ตำแหน่งแอดเดรสเริ่มต้นที่ 000H สำหรับตัวอักขระเริ่มต้น ในบรรทัดที่ 2 จะเริ่มต้นที่ตำแหน่งแอดเดรส 040H ในบรรทัดที่ 3 จะเริ่มต้นที่ตำแหน่งแอดเดรส 010H และในบรรทัดที่ 4 จะเริ่มต้นที่ตำแหน่งแอดเดรส์ 050H การเขียนโปรแกรมสำหรับ LCD โมดูลแบบ 4 บรรทัดย่อมมีความซับซ้อนมากกว่า LCDโมดูลแบบ 1 หรือ 2 บรรทัด เคอร์เซอร์(cursor)จะเป็นตังแสดงตำแหน่งต่อไปของตัวอักขระที่จะแสดงผลใน DD-RAM และตำแหน่งนี้ถูกเรียกว่าแอดเดรสเคาน์เตอร์(address counter) เคอร์เซอร์สามารถให้มีการแสดงผลหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมและกำหนดให้มีการแสดงผลแบบกระพริบได้ด้วย

โดยทั่วไปการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผลของ LCD เมื่อมีการส่งข้อมูลตัวอักขระไปยัง LCD คือให้ทำการเลื่อนตัวอักขระเดิมไปและเลื่อนเคอร์เซอร์ตามไปด้วย เพื่อชี้ตำแหน่งของตัวอักษรต่อไป การเขียนโปรแกรมให้แสดงผลแบบนี้ทำให้ง่ายต่อการอ่านและเข้าใจของผู้ใช้งานได้มากสุด

ใน LCD โมดูลมีหน่วยความจำส่วนหนึ่งที่สำคัญก็คือ CG-RAM ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลรายละเอียดโครงร่างของตัวอักษรที่สามารถนำมาแสดงผลได้ หน่วยความจำในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถที่จะสร้างตัวอักขระใด ๆ ได้ตามต้องการแล้วเก็บลงในหน่วยความจำส่วนนี้สำหรับเรียกใช้งานได้ด้วย ถ้าตัวอักขระที่มีอยู่แล้วนั้นไม่เพียงพอต่อการใช้งาน การใช้งานในส่วนของ CG-RAM นี้สามารถดูได้จากดาต้าชีตของ LCD โมดูลรุ่นนั้นที่ซื้อมาใช้งานได้

การส่งคำสั่งไปยัง LCD โมดูลสามารถกำหนดเป็นรหัสคำสั่งต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้ออกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0C001H โดยกำหนดให้ขาสัญญาณ RS มีค่าเป็น "0" และเซตโหมดให้การอ่านหรือเขียนได้ด้วยขาสัญญาณ R/W ต่อไปจะกล่าวถึงคำสั่งพื้นฐานที่ใช้งานบ่อยครั้งในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง	รหัสควบคุม										คำอธิบาย	ช่วงเวลาในการประมาณผล
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
เคลียร์จอแสดงผล	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	เคลียร์จอแสดงผลและส่งเคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น	82μs-1.64μs
เลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังเริ่มต้น	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	รีเซตเคอร์เซอร์ให้อยู่ที่จุดเริ่มต้นและรีเซตคำสั่งเลื่อนข้อมูลที่ผ่านมาแล้วโดยที่ข้อมูลใน DD-RAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	40μs-1.6μs
กำหนดโหมดป้อนข้อมูล	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	กำหนดทิศทางการเลื่อนของเคอร์เซอร์และตัวอักขระ คำสั่งนี้มีผลเมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยัง LCD โมดูล	40μs
ควบคุมการแสดงผล	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	ควบคุมให้จอแสดงผลปิดหรือเปิด (D), ควบคุมให้เคอร์เซอร์ปิดหรือเปิด ©, และให้เคอร์เซอร์กระพริบด้วยหรือไม่ (B)	40μs
ควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักขระ	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	ควบคุมการเลื่อนของเคอร์เซอร์และตัวอักขระโดยที่ข้อมูลใน DD-RAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	40μs
เซตฟังก์ชั่น	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	กำหนดโหมดการอินเตอร์เฟส (DL),จำนวนบรรทัดที่แสดงผล(N) และความละเอียด(F)	40μs
เซตแอดเดรสในการCG-RAM	0	0	0	1	A_{CG}						กำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM	40μs
เซตแอดเดรสในการDD-RAM	0	0	1	A_{DD}							กำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM	40μs
อ่านแฟลกบิวซี	0	1	BF	AC							อ่านค่าสถานะแฟลกบิวซีและตำแหน่งแอสเดรสเคาน์เตอร์	1μs
เขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM	1	0	ข้อมูลที่ต้องการเขียน								เขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD RAM ที่กำหนดตำแหน่งแอดเดรสไว้แล้ว	40μs
อ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD-RAM	1	1	ข้อมูลที่ได้จากการอ่าน								อ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD RAM ที่กำหนดตำแหน่งแอดเดรสไว้แล้ว	40μs
	I/D = 1 : เพิ่มค่าขึ้น					I/D = 0 : ลดค่าลง					DD RAM : Display data	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	S = 1 : ตัวอักษระถูกเลื่อน S.C = 1 : ตัวอักษระถูกเลื่อน R.L = 1 : เลื่อนไปทางขวา DL = 1 : 8บิต N = 1 : 2 บรรทัด F = 1 : 5 × 10 จุด BF = 1 : การทำงานภายในยังไม่เสร็จสิ้น BF = 0 : สามารถรับคำสั่งใหม่ได้	S.C = 0 : เคอร์เซอร์ถูกเลื่อน R.L = 0 : เลื่อนไปทางซ้าย DL = 0 : 4บิต N = 0 : 1 บรรทัด F = 1 : 5 × 7 จุด	RAM CG RAM : Character generator RAM A_{CG} : CG RAM address A_{DD} : DD RAM address AC : Adderss counter

ตารางที่ 2 แสดงตารางชุดคำสั่งพื้นฐานการควบคุมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล

การทำงานของ LCD โมดูล สำหรับเครื่อง (●) แทนสถานะของบิทที่จะเป็นสถานะใดก็ได้ ไม่สนใจและไม่มีผลต่อคำสั่งนั้นๆ

คำสั่งเคลียร์จอแสดงผล (clear display)

D_7							D_0
0	0	0	0	0	0	0	1

เมื่อคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งนี้จะทำให้ข้อมูลใน DD-RAM ถูกแทนที่ด้วยค่า 20H = space ในรหัสแอสกี ทำให้จอแสดงผลไม่ปรากฏตัวอักขระใดๆ บนจอภาพ เคอร์เซอร์จะถูกเซตให้อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นใหม่อีกครั้งและยกเลิกผลจากการใช้คำสั่งเลื่อนข้อมูล(display-shift) ที่ผ่านมาแล้ว

คำสั่งเลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น (Return home)

D_7							D_0
0	0	0	0	0	0	1	●

คำสั่งนี้มีผลทำให้รีเซตเคอร์เซอร์ให้กลับไปอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นใหม่ และรีเซตคำสั่งเลื่อนข้อมูลที่ผ่านมาแล้วนั้นโดยที่ข้อมูลตัวอักขระใน DD-RAM ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นั่นคือตัวอักขระบนจอแสดงผลจะยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งกำหนดโหมดป้อนข้อมูล (entry mode set)

D_7							D_0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

คำสั่งนี้ถูกใช้ประโยชน์ในการกำหนดการทำงานของ LCD โมดูลหลังจากเกิดการส่งไบต์ข้อมูลไปยังจอแสดงผลบิต I/D (increase/decrease bit) ทำหน้าที่กำหนดการเพิ่ม (I/D = 1) หรือลด (I/D = 0) ค่าตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM 1 แอดเดรสอัตโนมัติเมื่อเกิดการอ่านหรือเขียนตัวอักขระ ค่าของตำแหน่งแอดเดรสนี้ถูกเก็บอยู่ในแอดเดรสเคาน์เตอร์ (AC)

บิต S (shift bit) เป็นบิตที่ใช้กำหนดลักษณะการเลื่อนข้อมูลตัวอักขระอย่างอัตโนมัติโดย ถ้าบิต S=1 เมื่อมีการส่งไบต์ข้อมูลใหม่เกิดขึ้นตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่อักขระข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิต S=0 เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวา

คำสั่งควบคุมการแสดงผล (display on/off control)

D_7							D_0
0	0	0	0	1	D	C	B

คำสั่งนี้ใช้สำหรับควบคุมการแสดงผลในการปิดหรือเปิดการแสดงผลหน้าจอและเคอร์เซอร์ โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใน DD-RAM ผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดหน้าจอแสดงผลให้ปิดหรือเปิดได้ด้วยบิต D โดยกำหนดให้บิต D = 1 เป็นการเปิดจอแสดงผลและถ้า D = 0 เป็นการปิดจอแสดงผล สำหรับบิต C = 1 และบิต C = 0 เป็นการควบคุมเคอร์เซอร์ให้เปิดหรือปิดตามลำดับ และบิต B ซึ่งเป็นบิตกำหนดว่าจะให้เคอร์เซอร์กระพริบหรือไม่ B = 1 เคอร์เซอร์กระพริบ B = 2 เคอร์เซอร์ไม่กระพริบ ระยะเวลาในการกระพริบประมาณ 379.2 mS

คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักขระ (cursor or display shift)

D_7							D_0
0	0	0	1	S/C	R/L	•	•

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งนี้จะใช้ควบคุมการเลื่อนของเคอร์เซอร์และตัวอักขระที่แสดงผล มีความสำคัญและใช้งานบ่อยเนื่องจากผู้เขียนโปรแกรมต้องแสดงผลข้อความบนจอแสดงผลตามแนวนอน ผลที่เกิดจากการกำหนดสถานะของบิต S/C และ R/L แสดงในตารางที่ 3

S/C	R/L	การทำงาน
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา
1	0	เลื่อนตัวอักขระไปทางซ้ายพร้อมเลื่อนเคอร์เซอร์ไปด้วย
1	1	เลื่อนตัวอักขระไปทางขวาพร้อมเลื่อนเคอร์เซอร์ไปด้วย

ตารางที่ 3 แสดงการกำหนดสถานะของบิต S/C และ R/L และการทำงานที่เกิดขึ้น

คำสั่งเซตฟังก์ชัน (Function Set)

D_7							D_0
0	0	1	DL	N	F	●	●

คำสั่งนี้ใช้สำหรับเซตโหมดการทำงานของ LCD โมดูลหลังจากรีเซตการทำงานหรือเริ่มต้นทำงานระบบทุกครั้ง ในที่นี้เราจะใช้งาน LCD โมดูลในโหมด 8 บิตและใช้งานเพียง 1 บรรทัดเท่านั้น ความหมายของบิตต่างๆ มีดังนี้

บิต DL = 1 หมายถึงการทำงานในโหมดอินเตอร์เฟสแบบ 8 บิต

บิต DL = 0 หมายถึงการทำงานในโหมดอินเตอร์เฟสแบบ 4 บิต

บิต N = 0 หมายถึงการทำงานแบบ 1 บรรทัด

บิต N = 1 หมายถึงการทำงานแบบ 2 บรรทัดหรือมากกว่า

บิต F = 0 หมายถึงการทำงานในโหมดความละเอียด 5 X 7 จุด

บิต F = 1 หมายถึงการทำงานในโหมดความละเอียด 5 X 10 จุด

คำสั่งเซตตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM (Set CG-RAM Address)

D_7							D_0
0	1	a5	a4	a3	a2	a1	a0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งนี้ใช้สำหรับกำหนดค่าตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM ภายใน LCD โมดูลเพื่อทำการส่งผ่านข้อมูลโดยกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM แน่นอนค่าหนึ่งเพื่อถ่ายทอดไบต์ข้อมูลต่อไป บิต a0-a5 เป็นบิตกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM ซึ่งจะถูกโหลดไปเก็บไว้ในแอดเดรสเคาน์เตอร์ AC

คำสั่งเซตตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM (Set DD-RAM Address)

D_7							D_0
1	a6	a5	a4	a3	a2	a1	a0

คำสั่งนี้ใช้สำหรับกำหนดค่าตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM ภายใน LCD โมดูลเพื่อทำการส่งผ่านข้อมูลโดยกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM แน่นอนค่าหนึ่งเพื่อถ่ายทอดไบต์ข้อมูลต่อไป บิต a0-a6 เป็นบิตกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM ซึ่งจะถูกโหลดไปเก็บไว้ในแอดเดรสเคาร์เตอร์ AC แบบการจัด ADDRESS ของ DD RAM หน้าจอ LCD 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

คำสั่งอ่านแฟลกบิวซี

D_7							D_0
BF	a6	a5	a4	a3	a2	a1	a0

เมื่อต้องการอ่านสถานะของแฟลกบิวซีต้องกำหนดขาสัญญาณ R/$\overline{W}$ เป็น " 1" เสมอ แฟลกบิวซีเป็นตัวบอกสถานะการทำงานของ LCD โมดูลว่าอยู่ในสถานะพร้อมรับข้อมูลหรือไม่ โดยถ้า BF = 1 หมายถึงขณะนี้ LCD โมดูลยังไม่พร้อมรับข้อมูลต่อไป อันเนื่องจากขบวนการประมวลผลจากคำสั่งหรือไบต์ข้อมูลที่ผ่านมายังไม่เสร็จสิ้นแต่ถ้า BF = 0 หมายถึงขณะนี้ LCD โมดูลพร้อมที่จะรับคำสั่งใหม่หรือข้อมูลใหม่ได้แล้ว นอกจากคำสั่งนี้ทำให้ทราบสถานะของแฟลบิวซีแล้วในขณะเดียวกันที่บิต a0-a6 จะถูกอ่านด้วยซึ่งเป็นค่าที่เก็บอยู่ในแอดเดรสเคาน์เตอร์ AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งเขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM (Write Data to CG or DD-RAM)

D_7							D_0
d7	d6	d5	d4	d3	d2	d1	d0

เมื่อต้องการใช้คำสั่งนี้ต้องกำหนดให้ขาสัญญาณ R/$\overline{W}$ = 0 และ RS = 1 เสมอ คำสั่งนี้ใช้สำหรับส่งข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM ในตำแหน่งแอดเดรสที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG หรือ DD-RAM ก่อนหน้าที่จะส่งข้อมูลนี้แล้ว คำสั่งนี้มีผลเกี่ยวเนื่องถึงการกำหนดโหมดการทำงานก่อนหน้านี้ด้วยว่าจะให้ลดหรือเพิ่มค่าใน AC หลังจากส่งผ่านไบต์ข้อมูลแล้ว ซึ่งเป็นผลมาจากคำสั่งกำหนดโหมดป้อนข้อมูล (entry mode command)

คำสั่งอ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD-RAM (Read Data from CG or DD-RAM)

D_7							D_0
d7	d6	d5	d4	d3	d2	d1	d0

เมื่อต้องการใช้คำสั่งนี้ต้องกำหนดให้ขาสัญญาณR/$\overline{W}$ =1 และ RS =1 เสมอ คำสั่งนี้ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD-RAM ในตำแหน่งแอดเดรสที่ต้องการซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG หรือ DD-RAM ก่อนหน้าที่จะใช้คำสั่งอ่านข้อมูลนี้แล้ว

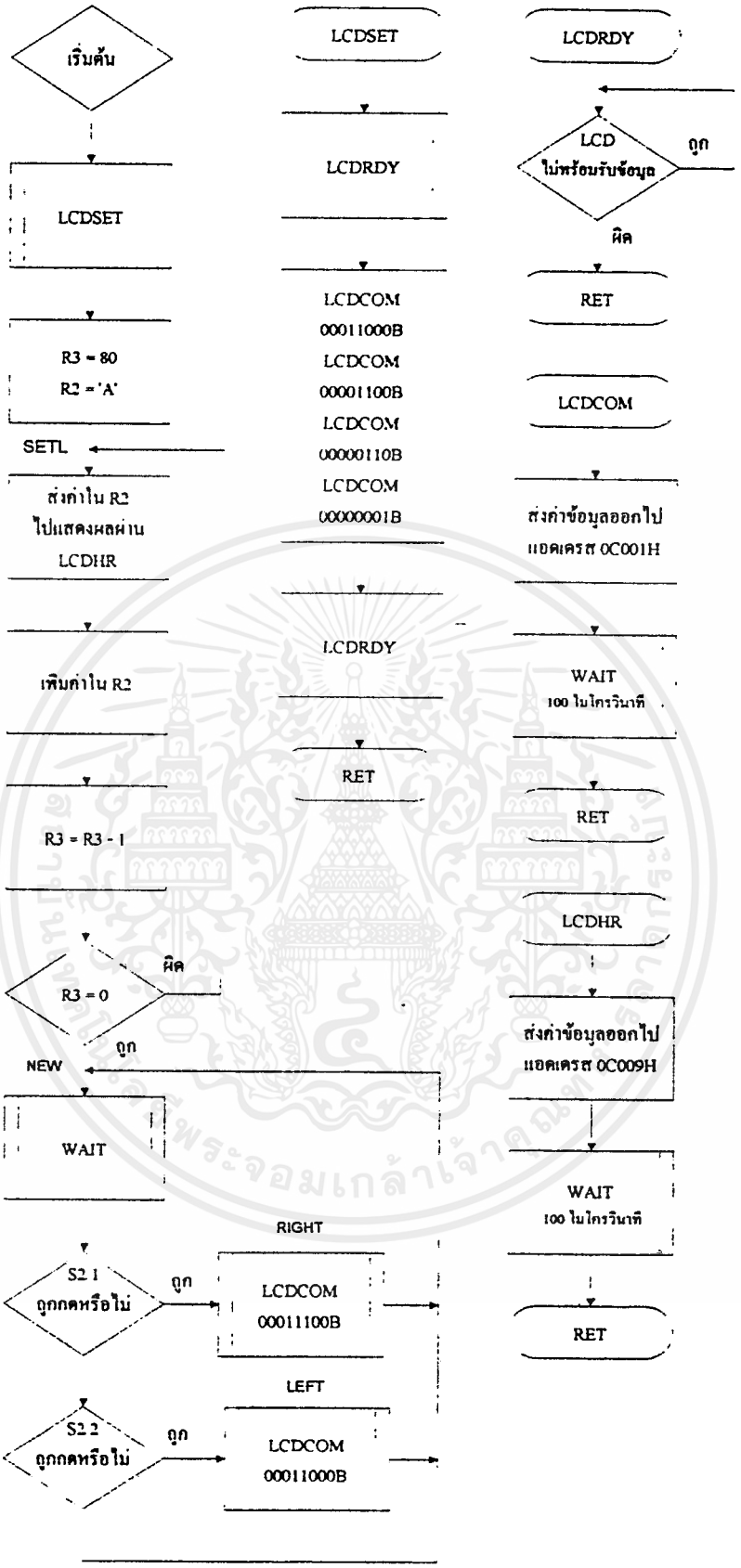
โปรแกรมทดสอบ LCD โมดูลนี้เน้นการใช้งานคำสั่งควบคุม LCD โมดูลมาใช้ในการเขียนโปรแกรม โดยโปรแกรมนี้จะทำการเขียนตัวอักษรไปยัง LCD โมดูลให้แสดงผลบนหน้าจอหลังจากนั้นก็ควบคุมให้เลื่อนตัวอักษรเหล่านั้นไปทางซ้ายหรือขวาด้วยการกดปุ่ม ตัวอย่างโปรแกรมนี้คือไฟล์ XAMPLE12.A51 โดยเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตการทำงานได้ดังในรูปที่ 22 และไฟล์เอกสารดังแสดงในรูปที่ 23

