การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์

COMPUTER-CONTROL SOUND SYSTEM

โดย

นาย กิตติพงษ์ สุวรรณสิงห์ เลขประจำตัว 36013093
นาย ธรรมนูญ โกยทอง เลขประจำตัว 37013196
นาย ราชันย์ สอนไว เลขประจำตัว 37013209

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์

COMPUTER-CONTROL SOUND SYSTEM

โดย

นาย กิตติพงษ์ สุวรรณสิงห์ เลขประจำตัว 36013093

นาย ธรรมนูญ โกยทอง เลขประจำตัว 37013196

นาย ราชันย์ สอนไว เลขประจำตัว 37013209

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Control Sound System)

ผู้จัดทำ นาย กิตติพงษ์ สุวรรณสิงห์ เลขประจำตัว 36013093

นาย ธรรมนูญ โกยทอง เลขประจำตัว 37013196

นาย ราชันย์ สอนไว เลขประจำตัว 37013209

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมศักดิ์ ชุ้มช่วย)

การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์

Computer Control Sound System

ผู้จัดทำ นาย กิตติพงษ์ สุวรรณสิงห์ เลขประจำตัว 36013093
นาย ธรรมนูญ โกยทอง เลขประจำตัว 37013196
นาย ราชันย์ สอนไว เลขประจำตัว 37013209

โครงงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมศักดิ์ ชุ่มช่วย)

การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์

(Computer Control Sound System)

กิตติพงษ์ สุวรรณสิงห์
ธรรมนูญ โกยทอง
ราชันย์ สอนไว
ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีรายละเอียดเกี่ยวกับระบบการควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบนี้ประกอบไปด้วยจูนเนอร์และอีควอไลดซอร์ และใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการติดต่อระหว่างอุปกรณ์เครื่องเสียงต่างๆ โดยผ่านไมโครโพเซสเซอร์ (MCS-51) และระบบนี้โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ คือ โปรแกรม เดลไฟล์ (DELPHI) ในส่วนของเครื่องเล่นเทปและปรีแอมป์จะอยู่ในปริญญานิพนธ์การควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์อีกเล่มหนึ่ง ซึ่งได้ศึกษาร่วมกัน

COMPUTER CONTROL SOUND SYSTEM

Kittipong Suwannasing

Thamanoon Koythong

Rachan Sonwai

Somsak Chomchuay Advisor

1997

ABSTRAT

This thesis describes the development of COMPUTER-CONTROL SOUND SYSTEM which comprises of Sound Equiment namely , tuner and equalizer . An IBM PC is used as a host computer to control thecommunication the instance between to each sound units microcontroller. Window interface package , DELPHI , is used as a devalopment tool in high level progromming. The discussion of the development of tape and pre-tone Amplifier parts are involved in another thesis COMPUTER-CONTROL SOUND SYSTEM .

คำนำ

ในสมัยก่อนเราได้ยินเสียงเพลงที่มาจากเครื่องเสียงที่ใช้ระบบกลไกควบคุมการทำงานต่อมาได้มีการพัฒนาการมาเรื่อยๆจาก ระบบที่ควบคุมด้วยกลไก ระบบที่เป็นดิจิตอลพื้นฐานควบคุม ระบบที่ใช้อินฟาเรดควบคุม และในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในทุกสาขาวิชาชีพ เนื่องจากมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน เราจึงได้นำเสนอระบบที่เป็นคอมพิวเตอร์ควบคุมซึ่งเป็นระบบหนึ่งในอีกหลายๆระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม โดยสั่งงานผ่านพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ไปยังเครื่องเสียงซึ่งจะต้องมีคอนโทรลเลอร์บอร์ดเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องเสียงกับคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการควบคุมเจูนเนอร์และอีควอไลเซอร์ โดยในส่วนของจูนเนอร์และอีควอไลเซอร์นี้จะต้องเป็นระบบดิจิตอลเท่านั้น หรือถ้าเป็นระบบอานาล็อคจะต้องดัดแปลงให้สามารถใช้ระบบดิจิตอลควบคุมได้เสียก่อนจึงใช้ได้ก้บหลักการของปริญญา-นิพนธ์นี้ ในส่วนของเครื่องเล่นเทปและปรีแอมป์ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้จากปริญญานิพนธ์อีกเล่มหนึ่ง ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์ที่ศึกษาร่วมกัน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล 51 (MCS-51)	4
2.1 โครงสร้างของ 8051	6
2.2 การจัดหน่วยความจำของ 8051	9
2.3 สถาปัตยกรรมของ 8051	11
2.4 การทำงานของ 8051	22
บทที่ 3 ชุดคำสั่งของ 8051	26
3.1 ข้อมูลเฉพาะของคำสั่ง	30
3.2 รีจิสเตอร์ของ 8051	31
3.3 แอดเดรสซิ่ง	36
3.4 ชุดคำสั่ง 8051	38
บทที่ 4 8255 พอร์ทข้อมูลแบบขนาน	46
4.1 ไอซี 8255	46
4.2 โครงสร้าง 8255	46
4.3 ขาต่างๆ ของ 8255	47
4.4 การเชื่อมต่อ 8255 กับ ไมโครโพเซสเซอร์	48
4.5 รีจิสเตอร์ภายในของ 8255	50
4.6 โหมด 0 หรืออินพุทเอาท์พุทแบบพื้นฐาน	51
4.7 การทำงานในโหมด 0	53
4.8 การทำงานของ 8255 ในโหมด 1	53
4.9 การทำงานของ 8255 ในโหมด 2	56
บทที่ 5 แนะนำโปรแกรมเดลไฟล์ (DELPHI)	50
บทที่ 6 การทำงานในส่วนต่าง ๆ ของระบบ	61
6.1 การทำงานของระบบ	61
6.2 การทำงานของ HARD WARE	62
6.2.1 การทำงานของวงจรคอนโทรลเลอร์	62
6.2.2 การทำงานของภาครับวิทยุ FM STEREO	65
6.2.3 การทำงานของ EQUALIZER	70

6.3 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ MCS-51 77
6.3.1 โพล์วชาร์ต การทำงาน MCS-51 77
6.3.2 รหัสที่ใช้ในการรับ/ส่งข้อมูล 78
6.3.3 การรับข้อมูลของ MCS-51 เมื่อมีการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ 79
6.3.4 การส่งข้อมูลจาก MCS-51 เพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ 82
บทที่ 7 บทสรุป 85
7.1 ผลการทดลอง 85
7.1.1 การต่อพอร์ทอนุกรมที่ 2 (COM2) ใช้งานกับเครื่องทั้ง 4 เครื่อง 85
7.1.2 การทดสอบรหัสที่คอมพิวเตอร์ส่งให้ MCS-51
แล้ว MCS-51 มองเห็นเป็นอะไร 86
7.1.3 ผลการทดสอบการตอบสนองความถี่เสียงของ EQUALIZER 88
7.3 ปัญหาและอุปสรรค 89
7.4 แนวทางการแก้ไข 89
7.5 สรุป 90

ภาคผนวก ก 91
โปรแกรมเดลไฟล์ (DELPHI) 91
โปรแกรม EQUALIZER 91
โปรแกรม TUNER 107
โปรแกรมทดสอบรหัส 116
ภาคผนวก ข 117
โปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ บน MCS-51 117
โปรแกรม EQUALIZER 117
โปรแกรม TUNER 124
โปรแกรมทดสอบรหัส 133
ภาคผนวก ค 134
แสดง ICON ของโปรแกรม PC Control Sound System 134
แสดงหน้าจอบนคอมพิวเตอร์ขณะใช้งาน 135
หนังสืออ้างอิง 136

บทที่ 1
บทนำ

" ชนใดไม่มีดนตรีกาล ในสันดานเป็นคนชอบกลนัก " น้อยคนนักที่ไม่เคยได้ยินได้อ่านประโยคข้างต้น ซึ่งเป็นพระราชดำรัสขององค์พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 เสียงดนตรีน่าจะเรียกได้ว่าเป็นพื้นฐานความต้องการหนึ่งของมนุษย์ ในดนตรีทุกแนวทุกประเภทมีสิ่งสำคัญพื้นฐานเหมือนกันก็คือจังหวะ มนุษย์เรารู้จักจังหวะ และคุ้นเคยโดยไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ตั้งแต่เกิด นั่นคือจังหวะการเต้นของหัวใจ ขณะที่มีอารมณ์ตื่นเต้น ตกใจ ระทึกใจ สนุกสนาน จะสังเกตได้ว่าจังหวะการเต้นของหัวใจจะถี่มากกว่า ขณะที่มีอารมณ์สบาย ๆ จะเห็นว่าจังหวะก็สามารถบ่งบอกอารมณ์ได้อย่างคร่าว ๆ เช่นเดียวกันกับจังหวะของเพลง เพลงที่มีความสนุกสนาน ระทึกใจ เร้าใจ จะมีจังหวะที่เร็วและถี่กว่าเพลงที่ฟังสบาย ๆ ดังจะสังเกตได้โดยง่ายจากเพลงประกอบภาพยนต์

ในสมัยก่อนที่ยังไม่มีการบันทึกเสียงการฟังดนตรี หรือการรับฟังข่าวสารต่างๆ สามารถฟังได้จากการแสดงสดจริง ๆ เท่านั้น แต่เมื่อเทคโนโลยีถูกพัฒนาจนมีการบันทึกเสียง เช่น แผ่นเสียง, เทป และพัฒนาต่อมา เช่น CD, MD โดยพัฒนาเพื่อให้ความชัดเจนเหมือนจริงของเสียงที่ถูกบันทึกแล้วเมื่อนำกลับมาเล่นใหม่สูงขึ้น(HIGH FIDILITY)เพื่อให้สัญญาณรบกวนในการบันทึกและการนำกลับมาเล่นใหม่ลดลง เพื่อลดขนาดของเครื่องเล่นและขนาดของวัสดุที่ใช้ในการบันทึกเป็นต้น การพัฒนาอีกอย่างของการบันทึกเสียง คือการพัฒนาทางด้านมิติเสียง คือความเหมือนจริงของเสียงและทิศทางของแหล่งกำเนิดให้เหมือนขณะทำการบันทึก เช่นการบันทึกเสียงแบบ 2 ทิศทาง (2 CHANNEL ; STEREO), ระบบเสียงรอบทิศทาง (SURROUND) เป็นต้น การพัฒนามิติของเสียงยังถูกนำไปใช้ในภาพยนต์ เพื่อเพิ่มความเหมือนจริง สมจริงสมจัง และเหมือนอยู่ในเหตุการณ์เดียวกับเนื้อเรื่องภาพยนต์ในขณะนั้น เพื่อเพิ่มอรรถรสในการชมภาพยนต์ เช่น DTS, THX, SDDS เป็นต้น

รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบหลักของระบบเสียงในบ้านทั่วไป

ในระบบเสียงต่าง ๆ มีส่วนประกอบหลักที่คล้ายกันดังไดอะแกรมดังรูป SOURCE คือ แหล่งกำเนิดเสียงของระบบ เช่น เครื่องเล่นเทป ,เครื่องเล่น CD (COMPACK DISK) วิทยุ (TUNER) ไมโครโฟน (MICROPHONE) เป็นต้น สัญญาณจากแหล่งกำเนิดจะถูกขยายเพื่อให้มีขนาดใหญ่มากพอที่ภาคปรีแอมป์ เพื่อส่งไปยัง ภาคโทน-คอนโทรล (TONE-CONTROL) เพื่อปรับแต่งสัญญาณ เช่น เพิ่ม (BOOT) หรือลด (CUT) ความถี่ต่ำ (BASS) และ ความถี่สูง

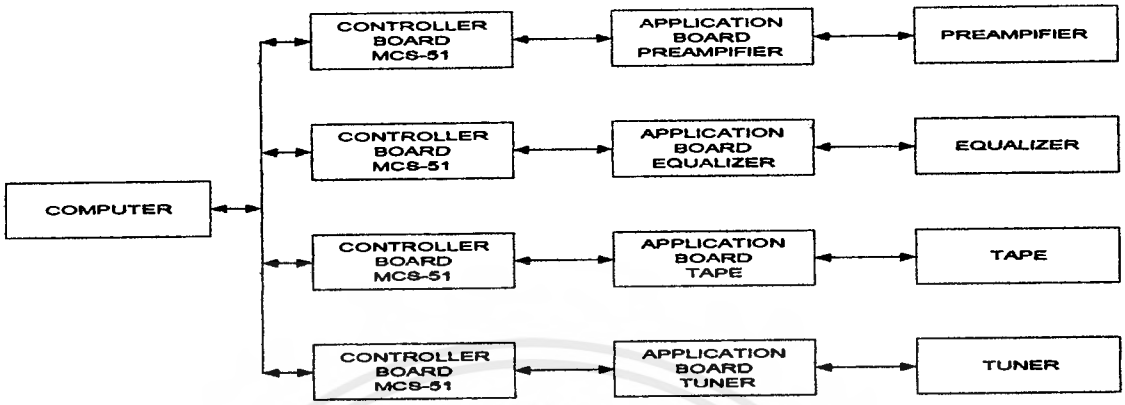
(TREBLE) หรือปรับแต่งความถี่โดยละเอียดขึ้นโดยใช้ อีควอไลเซอร์ (EQUALIZER) รวมทั้งการปรับแต่งลักษณะสัญญาณเช่น REVERBE, DELAY สัญญาณที่ถูกปรับแต่งจะถูกขยายให้มีขนาดใหญ่และมีกำลังสูงพอที่จะขับลำโพง ด้วยภาคขยาย (AMPLIFIER)

ในสมัยก่อนกลไกของเครื่องอ่านการบันทึกเสียงนั้นเริ่มตั้งแต่การใช้มือหมุนโดยตรง, ใช้การไขลาน จนมีการพัฒนามาใช้มอเตอร์ (MOTOR) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ทั้งยังพัฒนาให้ความเร็วรอบ ที่มีความเร็วรอบสูงพอ มีความแม่นยำ และ มีความคงที่ของรอบสูง การพัฒนาให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะสามารถทำงานได้ปกติ มีรูปร่างลักษณะที่น่าใช้งานและง่ายต่อการใช้งานที่สุด จากเดิมที่การควบคุมการทำงานของระบบด้วยกลไก (MACHANICS) ก็พัฒนาเป็นการควบคุมการทำงานด้วยระบบดิจิตอล (DIGITAL)ซึ่งใช้การกดปุ่มเพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบ จึงมีความสะดวกและใช้งานง่ายขึ้น

ในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในทุกสาขาวิชาชีพ เนื่องจากมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ตั้งแต่การแสดงผลซึ่งมีความละเอียด สวยงาม ความหลากหลายต่อการออกแบบการสั่งงานที่สามารถรองรับคำสั่งได้ทั้งขนาด และจำนวนที่มหาศาล และยังมีความแม่นยำสูง ทั้งยังปรับเปลี่ยนการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างหลากหลายแบบ จึงเป็นที่มาของโครงงานนี้

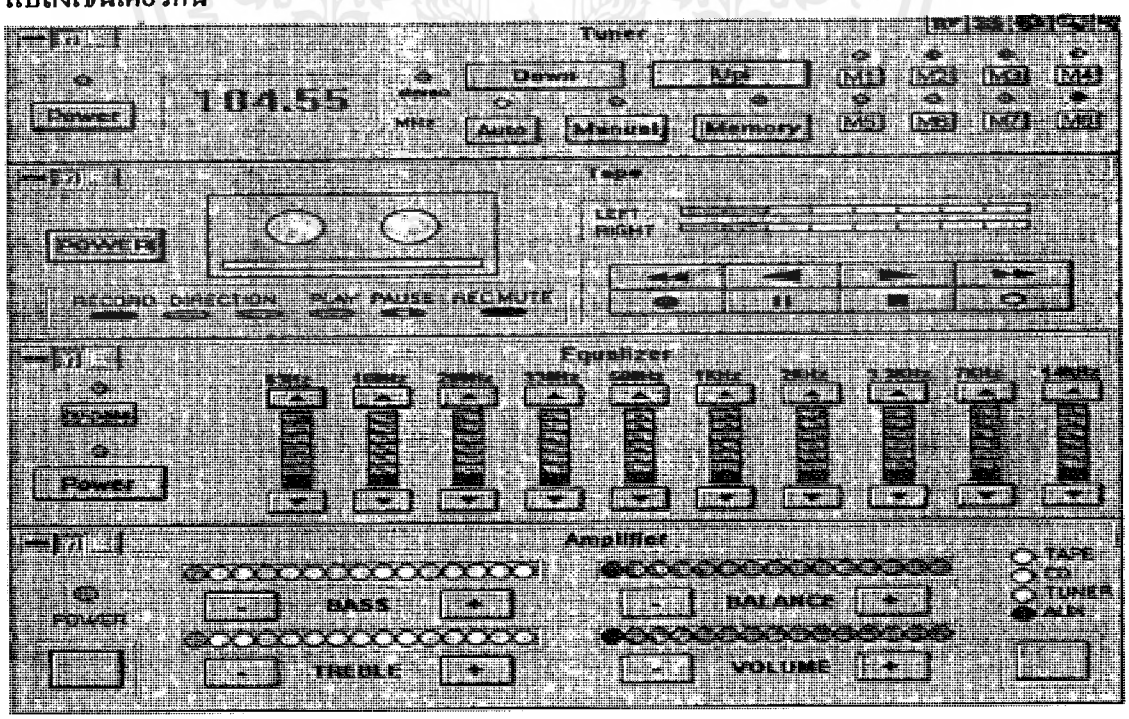
โครงงานการควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์ (COMPUTER CONTROL SOUND SYSTEM) นี้เป็นการควบคุมระบบเครื่องเสียงที่ใช้ตามบ้านเรือน (HOME USE) ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้เครื่องเสียงที่มีอยู่แล้วเพิ่มภาคการควบคุมการทำงาน และภาคอ่านการแสดงผลซึ่งจะไม่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับสัญญาณเสียงที่ทำงานอยู่เดิม จึงทำให้คุณภาพเสียงเหมือนเดิมเป็นปกติ การสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ติดต่อผ่านพอร์ทอนุกรม (SERIES PORT) จำนวน 3 เส้น คือ สายส่ง (Tx) สายรับ (Rx) และกราวด์ (GROUND) ติดต่อกับคอนโทรลเลอร์บอร์ด (CONTROLLER BOARD) ที่มีไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นหัวใจในการทำงานและสั่งงานผ่านพอร์ทขนาน (PARALLEL PORT) บนบอร์ดเพื่อควบคุมให้ไอซี 8255 ซึ่งเป็นพอร์ทอินพุท / พอร์ทเอาท์พุท (IN / OUT PORT) สั่งงานไปควบคุมและค่าต่าง ๆ จากอุปกรณ์ที่ต่อเพิ่มเติมในการควบคุมและการอ่านการแสดงผล ไปยัง MCS-51 เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ บนหน้าจอของคอมพิวเตอร์จะแสดงถึงหน้าปัทม์ของอุปกรณ์เครื่องเสียงแต่ละชนิดที่ใช้งาน พร้อมทั้งตำแหน่งการควบคุม, การแสดงผลที่เหมือนกับเครื่องเสียงจริงที่ต้องการควบคุม สามารถควบคุมการทำงานของระบบเครื่องเสียงหน้าที่การทำงานผ่านคอมพิวเตอร์และดูการทำงานจริงของระบบบนจอคอมพิวเตอร์เช่นกัน ทั้งยังสามารถปรับแต่งระบบเสียงที่หน้าปัทม์ของเครื่องเสียงเอง ผลจากการปรับแต่งนี้จะมาแสดงที่จอคอมพิวเตอร์ด้วย เครื่องเสียงชุดนี้ยังสามารถใช้งานได้แม้ขณะที่

คอมพิวเตอร์ไม่ได้ทำงานอยู่ หรือก็คือ แม้จะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือไม่ได้ต่อกับคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้เครื่องเสียงได้ตามปกติ



รูปที่ 1.2 บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

จากที่กล่าวมาในข้างต้น เมื่อผู้ใช้ระบบนี้เริ่มใช้อุปกรณ์เครื่องเสียงในระบบซึ่งประกอบด้วย เทป, จูนเนอร์, อีควอไลเซอร์ และ ปรี-โทนแอมป์ปรีไฟล์ แล้วเปิดคอมพิวเตอร์และเรียกโปรแกรมของระบบ ที่จอคอมพิวเตอร์และหน้าปัทม์ของเครื่องเสียงจะแสดงผลที่เหมือนกัน จากนั้นผู้ใช้สามารถปรับแต่ง, ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ที่หน้าปัทม์ของตัวเครื่องหรือทำการคลิกปุ่มต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์ก็ได้ ที่จอคอมพิวเตอร์และหน้าปัทม์เครื่องเสียงก็จะแสดงค่าที่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 1.3 รูปแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะทำงาน

บทที่ 2

สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล 51

Single Chip Microcontroller system -51 family Architectural

ไมโครโปรเซสเซอร์แบบชิพเดี่ยว (Single Chip Microcontroller) คือ ไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็กโดยบรรจุไว้ในแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) เพียงชิพเดี่ยวเหมาะสำหรับงานควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ แบบอัตโนมัติ เพราะผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS51 อันได้แก่ เบอร์ 8051 และ 8052 ซึ่งมีโครงสร้างและชุดคำสั่งแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

MCS-51 มีข้อดีดังนี้

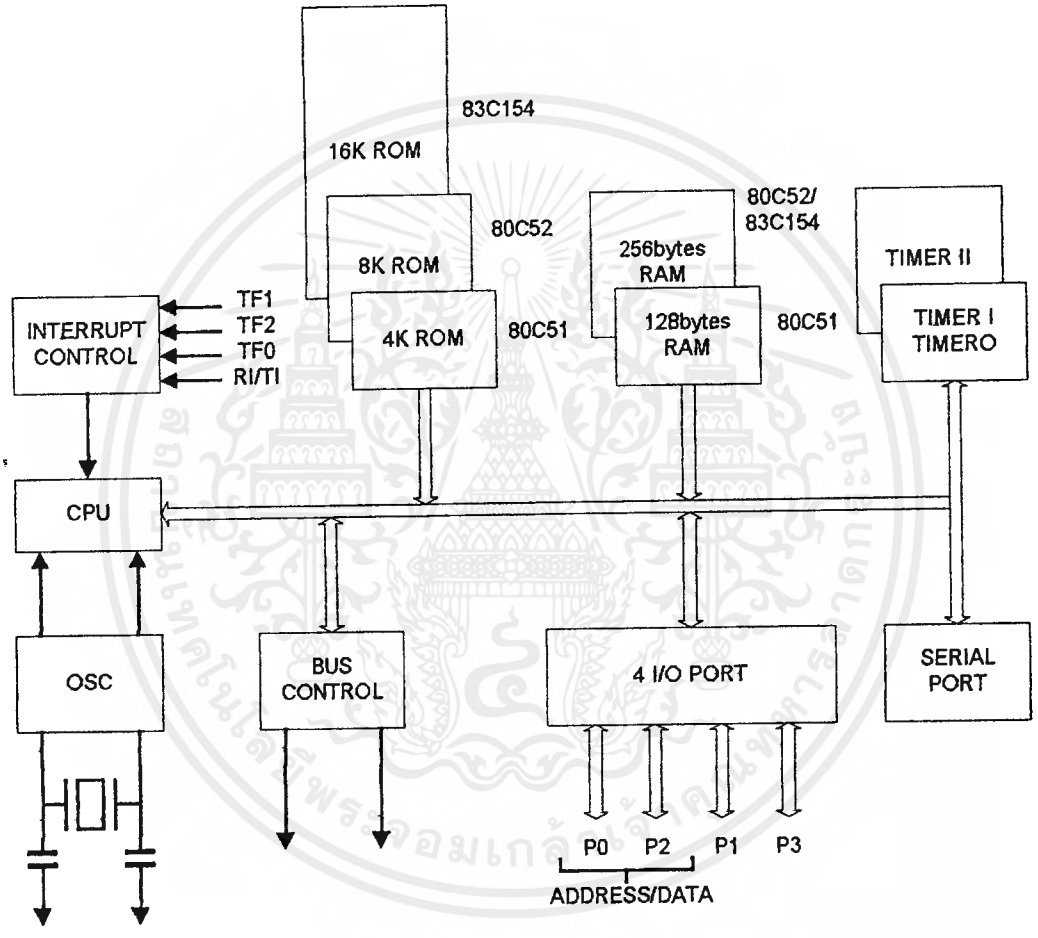
- สามารถนำเอาข้อมูลมา AND,OR หรือทำ Complement ทั้งทีละ 8 บิท และ 1 บิท
- สามารถใช้กับหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สำหรับเก็บชุดคำสั่งที่จะให้ MCS-51 ทำงาน ได้สูงสุด 64 กิโลไบท์ ทำให้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้มาก
- สามารถต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูล (Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลในระหว่างการทำงานของโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบท์
- ใน 8051 และ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมจำนวน 4 กิโลไบท์ (ใน 8052 และ 8752 มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมจำนวน 8 กิโลไบท์) อยู่ภายในวงจรรวมทำให้ไม่ต้องต่อหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมอยู่ภายนอก ระบบรวมทั้งหมดจึงมีขนาดเล็ก และสัญญาณรบกวนจากภายนอกจะทำให้ MCS-51 ทำงานผิดพลาดได้ยาก
- มีพอร์ทแบบขนาน (Parallel Port) สำหรับข้อมูลเข้าและออกจำนวน 32 บิท ที่ข้อมูลแต่ละบิทเป็นอิสระต่อกัน
- มีวงจร Timer/Counter ขนาด 16 บิท 2 ชุด (8052 มี 3 ชุด) ที่ทำงานในโหมดต่าง ๆ ได้ถึง 4 โหมด
- มี Universal Asynchonous Receiver Transmitter (UART) สำหรับรับ-ส่งข้อมูลอนุกรม (Serial) แบบ Full duplex ที่สามารถเลือกรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลได้ 4 แบบ
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม(Interrupt Request Signal) 6 แหล่ง ซึ่งสามารถทำกระโดดไปทำงานตอบสนองการขัดจังหวะ (Interrupt Service Routine) ได้ต่างๆ กัน 5 ตำแหน่ง

- สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมดของ Idle และ Power Down ซึ่งจะประหยัดการใช้กำลังไฟในการทำงาน

ซึ่งจากข้อดีดังกล่าว จึงทำให้ MCS-51 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติมาก คุณสมบัติดังกล่าวบรรจุไว้ในวงจรรวมเดียว (Single Chip) ขนาด 40 ขา ดังนั้นจึงสามารถออกแบบให้ระบบทั้งหมดมีขนาดเล็ก และการที่ทั้งหมดบรรจุอยู่ภายในวงจรรวมเดียวจึงทำให้การตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในระบบง่ายไม่สลับซับซ้อนรวมทั้งลดปัญหา เรื่องการที่มีสัญญาณรบกวนในระบบจนทำให้การทำงานผิดพลาดไป แต่การที่จะนำเอา MCS-51 มาใช้งานได้จำเป็นที่จะต้องศึกษา และทำความเข้าใจถึงโครงสร้างและองค์ประกอบของ MCS-51 เสียก่อน แล้วถึงจะเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของ MCS-51 ให้เป็นไปตามต้องการ

2.1 โครงสร้างของ 8051

ภายใน 8051 จะประกอบด้วย GATE ต่าง ๆ เช่น AND,OR,NOT ซึ่ง GATE เหล่านี้จะถูกนำเอามาออกแบบให้มีหน้าที่ทำงานต่าง ๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Intruction Decoder), วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal Generator) โครงสร้างภายในของ 8051 จะประกอบด้วยส่วนย่อย ๆดังไดอะแกรมในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมโครงสร้างของ 8051

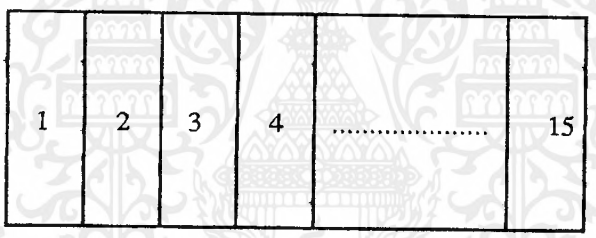
ไดอะแแกรมในรูปที่ 2.1 เป็นโครงสร้างใหญ่ๆ ของ 8051 เนื่องจากลักษณะของ 8051 เป็นคอมพิวเตอร์จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ CPU (General Processing Unit) หรือตัวประมวลผล ส่วนนี้จะมีวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่น ๆ เรียกว่าวงจรควบคุม (Control Unit) สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุมได้แก่สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ, อุปกรณ์รับ

ข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกจากตัว 8051 ซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะ(Interrupt Control) และส่วนควบคุมบัส (Bus Control) ก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วยการสร้างสัญญาณควบคุมจากส่วน CPU นี้ จะทำการสร้างสัญญาณโดยการถอดรหัสจากคำสั่ง (Instruction) ตามที่มีการกำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา ที่สร้างจากวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อให้ทุกๆส่วนในวงจรทำงานประสานกัน (Synchronize) อย่างถูกต้อง

ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่าส่วนประมวลผล(Arithmetic Logic Unit) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลเช่น การบวก,ลบ,คูณ หรือหารข้อมูลแล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ใน รีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำที่ต้องการ

ส่วนที่ 2 คือ หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ถ้าจะให้เห็นภาพพจน์ของหน่วยความจำได้ดีก็คือ หน่วยความจำเปรียบเสมือนกล่องเก็บเอกสารจำนวนมากที่นำมาต่อเรียงกันไว้ แต่ละกล่องก็มีเอกสาร 1 แผ่น ดังในรูปที่ 2.2 มีกล่องเอกสารทั้งหมด 15 กล่อง



รูปที่ 2.2 ภาพเสมือนของหน่วยความจำ

ถ้าต้องการเอาเอกสารจากกล่องใด หรือเอาเอกสารไปเก็บที่กล่องใด จะต้องรู้หมายเลขของกล่องข้อมูลเสียก่อน ซึ่งถ้าเป็นหน่วยความจำแล้วหมายเลขของกล่องก็คือตำแหน่งของหน่วยความจำหรือแอดเดรส (Address) นั่นเอง การเอาข้อมูลเข้าไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียน (write) ข้อมูล และการเอาข้อมูลออกจากหน่วยความจำจะเรียกว่าการอ่าน(Read)ข้อมูล ซึ่งแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลได้แค่ค่าเดียวเท่านั้น ในไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปรวมทั้ง 8051 นั้นข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะมีค่าได้เพียง 8 หลักของเลขฐาน2 (8 บิทเท่ากับ 1 ไบท์) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 255 (00000000 ถึง 11111111 ในเลขฐาน 2) แต่จำนวนตำแหน่งที่จะเก็บข้อมูลได้ขึ้นกับไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ การติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่มคือ

1. แอสเดรสหรือค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำใน 8051 จะติดต่อกับหน่วยความจำประเภท Program Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุดชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำ จะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ 64*1024 = 65536)

2. ข้อมูลที่จะอ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1

3. สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

สัญญาณเหล่านี้จะถูกวงจรควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง ในรูปที่ 2.1 หน่วยความจำได้แก่ 4K ROM และ 128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่าง ๆ กันตามเบอร์ของไมโครโปรแกรมเมอร์ และจะอธิบายโดยละเอียดในข้อ 2.1

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุท (Input/Output Device) เป็นส่วนที่จะใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก 8051 ทำให้ 8051 ติดต่อกับภายนอกได้ ดังในไดอะแกรมรูปที่ 2.1 อุปกรณ์อินพุท และเอาท์พุทได้แก่ 4 I/O Port, Timer0, Timer1, Serial Port การทำงานของแต่ละส่วนมีดังนี้

1. 4 I/O Port คำว่าพอร์ทหมายถึงจุดที่จะติดต่อกับส่วนที่อยู่ภายนอก 4 I/O Port ของ 8051 เป็นที่ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 พอร์ทมีทั้งหมด 4 พอร์ท โดยแต่ละพอร์ทจะรับ-ส่งข้อมูลได้ 8 บิท มีพอร์ท P0,P1,P2 และ P3 บางพอร์ทจะใช้ทำงานมากกว่า 1 อย่างก็ได้ เช่น พอร์ท P0 และP2 จะใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อ และพอร์ท P0 จะใช้รับ-ส่งข้อมูลเมื่อติดต่อกับหน่วยความจำได้ ด้วยแต่สิ่งเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน แต่จะใช้วิธีทำงานตามลำดับโดยควบคุมจากสัญญาณควบคุม (Control) ที่ถอดรหัสมาจากแต่ละคำสั่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานนั่นเอง และสัญญาณทั้งหมดจะอ้างอิงกับจากสัญญาณนาฬิกา

2. Time 0 และ Time 1 เป็นวงจรนับที่สามารถกำหนดให้ทำงานนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก 8051 หรือจำนวนไซเคิลของสัญญาณภายใน 8051 ก็ได้ค่าจากการนับจะถูกอ่านหรือตั้งค่าเริ่มต้นของการนับได้โดย CPU

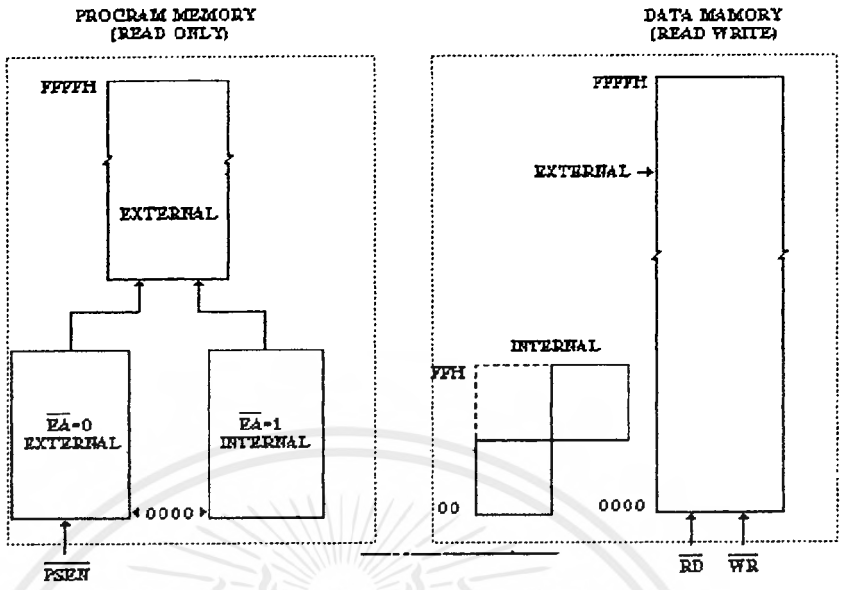
3. Serial Port หรือพอร์ทอนุกรม CPU จะอ่านและเขียนข้อมูลกับ Serial Port เป็นแบบ 8 บิท แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8051 เรียงไปทีละบิทออกจากขา TXD และ ในการรับข้อมูลเข้าก็จะรับเข้ามาทีละบิททางขา RXD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิท เพื่อให้ CPU อ่านไปใช้งานต่อไป