จากไฟล์เอกสารของโปรแกรม XAMPLE12 จะเห็นได้ว่ามีการใช้ซับรูทีนอยู่เป็นจำนวนมาก การทำงานแต่ละซับรูทีนจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

การทำงานของซับรูทีน

เริ่มต้นที่ซับรูทีน RCOM ทำหน้าที่อ่านค่าสถานะการทำงานของ LCD โมดูลไปเก็บไว้ในแอกคิวมูเลเตอร์ในซับรูทีนนี้จำเป็นต้องติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตเอ้าท์พุตนั่นคือ LCD โมดูลซึ่งอยู่ในตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำภายนอก (external memory) ดังนั้นจึงต้องใช้การอ้างแอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมทดสอบ LCD โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รสโดยอ้อม (indirect addressing) ในการเข้าถึงโดยการกำหนดไบต์แอดเดรสสูง (high byte address) ไปยังพอร์ต P2 ด้วยค่า 0C0H และกำหนดไบต์แอดเดรสต่ำ (low byte address) เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ R0 หลังจากนั้นจึงใช้คำสั่ง MOVX ทำการอ่านแฟลกบิวซีของ LCD โมดูลซึ่งก็คือเป็นสถานะของบิตที่ 7 ในแอกคิวมูเลเตอร์ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการรับคำสั่งและข้อมูลต่อไปของ LCD โมดูล

```
****** LISTING of EASM51 (XAMPLE12) ******
LINE  LOC   OBJ        T          SOURCE
   1  0000                ******FILEXAMPLE12.A51**************************************
   2  0000                P2      EQU     0A0H            ;for higher address
   3  0000                ACC     EQU     0E0H
   4  0000                Addrhi  EQU     0C0H    ; MSB for LCD address C0001H or C009H
   5  0000                addrRS0 EQU     001H    ;  LCD LS byte of address with RS = 0
   6  0000                addrRS1 EQU     009H    ; LCD LS byte of address with RS = 1
   7  0000
   8  0000                        ORG     4100H
   9  4100  31 2F     [2] START   ACALL   LCDSET          ; initialize LCD
  10  4102  7B 50     [1]         MOV     R3,#80          ; 80 Characters
  11  4104  7A 41     [1]         MOV     R2.#'A'         ; starting with A
  12  4106  EA        [1] SETL    MOV     A R2
  13  4107  31 4F     [2]         ACALL   LCDCHR          ; display on LCD
  14  4109  0A        [1]         INC     R2              ; next character
  15  410A  DB FA     [2]         DJNZ    R3 SETL         ; repeat
  16  410C  31 24     [2] NEW     ACALL   WAIT            ; wait
  17  410E  90 C0 00  [2]         MOV     DPTR,#0C000H    ; read keys
  18  4111  E0        [2]         MOVX    A @DPTR
  19  4112  30 E7 05  [2]         JNB     ACC.7.RIGHT     ; test bits 7 and 6
  20  4115  30 E7 06  [2]         JNB     ACC.6.LEFT
  21  4118  80 F2     [2]         SJNB    NEW             ; nothing to do
  22  411A  74 18     [1] LFET    MOV     A,#00011000B    ; shift display S/C = 1 R/L = 0
  23  411C  31 47     [2] OUT     ACALL   LCDCOM          ; send as LCD command
  24  411E  80 EC     [2]         SJMP    NEW
  25  4120  74 1C     [1] RIGHT   MOV     A,#00011100B    ; shift display S/C = 1 R/L = 1
  26  4122  80 F8     [2]         SJMP    OUT
  27  4124
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
28  4124  78 FF      [1] WAIT    MOV   R0,#255              ; wait a while
29  4126  79 FF      [1] WAIT1   MOV   R1,#255
30  4128  00          [1] WAIT1   NOP                       ; 255 * 4 microsec
31  4129  00          [1]         NOP
32  412A  D9 FC       [2]         DJNZ  R1,WAIT2
33  412C  D8 F8       [2]         DJNZ  R1,WAIT1            ; *255
34  412E  22          [2]         RET                       ; approx 65500*4 microsec
35  412F                                                    ; LCD driver routines
36  412F  31 41       [2] LCDSET  ACALL LCDRDY              ; wait for command to complete
37  4131  74 30       [1]         MOV   A,#00110000B ;DL=1 N=0 F=0: 8bit,one line 5*7 dot
38  4133  31 47       [2]         ACALL LCDCOM      ; as command
39  4135  74 0C       [1]         MOV   A,#00000110B ; D=1 C=0 B=0 display on cursor off
40  4137  31 47       [2]         ACALL LCDCOM
41  4139  74 06       [1]         MOV   A,#000001100B ; I/D=1 S= increment w display shift
42  413B  31 47       [2]         ACALL LCDCOM
43  413D  74 01       [1]         MOV   A,#00000001B        ; reset
44  413F  31 47       [2]         ACALL LCDCOM
45  4141  31 5A       [2] LCDRDY  ACALL RCOM                ; wait until LCD ready
46  4143  20 E7 FB    [2]         JB    ACC.7.LCDRDY        ; bit 7 = BUSY.Flag
47  4146  22          [2]         RET
48  4147
49  4147  75 A0 C0    [2] LCDCOM  MOV   P2,#addrhi          ; send command to LCD
50  414A  78 01       [1]         MOV   R0,#addrRS0         ; RS=low < = > command
51  414C  F2          [2]         MOVX  @R0 A               ; output at address P2 R0
52  414D  80 06       [2]         SJMP  WT1                 ; wait
53  414F
54  414F                    LCDCHR  EQU   S                 ; output character  via LCD
55  414E  75  A0 C0   [2]         MOV   P2,#Addhi           ; MS address
56  4152  78 09       [1]         MOV   R0,#addrRS1         ; RS=high < = > data
57  4154  F2          [2]         MOVX  @R0.A               ; output at address P2.R0
58  4155  78 32       [1] WT1     MOV   R0.#50              ; 100 microsec
59  4157  DB FE       [2] WT2     DJNZ  R0,WT2              ; wait
60  4159  22          [2]         RET
61  415A
62  415A  75 A0 C0    [2] RCOM    MOV   P2,#Addrhi          ; read LCD status
63  415D  78 01       [1]         MOV   R0,#addrRS0         ; RS = low
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
64  415F  E2      [2]     MOVX   A,@R0        ; fetch
65  4160  22      [2]     RET
66  4161                  END
************SYMBOLTABLE(21 symbols)***************
      P2 : 00A0      ACC : 00E0      Addrhi : 00C0      addrRS0 : 0001
 addrRS1 : 0009    START : 4100       SETL : 4106        NEW : 410C
   RIGHT : 411A      OUT : 411C       LFET : 4120        WAIT : 4124
   WAIT1 : 4126    WAIT2 : 4128     LCDSET : 412F     LCDRDY : 4141
LCDCOM : 4147   LCDCHR : 414F        WA1 : 4155         WT2 : 4157
   RCOM : 415A
```

รูปที่ 23 แสดงไฟล์เอกสารของโปรแกรมตัวอย่าง

ซับรูทีน LCDRDY ทำหน้าที่ตรวจสอบแฟลกบิวซีที่อ่านสถานะได้จากซับรูทีน RCOM โดยมันจะคอยจนกระทั่งแฟลกบิวซีมีค่าเป็น "0" ก่อนที่จะทำงานต่อไปซับรูทีนนี้มีผลทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และ LCD โมดูลทำงานไปอย่างควบคู่กันและมั่นใจได้เสมอว่า LCD โมดูลพร้อมรับคำสั่งได้อย่างสมบูรณ์

ซับรูทีน WT1 เป็นซับรูทีนหน่วงเวลาประมาณ 100 ไมโครวินาที เพราะว่าการประมวลคำผลสั่งของ LCD โมดูล เกือบทุกยี่ห้อมักมีค่าต่ำกว่า 100 ไมโครวินาที ซับรูทีนนี้จะถูกเรียกใช้เพื่อคอยให้ LCD โมดูลประมวลผลคำสั่งได้เสร็จสิ้นก่อนที่จะงานต่อไป

ซับรูทีน LCDCOM ทำหน้าที่ส่งคำสั่งควบคุมไปยัง LCD โมดูล โดยกำหนดให้ขาสัญญาณ RS = 0 การอ้างตำแหน่งแอดเดรสไปยัง LCD โมดูล ใช้คำสั่ง MOVX เช่นเดียวกับที่ใช้ในซับรูทีน RCOM หลังจากสิ้นสุดการทำงานในซับรูทีนนี้แล้วโปรแกรมจะเข้าสู่ซับรูทีนหน่วงเวลา 100 ไมโครวินาทีต่อไป

ซับรูทีน LCDSET ทำหน้าที่กำหนดโหมดควบคุมการทำงานของ LCD โมดูล การทำงานในซับรูทีนนี้ขั้นแรกจะทำการเรียกซับรูทีนขั้นแรกจะทำการเรียกซับรูทีน LCDRDY เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคำสั่งครั้งก่อนที่ส่งไปยัง LCD โมดูลให้เป็นแบบ 8 บิต, 1 บรรทัด และความละเอียด 5×7 จุดโดยการส่งคำสั่งควบคุมผ่านซับรูทีน LCDCOM หลังจากกำหนดโหมดการทำงานพื้นฐานแล้วโปรแกรมกำหนดให้เปิดจอแสดงผลและปิดการแสดงผลเคอร์เซอร์ในบรรทัดที่ 39 และ 40 และกำหนดโหมดการเลื่อนต่อไปในบรรทัดที่ 41 และ 42 ต่อจากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้เคลียร์หน้าจอแสดงผล ซึ่งคำสั่งนี้อาจต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานถึงประมาณ 1.6 มิลลิวินาที ดังนั้นหลังจากใช้คำสั่งควบคุมนี้และจึงเรียกใช้ซับรูทีน LCDRDY มาใช้ในการตรวจสอบความพร้อมของ LCD โมดูลก่อนที่จะส่งคำสั่งต่อไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไฟล์เอกสารที่นำมาเรียนรู้กันในบทนี้ถ้าสังเกตกันดี ๆ อาจจะสงสัยว่าทำไมบางซับรูทีนไปเห็นมีคำสั่ง RET ปิดท้ายเลยแล้วโปรแกรมจะทำงานได้หรือ คำตอบก็คือมันเป็นเคล็ดลับ (trick) ในการเขียนโปรแกรมแบบหนึ่ง ซึ่งใช้ในกรณีที่มีการเรียกซับรูทีนต่อกันหลายรูทีนเช่นเมื่อโปรแกรมทำงานตามคำสั่งในซับรูทีนที่ 1 จนกระทั่งถึงบรรทัดสุดท้ายก่อนจบรูทีนนี้กลับมีการเรียกอีกรูทีนหนึ่งซึ่งเป็นซับรูทีนที่ 2 คำสั่งที่ใช้เขียนจะเป็นรูปแบบนี้ คือ

:

LCALL subroutine 2

RET

จะเห็นได้ว่าต้องใช้คำสั่งจำนวน 2 บรรทัด ในส่วนนี้สามารถเขียนแทนด้วยการใช้คำสั่งเพียงบรรทัดเดียวคือ

:

LJMP subroutine 2

หลังจากกระโดดไปทำงานในซับรูทีนที่ 2 แล้วคำสั่ง RET ซึ่งเกิดจากการเรียกซับรูทีนที่ 1 จะถูกประมวลผลด้วยคำสั่ง RET ของซับรูทีนที่ 2 แทน หรือกล่าวอีกอย่างก็คือ ซับรูทีนที่ 1 ยืมคำสั่ง RET ของซับรูทีนที่ 2 มาใช้เช่น ตัวอย่างไฟล์เอกสารในรูปที่ 23 ในบรรทัดที่ 52 ถึงแม้ว่าเคล็ดลับการเขียนโปรแกรมนี้จะช่วยประหยัดคำสั่งและพื้นที่หน่วยความจำของโปรแกรมแบบนี้จะช่วยลดความสับสนอันเกิดจากมีคำสั่ง RET มากเกินไปและเคล็ดลับนี้เองที่เป็นจุดน่าสนใจของโปรแกรมตัวอย่างนี้

การทำงานของโปรแกรมหลัก

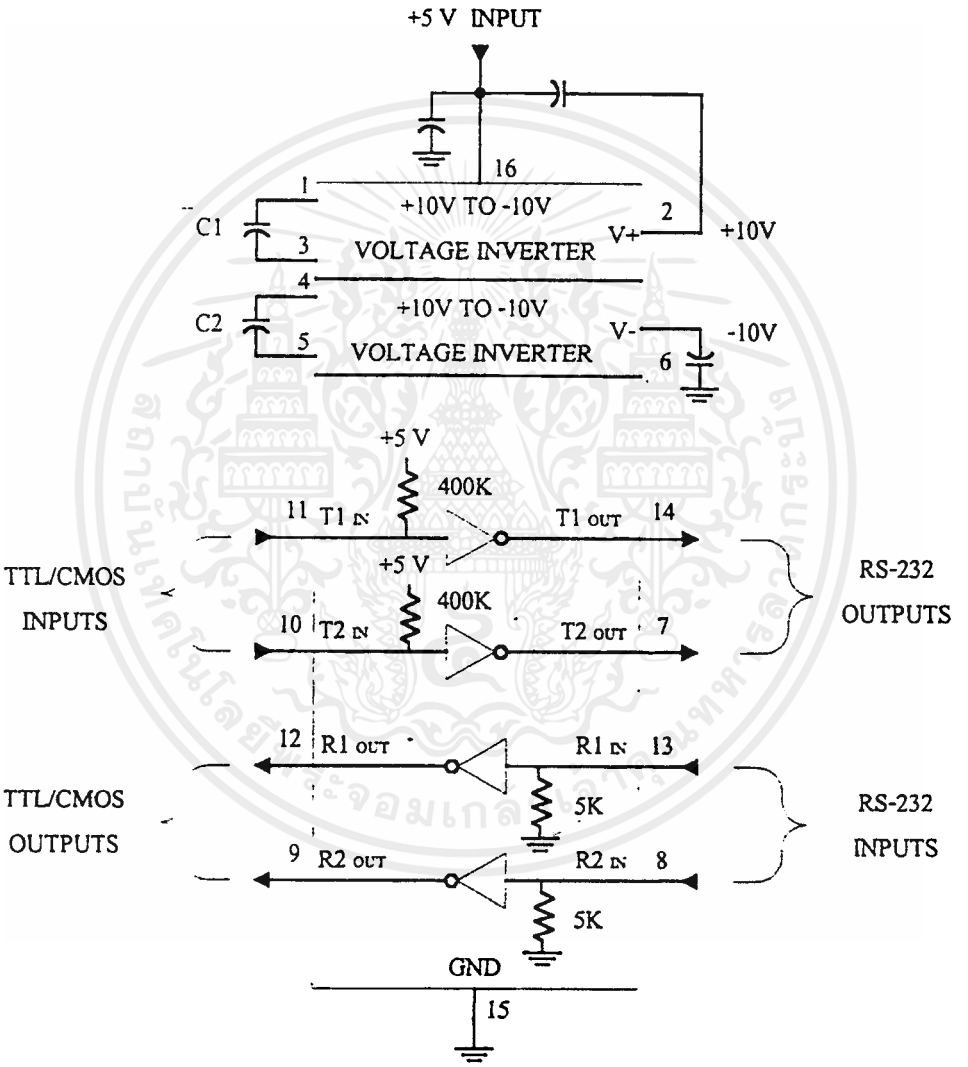
การทำงานของโปรแกรมหลัก (main program) เริ่มต้นทำงานด้วยการเรียกซับรูทีน LCDSET เพื่อกำหนดโหมดการทำงานของ LCD โมดูล หลังจากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้ทำการเขียนตัวอักษรจำนวน 80 ตัว เริ่มตั้งแต่ ABCDEFG... ไปยังหน่วยความจำของ LCD โมดูลก่อนที่จะเข้าสู่บรรทัด NEW

การทำงานในลูป NEW เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบการกดปุ่ม $S_{2,1}$ และ $S_{2,2}$ เมื่อสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งอยู่ในสภาวะปิดวงจร (on) จะทำให้เกิดการส่งคำสั่งเลื่อนตัวอักขระบนจอแสดงผลไปทางซ้ายหรือทางขวาไปยัง LCD โมดูล โดยการเรียกซับรูทีน LCDCOM และเพื่อทำให้การเลื่อนและการแสดงผลบนจอแสดงผล LCD โมดูลไม่เร็วจนเกินไปจนมองไม่ทัน ก่อนที่จะเริ่มต้นการทำงานในลูป NEW ใหม่ทุกครั้งจึงถูกหน่วงเวลาการทำงานให้ช้าลงด้วยการเรียกซับรูทีน WAIT ทำให้หน่วงเวลาไปประมาณ 0.26 วินาที (255*255*4 ไมโครวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

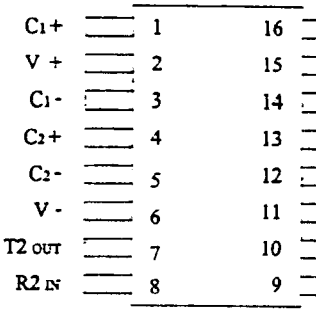
MAX232

MAX232 เป็น IC ของบริษัทแม็กซิมอินทีเกรตไทดักส์ ลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 1 โดยที่ MAX232 จะเป็นตัวแปลงแรงดันมาตราฐาน RS-232 ให้อยู่ในรูปของแรงดัน TTL เพื่อให้ PORT RS-232 สามารถส่งได้ไกลขึ้น และในทางกลับกันคือแปลงแรงดันอินพุทที่ป้อนเข้า MAX 232 ให้อยู่ในรูปของแรงดันมาตราฐาน RS-232

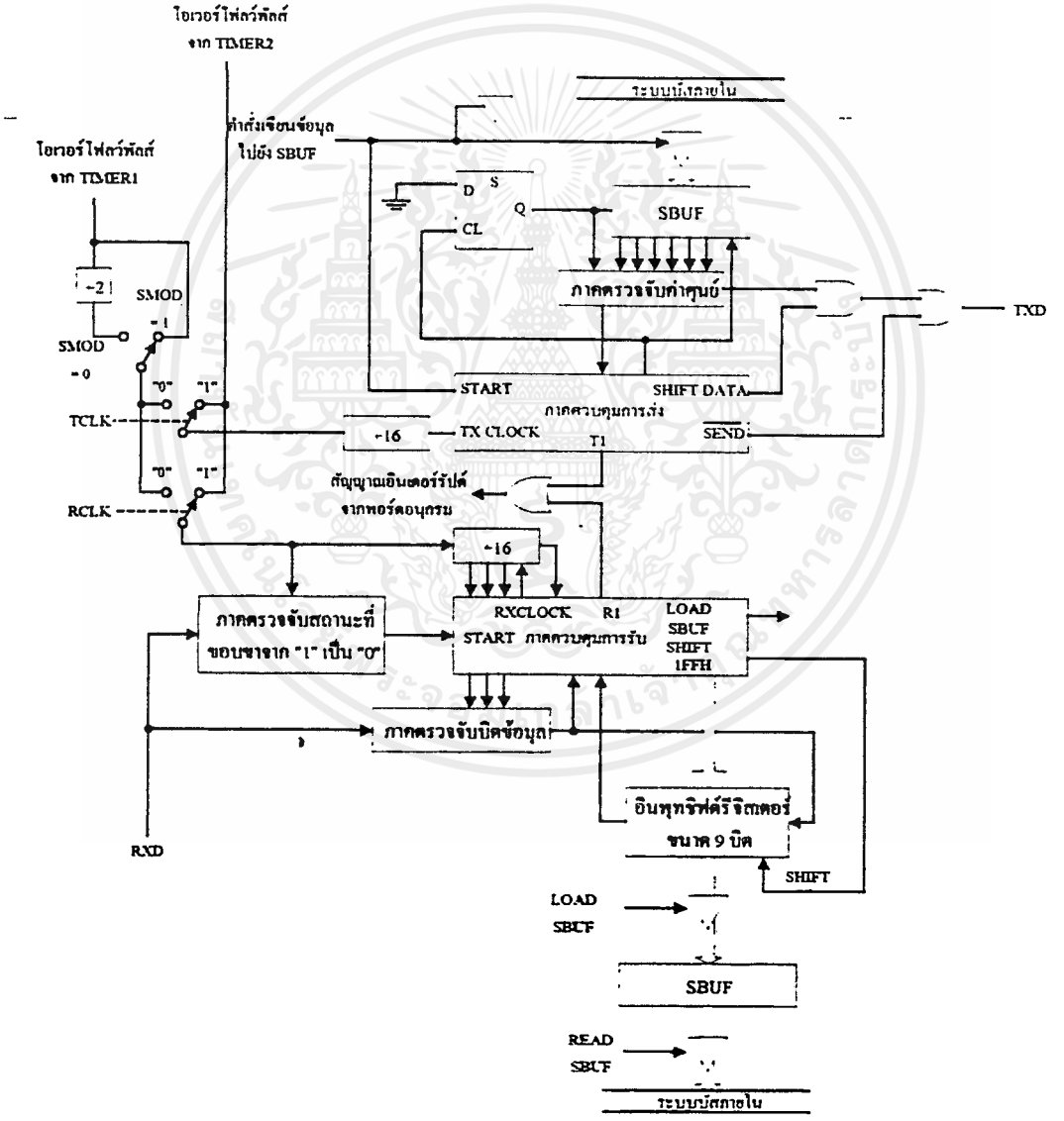


รูปที่ 24 แสดงโครงสร้างภายในของ MAX232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 แสดงโครงสร้างภายนอกของ MAX232



รูปที่ 26 แสดงการทำงานของภาครับและภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลสัญญาณทดสอบออกไปเช็คสาย จะต้องทำการส่งข้อมูลที่ต้องการออกไปที่รีจิสเตอร์ SBUF ทำงานโดยการชิฟต์ข้อมูลออกไปที่ละบิต รีจิสเตอร์สำหรับส่งข้อมูลจะมีขนาด 9 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ SBUF ขนาด 8 บิต และส่งข้อมูลออกจากฟลิบฟลอป D อีก 1 บิต เริ่มต้นภาคควบคุมจะเริ่มทำการส่งข้อมูลบิตแรก จะมีค่าเป็น 0 เสมอ แล้วตามด้วยข้อมูล 8 บิต และจะจบด้วยบิตที่มีค่าเป็น 1 เสมอ โดยการควบคุมโดย Ti(SCON.1) ตามรูปที่ 3 การรับข้อมูล จะใช้รีจิสเตอร์ SBUF รับโดยการควบคุมโดย Ri(SCON.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนในการดำเนินการ

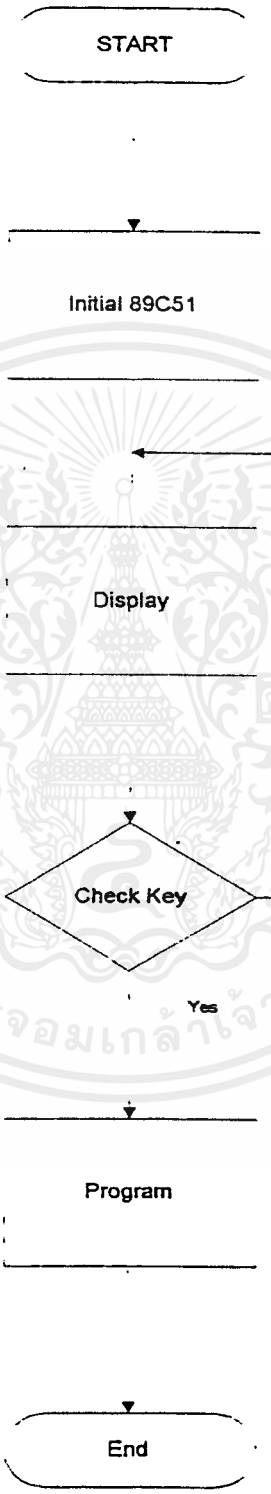
ขั้นตอนในการดำเนินงานการสร้างเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER สามารถสรุปเป็นขั้นตอนในการดำเนินงานได้ดังนี้

1. ศึกษา ค้นคว้า ข้อมูลเกี่ยวกับโครงงานที่ต้องการ
2. กำหนดขีดความสามารถของโครงงาน
3. ออกแบบวงจรของโครงงาน
4. จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำงาน
5. ทำการทดลองเครื่องที่ออกแบบ
6. ตรวจสอบข้อบกพร่อง และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทดลอง
7. สรุปผลการดำเนินงาน
8. จัดทำเอกสาร และเสนอโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWCHART แสดงการทำงานของ BIT ERROR RATE TESTER

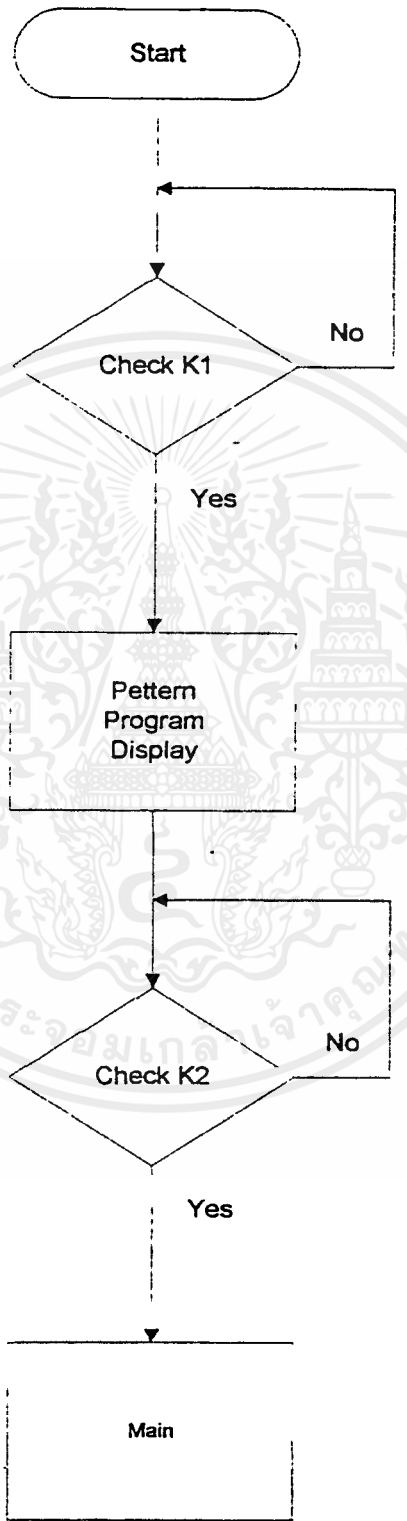
Main Flowchart



รูปที่ 28 แสดง Main Flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

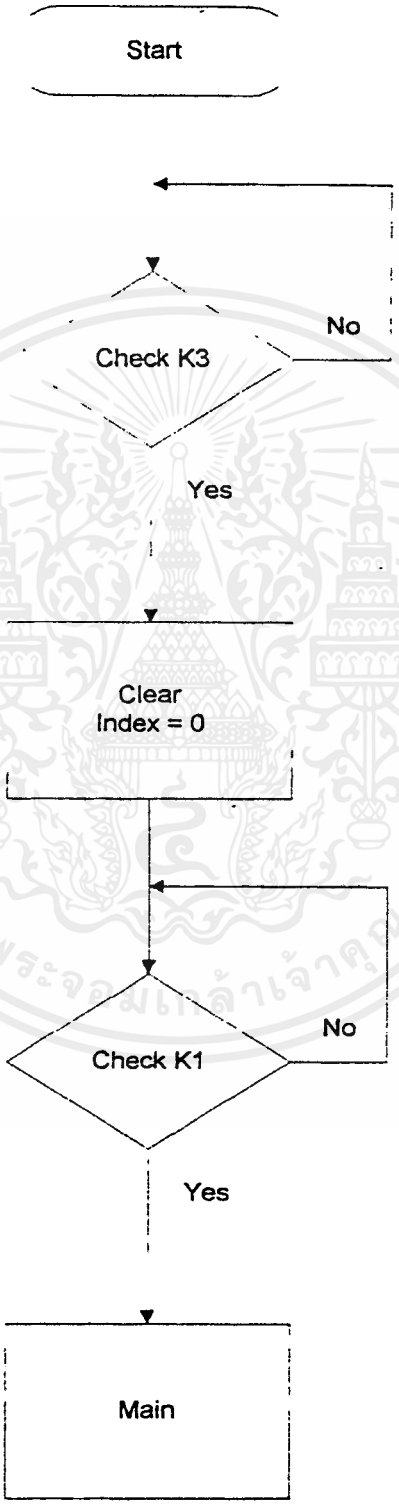
Flow chart K1



รูปที่ 29 แสดง Flowchart ของสวิตช์ Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

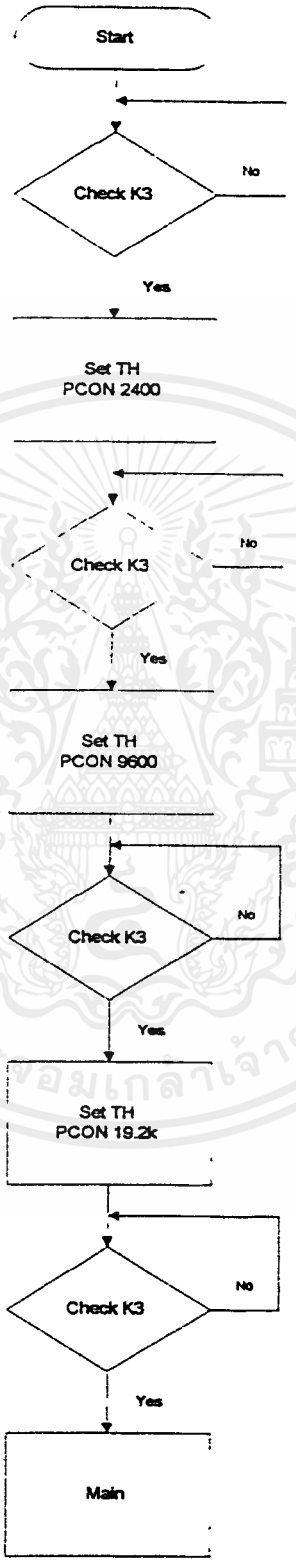
Flowchart K2



รูปที่ 30 แสดง Flowchart ของสวิตช์ Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

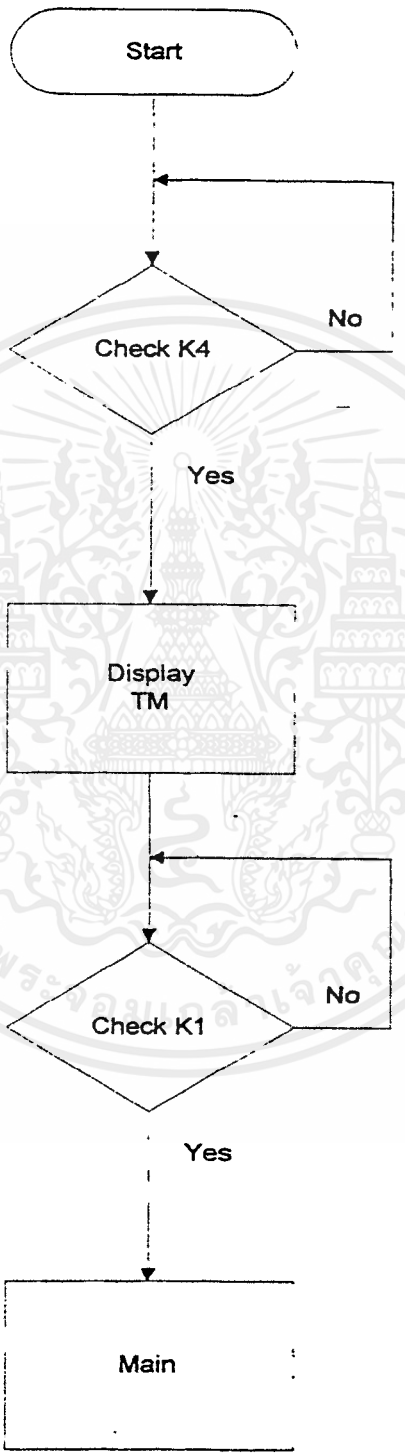
Flowchart K3



รูปที่ 31 แสดง Flowchart ของสวิตช์ เลือก Baud Rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

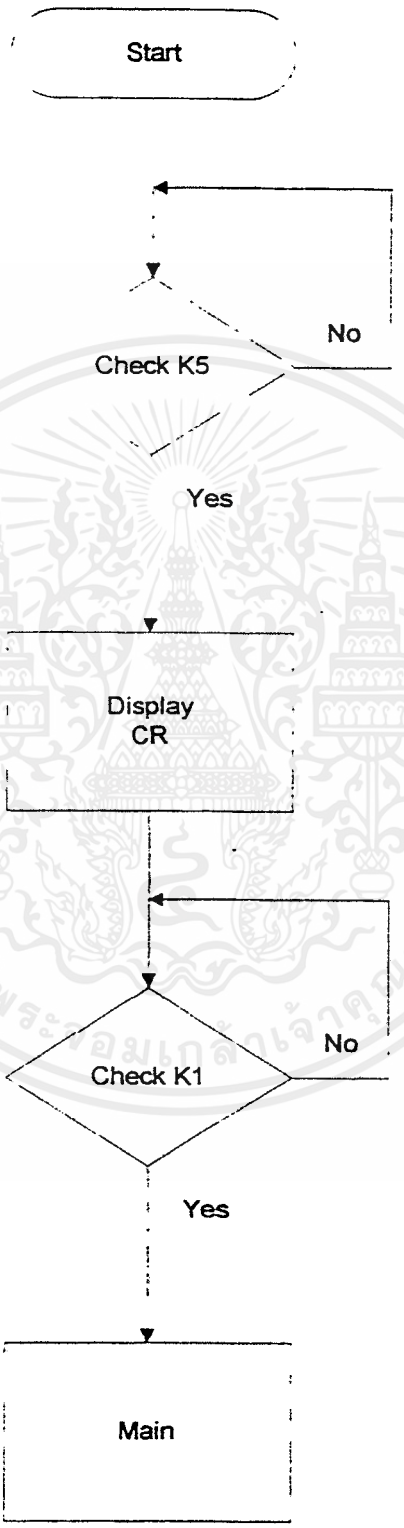
Flowchart K4



รูปที่ 32 แสดง Flowchart ของสวิตช์ TM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

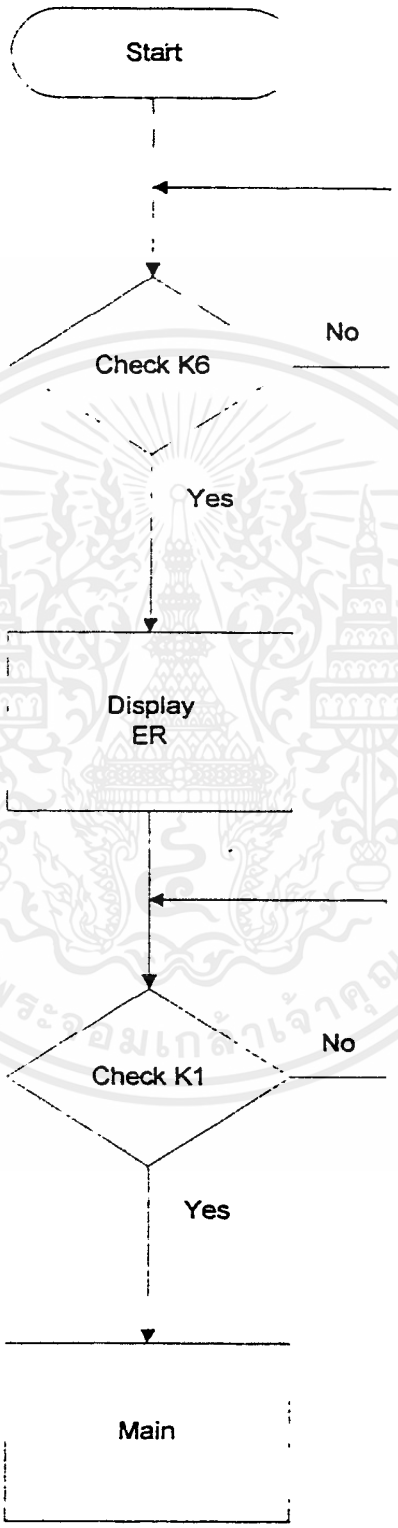
Flowchart K5



รูปที่ 33 แสดง Flowchart ของสวิตช์ CR

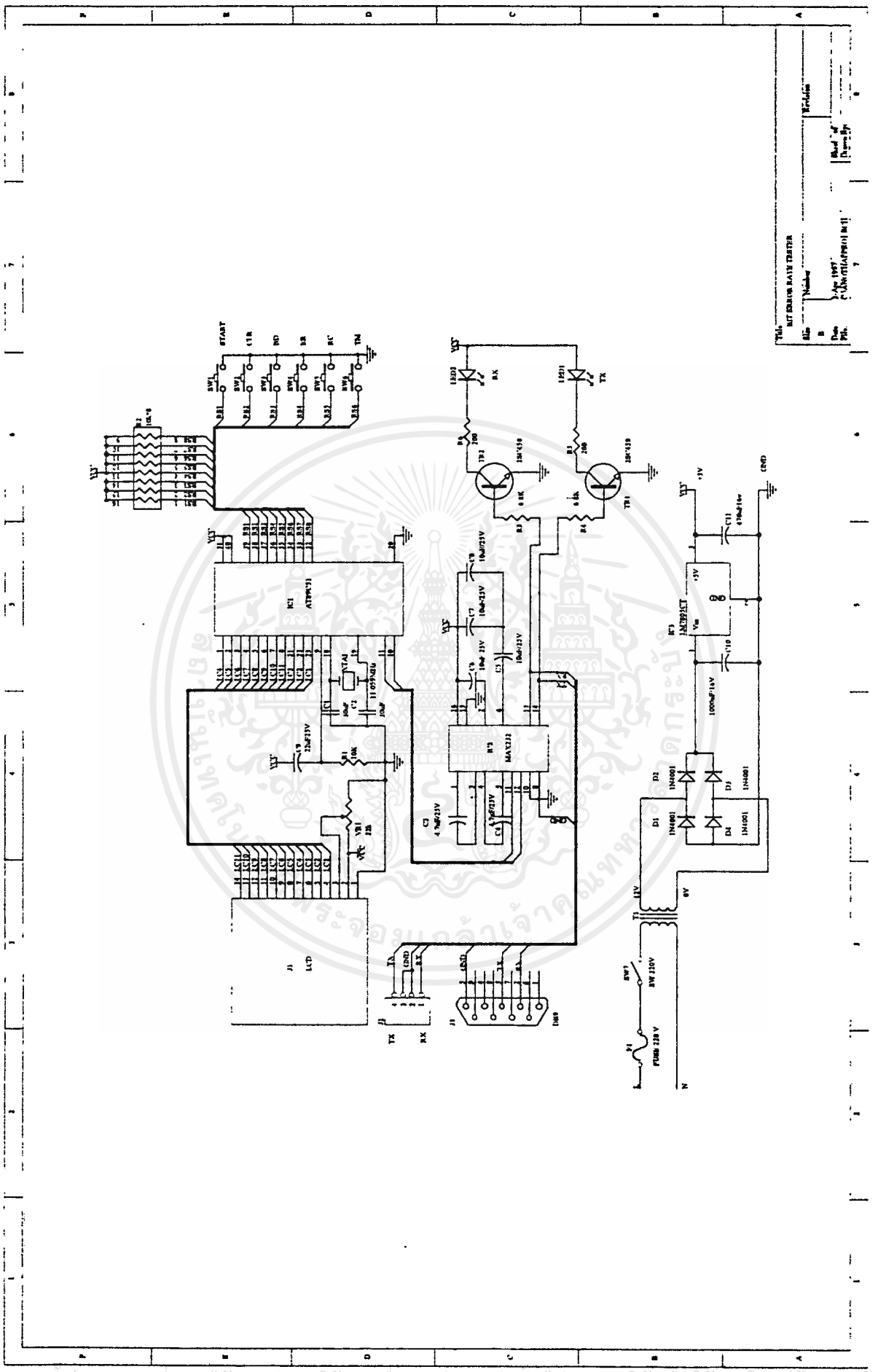
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart K6