8051 มีพอร์ทให้ใช้งานได้หลายแบบ ทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆ มากมาย การจะนำพอร์ทเหล่านี้ไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุมที่จะกล่าวต่อไป

2.2 การจัดการหน่วยความจำของ 8051

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกไว้เป็น 2 แบบตามลักษณะของการใช้งานคือ

1. **Program Memory** เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปรหัสภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ 8051 ทำงาน เมื่อ 8051 ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมสิ่งอื่น ๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำแบบนี้จะต้องเป็นแบบ Read Only Memory (ROM) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ 8051 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการ (หน่วยความจำแบบROM เป็นแบบ Non Volatite ซึ่งเมื่อปิดไฟแล้วข้อมูลก็จะไม่มีการสูญหาย) การเขียนข้อมูลลงไปบน ROM จะต้องใช้ข้อมูลพิเศษ ในระหว่างการทำงานของ 8051 ผู้ใช้จะไม่สามารถใช้คำสั่งทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบนี้ได้ จำนวนตำแหน่งสูงสุดของหน่วยความจำแบบนี้ที่ 8051 จะใช้งานได้คือ 65536 ตำแหน่ง ค่าของตำแหน่ง (Address) จะเขียนเป็นเลขฐาน 16 ได้ตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH จำนวน 4 กิโลไบท์ นั้นผู้ใช้จะเลือกได้ว่าเป็นตำแหน่งของ ROM ที่อยู่ภายในหรือภายนอก 8501 (ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่น ๆ เช่น 8052 จะมีขนาดของROM ส่วนนี้ได้ถึง 8 กิโลไบท์ ตำแหน่ง 0000H ถึง 1FFFH) ถ้าต้องการให้ 8051 ทำงานตามคำสั่งที่เก็บไว้ใน ROM ภายใน 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณสภาวะลอจิก High (1) เข้าที่ขา EA ของ 8051 แต่ถ้าต้องการให้ทำงานในโปรแกรมที่เก็บไว้ใน ROM ภายนอก 8051 ก็ให้ต่อลอจิก Low(0) เข้าที่ขา EA ของ 8051 ส่วนหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 1FFFH ถึง FFFFH จะต้องต่ออยู่ภายนอก 8051 เสมอ ดังแสดงในแผนภูมิหน่วยความจำ (Memory Map) ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051

Internal Memory หมายถึงหน่วยความจำนั้นอยู่ภายใน 8051 ส่วน External Memory หมายถึงหน่วยความจำนั้นอยู่ภายนอก 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031,8051 และ 8751 นั้นโดยโครงสร้างและรหัสคำสั่งจะเหมือนกันทุกประการแตกต่างกันที่

- 8031 จะไม่มี ROM ขนาด 4 กิโลไบท์ อยู่ภายใน ผู้ใช้จะต้องเลือกการใช้งาน Program Memory อยู่ภายนอกวงจรรวมทั้งหมด 64 กิโลไบท์

- 8051 จะมี ROM ขนาด 4 กิโลไบท์อยู่ภายใน ถ้าต้องการเก็บคำสั่งควบคุมการทำงานไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ จะต้องส่งโปรแกรมคำสั่งไปให้โรงงานผู้ผลิตทำการเขียนใส่ใน ROM ให้ตั้งแต่ในขั้นตอนของการผลิตวงจรรวม ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้เอง ถ้าจะนำมาใช้งานโดยเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำช่วง 4 กิโลไบท์แรกอยู่ภายนอกก็สามารถทำได้ โดยการต่อ ROM ไว้ภายนอก แล้วต่อขา EA ของ 8051 ไว้สัญญาณที่มีสภาวะลอจิกเป็น 0

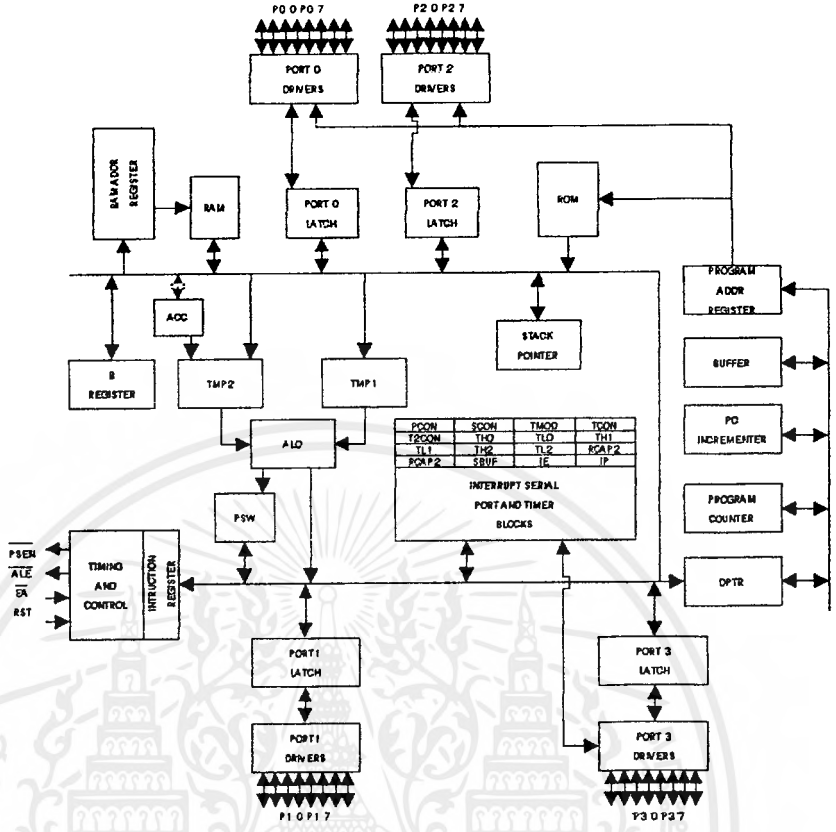
- 8751 จะมีหน่วยความจำขนาด 4 กิโลไบท์เป็นแบบ EPROM (Erasable Program Read Only Memory) อยู่ภายในวงจรรวมเอาไว้ ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งที่จะให้ 8751 ทำงานผู้ใช้สามารถเขียนคำสั่งลงไปใน EPROM ได้เองโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องโปรแกรม EPROM (EPROM Programmer) และผู้ใช้สามารถแก้ไขโปรแกรมที่อยู่ใน EPROM ได้โดยการล้างข้อมูลในทุกตำแหน่งของ EPROM ออกด้วยการฉายแสงอุลตร้าไวโอเล็ต (Ultraviolet) ผ่านกระจกใสบนวงจรรวมเข้าไปยังวงจรภายใน ตามเวลาที่กำหนดในคู่มือเฉพาะ (Data sheet) ของ 8751 จากนั้นก็ใช้

เครื่องโปรแกรม EPROM เขียนโปรแกรมลงไปใหม่ 8751 นี้จะสะดวกมากสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

2. **Data Memory** เป็นหน่วยความจำที่ 8051 จะใช้สำหรับพัก ,เก็บข้อมูล แล้วเรียกมาใช้ใหม่ในระหว่างการทำงานของ 8051 การอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ใน Program Memory หน่วยความจำแบบนี้เป็นประเภท Random Access Memory (RAM) ถ้ามีไฟเลี้ยงอยู่ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่สูญหายแต่ถ้าปิดเครื่องหรือไม่จ่ายไฟให้แก่ RAM แล้วข้อมูลใน RAM ก็จะสูญหายไป การสูญหายของข้อมูลไม่ได้หมายความว่าไม่มีอะไรอยู่เลยแต่เป็นการที่มีข้อใหม่ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลที่เก็บไว้เดิมเข้ามาอยู่แทนที่ เช่น เดิมอาจเก็บข้อมูล 18H ไว้ที่ตำแหน่ง 1900H เมื่อปิดไฟแล้วเปิดใหม่ ข้อมูลที่ตำแหน่ง 1900H จะไม่ใช่ 18H อาจเป็นค่าอะไรก็ได้ ซึ่งเรียกการเกิดลักษณะแบบนี้ว่าข้อมูลสูญหายไป หน่วยความจำแบบ Data Memory จะมีอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งอยู่ภายใน 8051 จำนวน 128 ไบท์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH (เบอร์ 8052 จะมี 256 ไบท์อยู่ที่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH) และอีกชุดหนึ่งจะต้องต่ออยู่ภายนอกของวงจรรวม 8051 มีได้สูงสุด 65536 ไบท์ (64 กิโลไบท์) อยู่ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH ดังแสดงในรูป 1.4 หน่วยความจำแบบ Data Memory ภายใน 8051 ที่ตำแหน่ง 80H ถึง FFH นั้น ไม่ได้มีอยู่ทุกตำแหน่ง จะมีเฉพาะในบางตำแหน่ง ซึ่งเรียกหน่วยความจำบางตำแหน่งนี้ว่า Special Function Register (SFR) เพราะจะใช้หน่วยความจำเหล่านี้สำหรับงานพิเศษเท่านั้น แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำแบบ SFR นี้อาจเป็น RAM หรือวงจรนับ (Counter) วงจรตั้งเวลา (Timer) ก็ได้ เช่นเป็น Timer0 ,Timer1 ดังนั้นใน 8051 จึงไม่ถือว่า SFR เป็น Data Memory ถ้าเป็น 8052 ซึ่งมี Data Memory ขนาด 256 ไบท์ จะใช้บางตำแหน่งของหน่วยความจำช่วงตำแหน่ง 80H ถึง FFH เป็น SFR ส่วนตำแหน่งอื่นที่เหลือก็เป็น RAM เหมือนกับหน่วยความจำช่วง 00H ถึง 7FH นั่นเอง

2.3 สถาปัตยกรรมของ 8051

ในรูปที่ 2.4 เป็นสถาปัตยกรรมภายในของ 8051 ซึ่งจะอธิบายถึงส่วนย่อยๆ ของภายใน 8051 เพียงชิพเดียว และสัญญาณจากภายในจะต่อออกสู่ภายนอกทางขาของ 8051 ที่มีอยู่ 40 ขา ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมภายในของ8051

รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมขาของ 8051 แบบ DIP

8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่บรรจุอยู่ในวงจรรวมแบบ Dual Inline Package (DIP) ซึ่งแต่ละข้างของ 8051 มีขาอยู่ข้างละ 20 ขารวมทั้งหมด 40 ขานั้นจะใช้งานต่าง ๆ กันดังนี้ คือ

Vcc

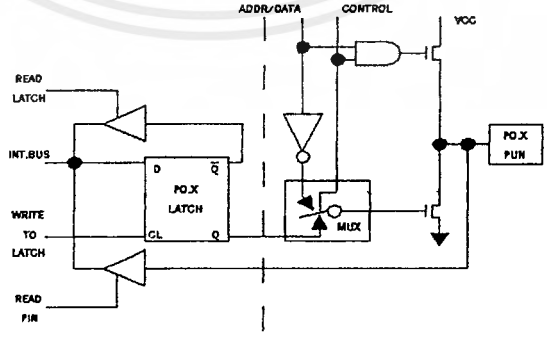
ขา 40 เป็นขาที่ต้องป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลท์เข้าไปเพื่อให้วงจรรวมทำงานได้ ระดับโวลเตจของลอจิก 0 และ 1 ของ 8051 จึงต่อเข้ากับอุปกรณ์ลอจิกแบบ TTL ได้โดยตรง

Vss

ขา 20 เป็นขาที่ต้องต่อกับกราวด์ (Ground) ของแหล่งจ่ายไฟ การต่ออุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องมีกราวน์ของอุปกรณ์ต่อเข้าด้วยกัน

Port 0

เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิท อยู่ที่ขา 39 ถึง 32 เริ่มจากบิท 0 ถึงบิท7 ตามลำดับดังในรูปที่ 2.5 แต่ละขาจะเขียนว่า P0.0, P0.1, ... , P0.7 หมายถึงบิท 7 ของพอร์ท จ ซึ่งเป็นบิทที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant) และ P0.0 คือบิท 0 ของพอร์ท 0 เป็นบิทที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant) พอร์ท 0 นี้ใช้ได้ทั้งการรับ-ส่งข้อมูลก็ได้ ข้อมูลที่ส่งออกทางพอร์ท 0 จะถูก Latch ไว้ที่ขาของพอร์ท โครงสร้างแต่ละบิทของพอร์ท 0 เป็นแบบ Open Drain Bidirectional ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 0

ในรูปที่ 2.6 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.4 ส่วนที่ 1 ของรูป 2.6 ก็คือ Port 0 Latch ในรูปที่ 2.4 และส่วนที่ 2 ของรูป 2.6 ก็คือ Port 0 Driver ของรูปที่ 2.4 นั่นเอง จากโครงสร้างในรูปที่ 2.6 เมื่อมีคำสั่งการเขียนข้อมูลมายังพอร์ท 0 ข้อมูลจาก Internal Data Bus จะถูก Latch ไว้ที่ D-FF โดยสัญญาณ "Write to Latch" ที่ถูกสร้างมาจากส่วน Timing and Control และในการอ่านข้อมูลจากพอร์ท 0 จะอ่านได้ 2 แบบคือการอ่านข้อมูลที่ส่งไปเก็บไว้ที่พอร์ทก็จะมีสัญญาณ Read Latch มาเพื่ออ่านข้อมูลจาก D-FF กลับเข้าไปยัง Internal Data Bus การอ่านข้อมูลอีกแบบก็คือการอ่านสภาวะของสัญญาณที่เข้ามาทางพอร์ท 0 ก็จะมีสัญญาณ Read Pin มาควบคุมการอ่าน พอร์ท 0 จะใช้งานหลายอย่างดังนี้

1. ใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อด้วย ตำแหน่งหน่วยความจำสูงสุดที่จะติดต่อได้ก็คือ 64 kbyte จึงมีค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 16 บิทของเลขฐาน 2 ค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิทล่างจะถูกส่งออกไปทางพอร์ท 0 และ 8 บิทบนจะส่งออกไปทางพอร์ท 2

2. ใช้รับส่งข้อมูลกับ Data Memory หรือใช้รับข้อมูลจาก Program Memory

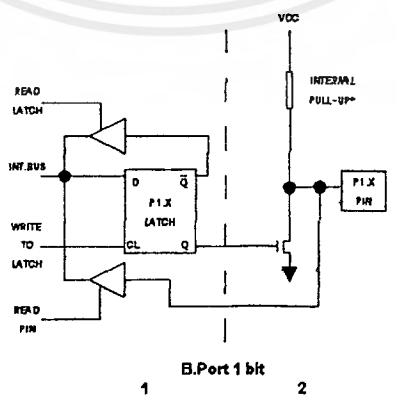
3. ใช้รับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ทโดยตรง ในกรณีที่ไม่มีการใช้หน่วยความจำของ Program Memory หรือ Data Memory ภายนอก

วงจรภายในส่วน Timing and Control จะเป็นตัวสร้างสัญญาณมาควบคุมวงจรในรูปที่ 2.6 เพื่อให้การทำงานแต่ละอย่างข้างต้น เมื่อแต่ละบิทของพอร์ท 0 ทำงานตามข้อ 1 และ 2 ข้างต้น วงจร Timing and Control จะทำให้สภาวะลอจิกของขา Control เป็น 1 ซึ่งทำให้สวิทช์ MUX อยู่ในตำแหน่งข้างบน เมื่อพอร์ท 0 จะส่งข้อมูลซึ่งเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำ หรือข้อมูลที่จะเขียนออกไปยังหน่วยความจำภายนอกก็จะส่งค่าดังกล่าวมายัง ADDR/DATA ถ้าข้อมูลที่ส่งมาเป็น 1 จะทำให้สัญญาณออกจาก AND GATE เป็น 1 และสัญญาณที่ออกจาก Inverter เป็น 0 ดังนั้น FET ตัวบน ON (สภาวะ ON ของ FET คือความต้านทานระหว่างขา D กับ S มีค่าต่ำมากเสมือนกับเป็นวงจรปิด) ส่วน FET ตัวล่าง OFF (สภาวะ OFF ของ FET คือความต้านทานระหว่างขา D กับ S มีค่าสูงมากเหมือนกับเป็นวงจรเปิด) สภาวะลอจิกที่ขา PO.X Pin จะเป็น 1 แต่ถ้าข้อมูลที่ส่งออกมายัง ADDR/DATA เป็น 0 ก็จะทำให้สัญญาณจาก AND GATE เป็น 0 และสัญญาณที่ออกจาก Inverter เป็น 1 ดังนั้น FET ตัวบนจะ OFF ส่วน FET ตัวล่างจะ ON ทำให้สภาวะลอจิกที่ขา PO.X Pin เป็น 0 เมื่อ 8051 ต้องการใช้พอร์ท 0 สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก หรือใช้ทำงานในข้อ 3 ข้างบน ก็จะทำได้โดยวงจร Timing and Control ทำให้สภาวะ

ลอจิกของสัญญาณ Control ในรูปเป็น 0 ทำให้เอาท์พุทจาก AND GATE เป็น 0 FET ตัวบนจะ OFF และสวิตช์ MUX จะอยู่ในตำแหน่งข้างล่างดังนั้น FET ตัวล่างจะ ON หรือ OFF ก็แล้วแต่ข้อมูลที่ขา Q ของ D-FF เมื่อมีการเขียนข้อมูลจาก Internal Data Bus มายัง D-FF ก็จะมีสัญญาณ Write to Latch มายัง D-FF ด้วย ถ้าข้อมูลที่เขียนมาเป็น 1 ก็จะทำให้ขา Q มีสภาวะลอจิกเป็น 0 ทำให้ FET ตัวล่าง OFFดังนั้นขา PO.X ก็จะอยู่ในสภาวะอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance) เพราะเป็น FETทั้ง 2 ตัว OFF แต่ถ้าข้อมูลที่เขียนมาจาก D-FF เป็น 0 จะทำให้ FET ตัวล่าง ON แต่ตัวบน OFF ทำให้สภาวะลอจิกที่ขา PO.X เป็น 1 ดังนั้นพอร์ท 0 สำหรับข้อมูลเข้าจะต้องเขียน 1 มาเก็บไว้ยัง D-FF เสียก่อนเพื่อให้ขา PO.X อยู่ในสภาวะ High Impedance แล้วจึงใช้คำสั่งอ่านสภาวะลอจิกเข้าไปยัง Internal Data Bus ต่อไป โดยคำสั่งอ่านสภาวะลอจิกทางพอร์ท 0 ก็จะทำให้วงจร Timing and Control สร้างสัญญาณ Read Pin สำหรับการอ่านสภาวะลอจิกข้างต้น ถ้าไม่เขียน 1 มาเก็บไว้ยัง D-FF ก่อนที่จะอ่านข้อมูลแล้วยังมีข้อมูลค้างอยู่ที่ D-FF ทำให้ Q เป็น 0 และ Q เป็น 1 ซึ่งทำให้ FET ตัวล่าง ON สัญญาณที่ต่อเข้ามาที่ขา PO.X ไม่ว่าจะมีสภาวะลอจิกใดจะถูกดึงลงกราวด์ ดังนั้นเมื่ออ่านข้อมูลเข้าไปก็จะพบว่าเป็น 0 เสมอ ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกนั้นวงจร Timing and Control ก็จะเขียนข้อมูลมายัง D-FF ให้เป็น 1 และสร้างสัญญาณ Control ให้มีลอจิกเป็น 0 ก่อนจะอ่านข้อมูลเข้าไปด้วย

Port 1

เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิท ในรูปที่ 2.5 คือขา P1.0 ถึง P1.7(ขา 1-8) P1.0 หมายถึงบิท 0 ของพอร์ท 1 ซึ่งเป็นบิท Least Significant Bit และบิท P1.7 หมายถึง บิทที่ 7 ของพอร์ท 1 ซึ่งเป็นบิท Most significant bit โครงสร้างของพอร์ท 1 แต่ละบิทมีดังรูปที่ 2.7

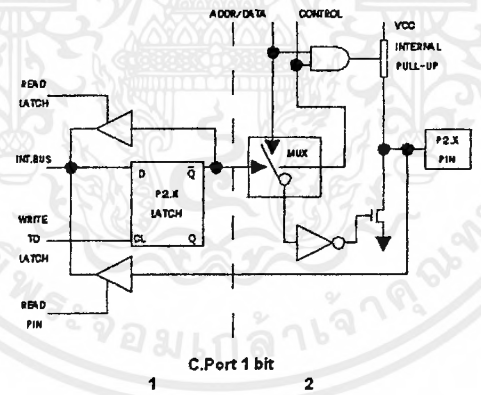


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอร์ท 1

ส่วนที่ 1 คือ Port 1 Latch ในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะมีการทำงานของส่วนที่ 1 ของพอร์ท 0 ในรูป ที่ 2.6 ส่วนที่ 2 คือ Port 1 Driver ในรูปที่ 2.4 Port 1 Driver นี้จะมีตัวต้านทานต่ออยู่เป็น Internal PuLL Up ทาง พอร์ท 1 นี้จะใช้ทำหน้าที่เป็นตัวรับ-ส่งข้อมูลเท่านั้น ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาทางพอร์ท 1 จะถูก Latch ไว้แล้วส่งออกไปทางแต่ละขา ก่อนที่จะอ่านข้อมูลเข้าไปทางพอร์ท 1 จะต้องเขียน 1 ไปยังทุกบิทของพอร์ท 1 เสียก่อนเพื่อให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF ก่อน มิฉะนั้นแล้วถ้ามีข้อมูล 0 ส่งออกมาค้างอยู่ที่ D-FF จะทำให้ FET อยู่ในสภาวะ ON ดังนั้นถ้าสัญญาณภายนอกส่งเข้ามาที่ขานี้ก็จะถูกลัดวงจรลงกราวด์ โดยไม่สนใจว่าสภาวะลอจิกของสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นอะไร ข้อมูลที่อ่านเข้าไปจึงจะเป็น 0 เสมอ

Port 2

พอร์ทขนานขนาด 8 บิท คือขา P2.0 ถึง P2.7 (บิท 0 ถึงบิท 7 ของพอร์ท 2) ในรูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอร์ท 2 แต่ละบิทจะมีดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของพอร์ท 2

ลักษณะโครงสร้างจะเหมือนกับ Port 0 แตกต่างกันที่ใน Port 2 นั้นภาค Driver จะใช้งานเพียง 2 ลักษณะคือ

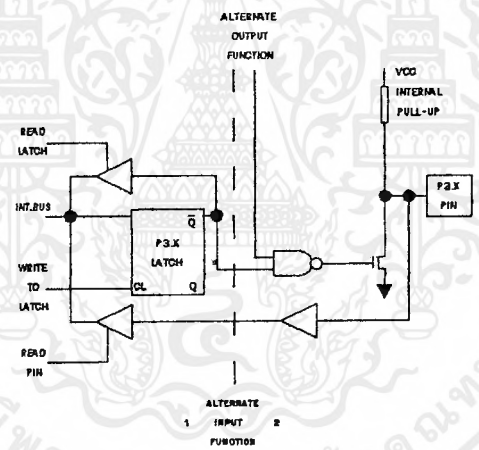
1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อ ค่าตำแหน่งนี้เป็น 8 บิทบนของค่าตำแหน่ง

2. ใช้เป็นพอร์ทรับ-ส่งข้อมูลจากภายนอก

ดังนั้นภาค Driver ของพอร์ท 2 จึงแตกต่างจาก Driver ของพอร์ท 0 โดยที่ในพอร์ท 2 นั้นจะมีเฉพาะ ADDR (ตำแหน่งหน่วยความจำ) เข้ามาที่ MUX (Multiplexer) เท่านั้น นอกนั้นแล้วการทำงานจะเหมือนกัน และเอาท์พุทของพอร์ท 2 จะมี Internal pull-up ซึ่งเป็นตัวต้านทาน และทำให้เอาท์พุทของพอร์ท 2 แสดงสถานะลอจิกเป็น 1 ได้ ถ้า FET อยู่ในสภาวะ OFF บางครั้งเรียกว่า "Quasi-bidirectional" เมื่อใช้เป็นพอร์ทอินพุทก็สามารถทำได้โดย การต่อสัญญาณภายนอกเข้ามาโดยตรง ถ้าสัญญาณภายนอกเป็น 0 ก็จะมีกระแสไหลออกจากพอร์ท (Source Current) ในการที่จะใช้พอร์ทนี้เป็นพอร์ทรับข้อมูลเข้า จะต้องเขียน 1 ไปยังแต่ละบิทของพอร์ทเสียก่อน ดังได้อธิบายในเรื่อง Port 0 และ Port 1

Port 3

คือขา P3.0 ถึง P3.7 หรือขา 10-17 ตามลำดับในรูปที่ 2.5 พอร์ทนี้มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของพอร์ท 3

ส่วนที่ 1 ในรูปที่ 2.9 เป็นส่วน Latch ข้อมูลที่เขียนมายังพอร์ท 3 ทาง Internal Bus เหมือนกับพอร์ทอื่น ๆ และพอร์ท 3 จะมี Internal pull-up อยู่ทุกบิท แต่พอร์ท 3 นี้แต่ละบิทจะใช้ในการทำงานอื่นได้โดยใช้คำสั่งควบคุมการทำงาน ในส่วนที่ 2 จะมีสัญญาณ Alternative Output Function ที่สร้างมาจากส่วน Timing and Control สัญญาณ Alternative Output Funtion เป็นสัญญาณที่ส่งออกในกรณีที่ใช้พอร์ท 3 ทำงานในฟังก์ชั่นอื่น และจุด Alternative Input Function เป็นจุดที่จะเอาสัญญาณไปเข้ากับส่วนอื่นตามการทำงานของบิทนั้น แต่ละบิทของพอร์ท 3 จะมีฟังก์อื่นดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2/INTO (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/INT1 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T0 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือน T0

P3.6/WR (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลฟภายนอก 8051

P3.7/RD (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

RST

ขารีเซ็ทนี้จะใช้ทำการรีเซ็ทการทำงานของ 8051 ที่ขา RST ภายใน 8051 จะมีตัวต้านทานต่อระหว่างขานี้กับกราวด์ (Ground) ถ้าป้อนสัญญาณที่มีสภาวะลอจิก 1 เข้าไปที่ขานี้จะเป็นการรีเซ็ทการทำงานของ 8051 ดังนั้นจึงสามารถต่อตัวประจุ (Capacitor) ภายนอกระหว่างขา RST กับไฟเลี้ยง +5 โวลท์ เพื่อให้เกิดการรีเซ็ทเมื่อเริ่มป้อนไฟเลี้ยงให้กับ 8051 ซึ่งเรียกว่า Power on reset การรีเซ็ทจะ ทำให้ค่าในรีจิสเตอร์ต่างๆ เปลี่ยนไปเป็นค่าหนึ่งดังในตารางรูปที่ 2.10

REGISTER	CONTENT
PC	0000H
ACC	00H
B	00H
PSW	00H
SP	00H
DPTR	0000H
PO-P3	0FFH
IP	00H
IE	0X000000B
TMOD	00H
TCON	00H
T2CON	00H
THO	00H
TLO	00H
TH1	00H
TL1	00H
TH2	00H
TL2	00H
RCAP2H	00H
RCAP2L	00H
SCON	00H
SBUF	Indeterminate
IOCON	00H

รูปที่ 2.10 ค่าของรีจิสเตอร์เมื่อเกิดการรีเซ็ท 8051

ในตารางรูปที่ 2.10 ช่องทางขวาเป็นค่าของรีจิสเตอร์ที่อยู่ทางซ้ายเมื่อสิ้นสุดการรีเซ็ท ในรีจิสเตอร์ SBUF เมื่อสิ้นสุดการรีเซ็ทจะมีค่าที่ไม่แน่นอน และพอร์ทจะอยู่ในสภาวะลอจิก 1 ทุกบิทตลอดเวลาที่สัญญาณของขา RST เป็น HIGH อยู่

เมื่อสัญญาณที่ขา RST กลับเป็น 0 ก็จะออกจากการรีเซ็ท 8051 จะเริ่มทำงานจากคำสั่งที่อยู่ใน Program memory ตำแหน่ง 0000H เพราะค่าของรีจิสเตอร์ PC (Program Counter) ซึ่งใช้ชี้

ตำแหน่งโปรแกรมที่จะทำงานถูกเปลี่ยนให้เป็น 0000H ดังนั้นผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมมาเก็บไว้ที่ตำแหน่ง 0000H ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดี่ยว (Single Board Microcomputer) จะมีโปรแกรมที่เขียนเก็บไว้เริ่มจากตำแหน่ง 0000H นี้เรียกว่ามอนิเตอร์โปรแกรม (Monitor program) ที่จะคอยรับการกดแป้นพิมพ์ (keyboard) และแสดงผลทางตัวแสดงผล (Display) แบบ 7 Segment

ALE

Address Latch Enable ขานี้จะส่งสัญญาณที่มีความถี่ 1/6 เท่าของสัญญาณนาฬิกาจากออสซิลเลเตอร์ สัญญาณนี้จะส่งออกมาตลอดเวลายกเว้นบางครั้งของการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051 สัญญาณนี้จะใช้บอกกับอุปกรณ์ภายนอก 8051 ว่าขณะนี้สัญญาณนี้ Active (เป็นลอจิก 1) จะมีการส่งข้อมูลที่เป็น 8 บิท ล่างของตำแหน่งหน่วยความจำภายนอก 8051 ที่ต้องการติดต่อออกไปทางพอร์ท 0 อุปกรณ์ภายนอกจะใช้สัญญาณนี้ในการ Latch ข้อมูลไว้เฉพาะพอร์ท 0 จะส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำ ออกมาเพียงชั่วขณะเท่านั้น ซึ่งในเวลาต่อมาพอร์ท 0 จะใช้รับ-ส่งข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณ ALE จะสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุท

PSEN

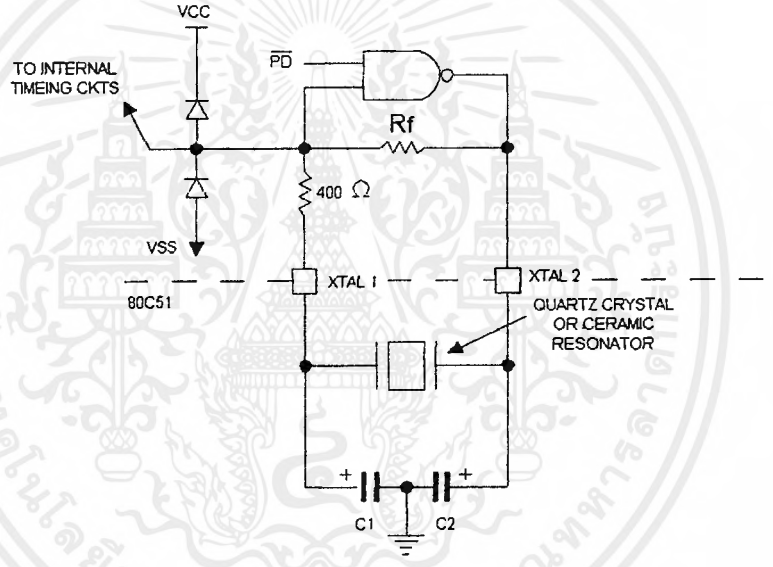
Program Store Enable เป็นขาที่ 29 ในรูปที่ 2.5 ขานี้ปกติจะให้ลอจิก 1 แต่จะส่งลอจิก 0 เมื่อต้องการอ่านคำสั่ง (Fetch Instruction) ที่จะนำไปทำงาน มาจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายนอก 8051 ในกรณีที่อ่านคำสั่งซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายใน 8051 แล้วสัญญาณนี้จะไม่เปลี่ยนลอจิกเป็น 0 ขา PSEN นี้สามารถต่อไปยังขาอินพุทของ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุท

EA

External Access ขา 31 ของรูปที่ 2.5 ขานี้เป็นขาอินพุทที่ต่อเข้าไปยังวงจร Timing and Control ในรูปที่ 2.4 เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณ PSEN ถ้าป้อนสัญญาณลอจิก 0 ไปที่ขา EA นี้แสดงว่าโปรแกรมในตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ที่ต้องการให้ทำงานถูกเก็บไว้ภายนอก 8051 จะต้องสร้างสัญญาณ PSEN ออกไปยังภายนอก เพื่อทหการ FETCH คำสั่งเข้ามาทำงาน แต่ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้าขา EA เป็น 1 หมายความว่าโปรแกรมในตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ถูกเก็บไว้ภายใน 8051 การทำงานในตำแหน่งหน่วยความจำช่วงนี้จะอ่านคำสั่งต้าง ๆ จาก ROM ภายใน 8051

XTAL 1

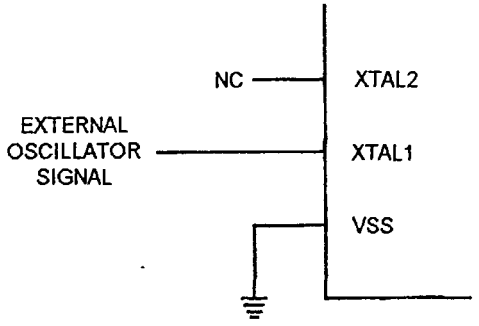
ขาที่ 19 ของรูปที่ 2.5 ขานี้จะต่อเข้ากับขาของ Inverting Amplifier (วงจรขยายแบบป้อนกลับเฟสสัญญาณ) ที่ประกอบเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ ในรูปที่ 2.11 จะเห็นวงจรภายในของออสซิลเลเตอร์ NAND Gate จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟสของสัญญาณที่จะควบคุมให้มีการออสซิลเลตหรือไม่ก็ขึ้นกับสัญญาณ PD ซึ่งต่อมาจากบิท PD ของรีจิสเตอร์ PCON ถ้าต้องการใช้สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) จากภายนอกมาเป็นสัญญาณนาฬิกา ควบคุมการทำงานของ 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณมาที่จุดนี้ แต่ถ้าต้องการใช้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ภายในก็ให้ต่อ Crytal หรือเซรามิคเรโซเนเตอร์ดังรูปที่ 2.11 คาปาซิเตอร์ในวงจรควรมีค่าประมาณ 20 PF



รูปที่ 2.11 วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน 8051

XTAL 2

ขาที่ 18 ของรูปที่ 2.5 ขานี้เป็นจุดเอาท์พุทของวงจรขยายแบบกลับเฟสสัญญาณที่ประกอบเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์(อินพุทคือขา XTAL 1) ถ้าจะใช้สัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากภายนอกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาของ 8051 แล้ว ให้ปล่อยขานี้ลอยไว้แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกามาจากภายนอกเข้ามาที่ขา XTAL 1 ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 8051 ที่ทำงานโดยสัญญาณที่มาจากภายนอก

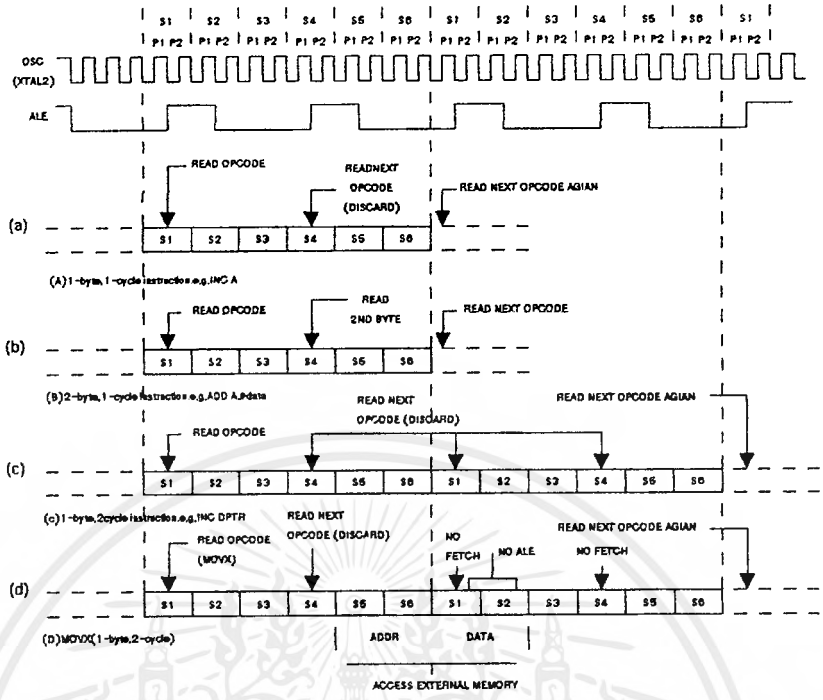
2.4 การทำงานของ 8051

คอมพิวเตอร์จะทำงานด้วยวงจรที่เรียกว่าฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบขึ้นมาเพียงอย่างเดียวไม่ได้จะต้องมีโปรแกรมหรือคำสั่งที่จัดเรียงกันไว้ให้คอมพิวเตอรซึทำงานตามลำดับใน 8051 ก็เช่นกัน ผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมเป็นภาษาเครื่อง ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 เก็บไว้ในหน่วยความจำประเภท Program Memory แต่ละคำสั่งของ 8051 อาจประกอบด้วย 1, 2 หรือ 3 ไบท์แล้วแต่ว่าจะเป็นคำสั่งให้ทำงานอะไร คอมพิวเตอร์ก็จะเหมือนกับคนที่จะต้องทำงานตามคำสั่ง เมื่อรับคำสั่งแล้วก็จะไปทำงานตามคำสั่งนั้น เสร็จสิ้นแล้วก็จะกลับมารับคำสั่งต่อไป

จากรูปที่ 2.4 เมื่อเริ่มป้อนไฟเลี้ยงให้กับ 8051จะเริ่มจากบล็อก Program Counter ซึ่งเป็นวงจรนับ (Counter Circuit) ชนิดหนึ่งส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมลงไปบนบัส (Bus) หมายเลข 1 บัสนี้มีขนาด 16 บิท ค่าตำแหน่งหน่วยความจำนี้จะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ Program ADDR Register ที่เป็น วงจร Latch ข้อมูลซึ่งเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำ จะปรากฏที่บนบัส 16 บิท หมายเลข 2 ถ้าเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำแรกหลังจากรีเซท ค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะเป็น 0000H หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมจะเลือกได้ว่าเป็น ROM ภายในหรือ ภายนอก 8051 โดยการป้อนสภาวะลอจิกเข้าไปที่ 8051 ทางขา EA ซึ่งต่ออยู่กับส่วน Timing and Control ทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัส (Decoder) แล้วสร้างสัญญาณควบคุมต่อไปถ้าป้อนสัญญาณลอจิก 0 เข้าไปที่ขา EA จะเป็นการเลือกใช้ ROM ภายใน 8051 โดยที่วงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณไปยัง ROM ภายในข้อมูล ให้ส่งข้อมูลที่เป็นคำสั่งจากตำแหน่งที่ถูกชี้ด้วยค่าตำแหน่งที่ส่งมาทางบัสหมายเลข 2 ข้อมูลจาก ROM จะถูกส่งลงไปยังบัสหมายเลข 3 ที่เรียกว่า Internal Data Bus แล้วนำไปเก็บไว้ที่ Instruction Register (เป็นวงจร Latch) เพื่อส่งต่อไปให้กับวงจร Timing and Control ทำการถอดรหัสแล้วควบคุมการทำงานส่วนอื่น ๆ ต่อไปแล้วแต่ว่าเป็นคำสั่งให้ทำงานอะไร ในกรณีที่เลือก ROM ภายนอก 8051 โดยป้อนสัญญาณลอจิก 1 เข้าไปที่ขา EA จะทำให้วงจร Timing and Control ส่งสัญญาณไปยังพอร์ท 0 และพอร์ท 2 เพื่อส่งค่าตำแหน่งหน่วย

ความจำบนบัสหมายเลข 2 ออกไปชี้หน่วยความจำภายนอก จากนั้นจะอ่านข้อมูลที่เป็นคำสั่งกลับเข้าทางพอร์ท 0 ไปยัง Internal Data Bus แล้วไปเก็บที่ Instruction Register เพื่อทำงานต่อไป เหมือนกับตอนอ่านคำสั่งจาก ROM ภายในการทำงานในช่วงส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำไปยังหน่วยความจำแล้วอ่านข้อมูลที่เป็นคำสั่งกลับเข้ามาเก็บไว้ใน Instruction Register เรียกว่าเป็นช่วงของการ Fetch (Fetch Cycle) ช่วงต่อไปจะเป็นช่วงของการทำงานตามคำสั่งเรียกว่า Execute Cycle เช่นถ้าเป็นคำสั่งให้บวกข้อมูลในรีจิสเตอร์ Accumulator กับข้อมูลจากหน่วยความจำ Data Memory ภายใน RAM ตำแหน่ง 23H วงจร Timing and Control ก็จะส่งสัญญาณให้ Instruction Registor ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 23H ลงไปยัง Internal Data Bus แล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ RAM ADDR Registor เพื่อใช้ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ RAM จากนั้น Timing and Control ก็จะสั่งให้ RAM ส่งข้อมูลที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำตำแหน่ง 23H ลงมายัง Internal Data Bus แล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ TMP1 (วงจร Latch) ขณะเดียวกันวงจร Timing and Control ก็จะส่งสัญญาณไปยัง ACC ให้ส่งข้อมูลมายัง TMP2 (วงจร Latch) วงจรALU ซึ่งโครงสร้างเป็นวงจรทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (บวก,ลบ,คูณ,หาร) และยังสามารถทำงานทางลอจิก (AND,OR,NOT,XOR) จะทำการบวกเลขจาก TMP1 และTMP2 เข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผ่าน Internal Data Bus กลับไปเก็บยัง ACC PSW (Program Status Word) ซึ่งจะทำหน้าที่เก็บสถานะผลลัพธ์ของการทำงานใน ALU เช่น ผลลัพธ์การคำนวณมีค่าเกิน 8 บิท ก็จะให้บิทหนึ่งใน PSW ถูก SET เป็น 1

การทำงานที่กล่าวมาข้างต้นจะขึ้นกับสัญญาณควบคุมที่สร้างมาจากวงจร Timing and ConTroI และสัญญาณที่สร้างขึ้นนี้จะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากวงจร Oscillator ทำให้การทำงานต่าง ๆ เป็นไปตามลำดับที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลำดับสถานะการทำงานใน MCS-51

คำสั่งแต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลา 1,2 หรือ 3 ไซเคิลของเครื่อง (Machine Cycle) แล้วแต่ว่าเป็นคำสั่งประเภทใด 1 ไซเคิลของเครื่องจะใช้เวลา 12 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น แต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลาการทำงาน 12, 24 หรือ 36 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกานั่นเอง แต่ละไซเคิลของเครื่องจะถูกแบ่งออกเป็น 6 State คือ S1,S2,S3,S4,S5 หรือ S6 แต่ละ State จะประกอบด้วย 2 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ในไซเคิลแรกจะเรียกว่าเฟส 1 (P1) และไซเคิลที่ 2 เรียก เฟส 2 (P2) ในแต่ละเฟสจะนับตั้งแต่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาถึง ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาที่อยู่ถัดไปดังรูปที่ 2.13 เมื่อ 8051 ทำงานเสร็จ 1 ไซเคิลของเครื่องก็จะเริ่มทำงาน State 1 Phase 1 (S1P1) ของไซเคิลต่อไป ใน 1 ไซเคิลของเครื่องวงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณ ALE ออกมา 2 ไซเคิลเพื่อ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ครั้งเสมอ ที่บริเวณขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE คำสั่งใดจะมีกี่ไบท์หรือใช้เวลาทำงานกี่ไซเคิลจะดูได้จากตารางชุดคำสั่ง 8051

คำสั่งประเภท 1 ไบท์ 1ไซเคิลของเครื่องได้แก่คำสั่ง INC A จะมีการอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม 2 ครั้ง ที่เวลาประมาณขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE เมื่อคำสั่งแรกถูกอ่านเข้าไปที่เวลา ที่เวลาขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE แรก แล้วนำไปเก็บที่ Instruction Register เพื่อให้วงจร Timing and Control ถอดรหัสแล้วเข้าสู่การ Execute ขณะเดียวกันก็จะเริ่มต้นการ Fetch คำสั่งที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งถัดไปเข้ามาและคำสั่งที่ 2 จะถูกอ่านเข้ามาที่เวลาขอบขา

ขึ้นของสัญญาณ ALE ถัดไป วงจร Timing and Control เมื่อถอดรหัสคำสั่งแรกก็จะทราบว่าการทำงานคำสั่งนี้ให้สิ้นสุดจะใช้คำสั่ง เพียง 1 ไบท์ ดังนั้นคำสั่งที่ถูกอ่านเข้ามาไบท์ที่ 2 จะไม่ถูกนำมาทำงาน เพียงแต่อ่านเข้ามาแล้วทิ้งไป (Discard)

คำสั่งประเภท 2 ไบท์ และใช้เวลา 1 ไซเคิลของเครื่องได้แก่คำสั่ง ADD A,# data ในหนึ่งไซเคิลของเครื่องนี้จะมีการอ่านคำสั่งเข้ามา 2 ไบท์ เหมือนกับคำสั่งประเภท 1 ไบท์ 1 ไซเคิล ของเครื่อง แตกต่างกันที่ไบท์ที่ 2 จะถูกนำมาใช้งานด้วยไม่ได้ถูกทิ้งไปตัวอย่างของคำสั่ง ADDA, #33H จะเขียนเป็นภาษาเครื่องได้ 2 ไบท์ คือ 24 33 เมื่ออ่านคำสั่งไบท์แรกคือ 24 เข้าไปไว้ที่ Instruction Register แล้ว Timing and Control จะถอดรหัสพบว่าเป็นคำสั่งบวกเลข ก็จะส่งสัญญาณไปยัง Accumulator ให้เอาข้อมูลไปไว้ที่ TMP1 เมื่อคำสั่งที่ 2 ถูกอ่านเข้ามาที่ Instruction Register แล้ว Timing and Control จะสั่งให้เอาข้อมูลไบท์ที่ 2 ส่งลงไปยัง Internal Data Bus ไปเก็บยัง TMP1 จากนั้นวงจร ALU จะนำเอาข้อมูล TMP1 และ TMP2 มาบวกกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะส่งออกจาก ALU ไปยัง Internal Data Bus แล้วไปเก็บไว้ที่ Accumulator

คำสั่งประเภท 1,2 หรือ 3 ไบท์ ที่ใช้เวลาทำงาน 2 ไซเคิลของเครื่องเช่นคำสั่ง INC DPTR จะมีการอ่านคำสั่งเข้าไป 4 ครั้งทุก ๆ ขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE ที่มี 2 ครั้งต่อ 1 ไซเคิลของเครื่อง ถ้าเป็นคำสั่งประเภท 1,2 หรือ 3 ไบท์ วงจร Timing and Control จะเอาคำสั่ง 1,2 หรือ 3 ไบท์แรกเท่านั้นไปทำงานส่วนคำสั่งที่เหลือทิ้งไป คำสั่ง 1 ไบท์ที่ใช้เวลาทำงาน 2 ไซเคิลของเครื่องที่กล่าวมาแล้วจะไม่รวมถึงคำสั่ง MOVX ซึ่งใช้ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำ Data Memory ภายนอก การทำงานของคำสั่งนี้จะมีการ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ไบท์ในไซเคิลของเครื่องแรก ในไซเคิลของเครื่องที่ 2 จะไม่มีการ Fetch คำสั่งเข้าไป แต่จะเป็นช่วงเวลาของการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ Data memory ภายนอกสัญญาณ ALE ซึ่งปกติจะเปลี่ยนเป็น 1 ที่ S1P2 ก็จะไม่เปลี่ยนเป็น 1 ในไซเคิลของเครื่องที่ 2 โดยจะเป็น 0 อยู่จนกว่าจะถึงเวลา S4P2 ของไซเคิลของเครื่องที่ 2 สัญญาณ ALE จะเปลี่ยนเป็น 1 เพื่อทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ Data memory ภายนอก

บทที่ 3

ชุดคำสั่งของ 8051 (8051 Instruction)

ARTHIMATIC OPERATIONS

Mnemonic		Description
ADD	A,Rn	Add register to Accumulator
ADD	A,direct	Add direct byte to Accumulator
ADD	A,@R	Add indirect RAM to Accumulator
ADD	A,#data	Add immediate data to Accumulator
ADDC	A,Rn	Add register to Accumulator with Carry
ADDC	A,direct	Add direct byte to A with Carry flag
ADDC	A,@R	Add indirect RAM to A with Carry flag
ADDC	A,#data	Add immedate data to A with Carry flag
SUBB	A,Rn	Subtract register from A with Borrow
SUBB	A,direct	Subtract direct byte from A with Borrow
SUBB	A,@R	Subtract indirect RAM fromA with Borrow
SUBB	A,#data	Subtract immed data from A with Borrow
INC	A	Increment Accumulator
INC	Rn	Increment register
INC	direct	Increment direct byte
INC	@R	Increment indirect RAM
INC	DPTR	Increment Data Pointer
DEC	A	Decrement Accumulator
DEC	Rn	Decrement register
DEC	direct	Decrement direct byte
DEC	@R	Decrement indirect RAM
MUL	AB	Multipity A & B
DIV	AB	Divice A by B

รูปที่ 3.1 รหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051

LOGICAL OPERATIONS

Mnemonic		Description
ANL	A,Rn	AND registor to Accumulator
ANL	A,direct	AND direct byte to Accumulator
ANL	A,@R	AND inderect RAM to Accumulator
ANL	A,#data	AND immediate data to Accumulator
ANL	direct,A	AND Accumulator to direct byte
ANL	direct,#data	AND immediate data to direct byte
ORL	A,Rn	OR registor to Accumulator
ORL	A,direct	OR direct btye to Accumulator
ORL	A,@R	OR indirect RAM to Accumulator
ORL	A,#data	OR immediate data to Accumulator
ORL	direct,A	OR Accumulator to direct byte
ORL	direct,#data	OR immediate data to direct byte
XRL	A,Rn	Exclusive-OR registor to Accumulator
XRL	A,direct	Exclusive-OR direct byte to Accumulator
XRL	A,@R	Exclusive-OR indirect RAM to A
XRL	A,#data	Exclusive-OR immadiate data to A
XRL	direct,A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte
XRL	direct,#data	Exclusive-OR immediate data to direct
CLR	A	Clear Accumulator
CPL	A	Complement Accumulator
RL	A	Rotate Accumulator Left
RLC	A	Rotate A Left through the Carry flag
RR	A	Rotate Accumulator Right
RRC	A	Rotate A Right through Carry flag
SWAP	A	Swap rubbies within the Accumulator

รูปที่ 3.1 รหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051 (ต่อ)

DATA TRANSFER

Mnemonic		Description
MOV	A,Rn	Move register to Accumulator
MOV	A,direct	Move direct byte to Accumulator
MOV	A,@R	Move indirect RAM to Accumulator
MOV	A,#data	Move immediate data to Accumulator
MOV	Rn,A	Move Accumulator to register
MOV	Rn,direct	Move direct byte to register
MOV	Rn,#data	Move immediate data to register
MOV	direct,A	Move Accumulator to direct byte
MOV	direct,Rn	Move register to direct byte
MOV	direct,direct	Move direct byte to direct
MOV	direct,@R	Move indirect RAM to direct byte
MOV	direct,#data	Move immediate data to direct byte
MOV	@Ri,A	Move Accumulator to indirect RAM
MOV	@Ri,direct	Move direct byte to indirect RAM
MOV	@Ri,#data	Move immediate data to indirect RAM
MOV	DPTR,#data 16	Load Data Pointer with a 16-bit constant
MOVC	A,@A+DPTR	Move Code byte relative to DPTR to A
MOVC	A,@A+PC	Move Code byte relative to PC to A
MOVX	A,@R	Move External RAM (8-bit addr) to A
MOVX	A,@DPTR	Move External RAM (16-bit addr) to A
MOVX	@Ri,A	Move A to External RAM (8-bit addr)
MOVX	@DPTR,A	Move A to External RAM (16-bit addr)
PUSH	direct	Push direct byte onto stack
POP	direct	Pop direct byte Form stack
XCH	A,Rn	Exchange register with Accumulator

รูปที่ 3.1 รหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051 (ต่อ)

BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION

Mnemonic		Description
CLR	C	Clear Carry flag
CLR	bit	Clear direct bit
SETB	C	Set Carry flag
SETB	bit	Set direct bit
CPL	C	Complement Carry flag
CPL	bit	Complement direct bit
ANL	C,bit	AND direct bit to Carry flag
ANL	C,1 bit	AND complement of direct bit to Carry
ORL	C/bit	OR direct bit to Carry flag
ORL	C,1 bit	OR complement of direct bit to Carry
MOV	C/bit	Move direct bit to Carry flag
MOV	bit,C	Move Carry flag to direct bit

PROGRAM AND MACHINE CONTROL

Mnemonic		Description
ACALL	addr 11	Absolute Subroutine Call
LCALL	addr 16	Long Subroutine Call
AJMP	addr 11	Absolute Jump
LJMP	addr 16	Long Jump
SJMP	rel	Short Jump (relative addr)
JMP	@A+DPTR	Jump indirect relative to the DPTR
JZ	rel	Jump if Accumulator is Zero
JNZ	rel	Jump if Accumulator is not Zero
JC	rel	Jump if Carry flag is set
JNC	rel	Jump if No Carry flag

รูปที่ 3.1 รหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051 (ต่อ)

PROGRAM AND MACHINE CONTROL (cont.)		
Mnemonic		**Description**
JB	bit,rel	Jump if direct Bit Set
JNB	bit,rel	Jump if direct Bit Not Set
JBC	bit,rel	Jump if direct Bit is set & Clear bit
CJNE	A,direct,rel	Compare direct to A & Jump if Not Equal
CJNE	A,#data,rel	Comp. immed. to A & Jump if Not Equal
CJNE	Rn,#data,rel	Comp. immed. to reg. & Jump if Not Equal
CJNE	@Ri,#data,rel	Comp. immed. to ind. & Jump if Not Equal
DJNZ	Rn,rel	Decrement register & Jump if Not Zero
DJNZ	direct,rel	Decrement direct & Jump if Not Zero
NOP		No Operation

รูปที่ 3.1 รหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051 (ต่อ)

3.1 ข้อมูลเฉพาะของชุดคำสั่ง

ในรูปที่ 3.1 เป็นการสรุปชุดคำสั่งของ 8051 (MCS-51 Instruction Set Desription)บล็อกที่ 1 ในรูปเป็นรหัสคำสั่งช่วยจำ (Mnemonic Code) ทั้งหมดของ 8051 และในบล็อกที่ 2 จะเป็นคำอธิบายโดยย่อของทำงานในแต่ละคำสั่งที่อยู่ทางซ้ายของคำอธิบาย ในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีจะไม่นำเอาส่วนของบล็อกที่ 2 มาเขียน จะมีเฉพาะบล็อกที่ 1 เท่านั้น รหัสคำสั่งช่วยจำเป็นประโยคที่สามารถอ่านแล้วเข้าใจการทำงานได้โดยตรง ในรหัสคำสั่งแต่ละคำสั่งจะประกอบด้วยสองส่วนคือ

1. รหัสคำเนินการ (Operation Coad , OP-CODE) เป็นชุดของตัวอักษรที่บอกถึง การทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ รหัสคำเนินการนี้จะเป็นคำในภาษาอังกฤษความยาว 2 ถึง 4 ตัวอักษรและคำเหล่านี้มีความหมายที่สามารถจดจำได้ง่าย เช่น MOV มีความหมายเป็นคำสั่งสำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูลเหมือนคำภาษาอังกฤษที่ว่า MOVE ในไมโครโพรเซสเซอร์เบอร์อื่น เช่น Z-80 รหัสคำสั่งช่วยจำสำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูลจะใช้คำว่า LD ซึ่งมาจากคำว่า LOAD

2. ตัวถูกคำเนินการ (Operand) เป็นส่วนที่ 2 ของรหัสคำสั่งช่วยจำ ในส่วนนี้จะเป็นชุดของตัวอักษรที่บอกถึงส่วนที่ถูกคำเนินการเช่นรหัสคำสั่งช่วยจำของ 8051 ในรูปที่ 3.1 มีคำสั่งว่า

MOVE A,Rn Move register to Accumulator

จากตัวอย่างข้างบน OP-CODE เป็นสิ่งที่บอกการดำเนินการว่าเป็นการเคลื่อนย้ายข้อมูล และ Operand เป็นตัวบอกสิ่งที่ถูกดำเนินการ ซึ่งก็คือรีจิสเตอร์ A และรีจิสเตอร์ Bn ทั้งสองเป็นรีจิสเตอร์ของ 8051

ลักษณะการจัดวางข้อมูลใน Operand ของไมโครโพเซสเซอร์โดยทั่วไปสำหรับการกระทำระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์ หรือรีจิสเตอร์กับหน่วยความจำจะมีรูปแบบ

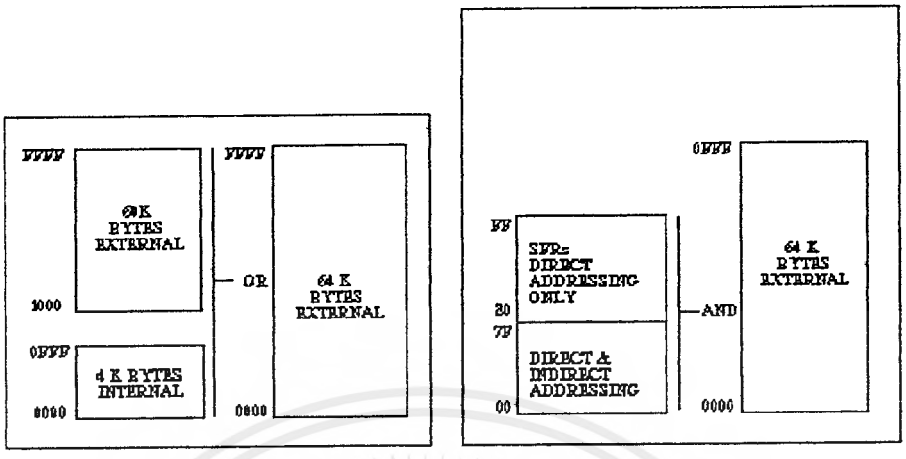
destination , source หรืออาจเป็น source , destination

ใน MCS-51 ก็จะใช้การจัด Operand ในแบบแรก คือข้อมูลที่อยู่ทางขวาของเครื่องหมาย คือ Source จะถูกนำไปทำงานแล้วเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ หรือหน่วยความจำของ Destination ดังนั้นในตัวอย่างข้างบนจะเป็นการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Rn ไปยังรีจิสเตอร์ A หรืออาจทำความเข้าใจการทำงานของคำสั่งนี้ได้จากคำอธิบายที่อยู่ทางขวาของคำสั่งก็ได้

การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีก็คือ การนำเอารหัสคำสั่งช่วยจำมาจัดเรียงกันเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามคำสั่งนั้น แต่ก่อนที่จำนำเอาโปรแกรมดังกล่าวไปให้คอมพิวเตอร์ทำงาน จะต้องเปลี่ยนเป็นรหัสคำสั่งช่วยจำให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน รหัสคำสั่งช่วยจำแต่ละคำสั่งจะมีภาษาเครื่องค่างกันและไม่ซ้ำกัน

3.2. รีจิสเตอร์ของ 8051

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ หน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program Area) และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Area) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมภาพของหน่วยความจำ 8051

หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมเป็นหน่วยความจำที่ 8051 ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมภาษาเครื่องที่ 8051 จะทำงานเมื่อเริ่มป้อนไฟเลี้ยงให้ 8051 หรือมีการรีเซ็ท (Reset) 8051 จะทำให้เริ่มการทำงานจากคำสั่งในหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 0000H เมื่อทำงาน 1 คำสั่งก็จะทำให้รีจิสเตอร์ PC ที่ชี้ตำแหน่งโปรแกรมมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อชี้คำสั่งของตำแหน่งต่อไป ตำแหน่งสุดท้ายของหน่วยความจำคือ FFFFH หน่ายความจำสำหรับโปรแกรมนี้สามารถที่จะเลือกได้ว่าเป็นหน่วยความจำที่อยู่ภายใน 8051 หรือภายนอก 8051 ก็ได้ หน่วยความจำสูงสุดสำหรับโปรแกรมภายนอก 8051 มีได้ถึง 64 Kbyte ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง หน่วยความจำในช่วงนี้ 8051 สามารถอ้างข้อมูลได้อย่างเดียว ไม่สามารถเขียนข้อมูลเข้าไปได้ระหว่างการทำงาน

หน่วยความจำสำหรับข้อมูลเป็นหน่วยความจำที่ 8051 ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือพักข้อมูลระหว่างที่ทำงาน หน่วยความจำสำหรับข้อมูลมี 2 แบบ แบบที่หนึ่งมีขนาด 128 ไบท์อยู่ภายใน 8051 หน่วยความจำอีกแบบหนึ่งจะมีขนาด 64 กิโลไบท์ (Kbyte) ต้องต่อเพิ่มเติมเข้าไปภายนอก 8051 หน่วยความจำภายในตำแหน่ง 0 ถึง 7FH นี้สามารถอ้างถึงได้โดยตรงคือการมีให้อ่านหรือเขียนข้อมูลไปยังตำแหน่งนั้นได้โดยตรง แต่หน่วยความจำตำแหน่ง 80H ถึง FFH นั้น เป็นแบบรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register , SFR) หน่วยความจำภายในช่วยนี้ใช้เป็นรีจิสเตอร์สำหรับงานเฉพาะอย่าง

หน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ช่วง 00H ถึง 07FH สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม

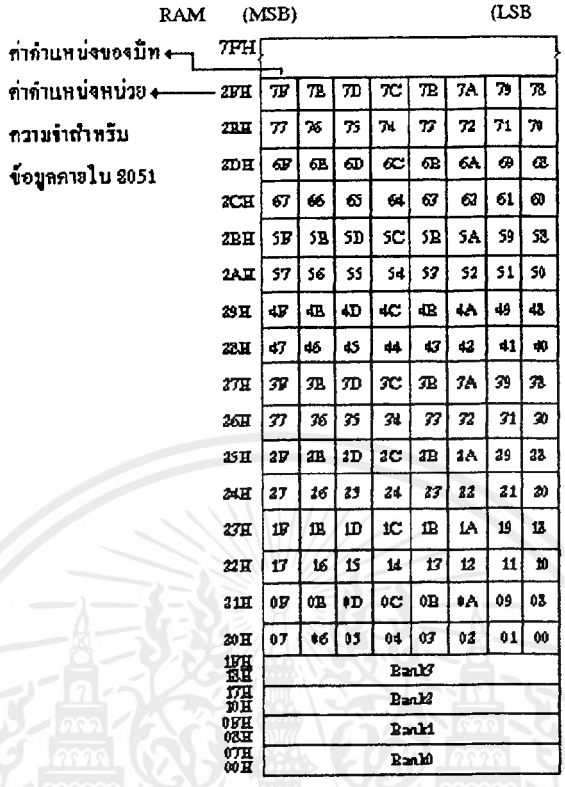
1. Register bank 0.3 อยู่ในหน่วยความจำช่วงตำแหน่งที่ 00H ถึง 1FH หน่วยความจำนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชุด ชุดละ 8 ไบท์ แต่ละชุดเราเรียกว่า BANK แต่ละไบท์ใน 1 BANK จะมีชื่อของรีจิสเตอร์ว่า R0 , R1 , R2 , R3 , R4 , R5 , R6 และ R7 รีจิสเตอร์เหล่านี้จะเรียกใช้งานในระหว่างการทำงานของโปรแกรมได้อย่างสะดวก และรีจิสเตอร์เหล่านี้จะเป็นชื่อซ้ำกันในทุก BANK การใช้งานจึงต้องเรียกใช้งานที่ละ BANK เท่านั้น โดยการกำหนดในรีจิสเตอร์ PSW โดยการกำหนดในรีจิสเตอร์ PSW ที่จะกล่าวถึงต่อไป เมื่อมีการ Reset การทำงานของ 8051 จะเริ่มการใช้งานรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ที่ BANK 0 ซึ่งรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ในแต่ละ BANK นั้นจะอ้างอิงในหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ดังในตาราง

รีจิสเตอร์	ตำแหน่งหน่วยความจำ			
	BANK 0	BANK 1	BANK 2	BANK 3
R0	0	8	10	18
R1	1	9	11	19
R2	2	A	12	1A
R3	3	B	13	1B
R4	4	C	14	1C
R5	5	D	15	1D
R6	6	E	16	1E
R7	7	F	17	1F

ตัวอย่าง เมื่อกำลังมีการใช้งานในหน่วยความจำ BANK 1 และมีการอ้างถึงรีจิสเตอร์ R7 เช่นคำสั่ง MOV A,R7 (รหัสภาษาเครื่องคือ EFH)

การทำงานของคำสั่งนี้คือการเอาข้อมูลจากตำแหน่ง FH ของหน่วยความจำภายใน 8051 ไปไว้ยังรีจิสเตอร์ A นั่นเอง

2. Bit Address Area เป็นหน่วยความจำในช่วงตำแหน่ง 20H ถึง 2FH หน่วยความจำแต่ละบิท ในช่วงของหน่วยความจำดังกล่าวจะสามารถตรวจสอบหรือตั้งค่าเป็น 1 หรือ 0 ได้โดยการโปรแกรมภาษาเครื่อง แต่ละบิทของข้อมูลในหน่วยความจำของช่วงนี้จะมีค่าของตำแหน่งดังใน Memory Map รูปที่ 3.3 เช่น บิทที่ 7 ของหน่วยความจำในตำแหน่ง 2FH จะมีค่าตำแหน่งเป็น 7FH นั่นเอง



รูปที่ 3.3 ค่าตำแหน่งของแต่ละบิท

ในรูปที่ 3.3 ตัวเลขทางซ้ายเป็นค่าตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ซึ่งในแต่ละบิทใน ตำแหน่งนั้นจะมีค่าเป็นเลขฐาน 16 ที่จะใช้เป็นค่าอ้างอิงในคำสั่งจัดการกับข้อมูลบิทนั้น

3. Scratched Pod Area เป็นช่วงของหน่วยความจำตั้งแต่ 30H ถึง 7FH หน่วยความจำช่วงนี้จะใช้สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป ถ้ารีจิสเตอร์ Stack pointer ชี้มายังหน่วยความจำ ช่วงนี้จะต้องระวังไม่ให้เกิดการเขียนทับของข้อมูลอันจะทำให้การทำงานของโปรแกรมผิดพลาดได้

จากตารางคำสั่ง จะมีคำอธิบายการใช้งานหรือการทำงานแต่ละคำสั่งใน 8051 ไว้ด้วยคำสั่งของ 8051 เป็นคำสั่งที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงมาก ในขณะที่ 8051 ทำงานจะมีรีจิสเตอร์ตัวหนึ่งที่เก็บภาวะ (Flag) ที่เกิดขึ้นระหว่างการคำนวณเช่น ตัวทด (Carry) หรือจะเลือกใช้ BANK ของรีจิสเตอร์ภายใน 8051 ก็ได้ รีจิสเตอร์นั้นคือ Program Status Word (PSW) มีขนาด 8 บิท แต่ละบิทจะใช้เก็บสถานะการทำงานต่างๆ ไว้ดังรูป 3.4

(MSB) (LSB)

CY	AC	F0	RS1	RS0	0V	-	P

Symbol	Posltion	Name and Significance
CY	PCW.7	Carry flag.
AC	PSW.6	Auxiliary Carry fiag. (For BCD operations)
F0	PSW.5	Flag 0 (Available to the user for general purposes)
RS1	PSW.4	Register bank select
RS0	PSW.3	control bits 1& 0. Set/ cleared by software to determine working register bank (see note)
OV	PSW.2	Overflow fiag.
-	PSW.1	User definable fiag.
P	PSW.0	Parity flag. Set/cleared by hardware each instruction cycle to indicate an odd/even number of one bits in the Accumulator, i.e.. even parity.