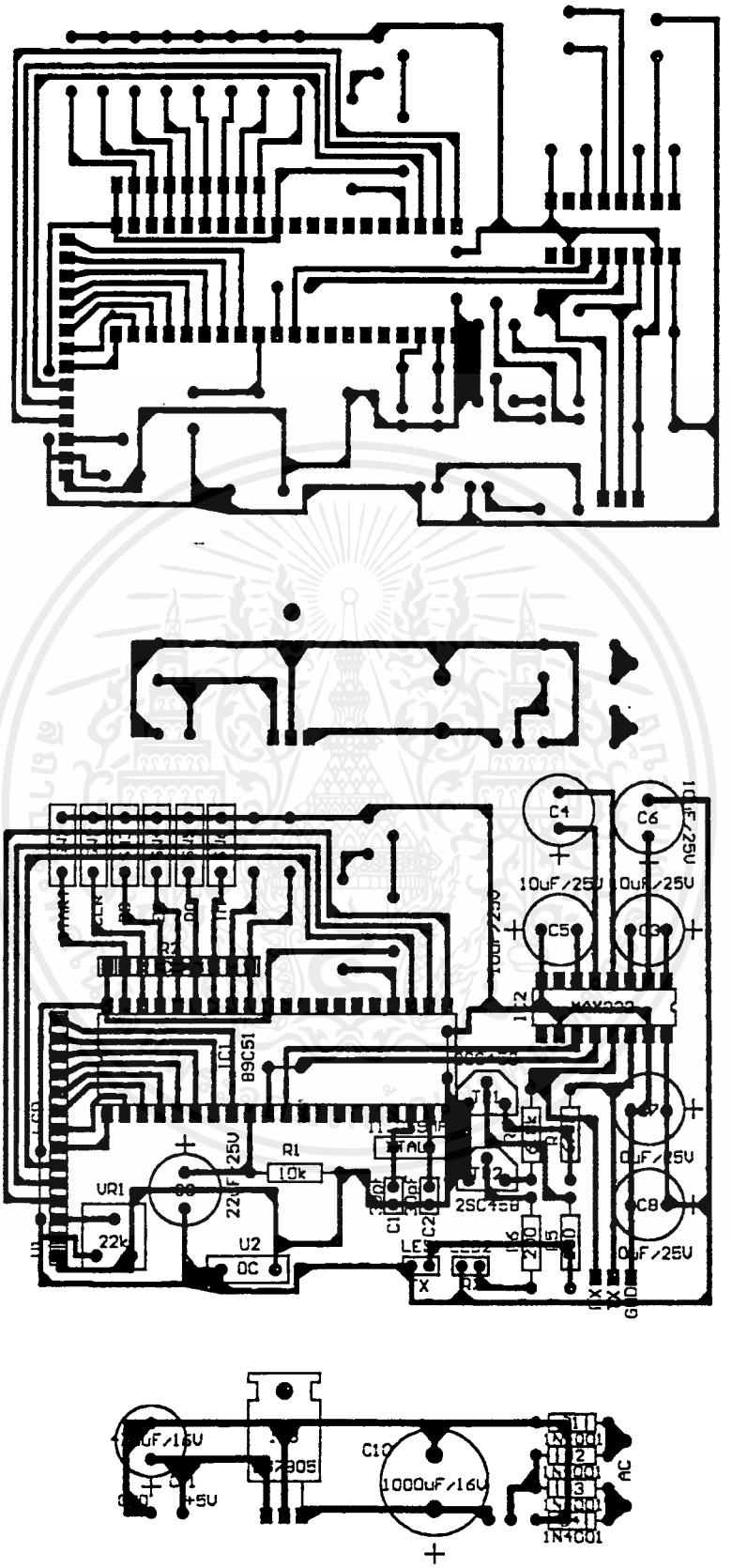
รูปที่ 34 แสดง Flowchart ของสวิตช์ ER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายวงจรที่ใช้งาน



รูปที่ 35 แสดงลายวงจรที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน ¼ W ± 5 %

R1 - 10 kΩ 1 ตัว

R3 , R4 - 6.8 kΩ 2 ตัว

R5 , R5 - 200 Ω 2 ตัว

R2 (R-PACK 9 ขา) - 10 kΩ × 8 1 ตัว

VR1 - 22 kΩ 1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C1 , C2 - 30 pF 50V เซรามิก 2 ตัว

C3 , C4 - 4.7 µF 25 V อิเล็กทรอไลต์ 2 ตัว

C5 , C6 , C7 , C8 - 10 µF 25 V อิเล็กทรอไลต์ 4 ตัว

C9 - 22 µF 25 V อิเล็กทรอไลต์ 1 ตัว

C10 - 1000 µF 25 V อิเล็กทรอไลต์ 1 ตัว

C11 - 470 µF 25 V อิเล็กทรอไลต์ 1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC1 - AT89C51 1 ตัว

IC2 - MAX232 1 ตัว

IC3 - LM7805 1 ตัว

TR1 , TR2 - 2SC458 2 ตัว

D1 - D4 - 1N4001 4 ตัว

LED1 - LED2 2 ตัว

ซ็อกเก็ตไอซี

40 ขา 1 ตัว

16 ขา 1 ตัว

อื่น ๆ

LCD - DOT MARIX LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด 1 ตัว

XTAL - คริสตอล 11.059 MHz 1 ตัว

S1 - S6 - สวิตกดติดปล่อยดับแบบขาลงแผ่นพิมพ์ 6 ตัว

Switch Power 220 V 1 ตัว

คอนเน็กเตอร์ 9 ขา (DB - 9) ตัวเมีย (Port RS-232) 1 ตัว

หม้อแปลง 12 V 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้ว FUSE พร้อม FUSE 1 ชุด

สายไฟ AC 220 V 1 เส้น

สายแพ 14 เส้น

เทอร์มินอลบล็อก 4 ขา 1 ตัว

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ชุด POWER SUPPLY

ชุดทดลอง

ATTENUATION

ออสซิโลสโคป

มัลติมิเตอร์

คอมพิวเตอร์

สาย Port RS-232

สายไฟ และอื่น ๆ

การใช้งานเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER

ความสามารถของเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER สามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นเครื่องวัดคู่สายโทรศัพท์ และคู่สายของการสื่อสารข้อมูล
2. สามารถส่งข้อมูลเข้าทาง Port ของคอมพิวเตอร์ (RS-232) เพื่อใช้ในการแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
3. สามารถเลือกค่า Baud Rate ที่จะใช้ในการทดสอบสัญญาณได้ถึง 3 ค่า

   2400 bps

   9600 bps

   19.2k bps

4. สามารถเลือกการแสดงผล โดยการกดสวิตช์

   สวิตช์ 1 คือ เริ่มต้นในการส่งข้อมูล

   สวิตช์ 2 คือ การลบหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล

   สวิตช์ 3 คือ ใช้ในการเลือก Baud Rate

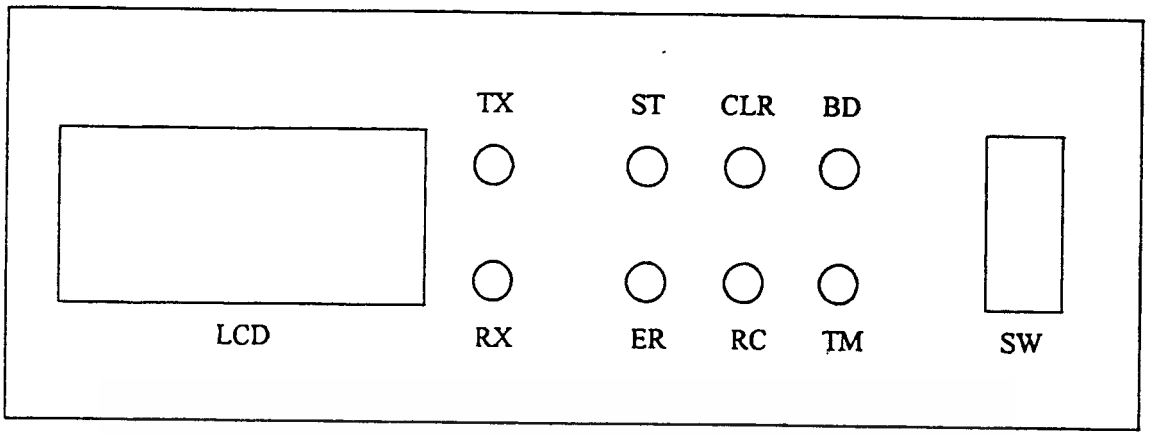
   สวิตช์ 4 คือ การแสดงผลของการ Error

   สวิตช์ 5 คือ การแสดงผลของการส่งข้อมูล

   สวิตช์ 6 คือ การแสดงผลของการรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

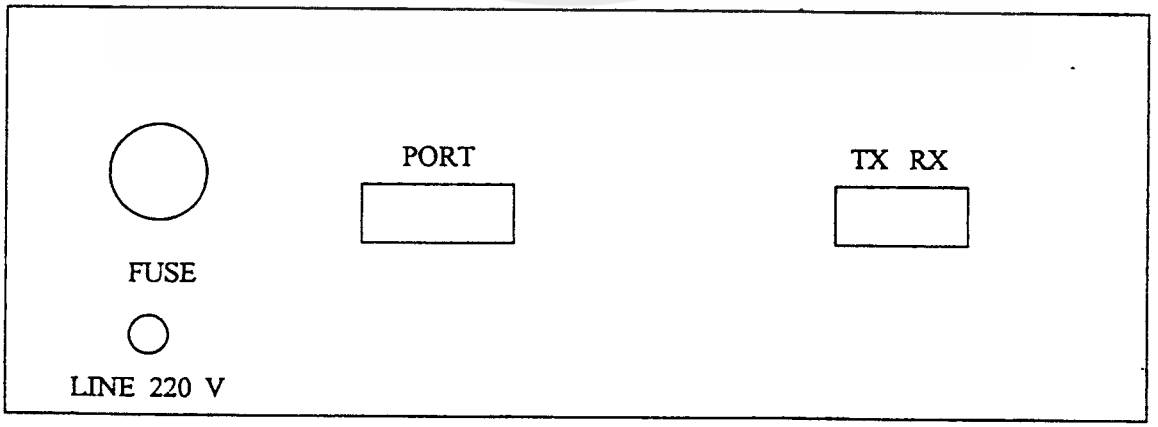
5. สามารถ Loop Test แล้วหาค่าบิตที่ Error ได้



รูปที่ 36 แสดงส่วนหน้าของเครื่อง BIT ERROR RATE TESTER

รายละเอียดต่าง ๆ บนด้านหน้าของตัวเครื่อง

1. LCD - จอแสดงผล
2. LED TX - LED แสดงผลของสัญญาณ TX
3. LED RX - LED แสดงผลของสัญญาณ RX
4. ST - สวิตช์เริ่มทดสอบสัญญาณ
5. CLR - สวิตช์ลบหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล
6. BD - สวิตช์เลือก Baud Rate
7. ER - สวิตช์ดูผลของ Error
8. RC - สวิตช์ดูผลของ Reciver
9. TM - สวิตช์ดูผลของ Transmission



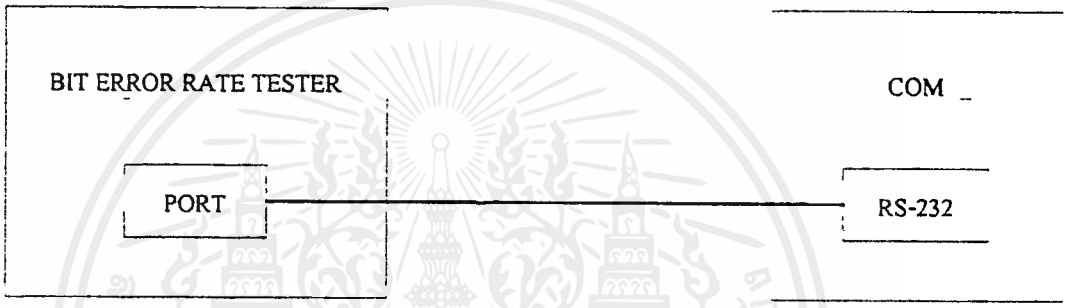
รูปที่ 37 แสดงส่วนหลังของ BIT ERROR RATE TESTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดต่าง ๆ ของด้านหลังตัวเครื่อง

1. FUSE 220 V
2. PORT เป็น Port ที่ใช้ในการต่อข้อมูลไปยัง Port ของคอมพิวเตอร์
3. TX เป็นจุดต่อที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยังสายที่จะใช้ในการตรวจสอบ
4. RX เป็นจุดต่อที่จะนำเอาสายที่ Loop Test กลับเข้ามาเพื่อที่จะใช้ในการเปรียบเทียบการต่อเข้า Port Computer

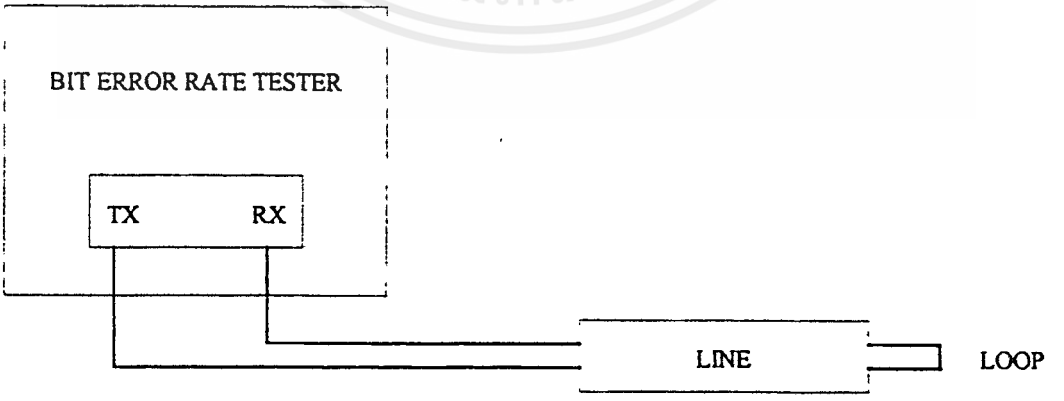
สัญญาณทดสอบที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะอยู่ในรูปของ PATTERN SIGNAL ซึ่งสามารถที่จะต่อเข้ากับ Port ของ Computer ได้ เพื่อแสดงสัญญาณทดสอบในรูปของ PATTERN SIGNAL ในความเร็วของ Baud rate ที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 38



รูปที่ 38 แสดงการส่งสัญญาณทดสอบบนคอมพิวเตอร์

การวัดสัญญาณ LOOP TEST LINE

เป็นการสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบเข้าไปในสายที่ต้องการจะตรวจสอบแล้วทำการ Short ปลายสายเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 39

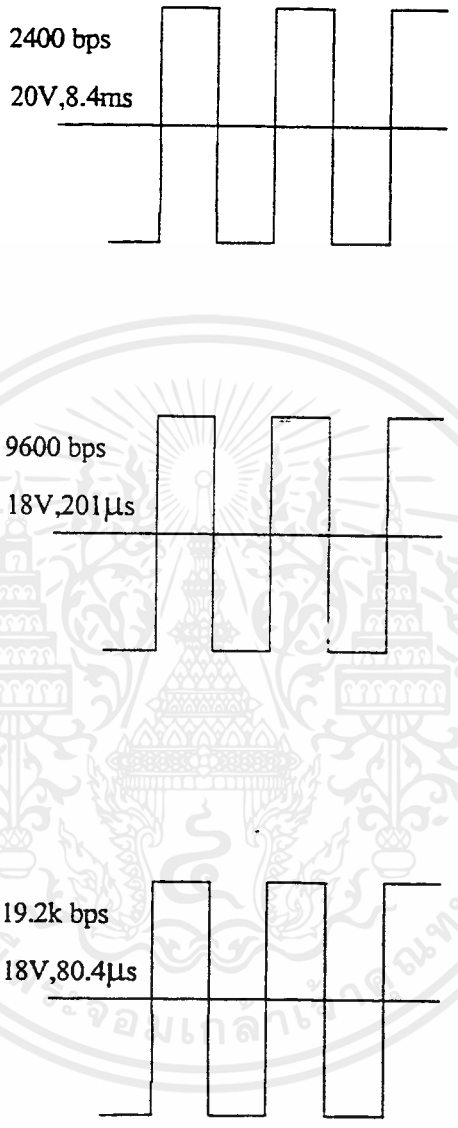


รูปที่ 39 แสดงการ LOOP TEST LINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองและผลการทดลอง

เครื่อง BIT ERROR RATE TESTER จะทำการผลิตสัญญาณ Test Signal ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบสายส่งสัญญาณ โดยผ่าน Port RS-232 ดังนี้



รูปที่ 28 แสดงสัญญาณ Test Signal ที่ใช้ในการทดสอบสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

TEST PORT RS-232 ที่ใช้ในการทดลอง

BAUD RATE 2400 bps

ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการ ERROR	สัญญาณสโคป
4k	2.6V,0.41mS

BAUD RATE 9600 bps

ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการ ERROR	สัญญาณสโคป
3.94k	2.58V,140μS

BAUD RATE 19.2k bps

ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการ ERROR	สัญญาณสโคป
7.87k	2.52V,110μS

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการสร้างและผลการทดลอง

ในการสร้าง BIT ERROR RATE TESTER นี้ ใช้ในการทดสอบสายสื่อสัญญาณข้อมูล ซึ่งสามารถสรุปผลการทำงานของเครื่องได้ดังนี้