Note : The contents of (RS1 , RS0) enable the working register banks as follow :

(0.0)-Bank 0 (00H-07H)

(0.1)-Bank 1 (08H-0FH)

(1.0)-Bank 2 (10H-17H)

(1.1)-Bank 3 (18H-1FH)

รูปที่ 3.4 Program Status Word (PSW)

PSW.0 บิท 0 เรียกว่า บิทพาริตี้ บิทนี้จะบอกว่าในรีจิสเตอร์ Accumulator หรือรีจิสเตอร์ A มี 1 เป็นจำนวนคี่หรือคู่ เช่น ในรีจิสเตอร์ A ขนาด 8 บิทมี 1 อยู่ 3 ตัว และมี 0 อยู่ 5 ตัว ก็จะทำให้บิท PSW.0 นี้มีค่าเป็น 1 ถ้าใน Accumulator มี 1 อยู่เป็นจำนวนคู่ก็จะทำให้บิทนี้มีค่าเป็น 0

PSW.1 บิท 1 บิทนี้ไม่มีการใช้งาน

PSW.2 บิท 2 เรียกว่า Overflow Fiag เป็นบิทที่บอกการคำนวณนั้นทำให้เกิดตัวทดขึ้นในระหว่างการคำนวณ ตัวทดนี้เป็นตัวทดที่เกิดจากบิท 6 ไปยังบิท 7 มีประโยชน์เมื่อคำนวณแบบ Signed Integer

PSW.3, PSW.4 บิท 3 และ 4 2 บิทนี้จะใช้งานร่วนกันเพื่อเป็นตัวบอกว่าขณะนี้ใช้รีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ใน BANK ได้ในตาราง

บิท 4 (RB1)	บิท 3 (RB0)	Register bank	address
0	0	0	00H-07H
0	1	1	08H-0FH
1	0	2	10H-17H
1	1	3	18H-1FH

ตัวอย่างเช่น บิท 4 และบิท 3 มีค่าเป็น 10_2 เป็นการเลือกรีจิสเตอร์ Bank 2 หมายความว่าในรหัสคำสั่งช่วยจำที่อ้างอิงถึง R0 ก็จะอ้างอิงหน่วยความจำภายในที่ตำแหน่ง 10H

PSW.5 บิท 5 เรียกว่าบิทอเนกประสงค์เป็นบิทที่ผู้ใช้สามารถใช้คำสั่งกำหนดค่าให้เป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ โดยที่การทำงานของคำสั่งอื่นจะไม่ทำกับบิทนี้มีค่าเปลี่ยนแปลง บิทนี้มีประโยชน์สำหรับในการส่งสถานะของโปรแกรมระหว่างเรียกการทำงานของโปรแกรมย่อย (Subroutine)

PSW.6 บิท 6 เรียกว่า Auxiliary Carry Flag เป็นบิทที่ใช้สำหรับเก็บตัวทดที่เกิดขึ้นระหว่างการคำนวณ โดยตัวทดนี้เป็นตัวทดที่เกิดการคำนวณของบิท 3 ข้ามไปยังบิท 4

PSW.7 บิท 7 เรียกว่า Carry Flag เป็นบิทที่บอกสถานะการคำนวณทางคณิตศาสตร์ว่าผลลัพธ์นั้นทำให้เกิดตัวทดขึ้นหรือไม่ เช่น การบวกเลข 2 จำนวนเข้าด้วยกันแล้วผลลัพธ์มีค่ามากกว่า 255 ก็จะทำให้เกิดตัวทดขึ้น เนื่องมาจากว่า Accumulator ที่ทำการบวกนี้สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 8 บิทเท่านั้นและทำให้บิทนี้มีค่าเป็น 1

3.3 แอดเดรสซิ่ง (Addressing)

การติดต่อกับหน่วยความจำในชุดคำสั่งเรียกว่าการกำหนดที่อยู่ (Addressing) สามารถทำได้หลายวิธี

1. Direct Addressing เป็นการกำหนดตำแหน่งที่อยู่ของหน่วยความจำที่จะติดต่อเข้าไปใน Operand ของคำสั่งโดยตรง วิธีการนี้สามารถติดต่อหน่วยความจำสำหรับข้อมูลในตัวของ 8051 จำนวน 256 ตำแหน่งเท่านั้น เช่น DEC 20H

เป็นการลดข้อมูลของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ที่ตำแหน่ง 20H ลง 1 ถ้าเดิมข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ตำแหน่ง 20H มีค่า 11H เมื่อสิ้นสุดคำสั่งนี้

ค่าในหน่วยความจำจะเป็น 10H แต่ถ้าค่าเดิมเป็น FFH เมื่อทำคำสั่งนี้สิ้นสุดลงจะทำให้ข้อมูลเป็น 00H เพราะแต่ละตำแหน่งเก็บข้อมูลได้ 8 บิทเท่านั้น

2. Indirect Addressing เป็นการกำหนดที่อยู่ของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 โดยอ้อม วิธีการระบุตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อวิธีนี้ จะใช้รีจิสเตอร์ตัวหนึ่งเป็นตัวชี้ (Pointer) ไปยังหน่วยความจำที่ต้องการ รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้ได้แก่ R0 , R1 , DPTR เป็นต้น ใน Operand ของชุดคำสั่ง 8051 ที่ติดต่อกับหน่วยความจำโดยอ้อมจะมีสัญลักษณ์ @ นำหน้ารีจิสเตอร์ที่เป็นตัวชี้ เช่น DEC @R1

ตัวอย่างโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

```
MOV  R0,#10H
DEC  @R0
```

คำสั่งแรกเป็นคำสั่งกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ R0 โดยตรงให้มีค่าเท่ากับ 10H

คำสั่งที่สองเป็นคำสั่งลดค่า ในหน่วยความจำสำหรับข้อมูล ที่ชี้โดยรีจิสเตอร์ R0 ซึ่งจากคำสั่งแรกนั้น R0 มีค่า 10H ดังนั้นคำสั่งที่ 2 จึงเป็นการลดค่าในหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 10H

3. Register instruction เป็นคำสั่งที่ใช้ติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ของรีจิสเตอร์ Bank ที่กำลังใช้งานอยู่ใน Operand จะมีชื่อของรีจิสเตอร์ที่ต้องการอยู่ เมื่อแปลเป็นภาษาเครื่องจะพบว่า ในภาษาเครื่องของคำสั่งติดต่อกับรีจิสเตอร์เหล่านี้จะมี 3 บิท ที่เป็นตัวบอกรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ดังนั้นเมื่อคำสั่งนั้นถูกอ่าน (Fetch) เข้าไปประมวลผล (Execute) ก็จะแยกเอาตัวชี้รีจิสเตอร์ที่ต้องการมาจากคำสั่งภาษาเครื่อง (OP-CODE) ที่อ่านเข้าไปนั้นเอง เช่น MOV A,Rn โดยค่า Rn คือ R0 , R1 , ...,R7 คำสั่งนี้จะเปลี่ยนเป็นภาษาเครื่องได้ 1 ไบท์

4. Immediate Constant เป็นคำสั่งเกี่ยวกับค่าคงที่โดยตรง คำสั่งนี้จะมีการกำหนดส่วนของค่าคงที่ใน Operand เช่น MOV A,#10 คำสั่งนี้เป็นการกำหนดค่า 100 ไปเก็บในรีจิสเตอร์ A เครื่องหมาย # ใช้สำหรับบอกว่าค่าที่ตามหลังมาเป็นค่าคงที่ ตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำคือรีจิสเตอร์ Program Counter ที่จะชี้ตำแหน่งของ Operand

5. Index Addressing เป็นการกำหนดเลขที่อยู่โดยดรรชนี การอ้างหน่วยความจำวิธีนี้ใช้ได้เฉพาะกับการติดต่อหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมเท่านั้น ซึ่งจะใช้รีจิสเตอร์ DPTR หรือ Program Counter ขนาด 16 บิท บวกด้วยรีจิสเตอร์ A ขนาด 8 บิท แล้วนำผลลัพธ์ไปชี้ตำแหน่งหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลออกมา คำสั่งนี้มีประโยชน์ในการอ่านข้อมูลที่เก็บไว้ในรูปแบบของตารางที่อยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม เช่น MOVC A,@A+DPTR

3.4 ชุดคำสั่ง 8051

ชุดคำสั่ง 8051 แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ซึ่งจะใช้ตารางเป็นตัวอธิบายโดยประกอบด้วย 4 คอลัมน์

คอลัมน์ 1 คือ Mnemonic เป็นช่องที่บอกถึงรหัสคำสั่ง

คอลัมน์ 2 คือ Operation เป็นการกระทำที่เกิดขึ้นตามรหัสคำสั่ง

คอลัมน์ 3 คือ Addressing Mode แบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ คือ

Dir = Direct Addressing

Ind = Indirect Addressing

Reg = Register Addressing

Imm = Immediate Addressing

เครื่องหมาย X ในช่องนี้หมายความว่า รหัสคำสั่งมีเครื่องหมาย <byte> อยู่ในส่วน Operand สามารถอ้างอิงตำแหน่งของหน่วยความจำได้ด้วยวิธีดังกล่าว

Execution Time (μs) เป็นเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งนั้น มีหน่วยเป็นไมโครวินาที โดยจะใช้สัญญาณนาฬิกา 12 เมกกะเฮิรตซ์ ในการทำงานแต่ละคำสั่งจะใช้จำนวนรอบเครื่อง (Machinc- Cycle) เท่ากับ 1 , 2 หรือ 3 รอบเครื่อง 1 รอบจะใช้เวลาเท่ากับ 12 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นจะสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการทำงาน 1 รอบเครื่องเท่ากับ $12/f_{clk}$ วินาที

3.4.1 คำสั่งคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instruction)

8051มีคำสั่งการกระทำทางคณิตศาสตร์ที่สามารถบวก,ลบ,คูณและหารกันได้ซึ่งดีกว่าไมโครโพรเซสเซอร์เบอร์อื่น ที่ไม่มีคำสั่งการคูณและหาร คำสั่งสำหรับการกระทำทางคณิตศาสตร์มีดังรูป 3.5

Mnemonic	Operation	Addressing Modes				Execution
		Dir	Ind	Re g	Imm	Time(us)
ADD A,<byte>	A=A+<byte>	X	X	X	X	1
ADDC A,<byte>	A=A+<byte>+C	X	X	X	X	1
SUBB A,<byte>	A=A - <byte>-C	X	X	X	X	1
INC A	A=A+1	Accumulator only				1
INC <byte>	<byte>=<byte>+1	X	X	X	X	1
INC DPTR	DPTR=DPTR+1	Data Pointer only				2
DEC A	A=A-1	Accumulator only				1
DEC <byte>	<byte>=<byte>-1	X	X	X		1
MUL AB	B:A=BxA	ACC and B only				4
DIV AB	A=Int(A/B) B=Mod (A/B)	ACC and B only				4
DA A	Decimal Adjust	Accumulator only				1

รูปที่ 3.5 คำสั่งคณิตศาสตร์

3.4.2 คำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instruction)

คำสั่งกลุ่มนี้มีการทำงานเหมือน Boolean Operation ซึ่งได้แก่ AND, OR, EXCLUSIVE-OR, NOT คำสั่งเหล่านี้ทำงานแบบบิทต่อบิท คือบิท 0-7 ของข้อมูลชุดที่ 1 ก็จะถูกกระทำกับ บิท 0-7 ของข้อมูลอีกชุดหนึ่งในลักษณะบิท 0 ต่อบิท 0, บิท 1 ต่อบิท 1 จนถึงบิท 7 ต่อบิท 7 รูปแบบของคำสั่งทางตรรกศาสตร์มีดังรูปที่ 3.6

Mnemonic	Operation	Addressing Modees				Execution Time (us)
ANL A,<byte>	A=A.AND.<byte>	X	X	X	X	1
ANL ,byte>,A	<byte>=<byte>.AND.A	X				1
ANL,byte.,#data	<byte>=<byte>.AND.#data	X				2
ORL A,<byte>	A=A.OR<byte>	X	X	X	X	1
ORL <byte>,A	<byte>=<byte>.ORA	X				1
ORL<byte>.#data	<byte>=<byte>.OR#data	X				2
XRL A,<byte>	A=A.XOR<byte>	X	X	X	X	1
XRL<byte>,A	<byte>=<byte>.XOR.A	X				1
XRL<byte>,#data	<byte>=<byte>.XOR#data	X				2
CLR A	A=00H	Accumulator only				1
CPL A	A=.NOT.A	Accumulator only				1
RL A	Rotate ACC Left 1 bit	Accumulator only				1
RLC A	Rotate Left through Carry	Accumulator only				1
RR A	Rotate Acc Right 1 bit	Accumulator only				1
RRC A	Rotate Right through Carry	Accumulator only				1
SWAP A	Swap Nibbles in A	Accumulator only				1

รูปที่ 3.6 คำสั่งทางตรรกศาสตร์

3.4.3 คำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer)

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้กันมาก ในคำสั่งเหล่านี้จะมีคำสั่งที่ใช้เคลื่อนย้ายข้อมูล จากหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกหน่วยความจำอีกตำแหน่งหนึ่ง รูปแบบของคำสั่งกลุ่มนี้คือ

OP-CODE , Destination , Source

OP-CODE จะเป็นส่วนที่บอกการทำงานทั้งหมดของคำสั่งนี้ว่า จะเป็นการเคลื่อนย้ายข้อมูลทางเดียวหรือแลกเปลี่ยนข้อมูล

Source เป็นตำแหน่งของข้อมูลที่จะถูกเคลื่อนย้าย

Destination เป็นตำแหน่งของปลายทางที่จะใช้เก็บข้อมูล

ในการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบทางเดียวนั้นเมื่อสิ้นสุดการทำงาน ข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่ง Source จะเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง Source กับ Destination คำสั่งในกลุ่มนี้มีดังตารางรูปที่ 3.7

Mnemonic	Operation	Addressing Modees				Execution
		Dir	Ind	Reg	imm	Time (us)
MOV A,<scr>	A=<scr>	X	X	X	X	1
MOV <dest>,A	<dest>=A	X	X	X		1
MOV<dest>,<scr>	<dest>=<scr>	X	X	X	X	2
MOV PTR # data16	DPTR=16-bit immediate constant				X	2
PUSH <scr>	INC SP:MOV "@SP",<SCR>	X				2
POP <dest>	MOV<dest>, "@SP":DEC SP	X				2
XCH A,<byte>	ACC and <byte> exchange data	X	X	X		1
XCHD A,@Ri	ACC and @Ri exchange low nibbles		X			1

รูปที่ 3.7 คำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล

คำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

การติดต่อข้อมูลกับหน่วยความจำที่อยู่ภายนอก 8051 จะต้องใช้รีจิสเตอร์ RO,R1 หรือ DPTR เป็นตัวชี้ของตำแหน่งหน่วยความจำเท่านั้นการใช้ RO,R1 เป็นตัวชี้ตำแหน่งจะทำให้อ้างอิงตำแหน่งได้เพียง 256 ตำแหน่ง แต่การใช้ DPTR ชี้ตำแหน่ง ทำให้สามารถชี้ตำแหน่งได้ถึง 64*1024 ตำแหน่ง

คำสั่งสำหรับการติดต่อหน่วยความจำข้อมูลภานนอก8051มีเพียง 4 คำสั่งเท่านั้นดังตารางที่ 3.8

Address Width	Mnemonic	Operation	Execution Time (us)
8 bits	MOVX A, @Ri	Read external RAM @Ri	2
8 bits	MOVX @Ri,A	Write external RAM @Ri	2
16 bits	MOVXA, @DPTR	Read external RAM @DPTR	2
16 bits	MOVX @DPTR,A	Write external RAM @ DPTR	2

รูปที่ 3.8 คำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลที่อยู่ภายนอก 8051

คำสั่งอ่านข้อมูลจากตาราง (Lookup Table)

คำสั่งในกลุ่มนี้จะมีเฉพาะการอ่านข้อมูลจากตารางซึ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมมาเก็บไว้ยัง Accumulator ตารางนี้จะต้องเขียนไว้ในหน่วยความจำตั้งแต่ขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมสำหรับ 8051 อยู่แล้ว คำสั่งการอ่านข้อมูลจากตารางมีเพียง 2 คำสั่งดังตารางที่ 3.9

Mnemonic	Operation	Execution Time (us)
MOVC A, @A+DPTR	Read Pgm Memory at (A+DPTR)	2
MOVC A, @A+PC	Read Pgm Memory at (A+PC)	2

รูปที่ 3.9 คำสั่งอ่านข้อมูลจากตารางที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม

3.4.4 คำสั่งบูลีน

คำสั่งของ 8051 นอกจากจะมีการกระทำทีละ 8 บิทแล้วหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ยังสามารถติดต่อหรือมีการกระทำต่อข้อมูลที่ละบิท คือแต่ละบิทของรีจิสเตอร์ SRF แต่ในช่วงหน่วยความจำสำหรับข้อมูลตำแหน่ง 20H ถึง 2FH จำนวน 16 ไบท์ (มีจำนวนบิทที่สามารถติดต่อได้ 128 บิทหรือ 128 ตำแหน่ง) คำสั่งที่สามารถติดต่อกับหน่วนความจำดังกล่าวมีดังรูป 3.10

Mnemonic	Operation	Execution Time (us)
ANL C,bit	C=C,AND.bit	2
ANL C,/bit	C=C,AND..NOT.bit	2
ORL C,bit	C=C.OR.bit	2
ORL C,bit	C=C,ORNOT.bit	2
MOV C,bit	C=bit	1
MOV bit,C	bit=C	2
CLR C	C=0	1
CLR bit	bit=0	1
Mnemonic	Operation	Execution Time (us)
SETBC	C=1	1
SETB bit	bit=1	1
CPL C	C=.NOT.C	1
CPL bit	bit=.NOT.bit	1
JC rel	Jump ifC=1	2
JNC rel	Jump if C=0	2
JB bit,rel	Jump if bit=0	2
JNB bit,rel	Jump if bit=0	2
JBC bit,rel	Jump if bit=1:CLR bit	2

รูปที่ 3.10 คำสั่งบูลีน

คำสั่ง ANL,ORL,MOV,CRL จะมีการกระทำเหมือนกับในกลุ่มคำสั่งตรรกศาสตร์ทุกประการ แตกต่างกันที่การอ้างอิงตำแหน่งหน่วยความจำคำสั่ง ในตารางรูปที่ 3.10 จะมีคำว่า bit ปรากฏอยู่หมายความว่าที่ตำแหน่งนั้นของ operand จะต้องป้อนค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่เป็นแบบบิท เช่น บิท 0 ของหน่วยความจำตำแหน่ง 20H จจะมีค่าหน่วยความจำแบบบิทเท่ากับ 00H และบิท 7 ของหน่วยความจำตำแหน่ง 20H จะมีตำแหน่งแบบหน่วยความจำเท่ากับ 07H

3.4.5 กลุ่มคำสั่งกระโดดข้าม (Jump Intruction)

กลุ่มคำสั่งกระโดดข้ามคือ กลุ่มของคำสั่งที่ทำให้การทำงานของโปรแกรมข้ามไปยังตำแหน่งที่กำหนดโดยไม่ต้องทำตามลำดับของโปรแกรมเดิม คำสั่งกระโดดข้ามแบบไม่มีเงื่อนไขมีดังตารางที่ 3.11

Memonic	Operation	Execution Time (us)
JMP addr	Jump to addr	2
JMP @A+DPTR	Jump to A+DPTR	2
CALL addr	Call subroution at addr	2
RET	Return from subroution	2
RETI	Return from interrupt	2
NOP	No operation	1

รูปที่ 3.11 คำสั่งกระโดดข้าม

คำสั่งข้ามการทำงานแบบมีเงื่อนไข (Conditioned Jump Instruction)

คำสั่งให้ข้ามการทำงานข้างบนนั้นเป็นการข้ามแบบไม่มีเงื่อนไข คือ ไม่ต้องมีการตรวจสอบใด ๆ ก่อนจะข้ามการทำงาน คำสั่งอีกกลุ่มหนึ่งจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขก่อนการข้ามการทำงานมีคำสั่งดังนี้

Mnemonic	Operation	addressing Modes				Execution Tine(μs)
		Dir	Ind	Reg	Im m	
JZ rel	Jump if A=0	Accumulator only				2
JNZ rel	Jump if A=0	Accumulator only				2
DJNZ<byte>,rel	Decrement and jump if not zero	X		X		2
CJNE A,<byte>,rel	Jump if A=<byte>	X			X	2
CJNE<byte>.# data,rel	Jump if<byte>=#data		X	X		2

รูปที่ 3.12 คำสั่งข้ามแบบมีเงื่อนไข

บทที่ 4
8255 พอร์ทข้อมูลแบบขนาน

4.1 ไอซี 8255

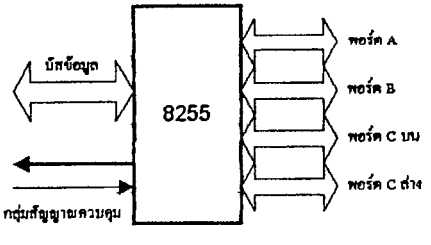
การใช้งานไมโครโพเซสเซอร์ จะต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น สวิทช์รีเลย์ หรือตัวตรวจจับอื่นๆ การเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับพอร์ทอินพุทเอาต์พุท เพื่อให้ไมโครโพเซสเซอร์ส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นและสามารถตรวจสอบได้ด้วยไมโครโพเซสเซอร์เอง

การเชื่อมต่อกับพอร์ทอินพุทที่ง่ายที่สุดคือ การเชื่อมต่อโดยตรงโดยใช้ลอจิกเกต 3 สถานะ โดยสัญญาณควบคุมพอร์ทอินพุทจะเป็นตัวไปเปิดเกตให้ข้อมูลเข้าสู่บัสและไมโครโพเซสเซอร์จะอ่านเข้าไป แต่สำหรับพอร์ทเอาท์พุทจะใช้แลตช์ฟลิปฟลอป ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลจากไมโครโพเซสเซอร์ที่ส่งเข้าไปในบัสข้อมูลและได้รับการจับไว้ที่พอร์ทในขณะที่มีสัญญาณควบคุมพอร์ทกริกมาที่ขาแลตช์

พอร์ทอินพุทเอาท์พุทที่ใช้เกตขนาดเล็กดังกล่าว ยังมีจุดอ่อนในเรื่องของจำนวนไอซีซึ่งอาจจะต้องใช้หลายชิป (ถ้าต้องการหลายพอร์ท) และยากที่กำหนดลักษณะการทำงานให้แตกต่างไปจากจำนวนวงจรเดิมที่ออกแบบไว้ บริษัทที่ออกแบบไมโครโพเซสเซอร์ที่ออกแบบส่วนใหญ่จึงออกแบบ LSI เพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุทเอาท์พุทของระบบ ซึ่งมีข้อดีในเรื่องการใช้งานได้ง่าย ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ไอซี LSI ที่ทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุทเอาท์พุท ไอซี LSI ที่รู้จักกันดีมากที่สุด มีราคาถูก และหาได้ง่าย คือ ไอซี 8255 ของบริษัทอินเทล

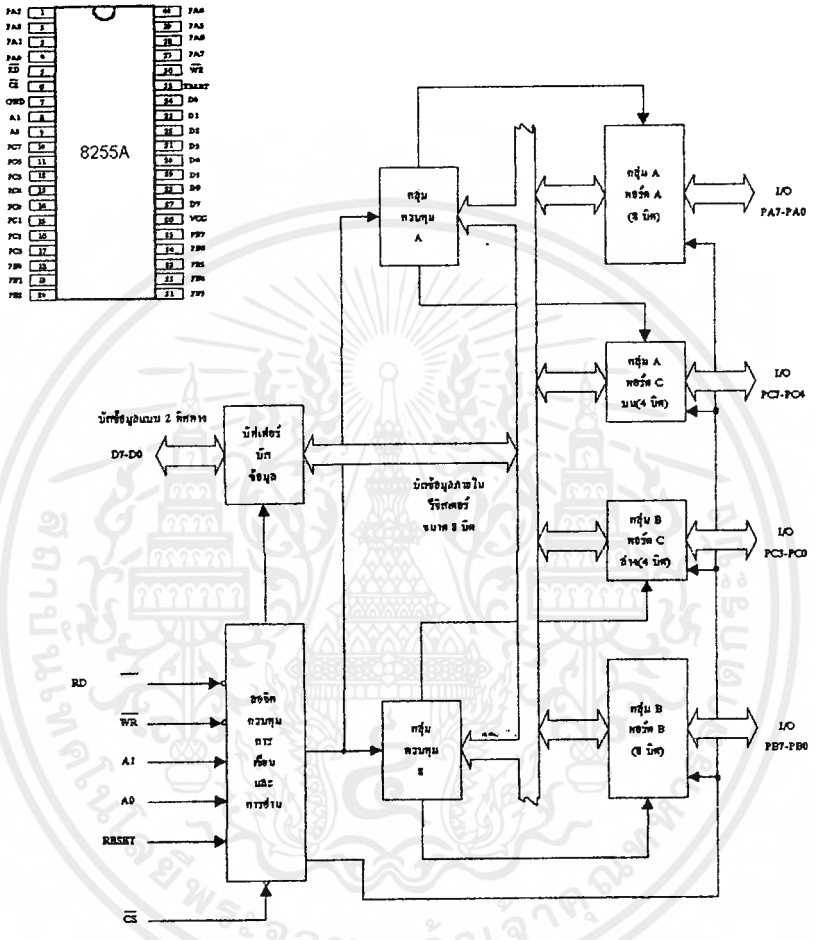
4.2 โครงสร้าง 8255

8255 เป็นไอซีที่มีขา 40 ขา เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ทให้ไมโครโพเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ท โดยมีโครงสร้างพื้นฐานแสดงได้ดังรูป 4.1



รูป 4.1 แผนผังโครงสร้างของไอซี 8255

การเรียกพอร์ทของ 8255 จะเรียกพอร์ทต่างๆว่า พอร์ท A พอร์ท B และพอร์ท C โดยพอร์ท C แยกเป็น 2 ส่วนคือ พอร์ท C ล่างหรือตั้งแต่ PC_0 - PC_3 มีจำนวน 4 บิท และพอร์ท C บน หรือตั้งแต่ PC_4 - PC_7 ที่พิเศษคือ พอร์ททุกพอร์ทเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท



รูปที่ 4.2 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

รูปที่ 4.2 เป็นแผนผังภายในของไอซีและการจัดวางขาของไอซี 8255 การทำงานของวงจรจะใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครโพเซสเซอร์มาควบคุมการทำงาน โดยไมโครโพเซสเซอร์จะส่งคำสั่งมาโปรแกรมการทำงานหรือกำหนดรูปแบบของพอร์ทให้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้

4.3 ขาต่าง ๆ ของ 8255

เพื่อให้เข้าใจวิธีการต่อใช้งานระหว่าง ไมโครโพเซสเซอร์ กับ 8255 จึงจำเป็นต้องเข้าใจความหมายและตำแหน่งขาต่างๆ เสียก่อน ขาทั้ง 40 ขาของไอซีประกอบด้วย

D_0-D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุทเอาท์พุทจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ D_0-D_7 จึงต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโพเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพเซสเซอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ทผ่านทางบัสนี้ได้

CS (สัญญาณเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุทที่จะได้รับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น "0" จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโพเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพเซสเซอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ทได้

RD (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุทที่ต้องส่งมาจากซีพียูเมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น "0" และสัญญาณ CS เป็น "0" ด้วย ไอซี 8255 จะทำตัวให้ซีพียูอ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ทอินพุท

WR เป็นสัญญาณการเขียน จะแอคตีฟเมื่อมีสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น "0" สัญญาณนี้จะมาจากซีพียูเมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ทที่กำหนด

A_0 - A_7 (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัส เพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ทอินพุทเอาท์พุทของ 8255

RESET (สัญญาณรีเซต) เป็นสัญญาณที่ส่งจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆ ของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซต ก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุทหรือทุกพอร์ทที่เป็นพอร์ทอินพุท

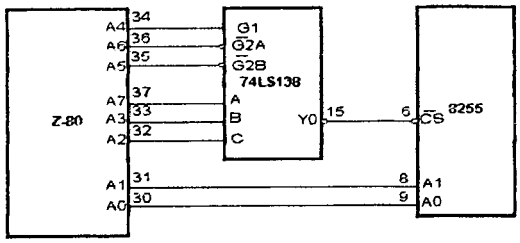
PA_0 - PA_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ทของ 8255 ที่ชื่อพอร์ท A การเลือกชิปพอร์ทจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0 - A_1

PB_0 - PB_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท B ของ 8255 ซึ่งถูกเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0 - A_1

PC_0 - PC_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท C ของ 8255 การกำหนดพอร์ทนี้ จะได้รับการกำหนดโดยสัญญาณแอดเดรส A_0 - A_1 พอร์ท C นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม PC_0 - PC_3 และกลุ่ม PC_4 - PC_7

4.4 การเชื่อมต่อ 8255 กับ ไมโครโพเซสเซอร์

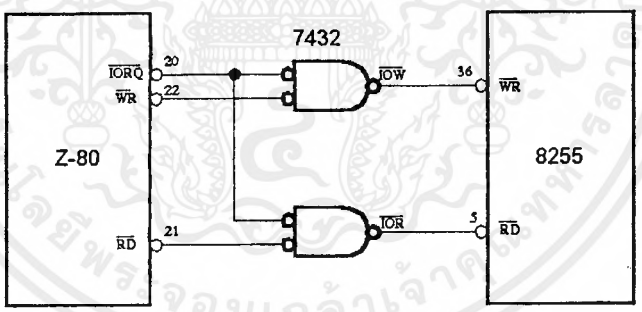
หากพิจารณาจากขาของ 8255 จะเห็นว่า ส่วนขาควบคุมที่จะเชื่อมต่อเข้ากับบัสของไมโครโพเซสเซอร์สามารถเชื่อมต่อกับบัสได้ง่ายในที่นี้จะทดลองต่อ 8255 เป็นพอร์ทให้กับ Z-80 สมมุติว่าต้องการให้ Z-80 มองเห็น 8255 เป็นพอร์ทหมายเลข 10H , 11H , 12H และ 13H การเชื่อมต่อสายสัญญาณการเลือกแอดเดรสของพอร์ทแสดงดังรูป 4.3



รูป 4.3 การกำหนดแอดเดรสให้กับ 8255

สังเกตว่า ขณะสัญญาณ CS แอคตีฟนั้น สัญญาณแอดเดรส A_2 ถึง A_7 จะต้องมีข้อมูล 000100 และเมื่อรวมกับ A_1 , A_0 จะเป็น 000100XX พอร์ทที่เกิดขึ้นเมื่อ A_1 , A_0 เป็น 00 คือพอร์ท 10H และถ้า A_1 , A_0 เป็น 11 พอร์ทจะเป็น 13H การกำหนดพอร์ทของ Z-80 จะใช้ข้อมูลบนบัสแอดเดรส 8 เส้นคือ A_0 - A_7 เท่านั้น

สัญญาณที่จะควบคุม 8255 อีกชุดหนึ่งคือ สัญญาณควบคุมการเขียนและการอ่าน หากสัญญาณ WR แอคตีฟเป็น “0” จะหมายถึง การเขียนพอร์ทหรือการส่งข้อมูลให้พอร์ทเอาท์พุท แต่ถ้าสัญญาณ RD แอคตีฟเป็น “0” จะหมายถึงการอ่านพอร์ทหรือรับข้อมูลอินพุท

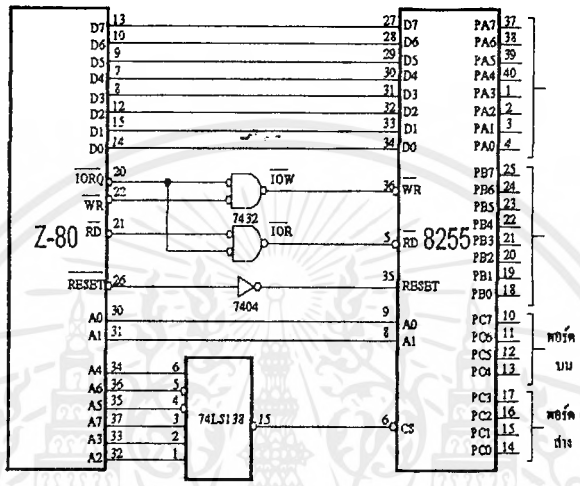


รูปที่ 4.4 วงจรการเชื่อมต่อสายสัญญาณควบคุมการเขียนและการอ่าน 8255

เพื่อให้แยกกันระหว่างการเขียนและการอ่านหน่วยความจำกับการเขียนและการอ่านพอร์ทอินพุทเอาท์พุท จึงต้องใช้สัญญาณ IORQ ร่วมด้วย คือถ้าสัญญาณ WR เกิดขึ้นพร้อมสัญญาณ IORQ จะหมายถึง สัญญาณ IOW หรือสัญญาณเขียนพอร์ทและถ้าให้สัญญาณ IORQ แอคตีฟพร้อมสัญญาณ RD จะหมายถึงสัญญาณ IOR หรือสัญญาณอ่านพอร์ท ซึ่งการเชื่อมต่อสายสัญญาณควบคุมการเขียนและการอ่านพอร์ทแสดงไว้ดังรูป 4.4

เมื่อเชื่อมต่อเป็นระบบ จะต้องมีการเชื่อมสายสัญญาณ RESET ของ Z-80 มายังขา RESET ของ 8255 การรีเซตของ 8255 ใช้ “1” ซึ่งตรงข้ามกับ Z-80 ก็เนื่องจากว่า ขณะที่ Z-80

รีเซต เราจะเริ่มจากให้พอร์ททุกพอร์ทของ 8255 เป็นอินพุท เพื่อว่าอาจมีข้อมูลบางส่วนไปออกที่พอร์ทเอาท์พุทขณะที่เราไม่ต้องการ ซึ่งอาจทำให้ระบบอินเตอร์เฟสภายนอกมีปัญหาได้ เพราะเราไม่รู้สถานะที่แน่นอนของ 8255 ก่อนการโปรแกรมโหมดการทำงาน ระบบการเชื่อมต่อของ 8255 กับ Z-80 หรือไมโครโพเซสเซอร์เบอร์อื่นๆ ทั้งระบบแสดงได้ดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 การเชื่อมต่อ 8255 กับ ไมโครโพเซสเซอร์ทั่วไป

4.5 รีจิสเตอร์ภายในของ 8255

เมื่อต่อ 8255 เข้ากับไมโครโพเซสเซอร์ได้แล้ว สิ่งที่ผู้ใช้จะต้องทำคือ การโปรแกรมให้ 8255 ทำงานตามที่ต้องการ จากการที่ 8255 มีพอร์ทที่ไมโครโพเซสเซอร์มองเห็น 4 พอร์ท แต่ละพอร์ทจะเสมือนเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเขียน และอ่านได้ รีจิสเตอร์แต่ละตัวจึงถูกกำหนดด้วยแอดเดรสตามที่ตั้งไว้ เช่น ในกรณีที่เป็นแอดเดรส 10H , 11H , 12H และ 13H รีจิสเตอร์แต่ละตัวจะได้รับการกำหนดควบคู่กับสัญญาณ RD และ WR เพื่อแสดงความหมายตัวอย่างเช่น พอร์ท10H เป็นพอร์ท A ซึ่งเมื่อเขียนที่พอร์ทนี้ จะเป็นการส่งข้อมูลเอาท์พุท และถ้าอ่านพอร์ทนี้ก็จะเป็นการอินพุทข้อมูลจากพอร์ท ดังนั้นสัญญาณของขาควบคุมที่ประกอบกันจะแสดงความหมายต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

RD	WR	A1	A0	ความหมาย
1	0	0	0	เขียนพอร์ท A ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	0	อ่านพอร์ท A ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	0	1	เขียนพอร์ท B ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	1	อ่านพอร์ท B ซึ่งเป็นข้อมูลP
1	0	1	0	เขียนพอร์ท C ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	1	0	อ่านพอร์ท C ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	1	1	เขียนข้อมูล ซึ่งเป็นรหัสความคุม
0	1	1	1	อ่านเข้ามา ซึ่งไม่มีความหมาย

ตารางที่ 4.1 สัญญาณควบคุมการกระทำของ 8255

การใช้งาน 8255 จะต้องส่งรหัสควบคุม (Control Coad) เข้าไปยังพอร์ทข้อมูลควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของ 8255 โดยใช้สัญญาณควบคุมพอร์ทหมายเลข 13H การควบคุมการทำงานของ 8255 มีหลายโหมด แต่ละโหมดจะแตกต่างกันออกไป การโปรแกรมให้ 8255 ทำงานจะทำได้ 3 โหมดคือ โหมด 0 โหมด 1 โหมด 2

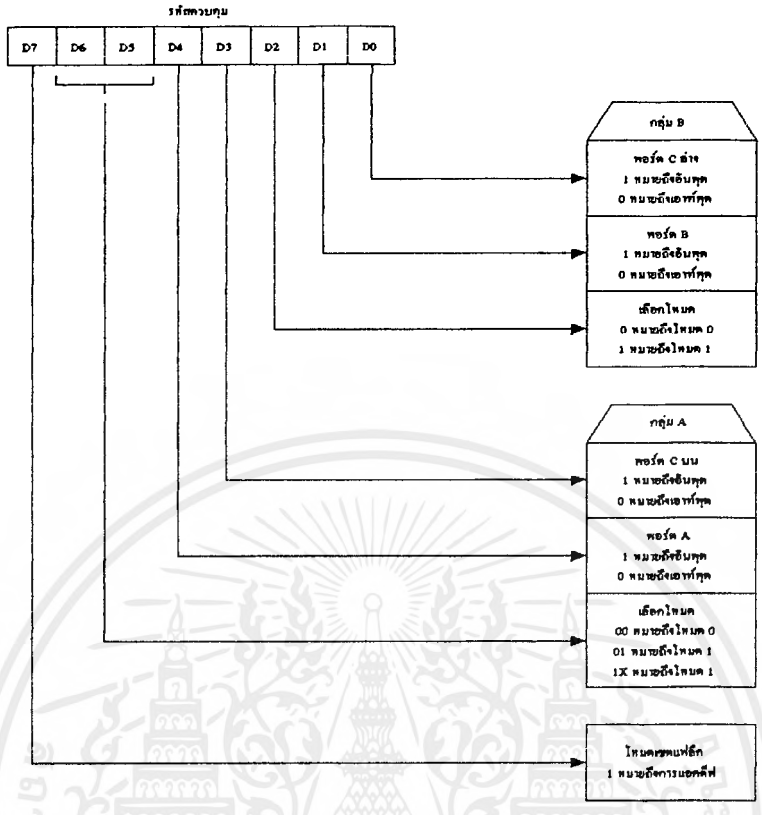
4.6 โหมด 0 หรืออินพุทเอาท์พุทแบบพื้นฐาน

การกำหนดโหมดการทำงาน จะต้องส่งข้อมูลคำสั่งเข้าไปโปรแกรมในพอร์ทควบคุมของ 8255 ซึ่งในที่นี้ใช้พอร์ทหมายเลข 13H (ตามรูปที่ 4.3) แต่ละบิทของข้อมูลที่ส่งไปจะมีความหมายในตัวเอง ลักษณะความหมายของแต่ละบิทในรหัสควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

การโปรแกรม 8255 คือ การให้ค่ารหัสบิทต่างๆ เข้าไปในรหัสการควบคุมแล้วส่งไปยังรีจิสเตอร์ของพอร์ทควบคุม ความหมายของบิทต่าง ๆ มีดังนี้

บิท D_7 เป็นบิทที่แสดงรหัสคำสั่งควบคุม ถ้าบิทนี้เป็น “1” หมายถึงรหัสควบคุมนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเซตโหมดต่าง ๆ ของ 8255

บิท D_6 และ D_5 เป็นการเลือกโหมดของพอร์ท A ซึ่งมี 3 โหมดคือ โหมด 0 โหมด 1 และโหมด 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความหมายของบิทต่างๆ ในรหัสควบคุม

บิท D_4 ถ้ามีค่าเป็น “0” หมายถึงการกำหนดพอร์ท A เป็นเอาท์พุท ถ้ามีค่าเป็น “1” จะหมายถึงการกำหนดให้พอร์ท A เป็นอินพุท

บิท D_3 เป็นบิทที่บอกถึงการเซตของพอร์ท C บน ถ้าเป็น “0” จะทำให้พอร์ท C บนเป็นเอาท์พุท

บิท D_2 เป็นบิทที่บอกถึงภาวะการเซตโหมดของพอร์ท B ถ้าเป็น “0” หมายถึงการเลือกพอร์ท B เป็นโหมด 0 และถ้าเป็น “1” หมายถึงการเลือกโหมด 1

บิท D_1 เป็นการกำหนดอินพุทเอาท์พุทของพอร์ท B ถ้าเป็น “0” หมายถึงเอาท์พุท ถ้าเป็น “1” หมายถึงอินพุท

บิท D_0 เป็นการกำหนดอินพุทเอาท์พุทของพอร์ท C ล่าง ถ้าเป็น “0” หมายถึงเอาท์พุท ถ้าเป็น “1” หมายถึงอินพุท

4.7 การทำงานในโหมด 0

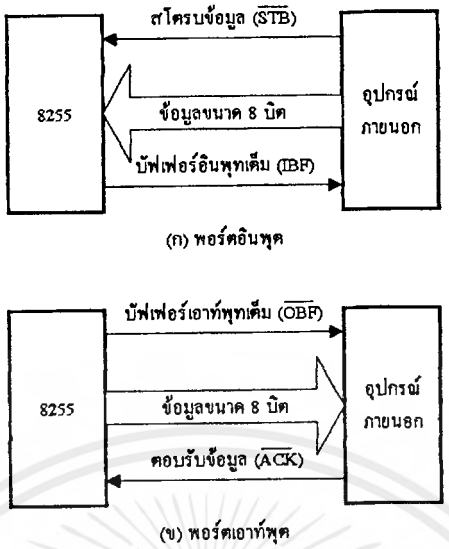
โหมด 0 เป็นโหมดที่กำหนดให้พอร์ททุกพอร์ทบนตัว 8255 เป็นพอร์ทอินพุทเอาท์พุทแบบพื้นฐาน รูปแบบความเป็นไปได้จึงมีทั้งสิ้น 16 รูปแบบตามลักษณะของพอร์ท A พอร์ท B พอร์ท C บนและพอร์ท C ล่าง ลักษณะของรหัสควรคุมแต่ละแบบจึงเป็นดังตาราง 4.2

รหัสควบคุม	D_7.....D_0	PORT A	PORT B	PORT C (PC_7-PC_4)	PORT C (PC_3-PC_0)
0	10000000	OUT	OUT	OUT	OUT
1	10000001	OUT	OUT	OUT	IN
2	10000010	OUT	IN	OUT	OUT
3	10000011	OUT	IN	OUT	IN
4	10001000	OUT	OUT	IN	OUT
5	10001001	OUT	OUT	IN	IN
6	10001010	OUT	IN	IN	OUT
7	10001011	OUT	IN	IN	IN
8	10010000	IN	OUT	OUT	OUT
9	10010001	IN	OUT	OUT	IN
10	10010010	IN	IN	OUT	OUT
11	10010011	IN	IN	OUT	IN
12	10011000	IN	OUT	IN	OUT
13	10011001	IN	OUT	IN	IN
14	10011010	IN	IN	IN	OUT
15	10011011	IN	IN	IN	IN

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่างๆในโหมด 0

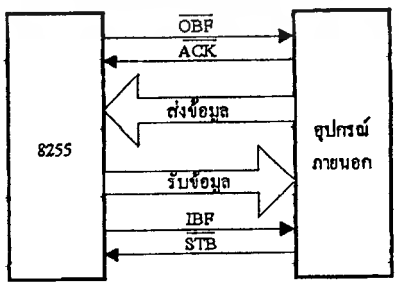
4.8 การทำงานของ 8255 ในโหมด 1

การทำงานของ 8255 ในโหมด 1 เป็นโหมดที่ทำให้อินพุทเอาท์พุทมีการตรวจสอบสัญญาณ (handshaking) โดยใช้อินพุทเอาท์พุทของพอร์ท A และพอร์ท B เป็นหลัก และใช้พอร์ท C บนเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณ (handshake) ของพอร์ท A ส่วนพอร์ท C ล่าง เป็นตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ท B การจัดสัญญาณต่าง ๆ เหล่านี้แสดงได้ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ทอินพุทและพอร์ทเอาท์พุท

แนวความคิดการใช้พอร์ทอินพุทเอาท์พุทโดยมีตัวตรวจสอบสัญญาณก็เพื่อให้มีการซิงโครไนซ์ระหว่างอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานได้ช้ากว่าการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ทำงานได้เร็ว เช่น เครื่องพิมพ์ทำงานได้ช้า เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งตัวอักษรตัวแรกมาพิมพ์เครื่องพิมพ์รับตัวอักษรและกำลังจะพิมพ์ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งตัวอักษรตัวที่ 2 ตัวที่ 3 ตามมา ทำให้การประมวลผลของอุปกรณ์เครื่องพิมพ์ทำงานไม่ทัน ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลสูญหาย ดังนั้นเครื่องพิมพ์จึงส่งสัญญาณบอกคอมพิวเตอร์ได้ "อย่าเพิ่งส่งมาเพราะยังไม่พร้อมที่จะรับ" ลักษณะของการรับส่งข้อมูลอินพุทเอาท์พุทแบบมีตัวตรวจสอบสัญญาณดังรูปที่ 4.7 นั้นจะใช้ PA_0-PA_7 เป็นเอาท์พุท และ PB_0-PB_7 เป็นอินพุทโดยพอร์ท C เป็นตัวตรวจสอบสัญญาณดังแผนผังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1

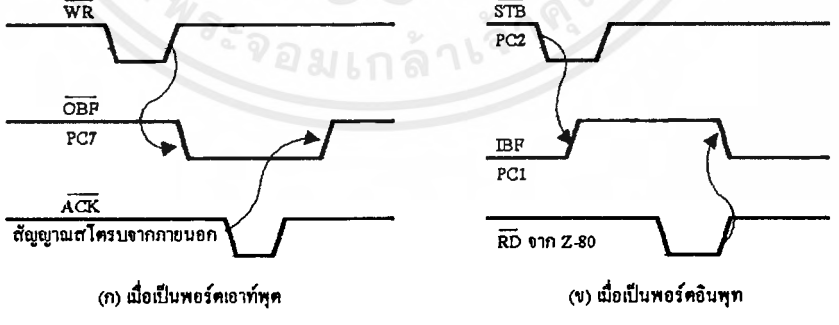
เมื่อโปรแกรม 8255 เป็นโหมด 1 แล้ว ตัว 8255 จะให้พอร์ท C เป็นสัญญาณควบคุม โดยแต่ละบิทของพอร์ท C เป็นไปตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.3

ขา	กรณีอินพุท	กรณีเอาท์พุท
PC_0	$INTR_B$	$INTR_B$
PC_1	IBF_B	OBF_B
PC_2	STB_B	ACK_B
PC_3	$INTR_A$	$INTR_A$
PC_4	STB_A	I/O
PC_5	IBF_A	I/O
PC_6	I/O	ACK_A
PC_7	I/O	OBF_A

ตารางที่ 4.3 หน้าที่ของสัญญาณต่าง ๆ ของพอร์ท C ในการทำงานเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณเมื่อ 8255 ทำงานในโหมด 1

โดยปกติ 8255 จะให้สัญญาณอินเตอร์รัพต์ไปบอกซีพียูด้วย สัญญาณอินเตอร์รัพต์ของ 8255 จะเกิดขึ้นที่ PC_0 และ PC_3 โดยที่เมื่อที่บัฟเฟอร์พร้อมแล้วและต้องการให้ซีพียูส่งอินพุทหรือเอาท์พุทมาที่บัฟเฟอร์ สัญญาณอินเตอร์รัพต์ก็จะเกิดขึ้น

โครงสร้างการตรวจสอบสัญญาณของ 8255 แสดงด้วยสัญญาณไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนผังเวลาการรับและส่งข้อมูลโดยใช้ตัวตรวจสอบสัญญาณ

สังเกตว่า การทำงานของ 8255 จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณ RD และ WR ซึ่งจะทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไป การตรวจสอบสัญญาณซึ่งกันและกันนี้ เป็นวิธีการรับส่งที่มี

ประสิทธิภาพ เช่น ในกรณีอินพุท เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต้องการส่งข้อมูลให้ซีพียู ก็จะส่งข้อมูลแบบขนานเข้ามาพร้อมทั้งสโตบ (STB) บอก 8255 ซึ่ง 8255 จะนำข้อมูลนั้นไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ภายนอกก่อนแล้วส่งสัญญาณตอบบอกว่า "บัฟเฟอร์ยังเต็มอยู่ (IBF) อย่าเพิ่งส่งมาอีก" ครั้นเมื่อซีพียูอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปแล้วส่วนของสัญญาณบัฟเฟอร์อินพุท (IBF) ก็จะบอกว่า "ว่างแล้วส่งมาได้" อุปกรณ์ภายนอกก็จะส่งข้อมูลมาให้อีก

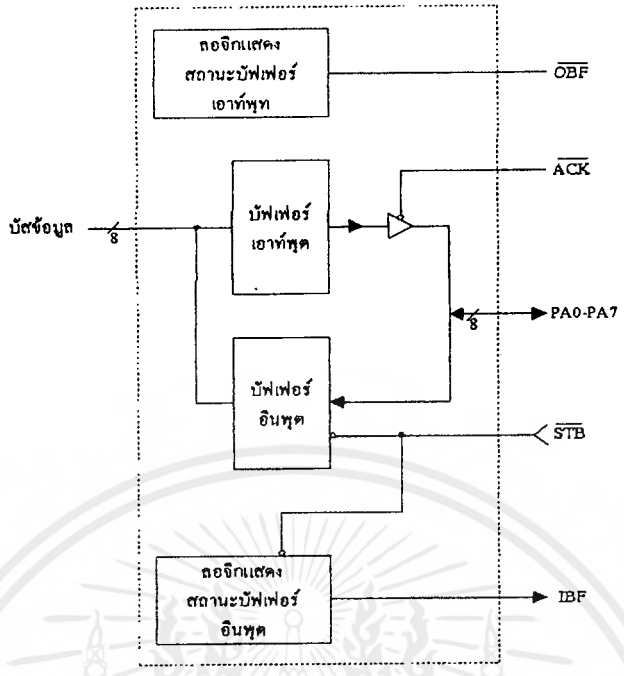
ทำนองเดียวกัน สำหรับพอร์ทเอาท์พุท เมื่อซีพียูส่งข้อมูลออกทางพอร์ทเอาท์พุทให้กับ 8255 ตัว 8255 ก็จะรับไว้ในรีจิสเตอร์ภายใน พร้อมทั้งส่งสัญญาณออกไปบอกอุปกรณ์ภายนอกว่า "เอาท์พุทบัฟเฟอร์ของฉันมีข้อมูลอยู่ (OBF) ให้มาอ่านไป" อุปกรณ์ภายนอกเมื่อทราบและพร้อมอ่านก็จะส่งสัญญาณตอบรับ (ACK) พร้อมกับอ่านข้อมูลไป โดยสัญญาณ (ACK) จะมีความหมายว่า "ฉันอ่านข้อมูลไปแล้ว" ตัว 8255 ก็จะตอบกลับมาว่า "บัฟเฟอร์ฉันว่างแล้วให้อุปกรณ์ภายนอกรอก่อน จะมีข้อมูลใหม่ส่งมาให้อีก"

4.9 การทำงานของ 8255 ในโหมด 2

8255 ยังมีโหมดการทำงานอีกโหมดหนึ่งคือ โหมด 2 ซึ่งทำได้เฉพาะพอร์ท A ในโหมดนี้ 8255 จะใช้พอร์ท A ทำหน้าที่เป็นพอร์ทแบบ 2 ทิศทางคือ สามารถเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุทและพอร์ทเอาท์พุท โดยโครงสร้างของพอร์ท A ทั้งอินพุทเอาท์พุทมีตัวตรวจสอบสัญญาณทั้งคู่ ส่วนพอร์ท C จะทำหน้าที่เป็นสัญญาณตรวจสอบ โดยมีสัญญาณแต่ละขาดังตารางที่ 4.4

พอร์ท C	ความหมาย
PC_0	I/O
PC_1	I/O
PC_2	I/O
PC_3	$INTR_A$
PC_4	STB_A
PC_5	IBF_A
PC_6	ACK_A
PC_7	OBF_A

ตารางที่ 4.4 หน้าที่ของพอร์ท C ในโหมดที่ 2



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของพอร์ท C ที่ทำงานแบบพอร์ท 2 ทิศทาง

สังเกตว่าเมื่อโปรแกรมพอร์ท A เป็นโหมด 2 แล้ว พอร์ท B จะต้องโปรแกรมเป็นโหมด 0 หรือ โหมด 1 ก็ได้ ซึ่งก็ทำงานแบบแยกอิสระอีก ในการใช้งานแบบ 2 ทิศทางนี้ใช้ได้กับงานบางประเภท เช่น ใช้ในการรับส่งข้อมูลของพอร์ทมาตราฐานบางประเภท เช่น IEEE 488 หรือ ใช้เชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ในการรับส่งข้อมูลสลับกัน ไปและกลับ

บทที่ 5
แนะนำโปรแกรมเดลไฟ

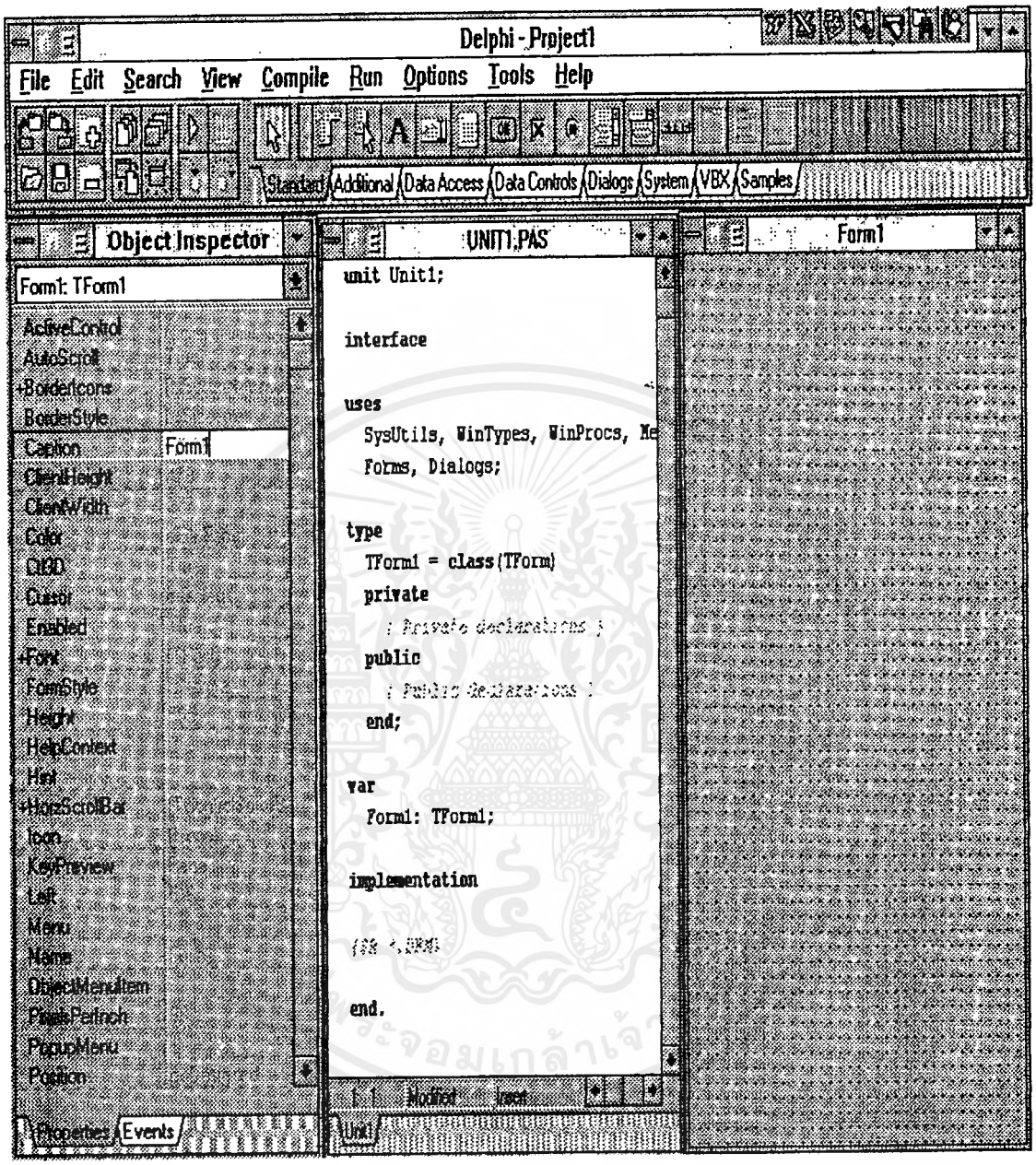
โปรแกรมเดลไฟคือ Borland Delphi for Windows เป็นได้ทั้งคอมพายเลอร์ภาษาปาสคาลเอดิเตอร์ และ จะประกอบด้วยยูทิตี้ต่างๆเพื่อเป็นการโปรแกรมกับวินโดวส์ด้วยวิชวลคือการกำหนดคอมโปเนนต์แล้วเสริมด้วยโปรแกรมปาสคาล ในความต้องการของฮาร์ดแวร์ในโปรแกรมเดลไฟนั้นมีดังนี้

- ซีพียู ควรเป็น 486 DX -66 ขึ้นไป
- หน่วยความจำหลัก ควรเป็น 8 เมกะไบต์ขึ้นไป
- เนื้อที่ว่างในฮาร์ดดิสค์ อย่างน้อย 80 เมกะไบต์ขึ้นไป

หากใช้ ซีพียู ที่มีความเร็วต่ำกว่า 486 DX -66 เมื่อดำเนินการใดแล้วจะต้องคอย เพราะไม่ได้แสดงเคอร์เซอร์เป็นรูปนาฬิกาทรายไว้

เมื่อเปิดใช้เดลไฟจะปรากฏภาพบนจอซึ่งจะประกอบด้วยหน้า 4 บานคือ

1. หน้าต่างหลักอยู่บนสุดจะประกอบด้วย
   - ไตเติ้ลบาร์และเมนูบาร์
   - สปีดบาร์ (Speed bar) ได้เมนูบาร์ตั้งแต่ File ถึง View คือสปีดบาร์ มีปุ่มต่างๆแทนรายการในเมนู
   - กล่องอุปกรณ์ (Component palette) อยู่ใต้เมนูบาร์ทางด้านขวาตั้งแต่รายการ Compile เป็นต้นไปคือกล่องอุปกรณ์ แบ่งออกเป็นหลายชั้นหรือหลายหน้าตามที่ได้ทำที่ขั้นหน้าไว้เป็น Standard ถึง Sample ซึ่งเมื่อเลือกที่ขั้นหน้าใดจะแสดงอุปกรณ์คือคอมโปเนนต์ของหน้านั้นให้เลือกต่อ
2. หน้าต่าง Object Inspector อยู่ทางด้านซ้าย แบ่งออกเป็น 2 หน้าคือ Properties เพื่อให้ค่าพรอพเพอร์ตี้ และ Events เพื่อเลือกเหตุในการป้อนโปรแกรม
3. แบบฟอร์มหรือฟอร์ม คือหน้าต่าง Form1 ในรูปที่ 2 เพื่อการกำหนดคอมโปเนนต์
4. หน้าต่างเอดิเตอร์ คือหน้าต่าง Unit1.PAS เพื่อการป้อนโปรแกรม



รูปที่ 5.1 หน้าต่างของโปรแกรม Delphi

การโปรแกรมจะแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ 1.การเตรียมโปรแกรม และ2.การรันทดสอบ

1.การเตรียมโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1.1 กำหนดคอมโปเนนต์

- โดยเลือกแล้วกำหนดตำแหน่งและขนาดในฟอร์ม
- จะได้เป็นออปเจ็กต์ มีชื่อตามชื่อคอมโปเนนต์ต่อท้ายด้วยเลข

1.2 ให้ค่าพรอพเพอร์ตี้ส์ในหน้า Properties โดยคลิ๊กเม้าส์ ณ หัวข้อ คือค่าพรอพเพอร์ตี้ส์ที่ต้องการแล้วให้ค่า

1.3 ป้อนโปรแกรม โดยดับเบิ้ลคลิ๊กเมาส์ ณ อีเว้นต์ที่ต้องการในหน้า Events จะแสดงโครงโปรแกรมให้ป้อนโปรแกรม

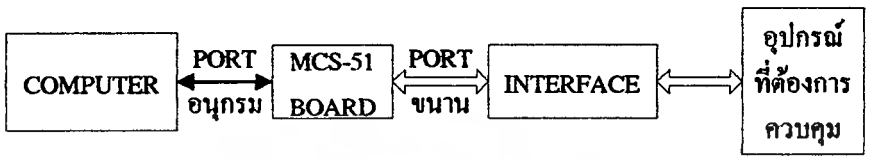
2. การรันทดสอบ สามารถที่จะรันโปรแกรมเพื่อการทดสอบ หรืออาจถือว่าเป็นการทดลองรันได้ทุกขณะที่ต้องการโดยการเลือกรายการ Run/Run หรือเลือกปุ่มรันที่สปีดบาร์

ที่สปีดบาร์หรือที่กล่องอุปกรณ์ เมื่อเลื่อนเคอร์เซอร์ของเมาท์ไปทาบ จะแสดงชื่อของสิ่งนั้นๆ ยุติการรันได้โดยปิดหน้าต่างตามปกติซึ่งเมื่อจะเตรียมโปรแกรมต่อให้ยุติการรัน

โปรแกรมเดลไฟยังมีเนื้อหาอีกมากมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้โปรแกรม แต่ในบทนี้ผู้จัดทำต้องการเพียงจะบอกว่าโปรแกรมเดลไฟคืออะไร หน้าตาเป็นอย่างไร ส่วนเรื่องของการเขียนโปรแกรมนั้น คงจะต้องศึกษาค้นคว้า หาตำราอ่านเพิ่มเติมเอาเอง

บทที่ 6
การทำงานในส่วนต่างๆ ของระบบ

6.1 การทำงานของระบบ



รูป 6.1 การทำงานของระบบ

ในการควบคุมอุปกรณ์ Hard ware เมื่อเรา Click mouse บนหน้าจอของคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลที่ เป็นรหัสที่ตั้งไว้ออกทางพอร์ทอนุกรม ไปยังคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำการตรวจสอบรหัสที่ตั้งไว้บน MCS-51 ว่าตรงกับรหัสของตัวเองหรือไม่ ถ้าตรงก็ให้ไปทำงานตามคำสั่งที่ตั้งไว้ เช่น ไปเพิ่มเสียง BASS ถ้ารหัสไม่ตรงกับรหัสที่ตั้งไว้ก็ให้กลับไปเก็บค่าจาก Display ใหม่

ในการอ่านค่าจาก Display ไปยังคอมพิวเตอร์ ตัว MSC-51 จะทำการเก็บค่าจากพอร์ทของ 8255 ไว้ที่ memory เสมอ (เมื่อไม่มีการส่งค่าจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุม Hard ware) เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการอ่านค่ากลับมายังตัวมันจะต้องส่งรหัสในหารับค่ามายัง MCS-51 เพื่อบอกให้ส่งค่าที่เตรียมไว้ใน memory ออกมาทางสายอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบรหัสและข้อมูลที่ส่งมาว่าเป็นรหัสและข้อมูลของอะไรและไปทำงานแสดงผลที่ต้องการได้ การทำงานของระบบจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหยุดใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานบนคอมพิวเตอร์

เมื่อไม่มีการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน (มีแต่ Hard ware) การใช้จะเหมือนกับอุปกรณ์เครื่องเสียงธรรมดา

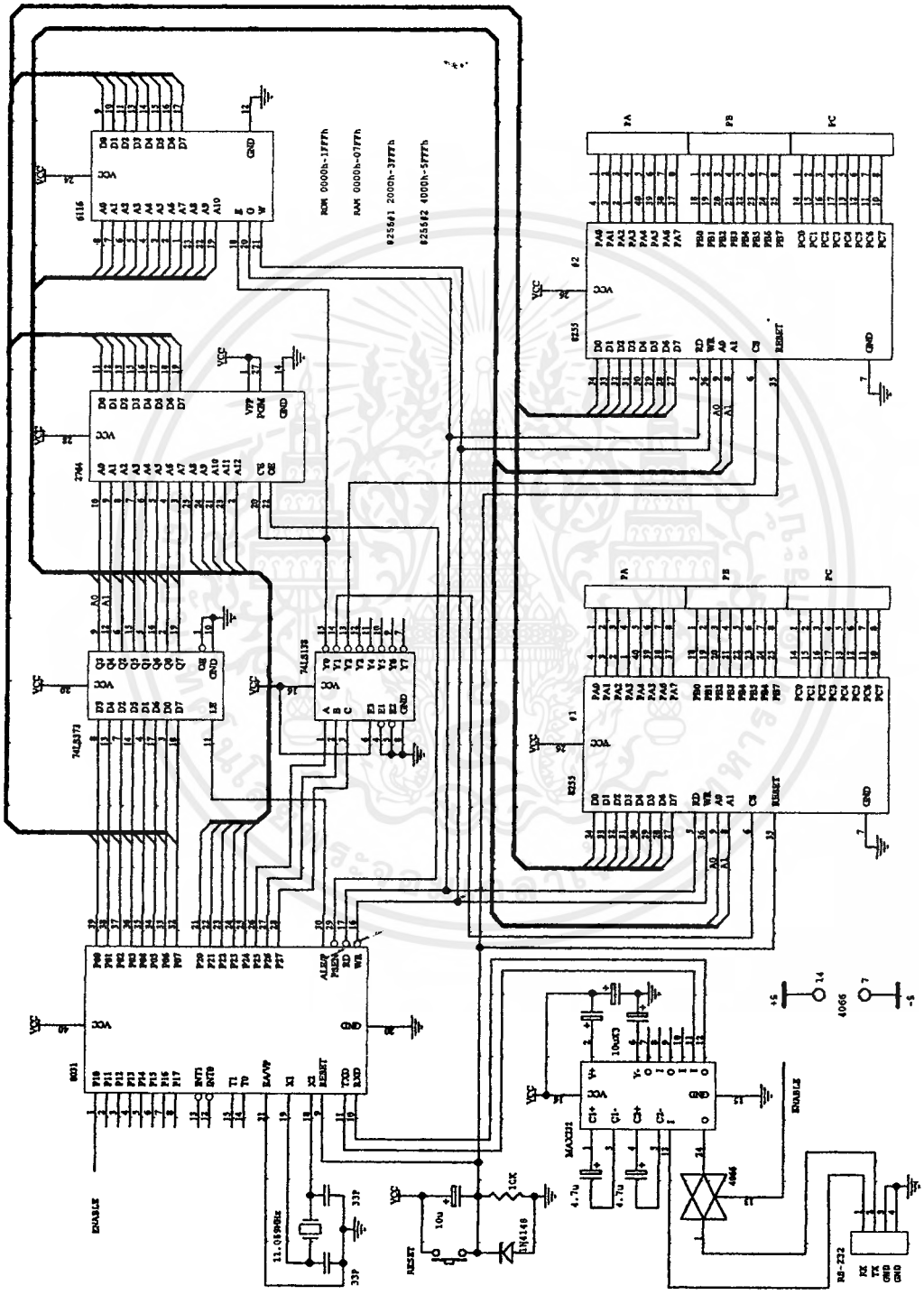
6.2 การทำงานของ HARD WARE

6.2.1 การทำงานของคอนโทรลเลอร์

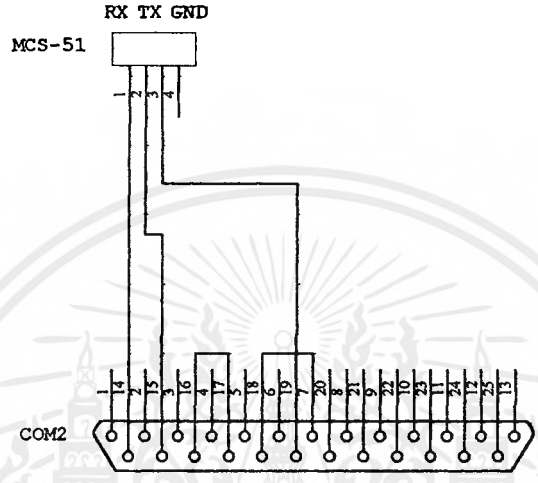
ตัวการใหญ่ที่ทำให้เกิดคอนโทรลเลอร์ คือ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง ในที่นี้จะใช้ IC ตระกูล MCS-51 โดยใช้เบอร์ 8031 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบที่ต้องการหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจาก ROM ซึ่งจะมีอุปกรณ์ต่อช่วยภายนอก ที่จะสามารถเรียกโปรแกรมภายนอกมา วิเคราะห์ทำงานตามความต้องการของผู้โปรแกรม โดยอุปกรณ์ภายนอกที่ใช้ต่อร่วมต้องใช้ตัว แลตช์ แอดเดรส 8 bit คือ IC 74LS373 ตัวแปลงรหัสตามแอสเดรส คือ IC 74LS138 และตัวเก็บข้อมูลโปรแกรมถาวร คือตัว EPROM 2764 ขนาดความจุ 8 กิโลไบท์ และมีตัวเก็บข้อมูลชั่วคราว คือ RAM 6116 ขนาด 2 กิโลไบท์ ซึ่งถ้าไม่จำเป็นก็ไม่ต้องใช้ก็ได้ ส่วนการติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ นั้น จะมี IC 8255 เป็นตัวช่วยขยายการติดต่อ ใน IC 8255 1 ตัวจะสามารถ ขยายได้ 3 พอร์ตถ้าต้องการใช่เพิ่มมากขึ้นก็สามารถต่อเพิ่มได้ โดยใช้ IC 74LS138 เป็นตัวกำหนดช่วงการทำงาน