1. ภาคส่ง (Trammitter) สามารถส่งสัญญาณทดสอบ ในรูปของสัญญาณ Pattern ที่มี Baud Rate สามารถเลือกได้ คือ 2400, 9600, 19.2k ส่งผ่านเข้า Port RS-232 เป็นตัวกำหนดมาตราฐานในการรับส่งข้อมูล
2. ภาครับ (Recviver) สามารถรับสัญญาณทดสอบเข้ามาแล้ว ส่งผ่านเข้า Port RS-232 เป็นตัวกำหนดมาตราฐานการแปลงสัญญาณดิจิตอล นำสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบหาความผิดพลาดของสัญญาณ
3. ภาคแสดงผล (Display) สามารถแสดงผลสัญญาณทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์และแสดงผลของจำนวน Bit Error เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณทดสอบโดยใช้จอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ORG 00H
                JMP START1

                ORG 23H
                JMP START


                ORG 40H
START1:         MOV 30H,#00
                MOV 31H,#00
                MOV 32H,#00
                MOV 33H,#00
                MOV 34H,#00
                MOV 35H,#00
                MOV 36H,#00
                MOV 37H,#00
                MOV 38H,#00
                MOV 39H,#00
                MOV 40H,#00
                MOV 41H,#00
                MOV 42H,#00
                MOV 43H,#00
                MOV 44H,#00
                MOV 45H,#00
                MOV 46H,#00
                MOV 47H,#00
                MOV 48H,#00
                MOV 49H,#00
                MOV 50H,#00
                MOV 51H,#00
                MOV 52H,#00
                MOV 53H,#00
                MOV 54H,#00
                MOV 55H,#00
                MOV 56H,#00
                MOV 57H,#00
                MOV 58H,#00
                MOV 59H,#00
                CALL INT
START:
                MOV SCON,#52H
                CLR PCON
                SETB REN
                MOV TMOD,#20H
                MOV TH1,#0F4H
                SETB TR1

                JMP WER

STOP:
                MOV A,P0
                CJNE A,#0FEH,STOP

WER:

                CALL INT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#80H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;10
MOV P1,#0FEH
MOV P2,#01H

MOV P1,#81H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2AH          ;11
MOV P2,#01H

MOV P1,#82H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2AH          ;12
MOV P2,#01H

MOV P1,#83H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;13
MOV P1,#42H
MOV P2,#01H


MOV P1,#84H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#49H          ;14
MOV P2,#01H

MOV P1,#85H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#54H          ;15
MOV P2,#01H

MOV P1,#86H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;16
MOV P2,#01H

MOV P1,#87H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;17
MOV P2,#01H

MOV P1,#88H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#45H          ;18
MOV P2,#01H

MOV P1,#89H
CALL PU
MOV P2,#05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#52H          ;19
MOV P2,#01H

MOV P1,#8AH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H          ;1A
MOV P2,#01H

MOV P1,#8BH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4FH          ;1B
MOV P2,#01H

MOV P1,#8CH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H          ;1C
MOV P2,#01H

MOV P1,#8DH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2AH          ;1D
MOV P2,#01H

MOV P1,#8EH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2AH          ;1E
MOV P2,#01H

MOV P1,#8FH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH         ;1F
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C0H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;20
MOV P1,#0FEH
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C1H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH         ;21
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C2H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H          ;22
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#01H
MOV P1,#0C3H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;23
MOV P1,#41H
MOV P2,#01H
MOV P1,#0C4H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#54H          ;24
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C5H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#45H          ;25
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C6H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;26
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C7H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;27
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C8H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#54H          ;28
MOV P2,#01H

MOV P1,#0C9H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#45H          ;29
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CAH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#53H          ;2A
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CBH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#54H          ;2B
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CCH
CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#45H          ;2C
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CDH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H          ;2D
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CEH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;2E
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CFH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;2F
MOV P2,#01H


MOV P1,#90H
CALL PU-
MOV P2,#05H          ;30
MOV P1,#0FEH
MOV P2,#01H

MOV P1,#91H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;31
MOV P2,#01H

MOV P1,#92H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;32
MOV P2,#01H

MOV P1,#93H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;33
MOV P1,#50H
MOV P2,#01H


MOV P1,#94H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H          ;34
MOV P2,#01H

MOV P1,#95H
CALL PU
MOV P2,#05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#4FH          ;35
MOV P2,#01H

MOV P1,#96H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4AH          ;36
MOV P2,#01H

MOV P1,#97H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2EH          ;37
MOV P2,#01H

MOV P1,#98H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2EH          ;38
MOV P2,#01H

MOV P1,#99H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2EH          ;39
MOV P2,#01H

MOV P1,#9AH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2EH          ;3A
MOV P2,#01H

MOV P1,#9BH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#42H          ;3B
MOV P2,#01H


MOV P1,#9CH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#59H          ;3C
MOV P2,#01H

MOV P1,#9DH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;3D
MOV P2,#01H

MOV P1,#9EH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;3E
MOV P2,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#9FH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;3F
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D0H
CALL PU
MOV P2,#05H          ;40
MOV P1,#54H
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D1H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#45H           ;41
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D2H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4CH           ;42
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D3H
CALL PU
MOV P2,#05H           ;43
MOV P1,#45H
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D4H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#43H           ;44
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D5H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4FH           ;45
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D6H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4DH           ;46
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D7H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0FEH          ;47
MOV P2,#01H

MOV P1,#0D8H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#45H          ;48
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0D9H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#4EH          ;49
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DAH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#0FEH          ;4A
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DBH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#4BH          ;4B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DCH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#4DH          ;4C
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DDH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#49H          ;4D
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DEH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#4CH          ;4E
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DFH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#54H          ;4F
                MOV P2,#01H

                CALL DELAY1
WER1:

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#02H
                JZ KY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#04H
                JZ KY33

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#08H
                JZ KY44

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#10H
                JZ KY55


                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#20H
                JZ KY66

                JMP WER1

        KY33: JMP KY3
        KY44: JMP KY4
        KY55: JMP KY5
        KY66: JMP KY6



KY2:
                CALL INT
                MOV P1,#0C5H        ;CLEAR
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#43H
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0C6H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#4CH
                MOV P2,#01H
                MOV P1,#0C7H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#45H
                MOV P2,#01H
                MOV P1,#0C8H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#41H
                MOV P2,#01H
                MOV P1,#0C9H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#52H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#01H


MOV P1,#94H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#47H
MOV P2,#01H

MOV P1,#95H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#52H
MOV P2,#01H
MOV P1,#96H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#32H
MOV P2,#01H
MOV P1,#97H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#2DH
MOV P2,#01H
MOV P1,#98H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4CH
MOV P2,#01H

MOV P1,#99H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#41H
MOV P2,#01H
MOV P1,#9AH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#42H
MOV P2,#01H


MOV 30H,#00
MOV 31H,#00
MOV 32H,#00
MOV 33H,#00
MOV 34H,#00
MOV 35H,#00
MOV 36H,#00
MOV 37H,#00
MOV 38H,#00
MOV 39H,#00
MOV 40H,#00
MOV 41H,#00
MOV 42H,#00
MOV 43H,#00
MOV 44H,#00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV 45H,#00
                MOV 46H,#00
                MOV 47H,#00
                MOV 48H,#00
                MOV 49H,#00
                MOV 50H,#00
                MOV 51H,#00
                MOV 52H,#00
                MOV 53H,#00
                MOV 54H,#00
                MOV 55H,#00
                MOV 56H,#00
                MOV 57H,#00
                MOV 58H,#00
                MOV 59H,#00
                MOV R2,#0FH
TTEEA:          MOV R1,#0FFH
TYA:            MOV R3,#0FFH
                DJNZ R3,$
                DJNZ R1,TYA
                DJNZ R2,TTEEA
                JMP WER

KY3:
                ;CALL INT
                MOV P1,#01H
                CALL PU

                MOV P1,#8DH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#53H          ;S
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#8CH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#50H          ;P
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#8BH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#42H          ;B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#89H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#30H          ;0
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#88H
                CALL PU
                MOV P2,#05H          ;0
                MOV P1,#30H
                MOV P2,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P1,#87H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#34H             ;4
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#86H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#32H             ;2
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#81H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#42H              ;B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#82H
                CALL PU
                MOV P2,#05H              ;A
                MOV P1,#41H
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#83H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#55H              ;U
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#84H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#44H              ;D
                MOV P2,#01H

                CALL DELAY1

                MOV SCON,#52H
                CLR PCON
                SETB REN
                MOV TMOD,#20H
                MOV TH1,#0F4H
                SETB TR1

K311:           MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#01H
                JZ FEL

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#04H
                JZ  KEY32

                JMP K311

FEL:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ;  CALL INT
                ; MOV P1,#01H
                ; CALL PU

                 MOV 7DH,#01H
                 JMP FE

KEY32:
              ;CALL INT

                 MOV P1,#01H
                 CALL PU

                MOV P1,#8DH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#53H          ;S
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#8CH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#50H          ;P
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#8BH
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#42H          ;B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#89H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#30H           ;0
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#88H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#30H           ;0
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#87H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#36H           ;6
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#86H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#39H           ;9
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#81H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P1,#42H          ;B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#82H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#41H          ;A
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#83H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#55H          ;U
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#84H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#44H          ;D
                MOV P2,#01H


                CALL DELAY1

                MOV SCON,#52H
                CLR PCON
                SETB REN
                MOV TMOD,#20H
                MOV TH1,#0FDH
                SETB TR1

K312:           MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#01H
                JZ FELL

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#04H
                JZ  KEY33

                JMP K312

FELL:
                ;  MOV P1,#01H
                ; CALL PU

                 ;CALL INT
                 MOV 7DH,#01H
                 JMP FE

KEY33:
                ; CALL INT
                  MOV P1,#01H
                  CALL PU
                 MOV P1,#8DH
                 CALL PU
                 MOV P2,#05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#73H          ;s
MOV P2,#01H

MOV P1,#8CH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#62H          ;b
MOV P2,#01H

MOV P1,#8BH
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#4BH          ;K
MOV P2,#01H

MOV P1,#89H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#32H          ;2
MOV P2,#01H

MOV P1,#88H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#0A5H         ;.
MOV P2,#01H

MOV P1,#87H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#39H          ;9
MOV P2,#01H

MOV P1,#86H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#31H          ;1
MOV P2,#01H

MOV P1,#81H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#42H          ;B
MOV P2,#01H

MOV P1,#82H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#41H          ;A
MOV P2,#01H

MOV P1,#83H
CALL PU
MOV P2,#05H
MOV P1,#55H          ;U
MOV P2,#01H

MOV P1,#84H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#44H          ;D
                MOV P2,#01H


                CALL DELAY1

                MOV SCON,#52H
                MOV PCON,#80H
                SETB REN
                MOV TMOD,#20H
                MOV TH1,#0FDH
                SETB TR1

K313:           MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#01H
                JZ FELL4

                MOV P0,#0FFH
                MOV A,P0
                ANL A,#04H
                JZ  KEY34

                JMP K313

FELL4:          ; MOV P1,#01H
                ; CALL PU
                ;CALL INT
                 MOV 7DH,#01H
                 JMP FE
KEY34:          JMP WER

 KY4:
                 CALL INT
 KY41:           MOV P1,#80H
                 CALL PU
                 MOV P2,#05H
                 MOV P1,#54H   ;T
                 MOV P2,#01H

                 MOV P1,#81H
                 CALL PU
                 MOV P2,#05H
                 MOV P1,#4DH    ;M
                 MOV P2,#01H

                 MOV R0,#30H
                 CALL DIS
                 MOV P0,#0FFH
                 MOV A,P0
                 ANL A,#01H
                 JZ WERT
                 JMP KY41

KY5:
                 CALL INT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
KY51:       MOV P1,#80H
            CALL PU
            MOV P2,#05H
            MOV P1,#52H    ;R
            MOV P2,#01H

            MOV P1,#81H
            CALL PU
            MOV P2,#05H
            MOV P1,#43H    ;C
            MOV P2,#01H

            MOV R0,#40H

            CALL DIS
            MOV P0,#0FFH
            MOV A,P0
            ANL A,#01H
            JZ WERT
            JMP KY51
WERT:
            JMP WER

KY6:
            CALL INT
KY61:       MOV P1,#80H
            CALL PU
            MOV P2,#05H
            MOV P1,#45H    ;E
            MOV P2,#01H

            MOV P1,#81H
            CALL PU
            MOV P2,#05H
            MOV P1,#52H    ;R
            MOV P2,#01H

            MOV R0,#50H
            CALL DIS
            MOV P0,#0FFH
            MOV A,P0
            ANL A,#01H
            JZ WERT
            JMP KY61


  FE:

            JNB TI,$
            CLR TI
            MOV A,#45H
            MOV SBUF,A

            MOV P0,#0FFH
            MOV A,P0
            ANL A,#08H
            JZ KEY1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV P0,#0FFH
                    MOV A,P0
                    ANL A,#10H
                    JZ KEY2

                    MOV P0,#0FFH
                    MOV A,P0
                    ANL A,#20H
                    JZ KEY3

                    MOV P0,#0FFH
                    MOV A,P0
                    ANL A,#02H
                    JZ KEY4

                    JMP HER

KEY1:               MOV 7DH,#01H
                    JMP HER
KEY2:               MOV 7DH,#02H
                    JMP HER
KEY3:               MOV 7DH,#03H
                    JMP HER
KEY4:               JMP STOP

HER:                MOV A,7DH
                    CJNE A,#01H,CCM1
                    YI:
                    JMP YII

   CCM1:     JMP CM1

YII:

                     ;************TX DISPLAY**********

                    MOV P1,#0C0H
                    CALL PU
                    MOV P2,#05H
                    MOV P1,#54H        ;T
                    MOV P2,#01H

                    MOV P1,#0C1H
                    CALL PU
                    MOV P2,#05H
                    MOV P1,#58H         ;M
                    MOV P2,#01H



                   MOV R0,#30H

                   MOV A,R0
                   ADD A,#05H
                   MOV 7AH,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV R1,#60H
TTTE:             MOV R5,#00H
                MOV A,@R0
  TTTE0:          CLR C
                SUBB A,#0AH
                JC TTTE1
                INC R5
                JMP TTTE0
  TTTE1:        CLR C
                CPL A
                MOV R4,A
                MOV A,#09H
                SUBB A,R4
                MOV R6,A

                MOV A,R6
                MOV @R1,A

                INC R1

                MOV A,R5
                MOV @R1,A

                INC R1
                INC R0
                MOV A,R0
                CJNE A,7AH,TTTE

                 MOV P1,#0C4H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,69H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H

                 MOV P1,#0C5H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,68H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H

                 MOV P1,#0C6H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,67H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H


                 MOV P1,#0C7H
                 CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#05H
MOV A,66H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0C8H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,65H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0C9H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,64H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CAH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,63H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CBH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,62H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CCH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,61H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CDH
CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#05H
MOV A,66H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0C8H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,65H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0C9H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,64H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CAH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,63H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CBH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,62H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0CCH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,61H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H

MOV P1,#0CDH
CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV P2,#05H
        MOV A,60H
        ADD A,#30H
        MOV P1,A
        MOV P2,#01H


        MOV P1,#0CFH
        CALL PU


        MOV P2,#05H
        MOV P1,#42H     ;B
        MOV P2,#01H

        MOV P1,#0CEH
        CALL PU


        MOV P2,#05H
        MOV P1,#0FEH    ;SPAC
        MOV P2,#01H

        CALL DELAY

;       ************ END OF DISPLAY TX  *********


      ;   MOV R0,#30H
      ;   CALL DIS
    ;************RX DISPLAY***********

        MOV P1,#90H
        CALL PU
        MOV P2,#05H
        MOV P1,#52H      ;R
        MOV P2,#01H

        MOV P1,#91H
        CALL PU
        MOV P2,#05H
        MOV P1,#58H      ;C
        MOV P2,#01H


      MOV R0,#40H

      MOV A,R0
      ADD A,#05H
      MOV 7AH,A

      MOV R1,#60H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TTE:    MOV R5,#00H
TTE0:   MOV A,@R0
        CLR C
        SUBB A,#0AH
        JC TTE1
        INC R5
        JMP TTE0
TTE1:   CLR C
        CPL A
        MOV R4,A
        MOV A,#09H
        SUBB A,R4
        MOV R6,A

        MOV A,R6
        MOV @R1,A

        INC R1

        MOV A,R5
        MOV @R1,A

        INC R1
        INC R0
        MOV A,R0
        CJNE A,7AH,TTE

        MOV P1,#94H
        CALL PU

        MOV P2,#05H
        MOV A,69H
        ADD A,#30H
        MOV P1,A
        MOV P2,#01H

        MOV P1,#95H
        CALL PU

        MOV P2,#05H
        MOV A,68H
        ADD A,#30H
        MOV P1,A
        MOV P2,#01H

        MOV P1,#96H
        CALL PU

        MOV P2,#05H
        MOV A,67H
        ADD A,#30H
        MOV P1,A
        MOV P2,#01H


        MOV P1,#97H
        CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#05H
MOV A,66H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#98H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,65H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#99H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,64H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#9AH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,63H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#9BH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,62H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#9CH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,61H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV A,R0
                ADD A,#05H
                MOV 7AH,A

                MOV R1,#60H
TTTTE:             MOV R5,#00H
                MOV A,@R0
  TTTTE0:          CLR C
                SUBB A,#0AH
                JC TTTTE1
                INC R5
                JMP TTTTE0
  TTTTE1:          CLR C
                CPL A
                MOV R4,A
                MOV A,#09H
                SUBB A,R4
                MOV R6,A

                MOV A,R6
                MOV @R1,A

                INC R1

                MOV A,R5
                MOV @R1,A

                INC R1
                INC R0
                MOV A,R0
                CJNE A,7AH,TTTTE

                 MOV P1,#0D4H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,69H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H

                 MOV P1,#0D5H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,68H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H

                 MOV P1,#0D6H
                 CALL PU

                 MOV P2,#05H
                 MOV A,67H
                 ADD A,#30H
                 MOV P1,A
                 MOV P2,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P1,#0D7H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,66H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0D8H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,65H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0D9H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,64H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0DAH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,63H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0DBH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,62H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#0DCH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,61H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P1,#0DDH
                CALL PU

                MOV P2,#05H
                MOV A,60H
                ADD A,#30H
                MOV P1,A
                MOV P2,#01H



                MOV P1,#0DFH
                CALL PU



                MOV P2,#05H
                MOV P1,#42H     ;B
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#0DEH
                CALL PU



                MOV P2,#05H
                MOV P1,#0FEH    ;SPAC
                MOV P2,#01H

                CALL DELAY

;       ************ END OF DISPLAY EX  *********



                JMP TOOT

CM1:            MOV A,7DH
                CJNE A,#02H,CM2

                MOV P1,#80H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#52H       ;R
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#81H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#43H        ;C
                MOV P2,#01H

                MOV R0,#40H
                CALL DIS
                JMP TOOT
CM2:
                MOV A,7DH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE A,#03H,TOOT

                MOV P1,#80H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#45H          ;E
                MOV P2,#01H

                MOV P1,#81H
                CALL PU
                MOV P2,#05H
                MOV P1,#52H          ;R
                MOV P2,#01H

                MOV R0,#50H
                CALL DIS
                JMP TOOT

TOOT:

                MOV A,30H
                INC A
                MOV 30H,A
                CJNE A,#64H,ENR
                MOV 30H,#00H
                MOV A,31H
                INC A
                MOV 31H,A
                CJNE A,#64H,ENR
                MOV 31H,#00H
                MOV A,32H
                INC A
                MOV 32H,A
                CJNE A,#64H,ENR
                MOV 32H,#00H
                MOV A,33H
                INC A
                MOV 33H,A
                CJNE A,#64H,ENR
                MOV 33H,#00H
                MOV A,34H
                INC A
                MOV 34H,A
                CJNE A,#64H,ENR


ENR:
                ; MOV R0,#30H
                ; CALL DIS
                ; JMP FE

                MOV R2,#01H
TTEE1:          MOV R1,#01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TY:   MOV R3,#0FH
      DJNZ R3,S
      DJNZ R1,TY
      DJNZ R2,TTEE1


REC:
      JNB RI,FE1
      CLR RI
      MOV A,SBUF
      CJNE A,#45H,FE3

      MOV A,40H
      INC A
      MOV 40H,A
      CJNE A,#64H,ENR1
      MOV 40H,#00H
      MOV A,41H
      INC A
      MOV 41H,A
      CJNE A,#64H,ENR1
      MOV 41H,#00H
      MOV A,42H
      INC A
      MOV 42H,A
      CJNE A,#64H,ENR1
      MOV 42H,#00H
      MOV A,43H
      INC A
      MOV 43H,A
      CJNE A,#64H,ENR1
      MOV 43H,#00H
      MOV A,44H
      INC A
      MOV 44H,A
      CJNE A,#64H,ENR1

ENR1:

        JMP FE
FE3:
      MOV A,50H
      INC A
      MOV 50H,A
      CJNE A,#64H,ENR2
      MOV 50H,#00H
      MOV A,51H
      INC A
      MOV 51H,A
      CJNE A,#64H,ENR2
      MOV 51H,#00H
      MOV A,52H
      INC A
      MOV 52H,A
      CJNE A,#64H,ENR2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV 52H,#00H
                MOV A,53H
                INC A
                MOV 53H,A
                CJNE A,#64H,ENR2
                MOV 53H,#00H
                MOV A,54H
                INC A
                MOV 54H,A
                CJNE A,#64H,ENR1

        ENR2:

                JMP FE

    FE1:

                MOV A,50H
                 INC A
                 MOV 50H,A
                 CJNE A,#64H,ENR2
                 MOV 50H,#00H
                 MOV A,51H
                 INC A
                 MOV 51H,A
                 CJNE A,#64H,ENR2
                 MOV 51H,#00H
                 MOV A,52H
                 INC A
                 MOV 52H,A
                 CJNE A,#64H,ENR2
                 MOV 52H,#00H
                 MOV A,53H
                 INC A
                 MOV 53H,A
                 CJNE A,#64H,ENR2
                 MOV 53H,#00H
                 MOV A,54H
                 INC A
                 MOV 54H,A
                 CJNE A,#64H,ENR1



                 MOV R2,#02H
          TTEE2:  MOV R1,#0FH
            TY2:  MOV R3,#7FH
                 DJNZ R3,S
                 DJNZ R1,TY2
                 DJNZ R2,TTEE2
                 JMP FE

      INT:        MOV P1,#38H
                  CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL DELAY
        MOV P1,#0FH
        CALL PU
        CALL DELAY
        MOV P1,#06H
        CALL PU
        CALL DELAY
        MOV P1,#01H
        CALL PU
        CALL DELAY
        MOV P1,#0CH
        CALL PU

        MOV P2,#80H
        MOV R1,#0FFH
JT:     MOV R2,#0FFH
        DJNZ R2,$
        DJNZ R1,JT
        MOV P2,#00H

        RET

PU:
        MOV P2,#00H
        CALL DELAY
        MOV P2,#04H
        CALL DELAY
        MOV P2,#00H
        CALL DELAY
        RET

DELAY:
        MOV R2,#02H
TEE:    MOV R1,#7FH
        DJNZ R1,$
        DJNZ R2,TEE
        RET

DIS:

        MOV A,R0
        ADD A,#05H
        MOV 7AH,A

        MOV R1,#60H
TE:     MOV R5,#00H
        MOV A,@R0
TE0:    CLR C
        SUBB A,#0AH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JC TE1
        INC R5
        JMP TE0
TE1:    CLR C
        CPL A
        MOV R4,A
        MOV A,#09H
        SUBB A,R4
        MOV R6,A

        MOV A,R6
        MOV @R1,A

        INC R1

        MOV A,R5
        MOV @R1,A

        INC R1
        INC R0
        MOV A,R0
        CJNE A,7AH,TE

         MOV P1,#84H
         CALL PU

         MOV P2,#05H
         MOV A,69H
         ADD A,#30H
         MOV P1,A
         MOV P2,#01H

         MOV P1,#85H
         CALL PU

         MOV P2,#05H
         MOV A,68H
         ADD A,#30H
         MOV P1,A
         MOV P2,#01H

         MOV P1,#86H
         CALL PU

         MOV P2,#05H
         MOV A,67H
         ADD A,#30H
         MOV P1,A
         MOV P2,#01H


         MOV P1,#87H
         CALL PU

         MOV P2,#05H
         MOV A,66H
         ADD A,#30H
         MOV P1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV P2,#01H


MOV P1,#88H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,65H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#89H
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,64H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#8AH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,63H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#8BH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,62H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H


MOV P1,#8CH
CALL PU

MOV P2,#05H
MOV A,61H
ADD A,#30H
MOV P1,A
MOV P2,#01H



MOV P1,#8DH
CALL PU
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV P2,#05H
        MOV A,60H
        ADD A,#30H
        MOV P1,A
        MOV P2,#01H


        MOV P1,#8FH
        CALL PU


        MOV P2,#05H
        MOV P1,#42H     ;B
        MOV P2,#01H

        CALL DELAY

        RET


DELAY1: MOV R2,#01H
TTEEC:  MOV R1,#0FFH
TYC:    MOV R3,#0FFH
        DJNZ R3,$
        DJNZ R1,TYC
        DJNZ R2,TTEEC
        RET


INT_SER:
        PUSH ACC
        PUSH PSW
        JB TI,TRANSMIT
RECEIV:
        MOV A,SBUF
        MOV @R0,A
        INC R0
        CLR RI
        JMP ENDSER
TRANSMIT:
        CLR TI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ENDSER:
        MOV R2,#0FFH
TEE1:   MOV R1,#0FFH
        DJNZ R1,$
        DJNZ R2,TEE1
        RET
        MOV R2,#0FFH
TEE2:   MOV R1,#0FFH
        DJNZ R1,S
        DJNZ R2,TEE2
        RET


        POP  PSW
        POP  ACC
        RETI

END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4 Kbytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
  - Data Retention: 10 Years
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Five Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

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

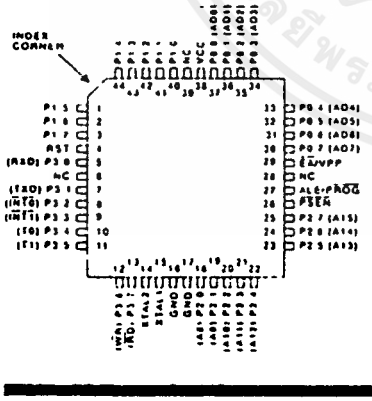
The AT89C51 provides the following standard features: 4 Kbytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five source two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is

continued

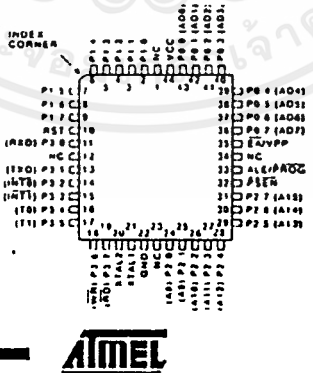
Pin Configurations

PDIP/Cerdip

PQFP/TQFP



PLCC/LCC

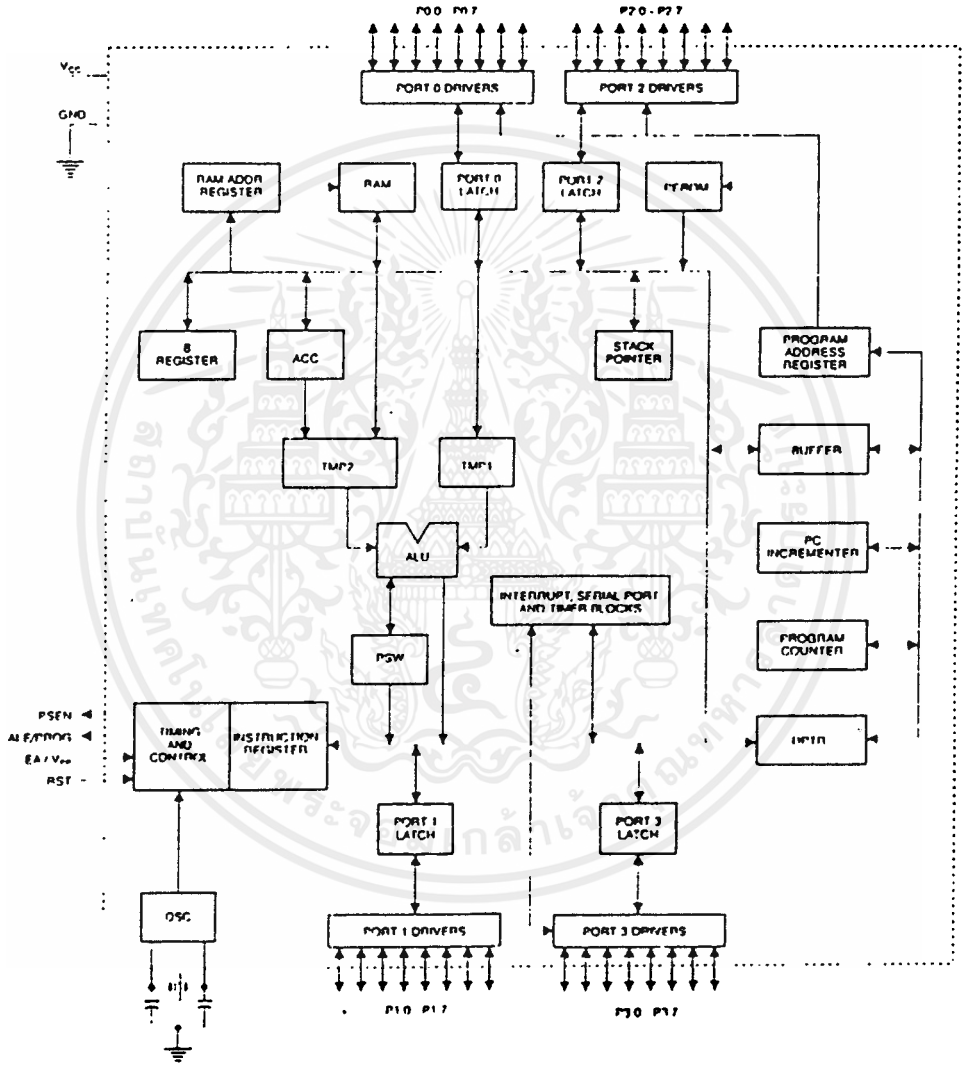


8-Bit Microcontroller with 4 Kbytes Flash

AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description (Continued)

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 bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

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

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

Port 1

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

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

Port 2

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

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

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

Port 3

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

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

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

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

RST

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

ALE/$\overline{PROG}$

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{PROG}$) 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.

$\overline{PSEN}$

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

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

$\overline{EA}$/V_{PP}

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

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

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

continued

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Memory Lock Bits

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

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

Lock Bit Protection Modes

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

Programming the Flash

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

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

	Vpp = 12 V	Vpp = 5 V
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

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

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

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise EA/Vpp to 12 V 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 AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on P0.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

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

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

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

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0311H, and 0321H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows:

(0310H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(0311H) = 51H indicates 89C51
(0312H) = FFH indicates 12 V programming
(0321H) = 05H indicates 5 V 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/ Vpp	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V[1]	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase	H	L	[2]	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Notes: 1. The signature byte at location 0321H designates whether Vpp = 12 V or Vpp = 5 V should be used to enable programming.
2. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

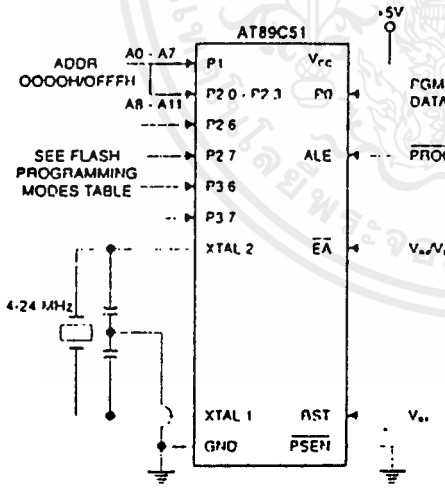
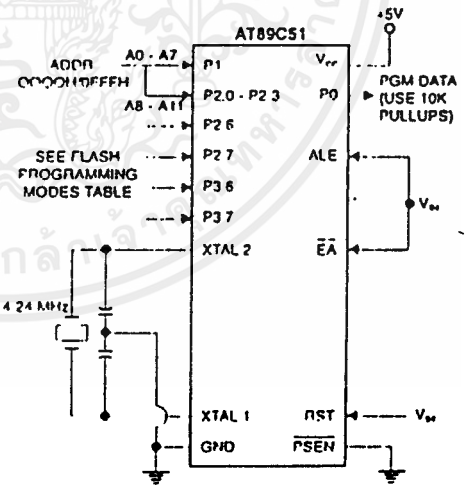
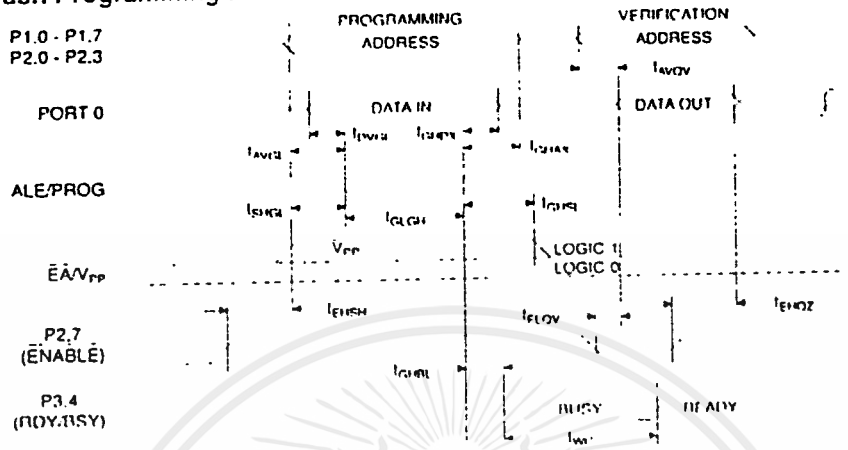


Figure 4. Verifying the Flash

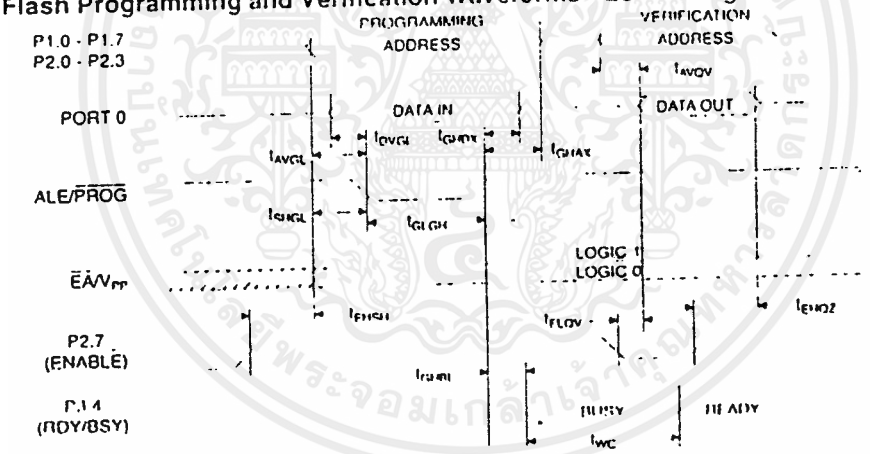


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	-1.0 V to +7.0 V
Maximum Operating Voltage	6.6 V
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.

D.C. Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0 V ± 20% (unless otherwise noted)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.C. Characteristics

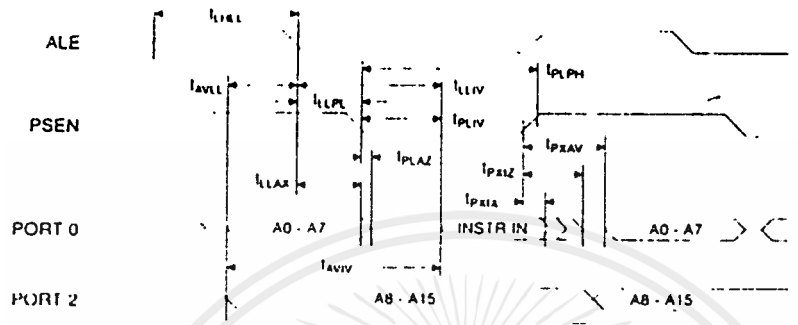
(Under Operating Conditions, Load Capacitance for Port 0, ALE/$\overline{PROG}$, and $\overline{PSEN}$ = 100 pF, Load Capacitance for all other outputs = 80 pF)

External Program and Data Memory Characteristics

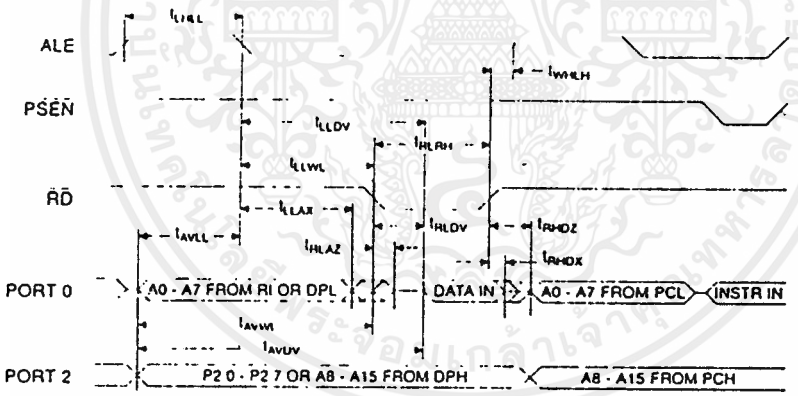
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator Min	12 MHz Oscillator Max	16 to 24 MHz Oscillator Min	16 to 24 MHz Oscillator Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}$-40		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	28		t_{CLCL}-13		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Program Memory Read Cycle