ในการที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยคือ IC MAX-232 จะใช้เป็นบัฟเฟอร์รับส่งข้อมูลผ่านจากคอมพิวเตอร์สู่ MCS-51 และจาก MCS-51 สู่คอมพิวเตอร์ เมื่อมีการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ ก็จะไม่เกิดปัญหาอะไร แต่ถ้าเป็นการติดต่อระหว่าง MCS-51 หลายๆ ตัว กับ คอมพิวเตอร์ตัวเดียว ในเวลาเดียวกัน ขาส่งจาก IC MAX-232 จะเกิดปัญหา จะต้องมีวงจรตัดต่อการทำงานให้เข้าจังหวะ ซึ่งกันและกัน ของ MCS-51 ทั้งหลาย ถ้าไม่ทำเช่นนี้ข้อมูลจะผิดพลาดได้

เมื่อเริ่มจากการจ่ายไฟเข้าเครื่อง MCS-51 วงจรรีเซตอัตโนมัติจะทำงานโดยเครียล์ค่าต่าง ๆ เพื่อเริ่มต้น วงจรจะทำงานเมื่อวงจรหยุดการรีเซต MCS-51 ก็เริ่มทำงาน MCS-51 จะทำการเรียกข้อมูลโปรแกรมภายนอกจาก EPROM ตั้งแต่แอดเดรส 0000H มาทำการวิเคราะห์ และทำงานตามโปรแกรมที่มีอยู่ใน EPROM ต่อไป วงจรคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 คอนโทรลเลอร์บอร์ด



รูปที่ 6.3 แสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อขาจาก RS-232 ผ่านพอร์ตคอม 2

ขา 2 ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

ขา 3 รับข้อมูลเข้ามาให้คอมพิวเตอร์

ขา 4 Request To Send สายสำหรับตรวจสอบแฮนด์เช็ค

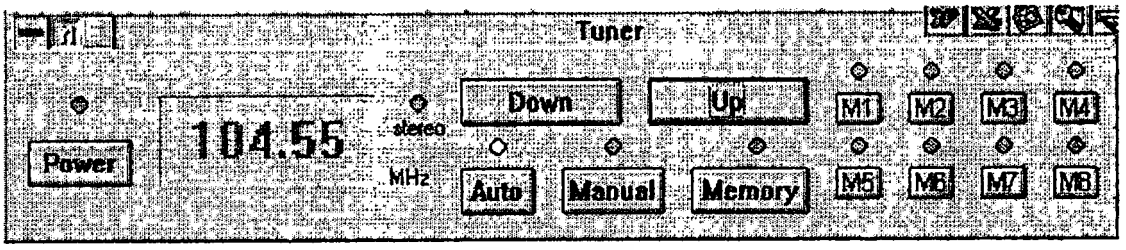
ขา 5 Clear To Send สายสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์เช็ค

ขา 6 Data Set Ready สายสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์เช็ค

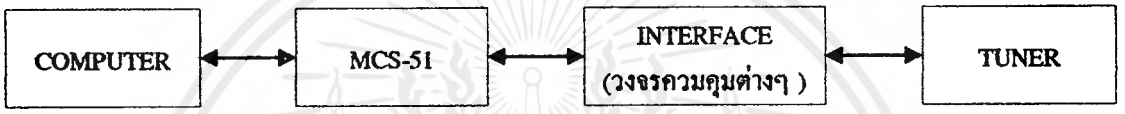
ขา 7 ระดับอ้างอิงของสัญญาณข้อมูล

ขา 20 Data Terminal Ready สายสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์เช็ค

6.2.2 การทำงานของภาครับวิทยุ FM STEREO



รูปที่ 6.4 แสดงหน้าปัทม์ภาครับวิทยุ FM STEREO บนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 6.5 แสดงบล๊อกไดอะแกรมการควบคุมภาครับวิทยุ FM STEREO

วงจรโดยส่วนรวมเป็นการส่งผ่านข้อมูลระหว่าง Controller Board กับ การควบคุมภาครับวิทยุ FM STEREO ในส่วนของ Controller Board จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ทางพอร์ทอนุกรม RS-232 มีการใช้งาน 3 เส้น คือ RX, TX, GND ส่วนของการควบคุมภาครับวิทยุ FM STEREO จะติดต่อกับวงจรภาครับวิทยุ FM STEREO อย่างเดียว ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปนี้

ในหลักการเบื้องต้นเราต้องการ ภาครับวิทยุ FM STEREO ที่มีการแสดงผลความถี่ของคลื่นวิทยุ เป็นแบบตัวเลข Digital (7-Segment) และการควบคุมฟังก์ชั่นการทำงานของภาครับวิทยุ FM STEREO โดยวิธีการกดปุ่มทั้งระบบ ในหลักการเช่นนี้เราก็จะได้ทุกอย่างเป็นระบบ Digital ทั้งหมด โดยการนำค่าลอจิก "0" และลอจิก "1" มาใช้ในการออกแบบ เพราะสะดวกและเป็นไปตามที่เราต้องการ

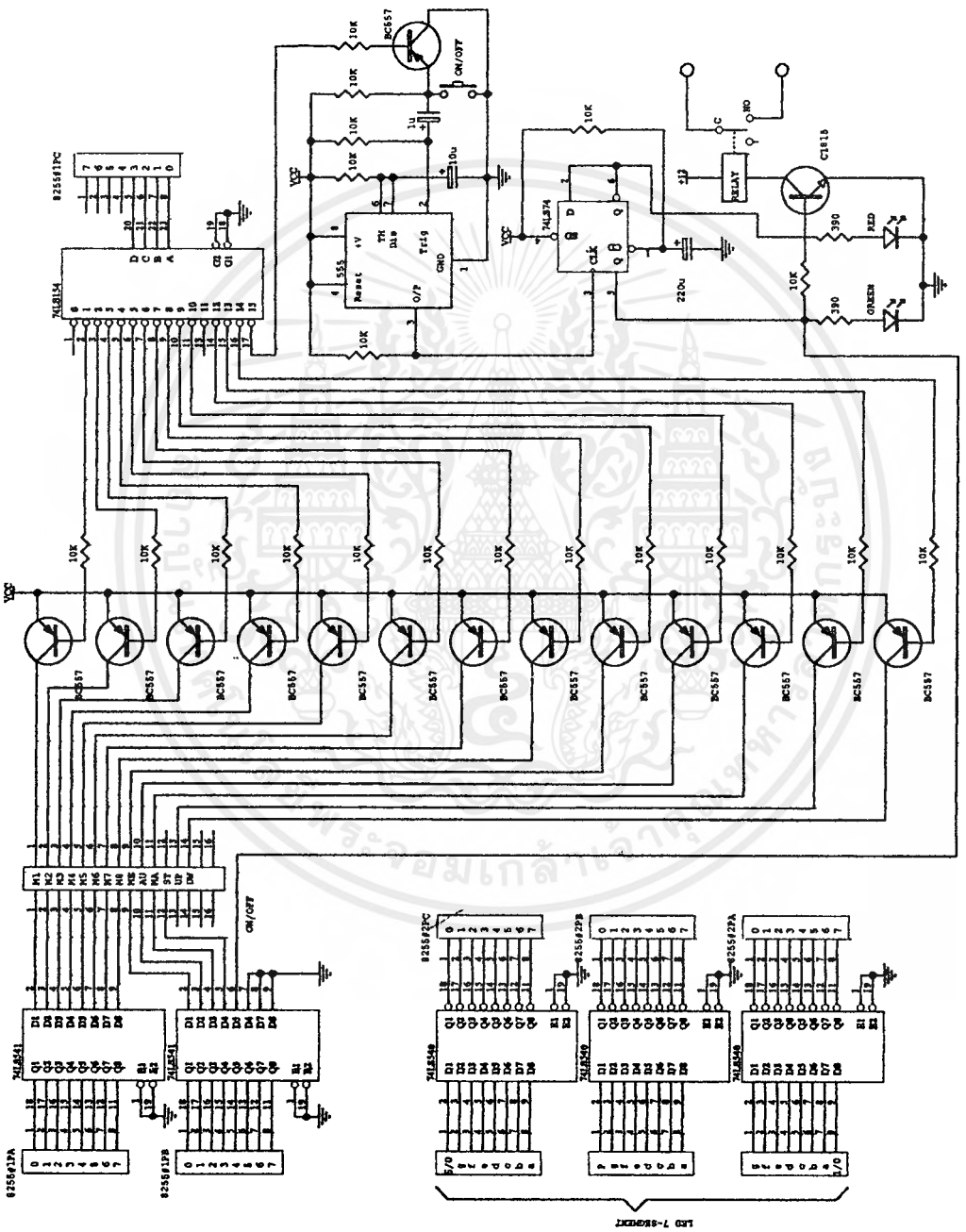
ในขั้นตอนแรกเราต้องการทราบว่า การแสดงผลบนจอหน้าปัทม์ของ FM STEREO เป็นอย่างไร สวิทช์ควบคุมเป็นอย่างไร ในที่นี้เราได้เลือกการพิจารณาตามรูปที่ 6.8 เป็นรูป ภาครับวิทยุ FM STEREO เราแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ตอน ในการทำงานของการควบคุมภาครับวิทยุ FM STEREO คือ การแสดงผลของ LED ทุกตัว และการควบคุมของสวิทช์ ฟังก์ชั่นการทำงาน ต่าง ๆ

ในส่วนของการแสดงผลนั้นเราออกแบบอย่างง่าย ๆ คือ ลอจิกการควบคุมของ LED ทุกตัว เรานำมาใช้แสดงผลหมดเลย คือมี LED ของ 7-Segment ทั้งหมด 24 เส้น และ LED ของสวิทช์ต่าง ๆ ทั้งหมด 13 เส้น การเก็บลอจิกของ LED ของ 7-Segment นั้น เราจะต่อกับ Not

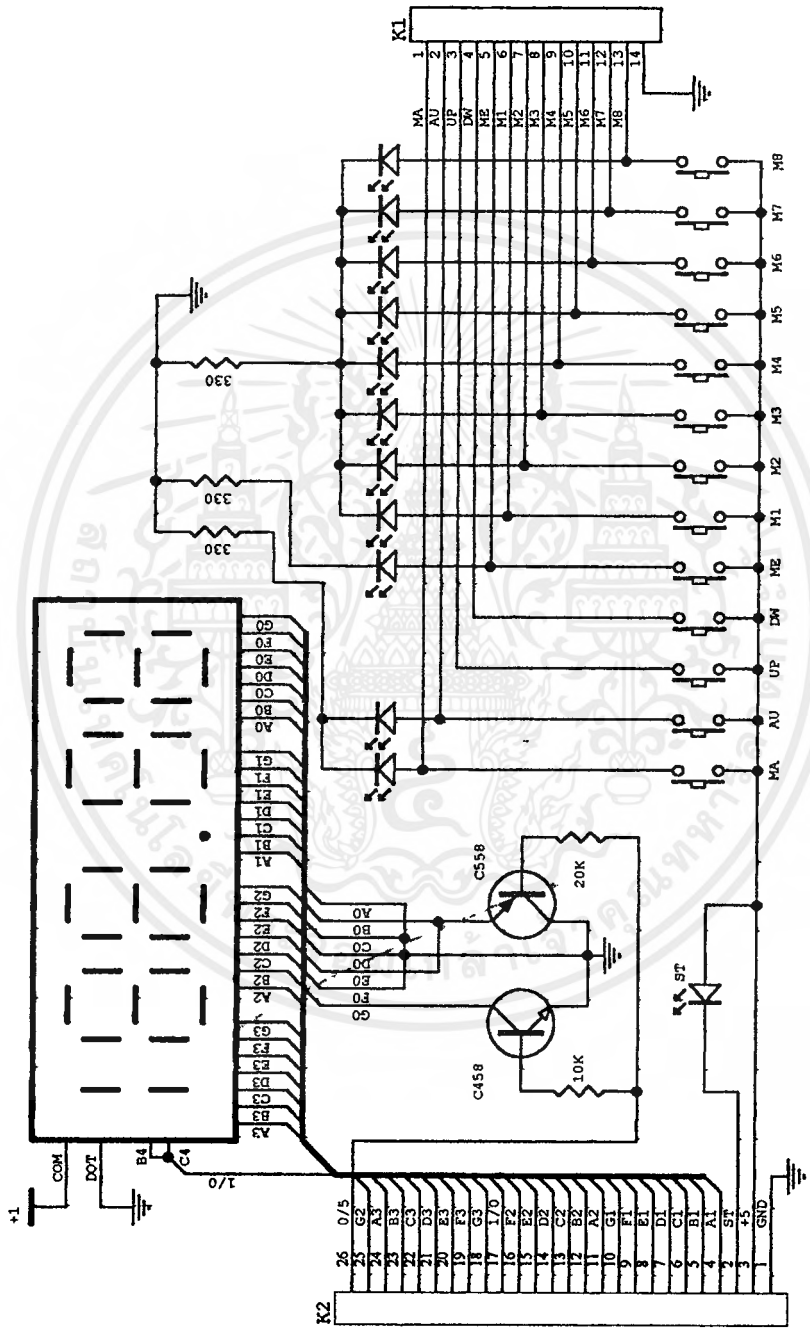
Gate 24 ตัว เพื่อแปลงลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" แปลงลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" เหตุผลก็คือ ในตัวของภาครับวิทยุ FM STEREO เมื่อ LED ของ 7-Segment ตัวหนึ่งตัวใดติดสว่าง ลอจิกจะเป็น "0" จึงต้องทำการต่อ Not Gate เพื่อความเข้าใจง่าย และไม่สับสน IC Not Gate ที่ใช้จะเป็น Not Gate Buffer 8 ตัว ใน IC ตัวเดียว เบอร์ 74LS540 เลยต้องใช้ IC จำนวน 3 ตัว เอาท์พุททั้งหมดที่ได้ก็จะนำไปต่อกับ IC 8255 ตัวที่ 2 ในวงจร Controller Board

การเก็บลอจิกของ LED ของสวิทช์ต่าง ๆ จะมีจำนวน 13 เส้น นำไปต่อ Buffer 13 ตัว ใช้ IC เบอร์ 74LS541 เป็น Buffer 8 ตัว ใน IC ตัวเดียว จึงต้องใช้ IC จำนวน 2 ตัว เอาท์พุททั้งหมดที่ได้จะนำไปต่อกับ IC 8255 ตัวที่ 1 เพียง 2 พอร์ท คือ พอร์ท A, B ในส่วนของพอร์ท C จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ O/P 4 เส้น I/P 4 เส้น นำส่วนที่เป็น O/P 4 เส้น มาต่อกับ IC 74LS154 เป็น IC ดีโค้ด 4 ออก16 แต่เราจะใช้งาน O/P ของ IC ตั้งแต่ Y1-Y10 นำ Y12-Y14 มาขับทรานซิสเตอร์ PNP เบอร์ BC557 จำนวน 13 ตัว เพื่อผ่าน VCC นำไปใช้งาน ที่ทำเช่นนี้ก็เพราะ ที่ตัวภาครับวิทยุ FM STEREO นั้น เมื่อลอจิก "1" มา จะทำงานเป็นลักษณะสวิทช์ และของทุก ๆ ฟังก์ชั่น จะเป็นแบบนี้ตลอด ส่วน Y15 เราจะนำไปควบคุม Power ให้ ON/OFF Y11 จะไม่นำมาใช้

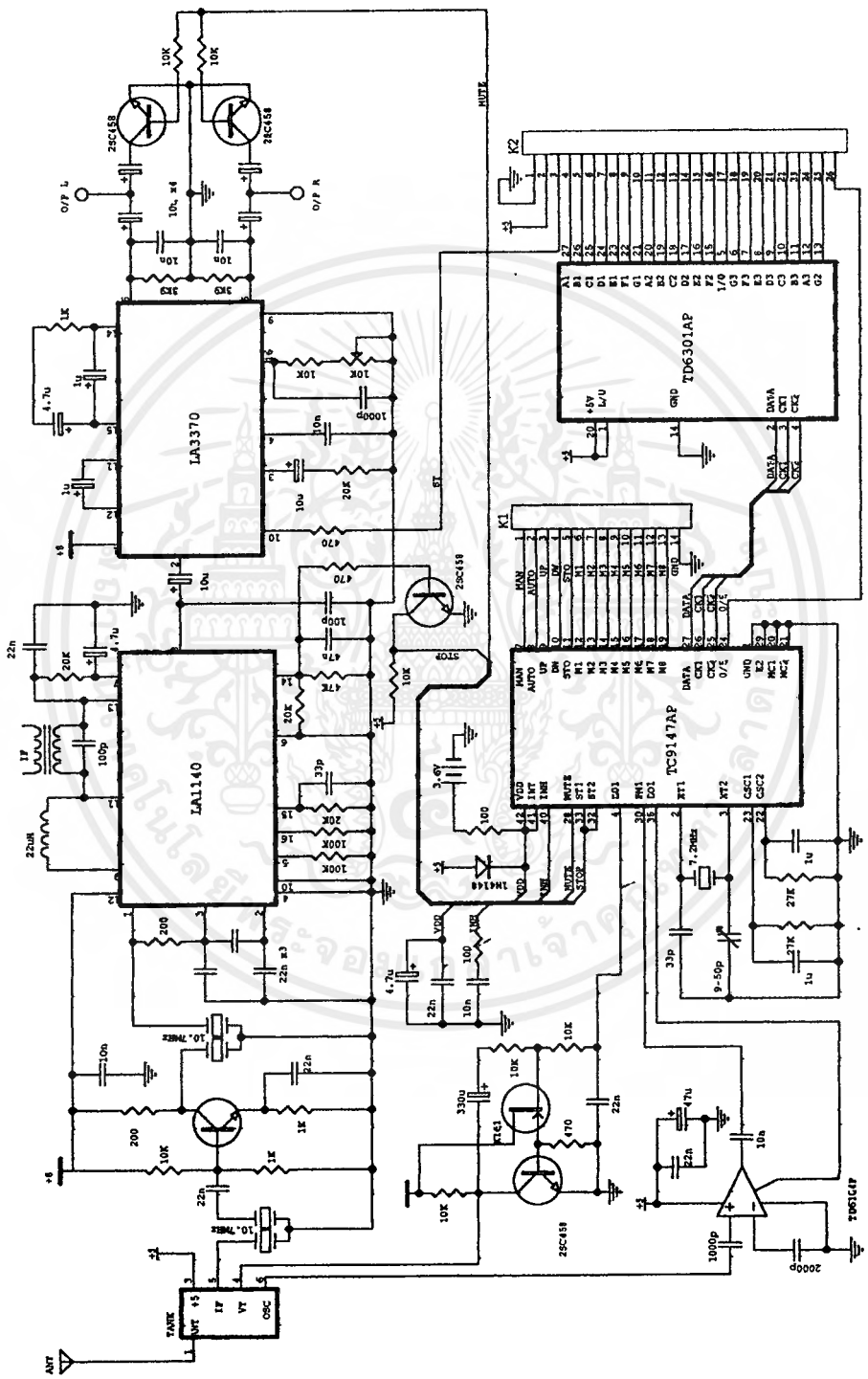
วงจร Power ON จะสามารถควบคุมจากหน้าปัทม์เครื่องของ ภาครับวิทยุ FM STEREO และจากสัญญาณขา Y15 ของ IC เบอร์ 74LS154 โดยใช้ IC Timer เบอร์ 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเตอร์ เพื่อป้องกันการเกิดการกระตุ้นหลาย ๆ ครั้ง จากการกดสวิทช์ที่หน้าปัทม์ของ ภาครับวิทยุ FM STEREO ส่วนสัญญาณทริกจาก Y15 จาก IC 74LS154 นำมาไบอัสทรานซิสเตอร์ PNP เบอร์ BC557 เมื่อ Y15 เป็นลอจิก "1" ทรานซิสเตอร์ก็จะไม่นำ แต่เมื่อ Y15 เป็นลอจิก "0" ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส ปรากฏลอจิก "0" ที่ขา C ของ TR. ทริกเกอร์ให้วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเตอร์ เริ่มทำการหน่วงเวลา T = 1.1 RC ที่ต่อกับขา 6,7 ของ IC Timer เบอร์ 555 เอาท์พุท ออกขา 3 จะไปเป็นสัญญาณกระตุ้นให้ IC ที่ทำหน้าที่คล้าย T-FlipFlop นำเอาท์พุท Q มาไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ขับรีเลย์ 12 โวลท์ โดยมีรีซิสเตอร์กำหนดกระแสที่พอใช้งาน โดยใช้ขา B ของทรานซิสเตอร์ ตัวรีเลย์หน้าสัมผัสจะนำไปเป็นสวิทช์ผ่านไฟ AC ของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นไฟเลี้ยงวงจรภาครับวิทยุ FM STEREO โดยมี LED แสดงสภาวะให้เห็นว่า เมื่อ LED สีแดงติดสว่าง วงจรภาครับวิทยุ FM STEREO จะไม่ทำงาน แต่ LED สีเขียวติดสว่าง วงจรภาครับวิทยุ FM STEREO จะทำงาน



รูปที่ 6.6 วงจรควบคุม Tuner

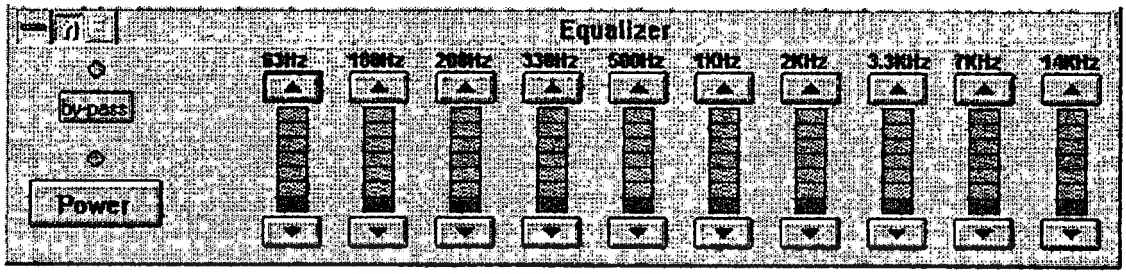


รูปที่ 6.7 วงจรแสดงผลบนหน้าปัทม์และวงจรการควบคุม TUNER

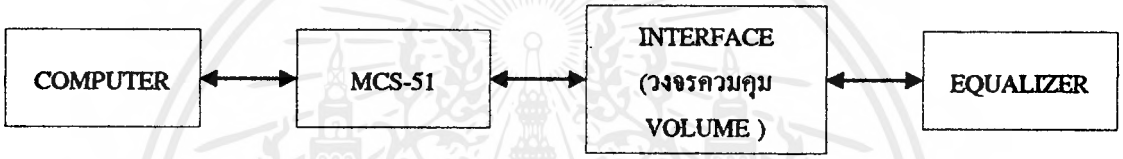


รูปที่ 6.8 วงจรเครื่องรับวิทยุ Fm

6.2.3 การทำงาน EQUALIZER

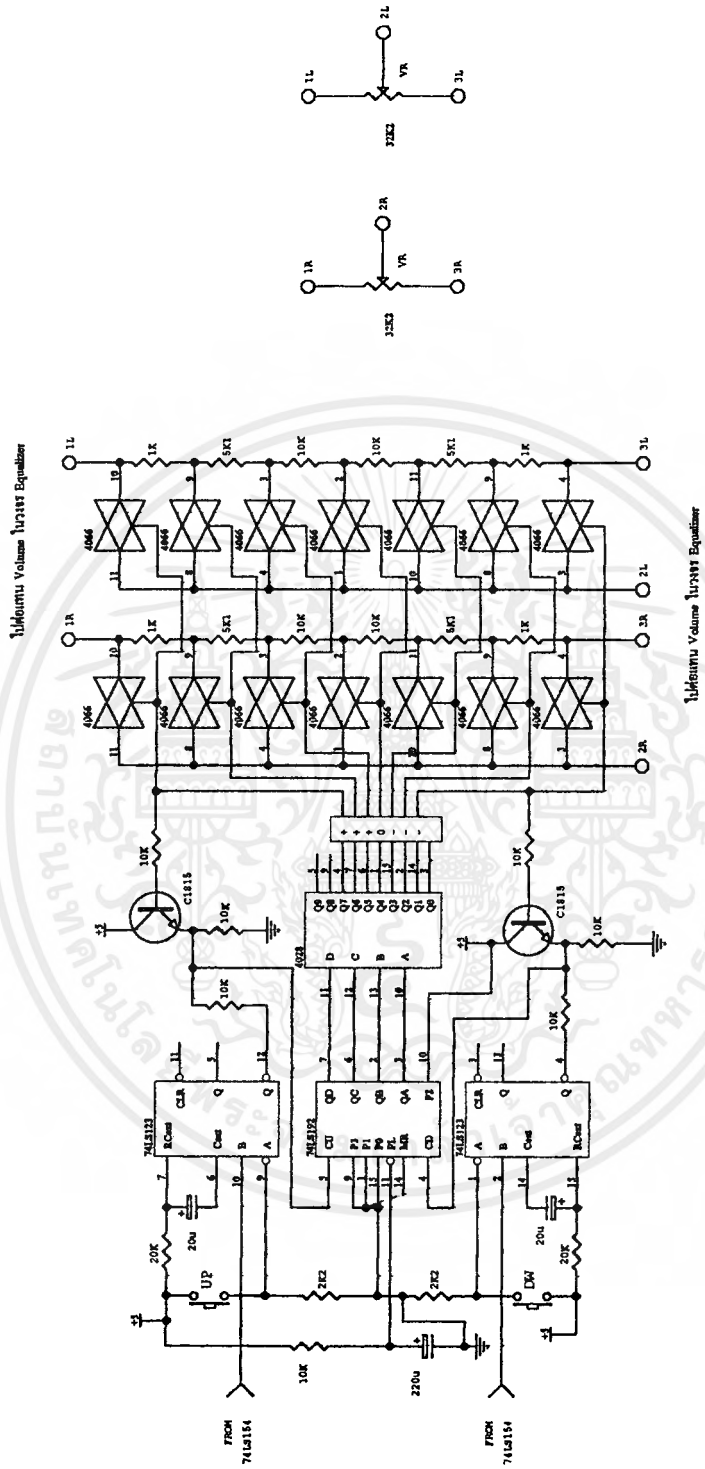


รูปที่ 6.9 แสดงหน้าปัทม์ของ EQUALIZER บนจอคอมพิวเตอร์

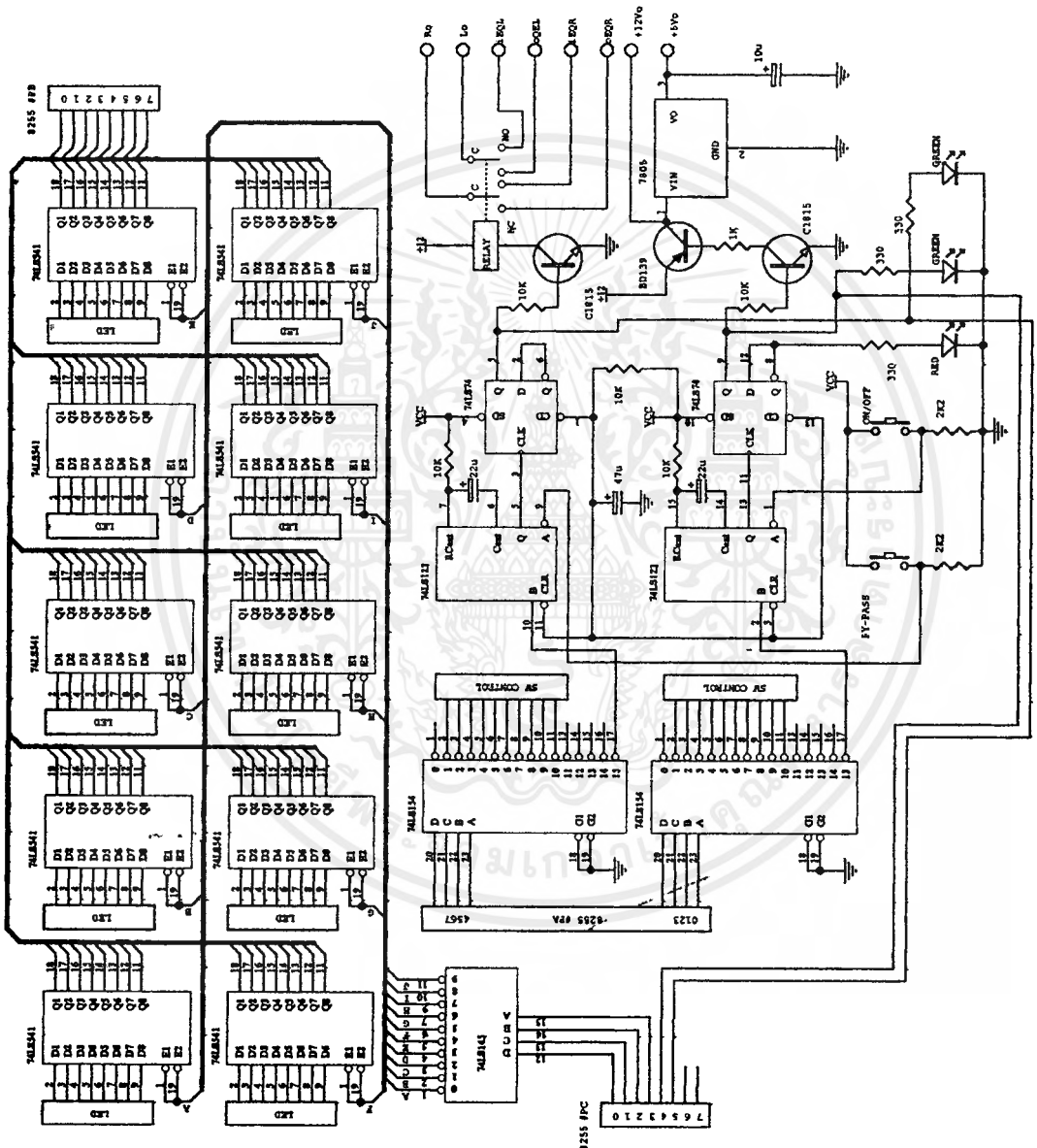


รูปที่ 6.10 แสดงบล๊อกไดอะแกรมการควบคุม EQUALIZER

โดยการทำงานรวม ๆ จะเป็นการรับข้อมูล ส่งข้อมูลระหว่าง Controller Board กับ Control Equalizer โดยController Board จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยพอร์ทสื่อสารอนุกรม RS-232 และ Control Equalizer จะติดอยู่กับ Electronic Volume เพราะเราจะไม่ใช้ Volume แบบหมุน แต่จะใช้ Volume แบบกดอย่างเดียวเพราะการออกแบบและการควบคุมจะทำได้ง่าย ในที่นี้เราใช้ Equalizer 10 Chanel ซ้ายและขวา จึงต้องใช้ Volume ถึง 20 ตัว และให้ Volume ซ้ายและขวาทำงานพร้อมกัน



รูปที่ 6.11 วงจร Volume โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 6.12 วงจรการควบคุม Equalizer

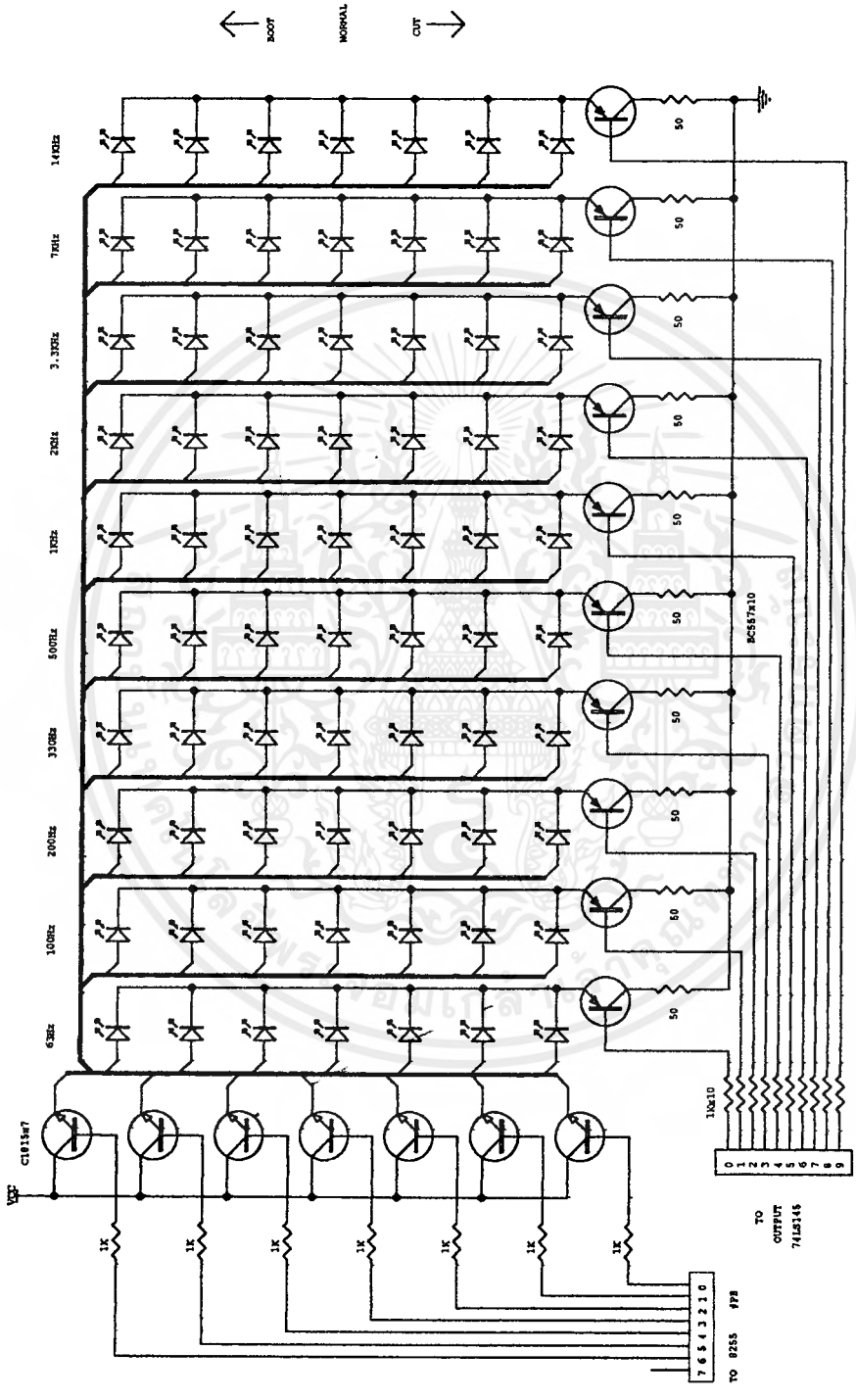
ในวงจรรูปที่ 6.11 จะแสดงวงจรของ Electronic Volume เฉพาะวงจร 1 ส่วนใน 10 ส่วนเท่านั้น แต่ละส่วนจะทำงานเหมือนกัน จะต่างกันก็เฉพาะการควบคุมขึ้นหรือลงของระดับค่าความต้านทานจะอิสระจากกัน ใน 1 ส่วนจะสามารถเป็น Volume ได้ 2 ตัว ไม่ระกวนซึ่งกันและกัน โดยการเรียนแบบการทำงานของความต้านทานปรับค่าได้ แต่ก็จะไม่ละเอียดเท่า การเลือกค่าความต้านทานจะประมาณค่าแบบหยาบ ๆ แต่ก็ใช้งานได้ โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ ซึ่งเป็น IC เบอร์ 4066 ในหนึ่งตัวมีสวิทช์ 4 ตัว ทำงานที่ลอจิก "1" เราต้องการเพียง 7 ตัว เพราะเราใช้ Volume 7 ระดับค่าการปรับ โดยการควบคุมจะเลือกไปทีละหนึ่งโดยใช้ IC เบอร์ 4028 เป็น BCD to Decimal อินพุท BCD จะรับมาจากเอาท์พุทของ IC เบอร์ 74LS192 ทำหน้าที่นับขึ้นนับลงแบบ decode โดยเมื่อเครื่องเปิดใหม่จะทำให้เอาท์พุทเป็นรหัส 0100 ตลอดเพราะต้องการให้ Volume อยู่ตรงกลางทุกครั้งเมื่อเปิดเครื่องมาใหม่ การนับขึ้นนับลงจะใช้การกระตุ้น โดยเราจะใช้ IC เบอร์ 74LS123 เป็น IC Monostable Astivabator 2 ตัว ใน IC แต่ละตัวตะมี 3 อินพุท ควบคุมการเริ่มทำงานใน 3 อินพุทจะต่อใช้งานได้ตามความต้องของผู้ออกแบบโดยอินพุท A จะต่อกับความต้านทาน 2200 โอห์มลงกราวน์ และต่อสวิทช์เพื่อผ่าน VCC มาควบคุม ทำการนับขึ้นและนับลง โดยสวิทช์จะอยู่บนหน้าปัทม์ของ Equalizer อินพุท B จะไปต่อกับเอาท์พุทของ IC เบอร์ 74LS154 ซึ่งจะอยู่ในวงจร Control Equalizer ในรูปที่ 6.12 ควบคุมการนับขึ้นนับลง และอินพุท CLR จะเป็นการควบคุมการเริ่มนับหรือไม่อย่างไร โดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อช่วย ต่อในลักษณะการกลับการทำงาน การไบอัสทรานซิสเตอร์จะนำอินพุทมาไบอัสตัวละที โดยในการนับขึ้นจะนำเอาท์พุท Q7 มาควบคุม เมื่อขา Q7 เป็นลอจิก "1" ทรานซิสเตอร์จะนำขาอินพุท CLR จะเป็นลอจิก "0" การนับขึ้นก็จะทำไม่ได้ ทำได้แต่การนับลง แต่เมื่อ Q7 เป็นลอจิก "0" การนับก็จะนับได้ ในทำนองเดียวกันการนับลงจะทำไม่ได้ก็ต่อเมื่อ Q1 มีสภาวะลอจิก "1" และเมื่อ Q1 มีสภาวะลอจิก "0" การนับลงก็จะนับได้ การแสดงผลของระดับ Volume นั้นจะแสดงโดย LED โดยจะติดสว่าง 1 ตัวต่อ 1ระดับของ Volume