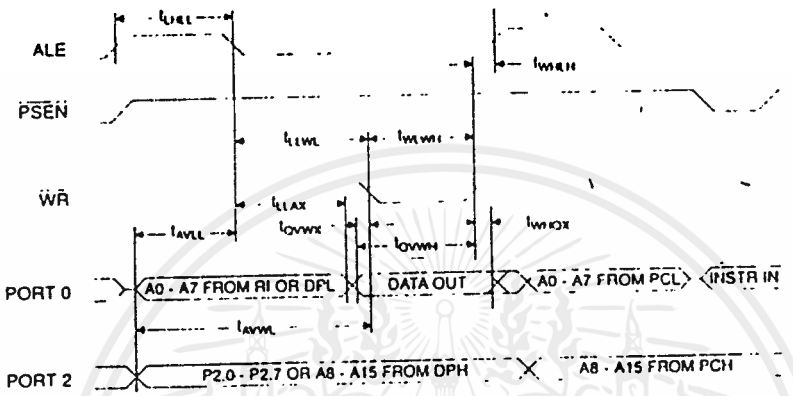


External Data Memory Read Cycle

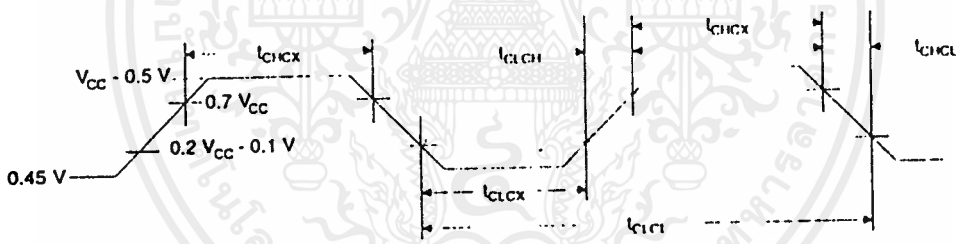


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

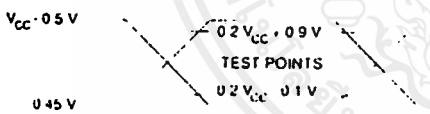
Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

(V_{CC} = 5.0 V ± 20%, Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t_{CLCL}		µs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t_{CLCL}-133		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t_{CLCL}-33		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t_{CLCL}-133	ns

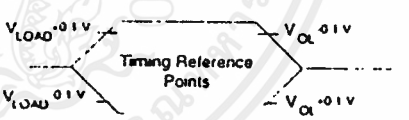
Shift Register Mode Timing Waveforms

AC Testing Input/Output Waveforms[1]



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

Float Waveforms[1]



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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5 V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
		AT89C51-12AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)
		AT89C51-12JA	44J	
		AT89C51-12PA	40P6	
		AT89C51-12QA	44Q	
	5 V ± 10%	AT89C51-12DM	40D6	Military (-55°C to 125°C)
		AT89C51-12LM	44I	
		AT89C51-12DM/883	40D6	Military/883C Class B, Fully Compliant (-55°C to 125°C)
		AT89C51-12LM/883	44I	
16	5 V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
		AT89C51-16AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)
		AT89C51-16JA	44J	
		AT89C51-16PA	40P6	
		AT89C51-16QA	44Q	
20	5 V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5 V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	44P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	44P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

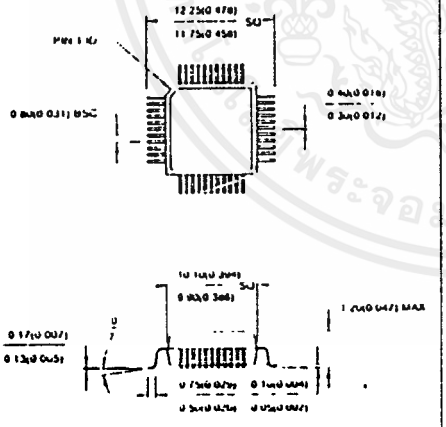
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

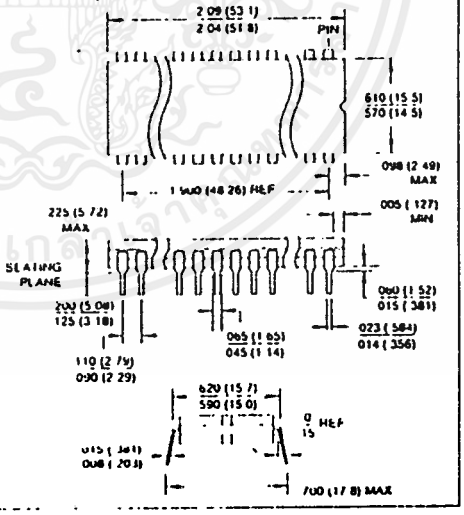
	Package Type
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
40D6	40 Lead, 0.600" Wide, Non-Windowed, Ceramic Dual Inline Package (Cerdip)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
44L	44 Pad, Non-Windowed, Ceramic Leadless Chip Carrier (LCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

Packaging Information

44A, 44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)



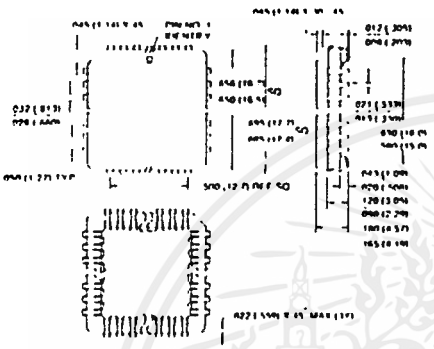
40D6, 40 Lead, 0.600" Wide, Non-Windowed, Ceramic Dual Inline Package (Cerdip)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



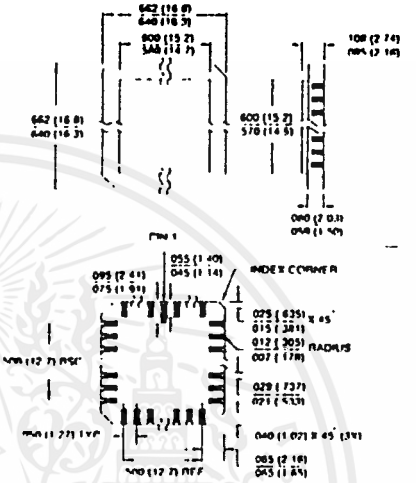
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packaging Information

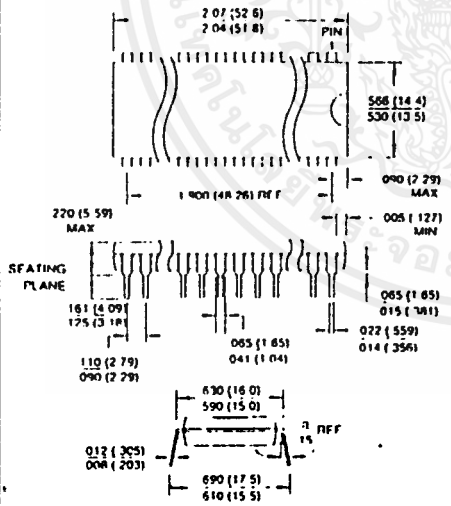
44J, 44 Lead, Plastic J Leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC OUTLINE MO 047 AC



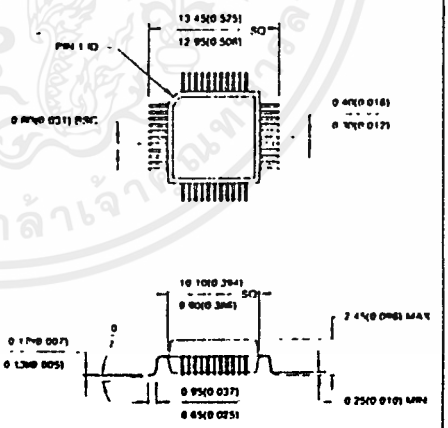
44L, 44 Pad, Non-Windowed,
Ceramic Leadless Chip Carrier (LCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



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



44Q, 44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

+5V Powered RS-232 Drivers/Receivers

General Description

Maxim's family of line drivers/receivers are intended for all RS-232 and V.28/V.24 communications interfaces, and in particular, for those applications where ±12V is not available. The MAX230, MAX236, MAX240 and MAX241 are particularly useful in battery powered systems since their low power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5μW. The MAX233 and MAX235 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

All members of the family except the MAX231 and MAX239 need only a single +5V supply for operation. The RS-232 drivers/receivers have on-board charge pump voltage converters which convert the +5V input power to the ±10V needed to generate the RS-232 output levels. The MAX231 and MAX239, designed to operate from +5V and +12V, contain a +12V to -12V charge pump voltage converter.

Since nearly all RS-232 applications need both line drivers and receivers, the family includes both receivers and drivers in one package. The wide variety of RS-232 applications require differing numbers of drivers and receivers. Maxim offers a wide selection of RS-232 driver/receiver combinations in order to minimize the package count (see table below).

Both the receivers and the line drivers (transmitters) meet all EIA RS-232C and CCITT V.28 specifications.

Features

- ♦ Operates from Single 5V Power Supply (+5V and +12V — MAX231 and MAX239)
- ♦ Meets All RS-232C and V.28 Specifications
- ♦ Multiple Drivers and Receivers
- ♦ Onboard DC-DC Converters
- ♦ ±9V Output Swing with +5V Supply
- ♦ Low Power Shutdown — <1μA (typ)
- ♦ 3-State TTL/CMOS Receiver Outputs
- ♦ ±30V Receiver Input Levels

Applications

Computers
Peripherals
Modems
Printers
Instruments

Selection Table

Part Number	Power Supply Voltage	No. of RS-232 Drivers	No. of RS-232 Receivers	External Components	Low Power Shutdown /TTL 3-State	No. of Pins
MAX230	+5V	5	0	4 capacitors	Yes/No	20
MAX231	+5V and +7.5V to 13.2V	2	2	2 capacitors	No/No	14
MAX232	+5V	2	2	4 capacitors	No/No	16
MAX233	+5V	2	2	None	No/No	20
MAX234	+5V	4	0	4 capacitors	No/No	16
MAX235	+5V	5	5	None	Yes/Yes	24
MAX236	+5V	4	3	4 capacitors	Yes/Yes	24
MAX237	+5V	5	3	4 capacitors	No/No	24
MAX238	+5V	4	4	4 capacitors	No/No	24
MAX239	+5V and +7.5V to 13.2V	3	5	2 capacitors	No/Yes	24
MAX240	+5V	5	5	4 capacitors	Yes/Yes	44 (Flatpak)
MAX241	+5V	4	5	4 capacitors	Yes/Yes	28 (Small Outline)

*Patent Pending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V Powered RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V_{CC} ..... 0.3V to +6V
V^+ ..... (V_{CC} - 0.3V) to +14V
V^- ..... +0.3V to -14V

Input Voltages
T_{IN} ..... -0.3 to (V_{CC} + 0.3V)
R_{IN} ..... +30V

Output Voltages
T_{OUT} ..... (V^+ + 0.3V) to (V^- - 0.3V)
R_{OUT} ..... -0.3V to (V_{CC} + 0.3V)

Short Circuit Duration
T_{OUT} ..... continuous

Power Dissipation
CERDIP 675mW
(derate 9.5mW/°C above +70°C)
Plastic DIP 375mW
(derate 7mW/°C above +70°C)
Small Outline (SO) 375mW
(derate 7mW/°C above +70°C)

Lead Temperature (soldering 10 seconds) ..... +300°C
Storage Temperature ..... -65°C to +160°C

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(MAX232, 234, 236, 237, 238, 240, 241 V_{CC} = 5V ±10%; MAX233, 235 V_{CC} = 5V ±5%; C1-C4 = 1.0µF; MAX231, 239 V_{CC} = 5V ±10%, V^+ = 7.5V to 13.2V; T_A = Operating Temperature Range, Figures 3-14, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to Ground	±5	±9		V
V_{CC} Power Supply Current	No load, T_A = +25°C; MAX233, MAX235		5	10	mA
	MAX230, MAX234-238, MAX240 MAX241		7	15	
	MAX231, MAX239		0.4	1	
V^+ Power Supply Current	No load, MAX231 and MAX239 only; MAX231		1.8	5	mA
	MAX239		5	15	
Shutdown Supply Current	Figure 1, T_A = +25°C		1	10	µA
Input Logic Threshold Low	T_{IN}, $\overline{EN}$, Shutdown			0.8	V
Input Logic Threshold High	T_{IN}	2.0			V
	$\overline{EN}$, Shutdown	2.4			
Logic Pullup Current	T_{IN} = 0V		15	200	µA
RS-232 Input Voltage Operating Range		-30		+30	V
RS-232 Input Threshold Low	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C (MAX231, 239 V^+ = 0V)	0.8	1.2		V
RS-232 Input Threshold High	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C (MAX231, 239 V^+ = 12V)		1.7	2.4	V
RS-232 Input Hysteresis	V_{CC} = 5V	0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	T_A = +25°C, V_{CC} = 5V	3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I_{OUT} = 1.6mA (MAX231-233, I_{OUT} = 3.2mA)			0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I_{OUT} = -1.0mA	3.5			V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{EN}$ = V_{CC}, 0V ≤ R_{OUT} ≤ V_{CC}		0.05	±10	µA
Output Enable Time (Figure 2)	MAX235, MAX236, MAX239, MAX240, MAX241		400		ns
Output Disable Time (Figure 2)	MAX235, MAX236, MAX239, MAX240, MAX241		250		ns
Propagation Delay	RS-232 to TTL		0.5		µs
Instantaneous Slew Rate	C_L = 10pF, R_L = 3-7kΩ, T_A = +25°C (Note 1)			30	V/µs
Transition Region Slew Rate	R_L = 3kΩ, C_L = 2500pF, Measured from +3V to -3V or -3V to +3V		3		V/µs
Output Resistance	V_{CC} = V^+ = V^- = 0V, V_{OUT} = ±2V	300			Ω
RS-232 Output Short Circuit Current			±10		mA

Note 1: Sample tested

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V Powered RS-232 Drivers/Receivers

Typical Applications

Figures 3 through 14 show typical applications. The capacitor values are non-critical. Reducing the capacitors C1 and C2 to 1μF will slightly increase the impedance of the charge pump, lowering the RS-232 driver output voltages by about 100mV. Lower values of C3 and C4 increase the ripple on the V+ and V- outputs.

If the power supply input to the device has a very fast rate-of-rise (as would occur if a PCB were to be plugged into a card cage with power already on), use the simple RC filter shown in Figure 15. This bypass network is not needed if the V_{CC} rate-of-rise is below 1V/μs.

All receivers and drivers are inverting. The $\overline{EN}$able control of the MAX235, MAX236, MAX239, MAX240 and MAX241 enables the receiver TTL/CMOS outputs when it is at a low level, and places the TTL/CMOS outputs of the receivers into a high impedance state when it is a high level.

When the Shutdown control of the MAX230, MAX235, MAX236, MAX240 and MAX241 is at a logic 1 the charge pump is turned off, the receiver outputs are put into the high impedance state, V+ is pulled down to V_{CC}, V- is pulled up to ground, and the transmitter outputs are disabled. The supply current drops to less than 10μA.

Detailed Description

The following sections provide supplementary information for those designers with non-standard applications and for those with interest in the internal operation of the devices.

The devices consist of 3 sections: the transmitters, the receivers, and the charge pump DC-DC voltage converter.

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

All but the MAX231 and MAX239 convert +5V to ±10V. This conversion is performed by two charge pump voltage converters. The first uses capacitor C1 to double the +5V to +10V, storing the +10V on the V+ output filter capacitor, C3. The second charge pump voltage converter uses capacitor C2 to invert the +10V to -10V, storing the -10V on the V- output filter capacitor, C4. The equivalent circuit of the charge pump section is shown in Figure 16.

A small amount of power may be drawn from the V+ and V- outputs to power external circuitry. Two Typical Operating Characteristics graphs show typical output voltage versus load current for the MAX230, 234-238, and 241. Transmitter output current is included in these plots. The MAX231-233, which are not shown in the graphs, supply less output current, and are limited to 1 or 2mA of excess output load current.

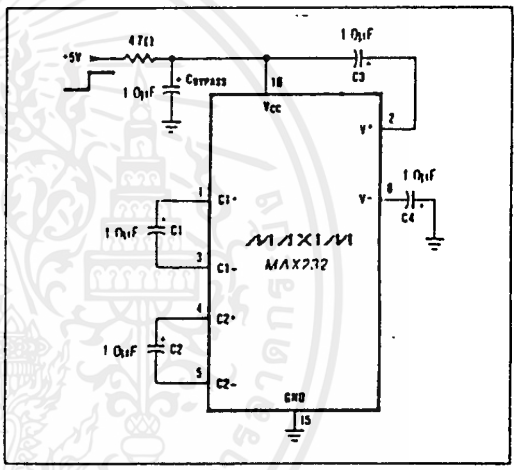


Figure 15. Protection from High $\frac{dV}{dT}$

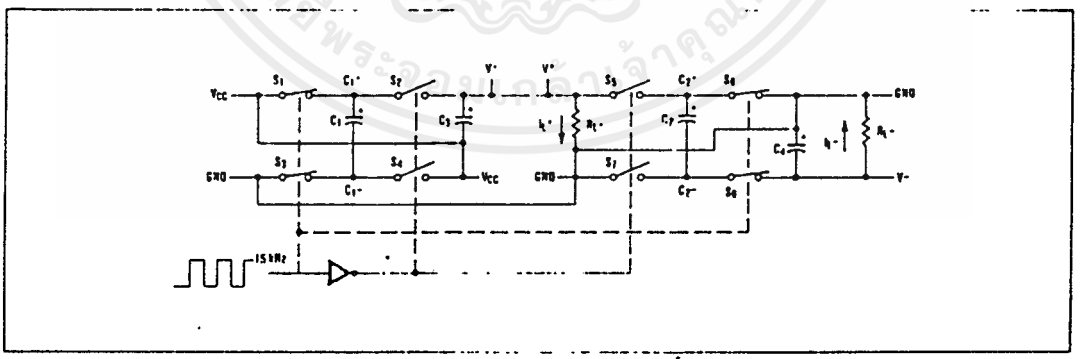


Figure 16. Charge Pump Diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For applications needing only the +5V to ±10V charge pump voltage converter, the MAX680 is available.

The capacitor values for C1 through C4 are noncritical. At the 30kHz (MAX231-MAX233, 60kHz otherwise) typical switching frequency of the voltage converter, a 1µF capacitor has approximately 10Ω impedance and replacing the 4.7µF and 10µF capacitors shown in the typical applications with 1µF for C1 and C2 will increase the output impedance of the V^+ output by about 10Ω and the output imepedance of V^- by about 20Ω. Lowering the value of C3 and C4 increases the ripple on the V^+ and V^- outputs. Where operation to the upper temperature limit is not required, or V_{CC} will not go below 4.75V, C1 and C2 can be 1µF, and C3 and C4 can be 1µF per output channel (1µF if one transmitter is used, 5µF if five transmitters are used).

There are parasitic diodes which become forward biased if V^+ goes below V_{CC} or V^- goes above ground. When in the shutdown mode (MAX230, MAX235, MAX236, MAX240 and MAX241 only), V^+ is internally connected to V_{CC} by a 1kΩ pulldown, and V^- is internally connected to ground via a 1kΩ pullup.

The MAX233 and MAX235 contain all charge pump components, including the capacitors, and operate with NO external components.

The MAX231 and MAX239 include only the V^+ to V^- charge pump, and are intended for applications which have a +5V supply and either a +12V ±10% supply or a 7.5V to 13.2V battery voltage. When operating with V^+ greater than 8.0V, both capacitors can be 1µF.

Driver (Transmitter) Section

The transmitters or line drivers are inverting level translators which convert the CMOS or TTL input levels to RS-232 or V.28 voltage levels. With +5V V_{CC}, the typical output voltage swing is ±9V when loaded with the nominal 5kΩ input resistance of an RS-232 receiver. The output swing is guaranteed to meet the RS-232/V.28 specification of ±5V minimum output swing under the worst case conditions of all transmitters driving the 3kΩ minimum allowable load impedance, V_{CC} = 4.5V, and maximum operating ambient temperature. The open circuit output voltage swing is from (V^+ - 0.6V) to V^-.

The input thresholds are both CMOS and TTL compatible, with a logic threshold of about 25% of V_{CC}. The inputs of unused drivers sections can be left unconnected; an internal 400kΩ input pullup resistor to V_{CC} will pull the inputs high, forcing the unused transmitter outputs low. The input pullup resistors source about 12µA, and the driver inputs should be driven high or open circuited to minimize power supply current in the shutdown mode.

When in the low power shutdown mode, the driver outputs are turned off and their leakage current is less than 1µA with the driver output pulled to ground. The driver output leakage remains less than 1µA, even if the transmitter output is backdriven between 0V and (V_{CC} + 6V). Below -0.5V the transmitter is diode clamped to ground with 1kΩ series impedance. The transmitter is also zener clamped to approximately V_{CC} + 6V, with a series impedance of 1kΩ. As required by the RS232 and V.28, the slew rate is limited to less than 30V/µs. This limits the maximum usable baud rate to 19,200 baud.

Receiver Section

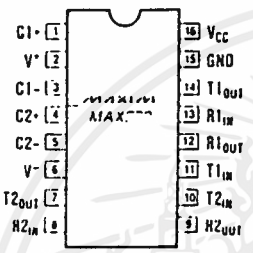
All but the MAX230 and MAX234 contain RS-232/V.28 receivers. These receivers convert the ±5V to ±15V RS-232 signals to 5V TTL/CMOS outputs. Since the RS-232C/V.28 specifications define a voltage level greater than +3V as a 0, the receivers are inverting. Maxim has set the guaranteed input thresholds of the receivers to 0.8V minimum and 2.4V maximum, which are significantly tighter than the -3.0V minimum and +3.0V maximum required by the RS-232 and V.28 specifications. This allows the receivers to respond both to RS-232/V.28 levels and TTL level inputs. The receivers are protected against input overvoltage up to ±30V.

The 0.8V guaranteed lower threshold is important to ensure that the receivers will have a logic 1 output if the receiver is not being driven because the equipment containing the line driver is turned off or disconnected, or if the connecting cable has an open circuit or short circuit. In other words, the receiver implements Type 1 interpretation of fault conditions (§7 of V.28, §2.5 of RS-232C). While a 0V or even a -3V receiver threshold would be acceptable for the data lines, these lower thresholds would not give proper indication on the control lines such as DTR and DSR. The receivers, on the other hand, have a full 0.8V noise margin for detecting the power-down or cable-disconnected states.

The receivers have a hysteresis of approximately 0.5V, with a minimum guaranteed hysteresis of 200mV. This aids in obtaining clean output transitions, even with slow rise and fall time input signals with moderate amounts of noise and ringing. The propagation delays of the receivers are 350ns for negative-going input signals, and 650ns for positive-going input signals (see Typical Characteristics graphs).

The MAX239 has a receiver 3-state control line, and the MAX235, MAX236, MAX240 and MAX241 have both a receiver 3-state control line and a low power shutdown control. The receiver TTL/CMOS outputs are in a high impedance 3-state mode whenever the 3-state ENable line is high, and are also high impedance whenever the Shutdown control line is high.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



16 Lead Small Outline
also available.

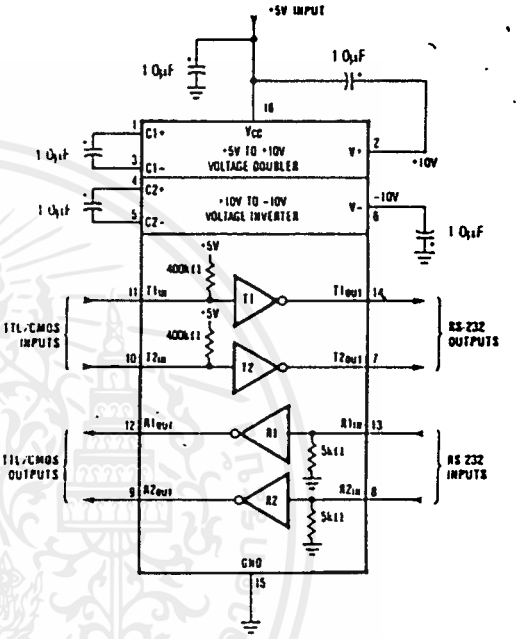
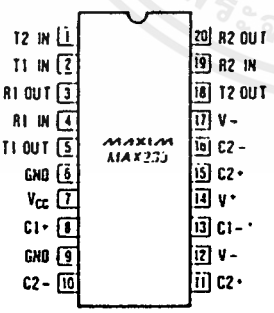


Figure 5 MAX232 Typical Operating Circuit



Small Outline Not Available

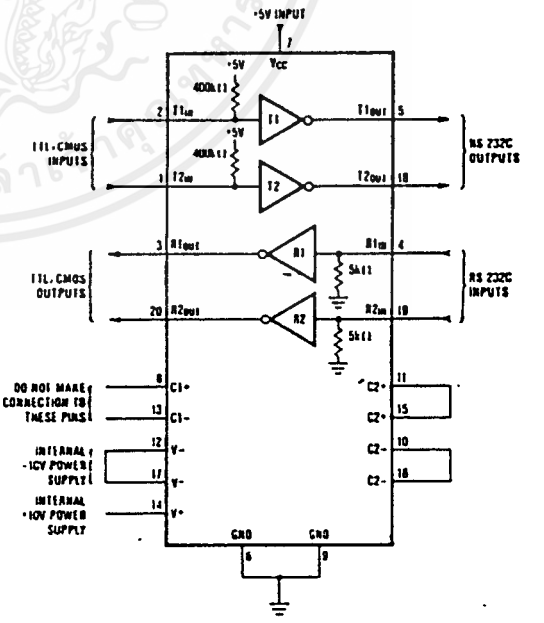


Figure 6 MAX233 Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V Powered RS-232 Drivers/Receivers

Review of EIA Standard RS-232-C and CCITT Recommendations V.28 and V.24

The most common serial interface between electronic equipment is the "RS232" interface. This serial interface has been found to be particularly useful for the interface between units made by different manufacturers since the voltage levels are defined by the EIA Standard RS-232-C and CCITT Recommendation V.28. The RS-232 specification also contains signal circuit definitions and connector pin assignments, while CCITT circuit definitions are contained in a separate document, Recommendation V.24. Originally intended to interface modems to computers and terminals, these standards have many signals which are not used for computer-to-computer or computer-to-peripheral communication.

Serial interfaces can be used with a variety of transmission formats. The most popular by far is the asynchronous format, generally at one of the standard baud rates of 300, 600, 1200, etc. The maximum recommended baud rate for RS-232 and V.28 is 20,000 baud, and the fastest commonly used baud rate is 19,200 baud. Asynchronous serial links use a variety of combinations of the number of data bits, what type (if any) of parity bit, and the number of stop bits. A typical combination is 7 data bits, even parity, and 1 stop bit.

RS232/V.28 physical links are also suitable for synchronous transmission protocols. These higher level protocols often use the standard RS-232C/V.28 voltage levels. Note that one type of physical link (such as RS-232/V.28 voltage levels) can be used for a variety of higher level protocols. Table 2 summarizes the voltage levels and othe. requirements of V.28 and RS-232.

Comparison of RS-232C/V.28 with other Standards

The other two most common serial interface specifications are the EIA RS423 and RS422/RS485 (CCITT recommendations V.10 and V.11). While the RS-232 or V.28/V.24 interface is the most common interface for communication between equipment made by different manufacturers, the RS423/V.10 interface and RS422/V.11 interfaces can operate at higher baud rates. In addition, the RS485 interface can be used for low cost local area networks.

The RS423 and V.10 interfaces are unbalanced or "single-ended" interfaces which use a differential receiver. This standard is intended for data signaling rates up to 100 kbit/s (100 kilobaud). It achieves this higher baud rate through more precise requirements on the waveshape of the transmitters and through the use of differential receivers to compensate for ground potential variations beween the transmitting and receiving equipment. With certain limitations, this interface is compatible with RS-232 and V.28. The limitations are:

1) less than 20,000 baud rate,
2) maximum cable lengths determined by RS-232 performance,
3) RS423/V.10 DTE and DCE signal return paths must be connected to the the RS232/V.28 signal ground,
4) the RS-232 transmitter output voltages must be limited to ±12V, or additional protection must be provided for the RS423/V.10 receivers, and
5) not all RS232/V.28 receivers will show proper power-off detection of V.10 transmitter outputs.

Maxim's MAX230 and MAX232-MAX238, MAX240 and MAX241 meet restrictions 4 and 5 over the entire range of recommended operating conditions. The MAX231 and MAX239 meet restrictions 4 and 5 provided that the V^+ voltage is 12.5V or less.

The RS422, RS485, and V.11 interfaces are balanced double-current interchanges suitable for baud rates up to 10 Mbit/s. These interfaces are not compatible with RS-232 or V.28 voltage levels.

Application Hints

Operation at High Baud Rates

V.28 states that "the time required for the signal to pass through the transition region during a change in state shall not exceed 1 millisecond or 3 percent of the nominal element period on the interchange circuit, whichever is less." RS-232C allows the transition time to be 4 percent of the duration of a signal element. At 19,200 baud, the "nominal element period" is approximately 50μs, of which 3 percent is 1.5μs. Since the transition region is from -3V to +3V, this means the V.28 slew rate would ideally be faster than 6V/1.5μs = 4V/μs at 19.2 kbaud and 2V/μs at 9600 baud. The RS-232 requirement is equivalent to 3V/μs at 19.2 kbaud, 1.5V/μs at 9600 baud, etc. The slew rate of the MAX230 series devices is about 3V/μs with the maximum recommended load of 2500pF. In practice, the effect of less than optimum slew rate is a distortion of the recovered data, where the 1's and 0's no longer have equal width. This distortion generally has negligible effect and the devices can be reliably used for 19.2 kbaud serial links when the cable capacitance is kept below 2500pF. With very low capacitance loading, the MAX230 and MAX234-239, MAX240 and MAX241 may even be used at 38.4 kbaud, since the typical slew rate is 5V/μs when loaded with 500pF in parallel with 5kΩ. Under no circumstance will the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V Powered RS-232 Drivers/Receivers

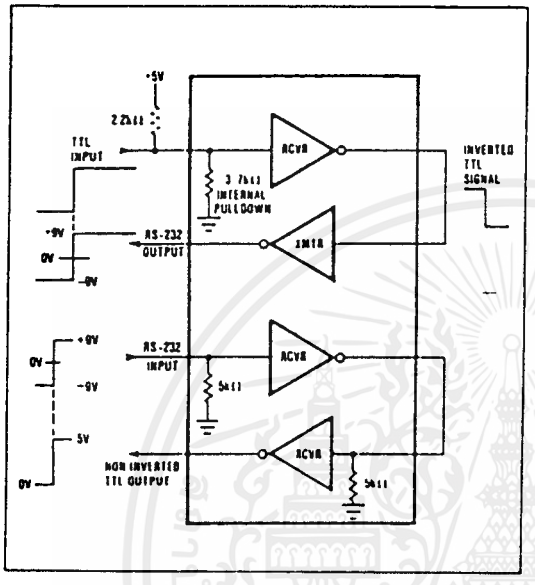


Figure 17. Non-inverting RS-232 Transmitters and Receivers

slew rate exceed the RS-232/V.28 maximum spec of 30V/µs and, unlike the 1488 driver, no external compensation capacitors are needed under any load condition.

Driving Long Cables

The RS-232 standard states that "The use of short cables (each less than approximately 50 feet or 15 meters) is recommended; however, longer cables are permissible, provided that the load capacitance . . . does not exceed 2500pF."

Baud rate and cable length can be traded off: use lower baud rates for long cables, use short cables if high baud rates are desired. For both long cables and high baud rates, use RS422/V.11. The maximum cable length for a given baud rate is determined by several factors, including the capacitance per meter of cable, the slew rate of the driver under high capacitive loading, the receiver threshold and hysteresis, and the acceptable bit error rate. The receivers have 0.5V of hysteresis, and the drivers are designed such that the slew rate reduction caused by capacitive loading is minimized (see Typical Characteristics).

Non-Inverting Drivers and Receivers

Occasionally a non-inverting driver or receiver is needed instead of the inverting drivers and receivers of the family. Simply use one of the receivers as a TTL/CMOS inverter to get the desired operation (Figure 17). If the logic output driving the receiver input has less than 1mA of output source capability, then add the 2.2kΩ pullup resistor.

The receiver TTL outputs can directly drive the input of another receiver to form a non-inverting RS-232 receiver.

Protection for Shorts to ±15V Supplies

All driver outputs except on the MAX231, MAX232 and MAX233 are protected against short circuits to ±15V, which is the maximum allowable loaded output voltage of an RS-232/V.28 transmitter. The MAX231, MAX232, and MAX233 can be protected against short circuits to ±15V power supplies by the addition of a series 220Ω resistor in each output. This protection is not needed to protect against short circuits to most RS-232 transmitters such as the 1488, since they have an internal short circuit current limit of 12mA.

The power dissipation of the MAX230 and MAX234-MAX239, MAX240 and MAX241 is about 200mW with all transmitters shorted to ±15V.

Isolated RS-232 Interfaces

RS-232 and V.28 specifications require a common ground connection between the two units communicating via the RS-232/V.28 interface. In some cases, there may be large differences in ground potential between the two units, and in other cases it may be desired to avoid ground loop currents by isolating the two grounds. In other cases, a computer or control system must be protected against accidental connection of the RS-232/V.28 signal lines to 110/220VAC power lines. Figure 18 shows a circuit with this isolation. The power for the MAX233 is generated by a MAX635 DC-DC converter. When the MAX635 regulates point "A" to -5V, the isolated output at point "B" will be semi-regulated to +5V. The two optocouplers maintain isolation between the system ground and the RS-232 ground while transferring the data across the isolation barrier. While this circuit will not withstand 110VAC between the RS-232 ground and either the receiver or transmitter lines, the voltage difference between the two grounds is only limited by the optocoupler and DC-DC converter transformer breakdown ratings.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

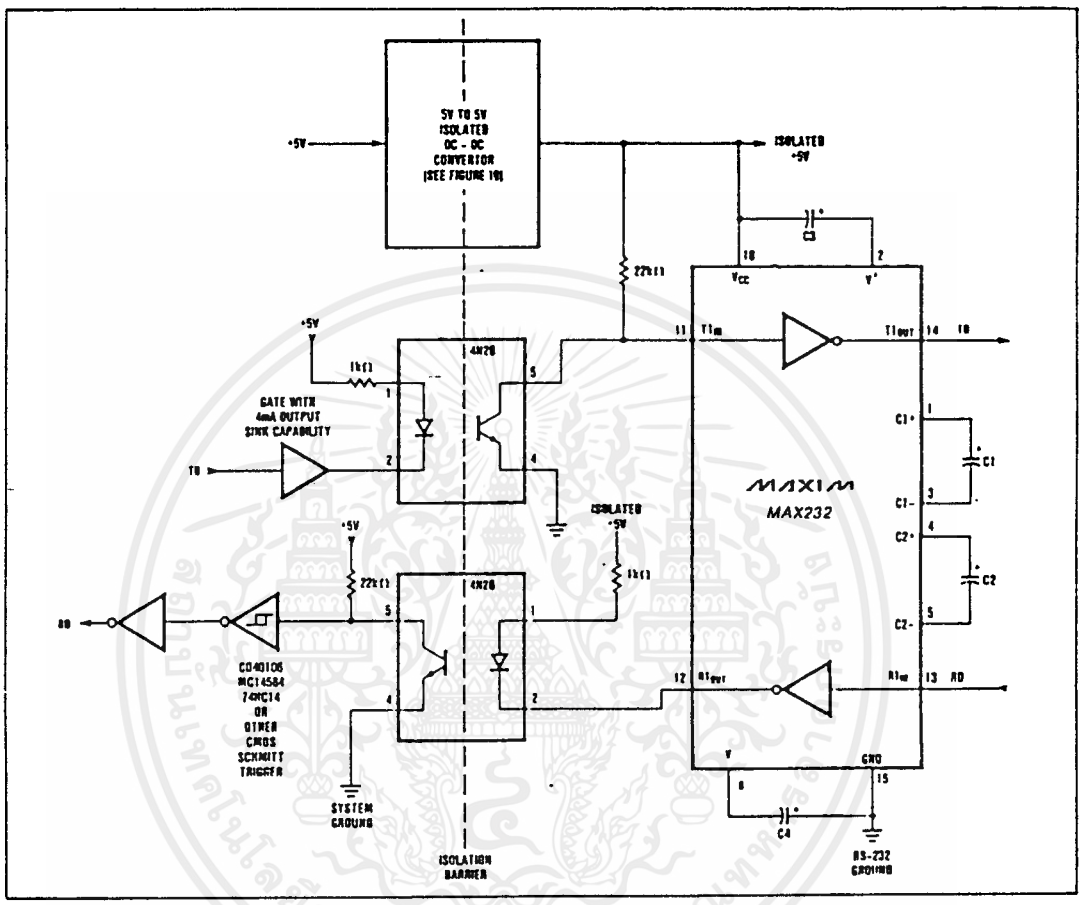


Figure 18. Optically Isolated RS-232 Interface.

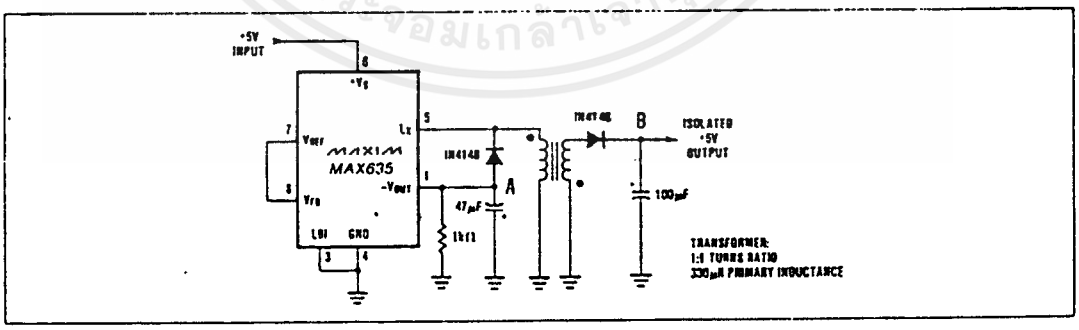


Figure 19. +5V Isolated Power Supply For Optically Isolated RS-232 Interface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. สุนทร วิสุรพจน์,"การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),พ.ศ.2537,หน้า 10,13,41.
2. สุนทร วิสุรพจน์,"การโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),พ.ศ.2537.
3. สุเจตน์ จันทรังษ์, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051", โครงการตำราวิชาการ วิทยา ลัยมหานคร.
4. พิพัฒน์ เลาหสงคราม , "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51", ภาควิชาเทคโนโลยีวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,พ.ศ.2537,หน้า 226,228.
5. ประเมษฐ์ ประยานันทน์,ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, "คู่มือการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),พ.ศ.2536,หน้า 46-78,226,280.
6. MOTOROLA,"CMOS APPLICATION SPECIFIC STANDARD ICS",MOTOROLA INC.,1991.
7. MOTOROLA,"LINEAR AND INTERFACE INTEGRATED CIRCUIT",MOTOROLA INC.,1985.
8. DON LANCASTER,"TTL COOK BOOK",HOWARD W.SAMS&CO.,INC.
9. NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION,"GENERAL PURPOSE LINEAR DEVICES DATA BOOK",CALIFORNIA,1989,EDITION.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้