วงจร Control Equalizer ในรูปที่ 6.12 จะทำการรับข้อมูลจาก วงจร Electronic Volume คือสภาวะการติดหรือไม่ติดของ LED ที่หน้าปัทม์เครื่องทุกตัวโดยแยกมาทีละ 7 ตัว 10 ชุด มาต่อ IC เบอร์ 74LS541 เป็น Buffer 8 ตัว ใน IC หนึ่งตัว จึงต้องใช้ IC 74LS541 10 ตัว แต่ละเอาท์พุทต่อถึงกันทั้ง 10 ตัวของแต่ละตำแหน่ง แล้วนำเอาท์พุทมาเข้า IC 8255 พอร์ท B นำค่ามาแสดงผลต่อไป โดยแต่ละชุดของ LED จะถูกเลือกเข้ามาทีละชุด เลือกจากการใช้เอาท์พุทของ IC 74LS154 เป็น IC BCD to Dicimal 10 เอาท์พุท แต่พอร์ทของ 8255 มี 8 เอาท์พุทไม่เพียงพอจึงต้องต่อ IC 74LS145 มาขยาย โดยให้อินพุท 4 เส้นได้เอาท์พุท 10 เส้น แล้วเลือกให้พอร์ท C บน เป็นตัวกำหนดการเลือกชุด LED มาทีละชุด

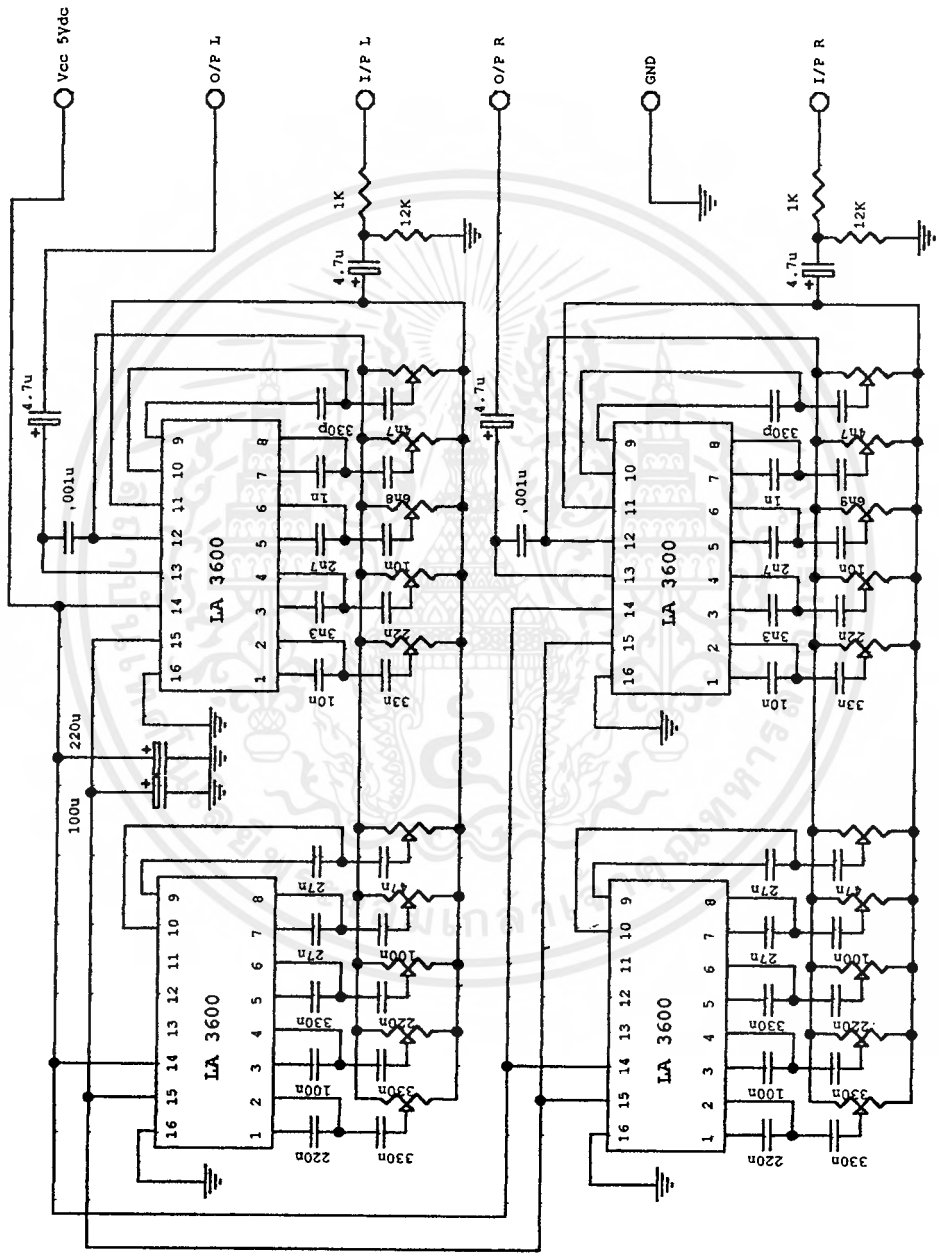
ในส่วนของการควบคุมการนับลงและขึ้นของระดับ Volume ทั้ง 10 ช่อง ก็ต้องการสวิทช์ 20 ตัว ในการนับขึ้นและลงจึงต้องต่อ IC เบอร์ 74LS154 เพิ่ม 2 ตัวเป็น Decode 4 ออก 16 ได้เอาท์พุท 32 เส้นจึงจะเพียงพอกับการใช้งาน โดยใช้งานเอาท์พุทตั้งแต่ Y1-Y10 นำ Y1-Y10 ของแต่ละตัวไปควบคุมการนับขึ้นนับลงของระดับ Volume ในวงจร Electronic Volume เอาท์พุทจะเหลือก็นำไปควบคุมการเปิดปิดเครื่อง และปุ่ม By-Pass ต่อไป ในที่นี้ใช้ Y15 ทั้ง 2 ตัว

การ By-Pass คือการที่จะเลือกใช้งานการปรับแต่งความถี่เลือกใช้หรือไม่ ถ้า LED ที่ By-pass ติดสว่างก็แสดงว่าวงจรไม่ By-pass เกิดการปรับแต่ง วงจรควบคุมการ By-Pass นั้นมี 2 ทาง คือ สวิทช์หน้าปัทม์ต่ออินพุท A ของ IC เบอร์ 74LS123 ตัวที่ 2 อินพุท B ต่อกับเอาท์พุทของ IC 74LS154 ใช้ขา Y15 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เอาท์พุทของโมโนสเตเบิล ใช้ Q ไปกระตุ้น IC เบอร์ 74LS74 เป็น D-FlipFlop แต่ต่อเป็น T-FlipFlop เพื่อตัดการใช้สภาวะ Toggle เอาท์พุทของ D-FlipFlop ใช้ Q ผ่านความต้านทานจำกัดกระแสไบอัสทรานวิสเตอร์ที่ขับรีเลย์ รีเลย์เป็นรีเลย์ชนิด 12 โวลท์กระแสตรง 3 ทาง 2 ชุด ทุกครั้งเมื่อมีการทริกที่ตัววงจรโมโนสเตเบิล ไม่ว่าจะกดสวิทช์ที่หน้าปัทม์ หรือที่ขา Y15 ทุก ๆ ครั้ง ทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสหรือหยุดนำกระแสสลับกันตลอดเมื่อมีการทริก สภาวะการทำงานแสดงผลโดย LED สีเขียวที่หน้าปัทม์ ติดสว่าง

การเปิดหรือปิดเครื่องหลักการคือ การควบคุมการจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจร Electronic Volume ที่ 5 โวลท์กระแสตรง การควบคุมการจ่ายไฟเลี้ยง 12 โวลท์กระแสตรงให้กับ Equalizer 10 ช่อง โดยหลักการจะเหมือนกับส่วนของ By-Pass ทั้งหมด แต่ในการเปิดหรือปิดเครื่อง จะไม่ใช้รีเลย์แต่จะใช้ทรานซิสเตอร์ขับกระแสแทน การแสดงสภาวะแสดงโดย LED สีแดงจะติดสว่างเมื่อวงจรยังไม่ทำงานและ LED สีเขียวจะติดสว่างเมื่อวงจรทำงาน



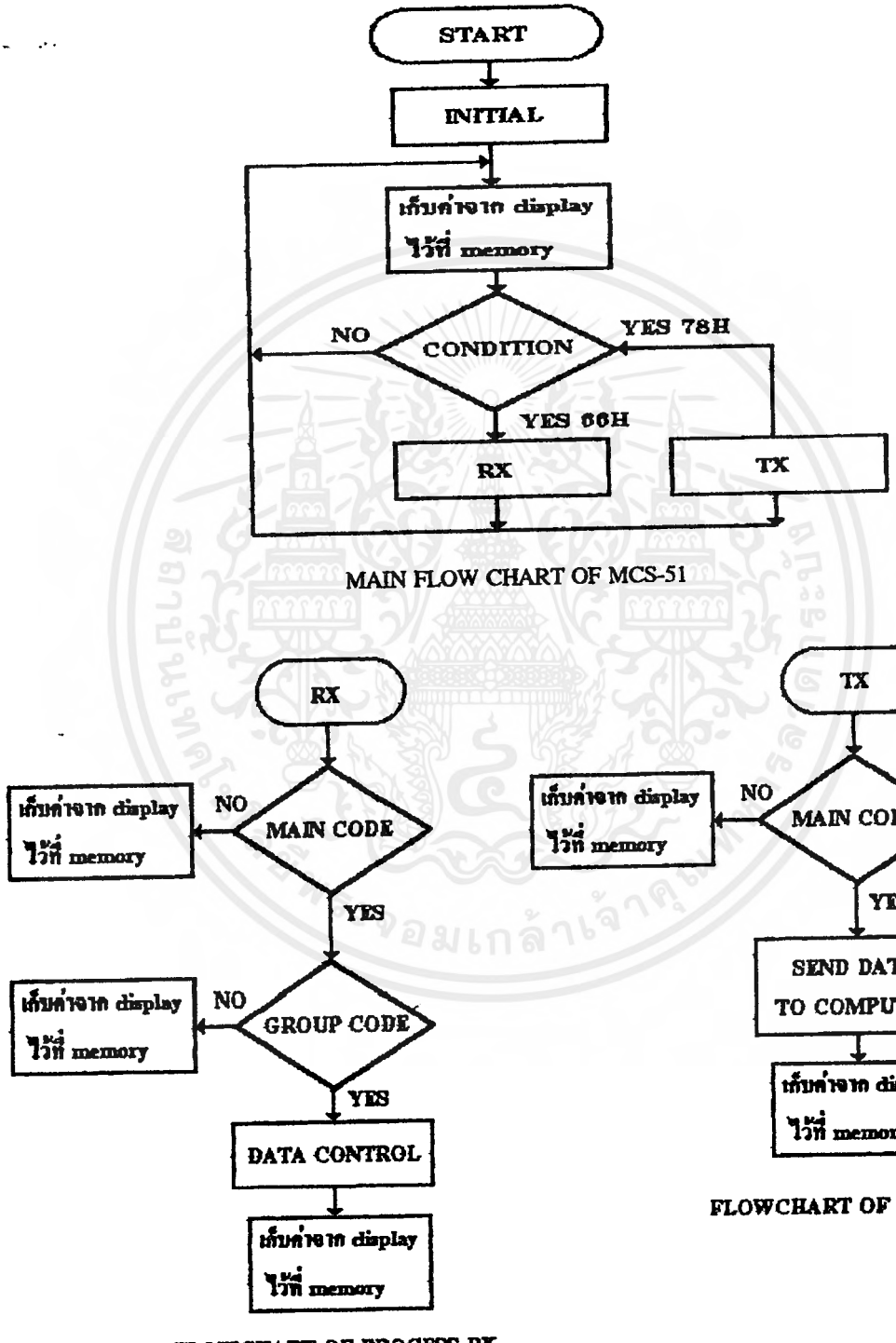
รูปที่6.13 วงจรการแสดงผลบนหน้าปัทม์ Equalizer



รูปที่ 6.14 วงจร Equalizer 10 ช่อง ซ้ายขวา

6.3 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ MCS-51

6.3.1 โฟล์วชาร์ต การทำงานของ MCS-51



รูปที่ 6.15 แสดงการทำงานของ MCS-51

6.3.2 รหัสที่ใช้ในการรับ/ส่งข้อมูล

Delphi	MCS-51	การทำงาน	รหัสเครื่อง	TUNER		EQ			AMP		TAPE
F1	06		TUNER	Group 1		Group 1			Group 1		
F2	18		EQ	Group 2		Group 2			Group 2		
F3	1E		AMP			Group 3					
F4	60		TAPE								
F5	66	รับ									
F6	78	ส่ง									
F7	7E			M1	memory	63 ↑	500 ↑	7k ↑	Bass ↑	Select	Play-L
F8	80			M2	Auto	63 ↓	500 ↓	7k ↓	Bass ↓	Power	Play-R
F9	86			M3	manual	100 ↑	1k ↑	14k ↑	Tre ↑		F/F
FA	98			M4	Up	100 ↓	1k ↓	14k ↓	Tre ↓		REW
FB	9E			M5	Down	200 ↑	2k ↑	By-pass	Vol ↑		REC - MUTE
FC	E0			M6	Power	200 ↓	2k ↓	Power	Vol ↓		REC
FD	E6			M7		330 ↑	3k3 ↑		Bal-L		PAUSE
FE	F8			M8		330 ↓	3k3 ↓		Bal-R		STOP
FF	FE										POWER

ตารางที่ 6.1 แสดงรหัสที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล

จากตารางที่ 6.1 จะแสดงรหัสที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลจากการทดลองในบทที่ 7 รหัสที่โปรแกรมเดลไฟส่งมาจะไม่ตรงกับรหัสที่ปรากฏบน MCS-51 เช่น โปรแกรมเดลไฟส่ง F1H ที่ MCS-51 จะได้รับรหัส 06H และเช่นเดียวกันขณะที่ MCS-51 ส่ง 06H โปรแกรมเดลไฟก็จะรับรู้เป็น F1H หรือ 241D

จากลักษณะการรับ-ส่งข้อมูลข้างต้น จะมีการกำหนดรหัสเพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลให้รหัสในการรับเป็น F5H (66H), รหัสในการส่งเป็น F6H (78H) สัญญาณข้อมูลต่อมาจะเป็นการส่งรหัสเครื่อง โดยใช้รหัส F1H (06H) เป็นจูนเนอร์, รหัส F2H (18H) เป็น อีควอไลเซอร์, รหัส F3H (1EH) เป็นปรีแอมป์, รหัส F4H (60H) เป็นเครื่องเล่นเทปและสัญญาณข้อมูลต่อไปจะบอกถึงรหัสกลุ่ม (Group Code) และรหัสคำสั่งที่ต้องการควบคุม

6.3.3 การรับข้อมูลของ MCS-51 เมื่อมีการควบคุมจากคอมพิวเตอร์

เมื่อมีการสั่งงานที่คอมพิวเตอร์เพื่อการควบคุมการทำงานใด ๆ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งรหัสข้อมูลของการรับ (F5H) เข้าไปยัง MCS-51 ก่อน เมื่อ MCS-51 ได้รับรหัสข้อมูลการรับ (F5H) ก็จะเตรียมตัวรับสัญญาณต่อไป คอมพิวเตอร์จะส่งรหัสข้อมูลของเครื่องที่ต้องการควบคุม (F1H เป็นรหัสเครื่องของ TUNER, F2H เป็นรหัสเครื่องของ EQUALIZER, F3H เป็นรหัสเครื่องของ PRE-TONE AMPLIFIER, F4H เป็นรหัสเครื่องของ TAPE) เป็นสัญญาณต่อไป ส่วนที่ MCS-51 เมื่อรับรหัสข้อมูล (06H เป็นรหัสเครื่องของ TUNER, 18 เป็นรหัสเครื่องของ EQUALIZER, 1E เป็นรหัสเครื่องของ PRE-TONE AMPLIFIER, 60 เป็นรหัสเครื่องของ TAPE) ว่าเป็นเครื่องใด ถ้าเป็นรหัสของตัวมันเองก็จะไปรอทำงานต่อไป หากไม่ใช่รหัสเครื่องของตัวมัน ก็จะกลับไปทำการเก็บข้อมูล(MEMORY)

จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณที่เป็นข้อมูลของการสั่งงานของเครื่องนั้น ๆ โดยที่ TUNER มีการทำงานทั้งหมด 14 การทำงาน การทำงานทั้งหมดของ TUNER จะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มคำสั่ง คือ GROUP1, GROUP2 แต่ EQUALIZER มีการทำงานทั้งหมด 22 การทำงาน การทำงานทั้งหมดจึงต้องแบ่งเป็น 3 กลุ่มคำสั่ง คือ GROUP1, GROUP2, GROUP3 รหัสข้อมูลต่อมาก็จะเป็นรหัสข้อมูลของการควบคุมการทำงานใด ๆ และเมื่อทำงานตามที่ต้องการ คอมพิวเตอร์ก็จะรอการทำงานต่อไป MCS-51 ก็จะไปเก็บข้อมูล (MEMORY) ต่อไป

ตำแหน่งที่ CLICK ที่คอมพิวเตอร์	รหัสที่เขียนส่งจากคอม-พิวเตอร์ (H)	รหัสที่ปรากฏที่ MCS-51 (H)	ค่าของพอร์ท C ของ 8255 (H)	การทำงานของอุปกรณ์
M1	F5,F1,F1,F7	66,06,06,7E	01	ทำงานที่ความถี่ที่ M1 เก็บ
M2	F5,F1,F1,F8	66,06,06,80	02	ทำงานที่ความถี่ที่ M2 เก็บ
M3	F5,F1,F1,F9	66,06,06,86	03	ทำงานที่ความถี่ที่ M3 เก็บ
M4	F5,F1,F1,FA	66,06,06,98	04	ทำงานที่ความถี่ที่ M4 เก็บ
M5	F5,F1,F1,FB	66,06,06,9E	05	ทำงานที่ความถี่ที่ M5 เก็บ
M6	F5,F1,F1,FC	66,06,06,E0	06	ทำงานที่ความถี่ที่ M6 เก็บ
M7	F5,F1,F1,FD	66,06,06,E6	07	ทำงานที่ความถี่ที่ M7 เก็บ
M8	F5,F1,F1,FE	66,06,06,F8	08	ทำงานที่ความถี่ที่ M8 เก็บ
MEMORY	F5,F1,F2,F7	66,06,18,7E	09	ทำงานในฟังค์ชันของ Memory
AUTO	F5,F1,F2,F8	66,06,18,80	0A	เลือกความถี่อัตโนมัติ (0.5 Mhz/step)
MANUAL	F5,F1,F2,F9	66,06,18,86	0B	เลือกความถี่ทีละ 0.01 Mhz
UP	F5,F1,F2,FA	66,06,18,98	0D	เลื่อนความถี่ขึ้น
DOWN	F5,F1,F2,FB	66,06,18,9E	0E	เลื่อนความถี่ลง
POWER	F5,F1,F2,FC	66,06,18,E0	0F	ON / OFF

ตารางที่ 6.2 แสดงผลจากการ CLICK ปุ่มต่าง ๆ ที่คอมพิวเตอร์และการส่งรหัสสัญญาณ ณ. จุดต่าง ๆ ของภาครับวิทยุ FM STEREO

ตำแหน่งที่ CLICK ที่คอมพิวเตอร์	รหัสที่เขียนส่งจากคอม - พิวเตอร์ (H)	รหัสที่ปรากฏที่ MCS-51 (H)	ค่าของพอร์ท C ของ 8255 (H)	การทำงานของอุปกรณ์
63 Hz	F5,F2,F1,F7	66,18,06,7E	01	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 63 Hz
63 Hz	F5,F2,F1,F8	66,18,06,80	02	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 63 Hz
100 Hz	F5,F2,F1,F9	66,18,06,86	03	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 100 Hz
100 Hz	F5,F2,F1,FA	66,18,06,98	04	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 100 Hz
200 Hz	F5,F2,F1,FB	66,18,06,9E	05	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 200 Hz
200 Hz	F5,F2,F1,FC	66,18,06,E0	06	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 200 Hz
330 Hz	F5,F2,F1,FD	66,18,06,E6	07	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 330 Hz
330 Hz	F5,F2,F1,FE	66,18,06,F8	08	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 330 Hz
500 Hz	F5,F2,F2,F7	66,18,18,7E	09	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 500 Hz
500 Hz	F5,F2,F2,F8	66,18,18,80	0A	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 500 Hz
1k Hz	F5,F2,F2,F9	66,18,18,86	10	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 1k Hz
1k Hz	F5,F2,F2,FA	66,18,18,98	20	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 1k Hz
2k Hz	F5,F2,F2,FB	66,18,18,9E	30	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 2k Hz
2k Hz	F5,F2,F2,FC	66,18,18,E0	40	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 2k Hz
3k3 Hz	F5,F2,F2,FD	66,18,18,E6	50	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 3k3 Hz
3k3 Hz	F5,F2,F2,FE	66,18,18,F8	60	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 3k3 Hz
7k Hz	F5,F2,F3,F7	66,18,1E,7E	70	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 7k Hz
7kHz	F5,F2,F3,F8	66,18,1E,80	80	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 7k Hz
14k Hz	F5,F2,F3,F9	66,18,1E,86	90	เพิ่มขนาดสัญญาณที่ความถี่ 14k Hz
14k Hz	F5,F2,F3,FA	66,18,1E,98	A0	ลดขนาดสัญญาณที่ความถี่ 14k Hz
BYPASS	F5,F2,F3,FB	66,18,1E,9E	F0	สัญญาณจะผ่านหรือไม่ผ่านอีควอไลเซอร์
POWER	F5,F2,F3,FC	66,18,1E,E0	0F	ON / OFF

ตารางที่ 6.3 แสดงผลจากการ CLICK ปุ่มต่าง ๆ ที่คอมพิวเตอร์และการส่งรหัสสัญญาณ ณ. จุดต่างๆ ของ EQUALIZER

6.3.4 การส่งข้อมูลจาก MCS-51 เพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

รหัสที่ Computer	ทิศทางการส่ง	รหัสที่ mcs-51	การทำงาน Computer	MCS-51
F6	→	78	ส่งรหัสการส่ง	ถ้าเป็นรหัสการรับเตรียมรับค่าต่อ
Fc	→	Code	ส่งรหัสเครื่อง	ถ้าเป็นรหัสเครื่องทำงานต่อ, ถ้าไม่ใช้กลับไปเก็บข้อมูล
mem	←	70H(xx)	รับรหัสข้อมูลในหน่วยความจำและแสดงผล	ส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแรก(70H)
F0	→	00	ส่งรหัสบอกว่ารับข้อมูลเสร็จแล้ว	รอรับรหัสเพื่อส่งข้อมูลต่อไป
mem	←	71H(xx)	รับรหัสข้อมูลในหน่วยความจำและแสดงผล	ส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไต่อไป(71H)
F0	→	00	ส่งรหัสบอกว่ารับข้อมูลเสร็จแล้ว	รอรับรหัสเพื่อส่งข้อมูลต่อไป
mem	←	7nH(xx)	รับรหัสข้อมูลในหน่วยความจำและแสดงผล	ส่งข้อมูลสุดท้ายที่เก็บไว้(7nH)
F0	→	00	ส่งรหัสบอกว่ารับข้อมูลเสร็จแล้วและรอการทำงานรอบต่อไป	กลับไปเก็บข้อมูล

ตารางที่ 6.4 แสดงขั้นตอนการส่งข้อมูลจาก MCS-51 เพื่อแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

ในการส่งข้อมูลจาก MCS-51 เพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ทำโดยส่งรหัสการส่ง (F6H) เมื่อ MCS-51 รับรหัสการส่ง (78H) ได้จะเตรียมรับสัญญาณรหัสเครื่องว่าคอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ใด ที่ MCS-51 จะได้รับรหัสเครื่อง (Code) ถ้าเป็นรหัสเครื่องของตัวมันเองก็จะส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแรกที่อยู่ในแอดเดรส 70H ไปยังคอมพิวเตอร์และจะมีรหัสจากคอมพิวเตอร์ว่ารับเสร็จเรียบร้อยก่อนจึงจะส่งข้อมูลที่เก็บไว้ต่อไป ที่คอมพิวเตอร์เมื่อรับข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ (Memory) และนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งเก็บไว้เพื่อแสดงผลและจะส่งรหัส (F0H) เพื่อบอกว่ารับข้อมูลเรียบร้อยแล้วและให้ส่งข้อมูลต่อไปมา จะทำเช่นนี้จนถึงข้อมูลสุดท้าย เมื่อส่งรหัส (F0H) เพื่อบอกว่ารับเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะรอเวลาเพื่อทำงานในรอบต่อไป ที่ MCS-51 ก็จะกลับไปทำงานในการเก็บค่าที่จะส่งมาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ใหม่อีกครั้ง รอบเวลาการทำงานถูกตั้งค่าโดยโปรแกรมเดลไฟล์คือ ปรี-โทนแอมป์ปลิไฟเออร์ทำการแสดงค่าทุก 4/10 วินาที, อีควอไลเซอร์แสดงค่าทุก 3วินาที, เทปแสดงค่าทุก 4/10 วินาที และจูนเนอร์แสดงค่าทุก 7/10 วินาที

รหัสเครื่องที่ส่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อเลือกติดต่อกับอุปกรณ์เครื่องใดและรหัสที่ MCS-51 รับได้ (Fc/Code) สำหรับปรี-โทนแอมป์ปลิไฟเออร์คือ F3H/1EH, อีควอไลเซอร์คือ F2H/18H, เทป คือ F4H/60H และจูนเนอร์คือ F1H/06H

ข้อมูลที่ MCS-51 ส่งไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์จะส่งจากแอดเดรส 70H จนถึง 7nH คือ แอดเดรสสุดท้ายของเครื่องนั้น ๆ และที่โปรแกรมเคลไฟล์จะเก็บข้อมูลไว้ที่หน่วยความจำต่าง ๆ (memory) ที่จูนเนอร์จะเก็บที่ AA, AB, AC, AD,.....AK ซึ่งหมายความว่าจูนเนอร์จะมีข้อมูลที่ส่งมาเพื่อแสดง 11 ค่าโดย 11 ค่านี้จะมาจาก MCS-51 ที่แอดเดรส 70H ถึก 7AH ที่ปรี-โทนแอมป์ปลิไฟเออร์ จะเก็บที่ DA ถึง DF มี 6 ค่าจาก MCS-51 แอดเดรสที่ 70H ถึง 75H อีควอไลเซอร์เก็บไว้ที่ CA ถึง CL มี 12 ค่าจาก MCS-51 แอดเดรส 70H ถึง 7BH และเทปจะเก็บไว้ที่ BA ถึง BH มี 8 ค่าจาก MCS-51 แอดเดรส 70H ถึง 77H รหัสข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลในตำแหน่งต่าง ๆ (70H(xx)ถึง 7nH(xx)) จาก MCS-51 แสดงดังต่อไปนี้

TUNER		ข้อมูลที่ MCS-51 ส่ง (xx H)							
แอดเดรส	แสดงผล								
70H	MEMORY	M1-06	M2-18	M3-1E	M4-60	M5-66	M6-78	M7-7E	M8-86
71H	MEMORY	06				18			
72H	AUTO	06				18			
73H	MANAUL	06				18			
74H	STEREO	06				18			
75H	POWER	06				18			
76H	f = 108.0_	0-98				5-66			
77H	f = 108._5	0-98 , 1-06 , 2-18 , 3-1E , 4-60 , 5-66 , 6-78 , 7-7E , 8-80 , 9-86							
78H	f = 10_.05	0-98 , 1-06 , 2-18 , 3-1E , 4-60 , 5-66 , 6-78 , 7-7E , 8-80 , 9-86							
79H	f = 1_8.05	0-06 , 8-80 , 9-86							
7AH	f = _08.05	0-98 , 1-06							

ตารางที่ 6.5 แสดงข้อมูลที่ MCS-51 ส่งเพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ในหน้าที่ต่าง ๆ จากภาครับวิทยุ FM STEREO

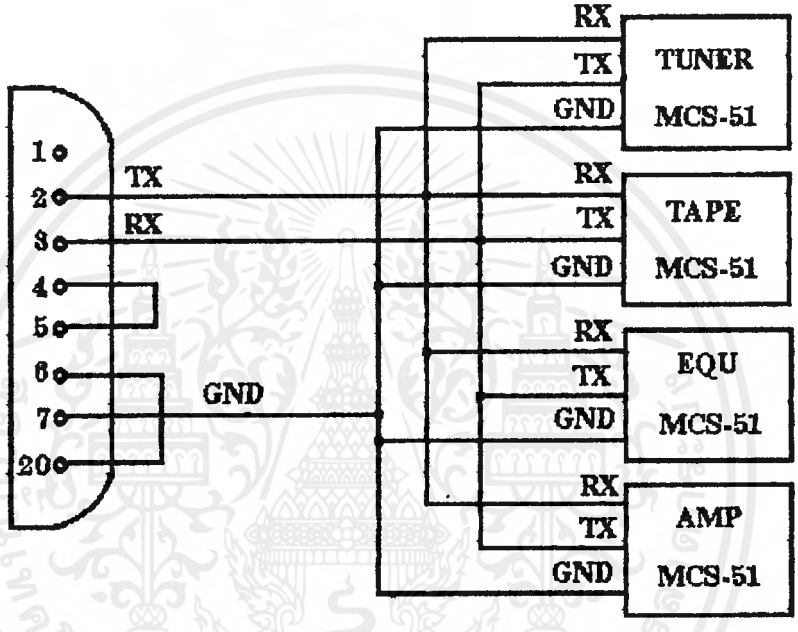
EQUALIZER		ข้อมูลที่ MCS-51 ส่ง (xx H) LED ดวงที่ติด						
แอดเดรส	แสดงผล	1	2	3	4	5	6	7
70H	63H	60	18	1E	60	66	78	7E
71H	100H	60	18	1E	60	66	78	7E
72H	200H	60	18	1E	60	66	78	7E
73H	330H	60	18	1E	60	66	78	7E
74H	500H	60	18	1E	60	66	78	7E
75H	1KH	60	18	1E	60	66	78	7E
76H	2KH	60	18	1E	60	66	78	7E
77H	3.3KH	60	18	1E	60	66	78	7E
78H	7KH	60	18	1E	60	66	78	7E
79H	14KH	60	18	1E	60	66	78	7E
7AH	POWER	ON-06 , OFF-18						
79H	BYPASS	ON-06 , OFF-18						

ตารางที่ 6.6 แสดงข้อมูลที่ MCS-51 ส่งเพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ในหน้าที่ต่าง ๆ จาก EQUALIZER

บทที่ 7
บทสรุป

7.1 ผลการทดลอง

7.1.1 การต่อพอร์ทอนุกรมที่ 2 (COM2) ใช้งานกับเครื่องทั้ง 4 เครื่อง



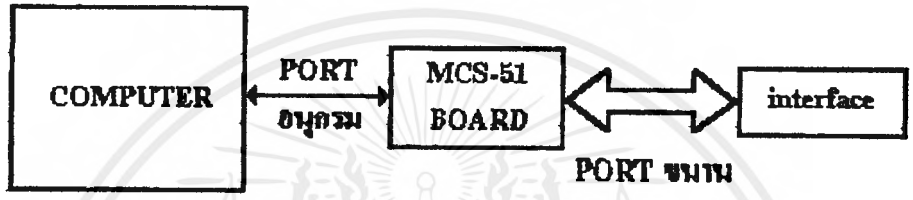
รูปที่ 7.1 วงจรการต่อใช้งานจริง

การต่อใช้งานจะต่อตามรูป โดยออกมาจาก COM2 เพียง 3 เส้นต่อขา 2 (TX) ขา 3 (RX) ขา 7 (GND) นำขา 2 (TX) COM2 ไปต่อเข้าขา RX ของ MCS-51 ของทุกเครื่อง และนำขา 3 (RX) ไปต่อเข้าขา TX ของ MCS-51 ของทุกเครื่อง และขา 7 (GND) นำไปต่อขากราวด์ของ MCS-51 ของทุกเครื่องเช่นกัน

ขา 5 และขา 4 ของ COM2 ต่อถึงกัน ขา 4 เป็นขาเอาท์พุท ขา 5 เป็นขาอินพุท ใช้ตรวจสอบแฮนด์เช็คของสายสัญญาณของ COM2 ขา 6 และ ขา 20 ของ COM2 ต่อถึงกัน ขา 6 เป็นขา ขาอินพุท 20 เป็นขาเอาท์พุท ใช้ในการทำแฮนด์เช็คของ COM2

7.1.2 การทดสอบรหัสที่คอมพิวเตอร์ส่งมาให้ MCS-51 แล้ว MCS-51 มองเห็นเป็นอะไร

ในการตรวจสอบรหัสจากคอมพิวเตอร์นั้นสำคัญมาก ต้องหารหัสที่ถูกต้องนำมาใช้งานโดยการตรวจสอบจากการต่อ COM2 มาเข้าพอร์ทอนุกรมของ MCS-51 โดยต่อเพียงขา RX กับ GND ตามรูปที่ 7.1 และเขียนโปรแกรมบน DELPHI จากโปรแกรมทดสอบในภาคผนวก ก และเขียนโปรแกรมให้ MCS-51 รับรหัสจาก COM2 ขา 2 พอร์ทอนุกรมและนำมาแสดงทางพอร์ท A, พอร์ท B ของ 8255 ตัวที่ 1 ตามโปรแกรมทดสอบในภาคผนวก ข



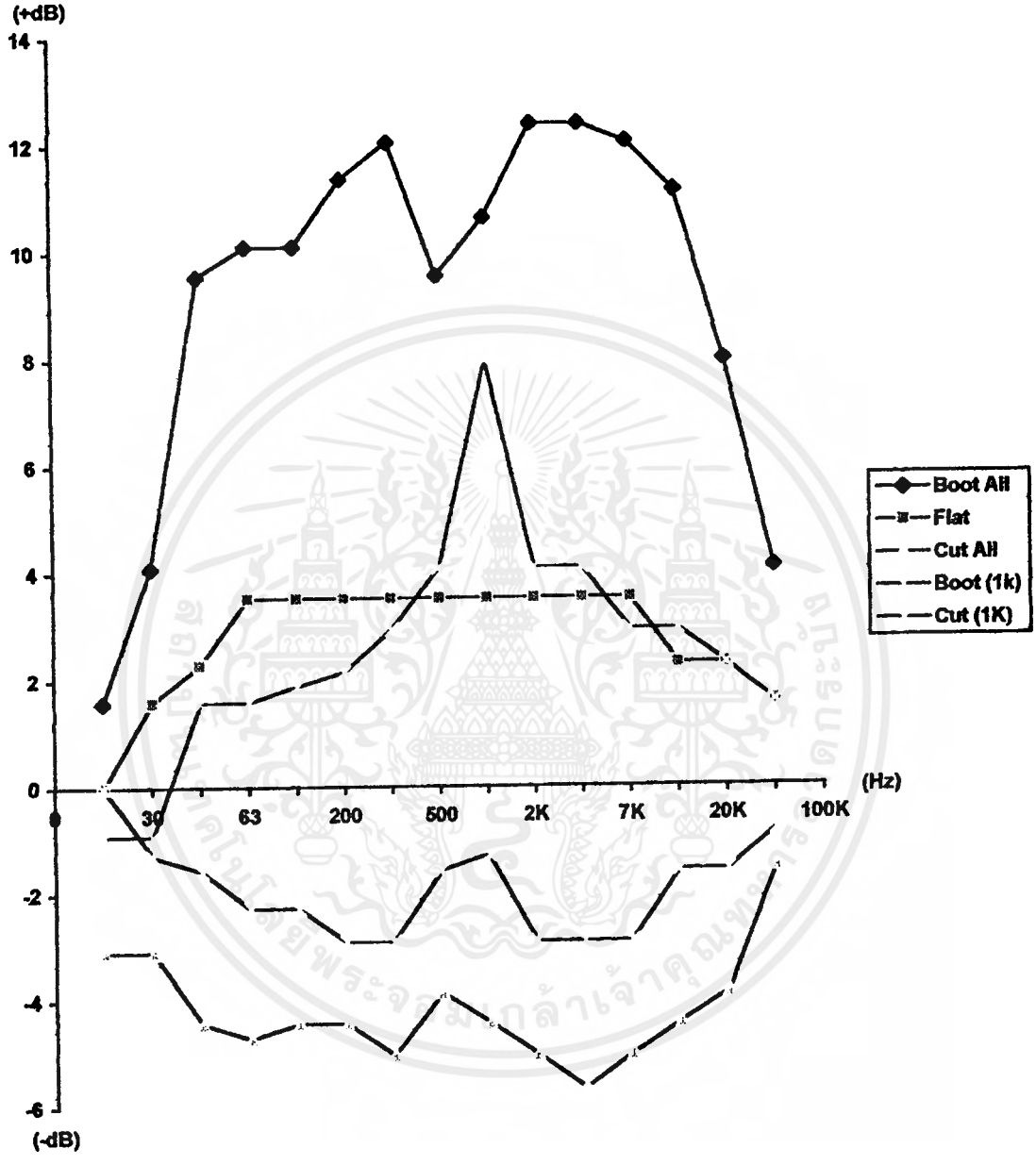
รูปที่ 7.2 แสดงบล๊อกไดอะแกรมการตรวจสอบรหัส

เมื่อทำการรันโปรแกรมทั้ง Delphi และ MCS-51 รหัสที่ MCS-51 รับรู้ได้จะปรากฏที่พอร์ท A และ พอร์ท B ไบท์ (Byte) หลังจะอยู่ที่พอร์ท A และ ไบท์ (Byte) แรกจะอยู่ที่พอร์ท B จากการทดลองโปรแกรมดังกล่าวจะเกิดมีการแสดงผลทั้งพอร์ท A และพอร์ท B หรือแสดงผลเพียงพอร์ท A เท่านั้น โดยที่เขียนโปรแกรมรับค่าเพียง 8 บิท (Bit) เท่านั้น อาจสรุปได้ว่าการส่งรหัสจากคอมพิวเตอร์จาก 00H-FFH นั้นจะมีบางรหัสเป็น 2 ไบท์ (Byte) และบางรหัสเป็น 1 ไบท์ (Byte) แต่ในที่นี้เราต้องการรหัสเพียง 8 บิท (Bit) มาใช้งานเท่านั้น รหัสที่ใช้งานได้จะเลือกได้จากตารางที่ 7.1 ในกรอบสีเข้ม คือ F0 - FF

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	00	06	18	1E	60	66	78	00	00	00	00	00	00	00	00	00
								80	86	98	9E	E6	9E	E6	F8	FE
1	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
2	78	78	78	78	78	78	78	78	06	06	06	06	06	06	06	06
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
3	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
4	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	18	18	18	18	18	18	18	18
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
5	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
6	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	1E	1E	1E	1E	1E	1E	1E	1E
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
7	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
8	00	06	18	1E	60	66	78	7E	60	60	60	60	60	60	60	60
									80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
9	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
A	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	66	66	66	66	66	66	66	66
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
B	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
C	00	06	18	1E	60	66	78	7E	78	78	78	78	78	78	78	78
									80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
D	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E
	00	06	18	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
E	00	06	18	1E	60	66	78	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E
									80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE
F	00	06	48	1E	60	66	78	7E	80	86	98	9E	E0	E6	F8	FE

ตารางที่ 7.1 รหัสที่คอมพิวเตอร์ส่งมาแล้ว MCS-51 มองเห็นเป็นรหัส

7.1.3 ผลการทดสอบการตอบสนองความถี่เสียงของ EQUALIZER



รูปที่ 7.3 แสดงผลการตอบสนองความถี่เสียงของ EQUALIZER ณ.

- เพิ่มอัตราขยายทุกย่านความถี่ (Boot All)
- ไม่มีการเพิ่มและลดอัตราขยาย (Flat)
- ลดอัตราขยายทุกย่านความถี่ (Cut All)
- เพิ่มอัตราขยายที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ท (Boot 1KHz)
- ลดอัตราขยายที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ท (Cut 1khz)

7.2 ปัญหาและอุปสรรค

- รหัสการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) กับคอมพิวเตอร์ (PC) ยังไม่สามารถติดต่อกันได้อย่างสมบูรณ์ คือสามารถใช้รหัสการติดต่อได้เพียง 16 รหัสเท่านั้น (ตั้งแต่ F0 ถึง FF)

- ยังไม่สามารถแปลงรหัสบนโปรแกรม Delphi ที่ส่งออกไปให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด (MCS-51) ให้เข้าใจตรงกันได้ตามที่ต้องการได้ทั้งหมด

- เนื่องจากข้อมูลของโปรแกรม Delphi ที่มีอยู่ในท้องตลาดมีไม่มากพอ ทำให้เป็นปัญหาต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมต่างๆ

- TUNER เมื่อวงจรเริ่มทำงานควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ สามารถควบคุมได้ แต่การรับสัญญาณวิทยุจะโดนรบกวนจากตัว MSC-51 ทำให้บางสถานีวิทยุรับได้บ้างไม่ได้บางและสัญญาณอาจจะไม่ชัดเจน

- EQ ในส่วนของการแสดงผลการทำงาน (LED Display) จะใช้ระบบสแกนโดยการควบคุมของ MCS-51 เมื่อมีการส่งค่าจาก MSC-51 ไปยังคอมพิวเตอร์ จะทำให้การแสดงระดับ Display หายไปชั่วคราว หรืออาจจะดูช้าไปบางในการใช้งาน

7.3 แนวทางการแก้ปัญหา

- ใช้รหัสที่สามารถใช้ได้ (F0 ถึง FF) แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงรหัสเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ

- ใช้โลจิกอานาไลเซอร์วัดข้อมูลในสายข้อมูลอนุกรมเพื่อดูว่าถูกต้องหรือไม่

- ศึกษาวิธีการแปลงรหัสเพื่อให้ได้รหัสที่ถูกต้อง

- ศึกษาโปรแกรม Delphi เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการเขียนโปรแกรม

- ในส่วนของภาครับวิทยุ FM STEREO แก้ไขโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมบางมาครอบวงจร FM และใช้วงจร BOOTER FM ใช้ในการรับสัญญาณ แต่ก็ช่วยได้ไม่มากนัก

7.4 สรุป

ในโครงงานการควบคุมระบบเสียงด้วยคอมพิวเตอร์นี้ (COMPUTER CONTROL SOUND SYSTEM) เป็นการศึกษาวิธีการควบคุมเครื่องเสียงด้วยคอมพิวเตอร์วิธีหนึ่ง โดยการควบคุมวิธีนี้เป็นการควบคุมโดยใช้โปรแกรมเดลไฟล์ (DELPHI) โดยสร้างอุปกรณ์ที่มีในคอมโปเนนต์ที่มีในเดลไฟล์มาใช้ และเขียนโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมเดลไฟล์ติดต่อรับ-ส่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ และเพื่อการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ ข้อมูลต่าง ๆ จะผ่านพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ในโครงงานนี้ใช้พอร์ท COM2 เพื่อติดต่อกับไมโครคอลโทรลเลอร์เบอร์ MCS-51 ซึ่งถูกโปรแกรมเพื่อให้รับ-ส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ และติดต่อกับ IC 8255 เป็นอินพุทพอร์ทและเอาท์พุทพอร์ท เพื่อรับข้อมูลมาส่งออกที่พอร์ทไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และส่งค่าหรือข้อมูลเพื่อแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้คือ TUNER, EQUALIZER, TAPE, PRE-TONE AMPLIFIER (สำหรับ TAPE, PRE-TONE AMPLIFIER เนื้อหาและรายละเอียดจะอยู่ในปริญญานิพนธ์อีกเล่มหนึ่งที่เป็นโครงงานศึกษาร่วมกัน) และยังสามารถเพิ่มอุปกรณ์เพื่อควบคุมการทำงานได้เพิ่มขึ้นอีกโดยการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม ในกระบวนการรับส่งข้อมูล สัญญาณข้อมูลที่ใช้จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ สัญญาณข้อมูลแจ้งการรับหรือการส่ง, สัญญาณข้อมูลเพื่อแจ้งการเลือกอุปกรณ์ที่คอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อด้วย,สัญญาณข้อมูลที่ต้องการสื่อสาร โดยสัญญาณทั้งสามจะถูกควบคุมจากคอมพิวเตอร์

วิธีการควบคุมในโครงงานนี้เป็นเพียงวิธีการหนึ่งเท่านั้น การควบคุมนี้สามารถประยุกต์เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยทำให้สัญญาณที่ต้องการติดต่อสื่อสารเป็นสัญญาณดิจิตอลก็สามารถควบคุมการทำงานและแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ได้

การแสดงผลในโครงงานนี้ยังนับว่าแสดงผลได้ช้า หากผู้ใช้ระบบต้องการให้มีความรวดเร็วขึ้น อาจต้องใช้การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ทขนาน และควรเขียนโปรแกรมเดลไฟล์เป็นโปรแกรมเดียวกันสำหรับการควบคุมทั้งหมด เนื่องจากโครงงานนี้ใช้แต่ละโปรแกรมแต่ละโปรแกรมสำหรับแต่ละอุปกรณ์เครื่องเสียง หรือทำการลดจำนวนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำให้การเลือกการติดต่อจากคอมพิวเตอร์ลดลงจึงสามารถลดระยะเวลาระหว่างรอบการทำงานลงได้เช่นกัน อีกหนึ่งปัญหาคือส่วนอินเตอร์เฟส จากโครงงานนี้ใช้การเพิ่มวงจรทางดิจิตอลเพื่อไปควบคุมหน้าที่การทำงานต่าง ๆ จะเห็นว่าวงจรมีขนาดใหญ่และยุ่งยาก และยังเกิดความผิดพลาดจากวงจรได้มากด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีชิฟสำเร็จรูปสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น Pre-Tone Amplifier , Equalizer ที่ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งจะทำให้สะดวกและประยุกต์ได้มากขึ้น

ภาคผนวก ก

โปรแกรมเดลไฟล์ (DELPHI)

โปรแกรม EQUALIZER

```
program Eq;

uses
  Forms,
  Equ in 'EQU.PAS' {Form1};

{$R *.RES}

begin
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);
  Application.Run;
end.
```

```
unit Equ;

interface

uses
  SysUtils, WinTypes, WinProcs, Messages,Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Buttons;
type
  TForm1 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;BitBtn2: TBitBtn;BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn4: TBitBtn;BitBtn5: TBitBtn;BitBtn6: TBitBtn;
    BitBtn7: TBitBtn;BitBtn8: TBitBtn;BitBtn9: TBitBtn;
    BitBtn10: TBitBtn;BitBtn11: TBitBtn;BitBtn12: TBitBtn;
    BitBtn13: TBitBtn;BitBtn14: TBitBtn;BitBtn15: TBitBtn;
    BitBtn16: TBitBtn;BitBtn17: TBitBtn;BitBtn18: TBitBtn;
    BitBtn19: TBitBtn;BitBtn20: TBitBtn;
    Button1:TButton;Button2: TButton;
    Shape1: TShape;Shape2: TShape;Shape3: TShape;
    Shape4: TShape;Shape5: TShape;Shape6: TShape;
    Shape7: TShape;Shape8: TShape;Shape9: TShape;
    Shape10: TShape;Shape11: TShape;Shape12: TShape;
    Shape13: TShape;Shape14: TShape;Shape15: TShape;
    Shape16: TShape;Shape17: TShape;Shape18: TShape;
    Shape19: TShape;Shape20: TShape;Shape21: TShape;
    Shape22: TShape;Shape23: TShape;Shape24: TShape;
    Shape25: TShape;Shape26: TShape;Shape27: TShape;
    Shape28: TShape;Shape29: TShape;Shape30: TShape;
    Shape31: TShape;Shape32: TShape;Shape33: TShape;
    Shape34: TShape;Shape35: TShape;Shape36: TShape;
    Shape37: TShape;Shape38: TShape;Shape39: TShape;
    Shape40: TShape;Shape41: TShape;Shape42: TShape;
    Shape43: TShape;Shape44: TShape;Shape45: TShape;
```

Shape46: TShape;Shape47: TShape;Shape48: TShape;

Shape49: TShape;Shape50: TShape;Shape51: TShape;

Shape52: TShape;Shape53: TShape;Shape54: TShape;

Shape55: TShape;Shape56: TShape;Shape57: TShape;

Shape58: TShape;Shape59: TShape;Shape60: TShape;

Shape61: TShape;Shape62: TShape;Shape63: TShape;

Shape64: TShape;Shape65: TShape;Shape66: TShape;

Shape67: TShape;Shape68: TShape;Shape69: TShape;

Shape70: TShape;Shape71: TShape;Shape72: TShape;

Shape73: TShape;Shape74: TShape;Shape75: TShape;

Shape76: TShape;Shape77: TShape;Shape78: TShape;

Shape79: TShape;Shape80: TShape;Shape81: TShape;

Shape82: TShape;Shape83: TShape;Shape84: TShape;

Shape85: TShape;Shape86: TShape;Shape87: TShape;

Shape88: TShape;Shape89: TShape;Shape90: TShape;

Shape91: TShape;Shape92: TShape;Shape93: TShape;

Shape94: TShape;Shape95: TShape;Shape96: TShape;

Shape97: TShape;Shape98: TShape;Shape99: TShape;

Shape100: TShape;Shape101: TShape;Shape102: TShape;

Shape103: TShape;Shape104: TShape;Shape105: TShape;

Shape106: TShape;Shape107: TShape;Shape108: TShape;

Shape109: TShape;Shape110: TShape;Shape111: TShape;

Shape112: TShape;Shape113: TShape;Shape114: TShape;

Shape115: TShape;Shape116: TShape;Shape117: TShape;

Shape118: TShape;Shape119: TShape;Shape120: TShape;

Shape121: TShape;Shape122: TShape;Shape123: TShape;

Shape124: TShape;Shape125: TShape;Shape126: TShape;

Shape127: TShape;Shape128: TShape;Shape129: TShape;

Shape130: TShape;Shape131: TShape;Shape132: TShape;

Shape133: TShape;Shape134: TShape;Shape135: TShape;

```
Shape136: TShape;Shape137: TShape;Shape138: TShape;
Shape139: TShape;Shape140: TShape;Shape141: TShape;
Shape142: TShape;Shape143: TShape;Shape144: TShape;
Label3: TLabel;Label4: TLabel;Label5: TLabel;
Label6: TLabel;Label7: TLabel;Label8: TLabel;
Label9: TLabel;Label10: TLabel;Label11: TLabel;
Label12: TLabel;Timer1: TTimer;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn5Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn7Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn8Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn9Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn10Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn11Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn12Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn13Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn14Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn15Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn16Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn17Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn18Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn19Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn20Click(Sender: TObject);
```

```
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  private { Private declarations }
  public { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
implementation {$R *.DFM}

procedure Delay(msec:LongInt);{DELAY}
var  Time : LongInt;
begin
    Time := GetTickCount;
  repeat until  GetTickCount  > Time + msec;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);{POWER}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$FC;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);{BY-PASS}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$FB;
end;
procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);{BOOT63Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F7;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);{CUT63Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F8;
end;
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);{BOOT100Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F9;
end;
procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);{CUT100Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FA;
end;
procedure TForm1.BitBtn5Click(Sender: TObject);{BOOT200Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FB;
end;
procedure TForm1.BitBtn6Click(Sender: TObject);{CUT200Hz}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FC;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn7Click(Sender: TObject);{BOOT330Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FD;
end;
procedure TForm1.BitBtn8Click(Sender: TObject);{CUT330Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FE;
end;
procedure TForm1.BitBtn9Click(Sender: TObject);{BOOT500Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F7;
end;
procedure TForm1.BitBtn10Click(Sender: TObject);{CUT500Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F8;
end;
procedure TForm1.BitBtn11Click(Sender: TObject);{BOOT1KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F9;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn12Click(Sender: TObject);{CUT1KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FA;
end;
procedure TForm1.BitBtn13Click(Sender: TObject);{BOOT2KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FB;
end;
procedure TForm1.BitBtn14Click(Sender: TObject);{CUT2KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FC;
end;
procedure TForm1.BitBtn15Click(Sender: TObject);{BOOT3K3Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FD;
end;
procedure TForm1.BitBtn16Click(Sender: TObject);{CUT3K3Hz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FE;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn17Click(Sender: TObject);{BOOT7KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$F7;
end;
procedure TForm1.BitBtn18Click(Sender: TObject);{CUT7KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$F8;
end;
procedure TForm1.BitBtn19Click(Sender: TObject);{BOOT14KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$F9;
end;
procedure TForm1.BitBtn20Click(Sender: TObject);{CUT14KHz}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F3; Delay(1);Port[$2F8]:=$FA;
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);{TX AUTO}
var CA,CB,CC,CD,CE,CF,CG,CH,CI,CJ,CK,CL : Integer;
begin
  Port[$2F8] := $F6; Delay(1);
  Port[$2F8] := $F2; Delay(1);
  CA := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{63Hz}
     if CA=247 then Shape1.Show else Shape1.Hide;
     if CA<>247 then Shape71.Show else Shape71.Hide;
```

```
  if CA=246 then Shape11.Show else Shape11.Hide;
  if CA<>246 then Shape81.Show else Shape81.Hide;
  if CA=245 then Shape21.Show else Shape21.Hide;
  if CA<>245 then Shape91.Show else Shape91.Hide;
  if CA=244 then Shape31.Show else Shape31.Hide;
  if CA<>244 then Shape101.Show else Shape101.Hide;
  if CA=243 then Shape41.Show else Shape41.Hide;
  if CA<>243 then Shape111.Show else Shape111.Hide;
  if CA=242 then Shape51.Show else Shape51.Hide;
  if CA<>242 then Shape121.Show else Shape121.Hide;
  if CA=241 then Shape61.Show else Shape61.Hide;
  if CA<>241 then Shape131.Show else Shape131.Hide;

CB := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{100Hz}
  if CB=247 then Shape2.Show else Shape2.Hide;
  if CB<>247 then Shape72.Show else Shape72.Hide;
  if CB=246 then Shape12.Show else Shape12.Hide;
  if CB<>246 then Shape82.Show else Shape82.Hide;
  if CB=245 then Shape22.Show else Shape22.Hide;
  if CB<>245 then Shape92.Show else Shape92.Hide;
  if CB=244 then Shape32.Show else Shape32.Hide;
  if CB<>244 then Shape102.Show else Shape102.Hide;
  if CB=243 then Shape42.Show else Shape42.Hide;
  if CB<>243 then Shape112.Show else Shape112.Hide;
  if CB=242 then Shape52.Show else Shape52.Hide;
  if CB<>242 then Shape122.Show else Shape122.Hide;
  if CB=241 then Shape62.Show else Shape62.Hide;
  if CB<>241 then Shape132.Show else Shape132.Hide;
```

```
CC := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{200Hz}
   if CC=247 then Shape3.Show else Shape3.Hide;
   if CC<>247 then Shape73.Show else Shape73.Hide;
   if CC=246 then Shape13.Show else Shape13.Hide;
   if CC<>246 then Shape83.Show else Shape83.Hide;
   if CC=245 then Shape23.Show else Shape23.Hide;
   if CC<>245 then Shape93.Show else Shape93.Hide;
   if CC=244 then Shape33.Show else Shape33.Hide;
   if CC<>244 then Shape103.Show else Shape103.Hide;
   if CC=243 then Shape43.Show else Shape43.Hide;
   if CC<>243 then Shape113.Show else Shape113.Hide;
   if CC=242 then Shape53.Show else Shape53.Hide;
   if CC<>242 then Shape123.Show else Shape123.Hide;
   if CC=241 then Shape63.Show else Shape63.Hide;
   if CC<>241 then Shape133.Show else Shape133.Hide;

CD := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{330Hz}
   if CD=247 then Shape4.Show else Shape4.Hide;
   if CD<>247 then Shape74.Show else Shape74.Hide;
   if CD=246 then Shape14.Show else Shape14.Hide;
   if CD<>246 then Shape84.Show else Shape84.Hide;
   if CD=245 then Shape24.Show else Shape24.Hide;
   if CD<>245 then Shape94.Show else Shape94.Hide;
   if CD=244 then Shape34.Show else Shape34.Hide;
   if CD<>244 then Shape104.Show else Shape104.Hide;
   if CD=243 then Shape44.Show else Shape44.Hide;
   if CD<>243 then Shape114.Show else Shape114.Hide;
   if CD=242 then Shape54.Show else Shape54.Hide;
```

```
    if CD<>242 then Shape124.Show else Shape124.Hide;
    if CD=241 then Shape64.Show else Shape64.Hide;
    if CD<>241 then Shape134.Show else Shape134.Hide;

  CE := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{500Hz}
    if CE=247 then Shape5.Show else Shape5.Hide;
    if CE<>247 then Shape75.Show else Shape75.Hide;
    if CE=246 then Shape15.Show else Shape15.Hide;
    if CE<>246 then Shape85.Show else Shape85.Hide;
    if CE=245 then Shape25.Show else Shape25.Hide;
    if CE<>245 then Shape95.Show else Shape95.Hide;
    if CE=244 then Shape35.Show else Shape35.Hide;
    if CE<>244 then Shape105.Show else Shape105.Hide;
    if CE=243 then Shape45.Show else Shape45.Hide;
    if CE<>243 then Shape115.Show else Shape115.Hide;
    if CE=242 then Shape55.Show else Shape55.Hide;
    if CE<>242 then Shape125.Show else Shape125.Hide;
    if CE=241 then Shape65.Show else Shape65.Hide;
    if CE<>241 then Shape135.Show else Shape135.Hide;

  CF := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{1KHz}
    if CF=247 then Shape6.Show else Shape6.Hide;
    if CF<>247 then Shape76.Show else Shape76.Hide;
    if CF=246 then Shape16.Show else Shape16.Hide;
    if CF<>246 then Shape86.Show else Shape86.Hide;
    if CF=245 then Shape26.Show else Shape26.Hide;
    if CF<>245 then Shape96.Show else Shape96.Hide;
    if CF=244 then Shape36.Show else Shape36.Hide;
    if CF<>244 then Shape106.Show else Shape106.Hide;
```

```
    if CF=243 then Shape46.Show else Shape46.Hide;
    if CF<>243 then Shape116.Show else Shape116.Hide;
    if CF=242 then Shape56.Show else Shape56.Hide;
    if CF<>242 then Shape126.Show else Shape126.Hide;
    if CF=241 then Shape66.Show else Shape66.Hide;
    if CF<>241 then Shape136.Show else Shape136.Hide;

  CG := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{2KHz}
    if CG=247 then Shape7.Show else Shape7.Hide;
    if CG<>247 then Shape77.Show else Shape77.Hide;
    if CG=246 then Shape17.Show else Shape17.Hide;
    if CG<>246 then Shape87.Show else Shape87.Hide;
    if CG=245 then Shape27.Show else Shape27.Hide;
    if CG<>245 then Shape97.Show else Shape97.Hide;
    if CG=244 then Shape37.Show else Shape37.Hide;
    if CG<>244 then Shape107.Show else Shape107.Hide;
    if CG=243 then Shape47.Show else Shape47.Hide;
    if CG<>243 then Shape117.Show else Shape117.Hide;
    if CG=242 then Shape57.Show else Shape57.Hide;
    if CG<>242 then Shape127.Show else Shape127.Hide;
    if CG=241 then Shape67.Show else Shape67.Hide;
    if CG<>241 then Shape137.Show else Shape137.Hide;

  CH := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{3K3Hz}
    if CH=247 then Shape8.Show else Shape8.Hide;
    if CH<>247 then Shape78.Show else Shape78.Hide;
    if CH=246 then Shape18.Show else Shape18.Hide;
    if CH<>246 then Shape88.Show else Shape88.Hide;
    if CH=245 then Shape28.Show else Shape28.Hide;
```

```
if CH<>245 then Shape98.Show else Shape98.Hide;
if CH=244 then Shape38.Show else Shape38.Hide;
if CH<>244 then Shape108.Show else Shape108.Hide;
if CH=243 then Shape48.Show else Shape48.Hide;
if CH<>243 then Shape118.Show else Shape118.Hide;
if CH=242 then Shape58.Show else Shape58.Hide;
if CH<>242 then Shape128.Show else Shape128.Hide;
if CH=241 then Shape68.Show else Shape68.Hide;
if CH<>241 then Shape138.Show else Shape138.Hide;

CI := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7KHz}
if CI=247 then Shape9.Show else Shape9.Hide;
if CI<>247 then Shape79.Show else Shape79.Hide;
if CI=246 then Shape19.Show else Shape19.Hide;
if CI<>246 then Shape89.Show else Shape89.Hide;
if CI=245 then Shape29.Show else Shape29.Hide;
if CI<>245 then Shape99.Show else Shape99.Hide;
if CI=244 then Shape39.Show else Shape39.Hide;
if CI<>244 then Shape109.Show else Shape109.Hide;
if CI=243 then Shape49.Show else Shape49.Hide;
if CI<>243 then Shape119.Show else Shape119.Hide;
if CI=242 then Shape59.Show else Shape59.Hide;
if CI<>242 then Shape129.Show else Shape129.Hide;
if CI=241 then Shape69.Show else Shape69.Hide;
if CI<>241 then Shape139.Show else Shape139.Hide;

CJ := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{14KHz}
if CJ=247 then Shape10.Show else Shape10.Hide;
if CJ<>247 then Shape80.Show else Shape80.Hide;
```

```
  if CJ=246 then Shape20.Show else Shape20.Hide;
  if CJ<>246 then Shape90.Show else Shape90.Hide;
  if CJ=245 then Shape30.Show else Shape30.Hide;
  if CJ<>245 then Shape100.Show else Shape100.Hide;
  if CJ=244 then Shape40.Show else Shape40.Hide;
  if CJ<>244 then Shape110.Show else Shape110.Hide;
  if CJ=243 then Shape50.Show else Shape50.Hide;
  if CJ<>243 then Shape120.Show else Shape120.Hide;
  if CJ=242 then Shape60.Show else Shape60.Hide;
  if CJ<>242 then Shape130.Show else Shape130.Hide;
  if CJ=241 then Shape70.Show else Shape70.Hide;
  if CJ<>241 then Shape140.Show else Shape140.Hide;

CK := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{POWER}
  if CK=241 then Shape143.Show else Shape143.Hide;
  if CK<>241 then Shape144.Show else Shape144.Hide;
  if CK<>241 then
    begin
      Shape71.Show;Shape81.Show;Shape91.Show;Shape101.Show;
      Shape111.Show;Shape121.Show;Shape131.Show;
      Shape72.Show;Shape82.Show;Shape92.Show;Shape102.Show;
      Shape112.Show;Shape122.Show;Shape132.Show;
      Shape73.Show;Shape83.Show;Shape93.Show;Shape103.Show;
      Shape113.Show;Shape123.Show;Shape133.Show;
      Shape74.Show;Shape84.Show;Shape94.Show;Shape104.Show;
      Shape114.Show;Shape124.Show;Shape134.Show;
      Shape75.Show;Shape85.Show;Shape95.Show;Shape105.Show;
      Shape115.Show;Shape125.Show;Shape135.Show;
      Shape76.Show;Shape86.Show;Shape96.Show;Shape106.Show;
```

```
        Shape116.Show;Shape126.Show;Shape136.Show;
        Shape77.Show;Shape87.Show;Shape97.Show;Shape107.Show;
        Shape117.Show;Shape127.Show;Shape137.Show;
        Shape78.Show;Shape88.Show;Shape98.Show;Shape108.Show;
        Shape118.Show;Shape128.Show;Shape138.Show;
        Shape79.Show;Shape89.Show;Shape99.Show;Shape109.Show;
        Shape119.Show;Shape129.Show;Shape139.Show;
        Shape80.Show;Shape90.Show;Shape100.Show;Shape110.Show;
        Shape120.Show;Shape130.Show;Shape140.Show;
      end
    else ;

  CL := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{BY-PASS}
    if CL=241 then Shape141.Show else Shape141.Hide;
    if CL<>241 then Shape142.Show else Shape142.Hide;
end;

end.
```

โปรแกรม TUNER

```
program Tun;

uses
  Forms,
  Tuner in 'TUNER.PAS' {Form1};

{$R *.RES}

begin
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);
  Application.Run;
end.
```

```
unit Tuner;

interface

uses
  SysUtils, WinTypes, WinProcs, Messages,Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Buttons;

type
  TForm1 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn; BitBtn2: TBitBtn; BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn4: TBitBtn; BitBtn5: TBitBtn; BitBtn6: TBitBtn;
    BitBtn7: TBitBtn; BitBtn8: TBitBtn; BitBtn9: TBitBtn;
    BitBtn10: TBitBtn;BitBtn11: TBitBtn;BitBtn12: TBitBtn;
    BitBtn13: TBitBtn; BitBtn14: TBitBtn;
    Shape1: TShape;Shape2: TShape;Shape3: TShape;
    Shape4: TShape;Shape5: TShape;Shape6: TShape;
    Shape7: TShape;Shape8: TShape;Shape9: TShape;
    Shape10: TShape;Shape11: TShape;Shape12: TShape;
    Shape13: TShape;Shape14: TShape;Shape15: TShape;
    Shape16: TShape;Shape17: TShape;Shape18: TShape;
    Shape19: TShape;Shape20: TShape;Shape21: TShape;
    Shape22: TShape;Shape23: TShape;Shape24: TShape;
    Shape25: TShape;Shape26: TShape;Shape27: TShape;
    Label1: TLabel;Label2: TLabel;Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;Label5: TLabel;Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;Label8: TLabel;Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;Label11: TLabel;Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;Label14: TLabel;Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;Label17: TLabel;Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;Label20: TLabel;Label21: TLabel;
    Label22: TLabel;Label23: TLabel;Label24: TLabel;
    Label25: TLabel;Label26: TLabel;Label27: TLabel;
```

```
    Label28: TLabel;Label29: TLabel;Label30: TLabel;
    Bevel1: TBevel;
    Timer1: TTimer;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn5Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn7Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn8Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn9Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn10Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn11Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn12Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn13Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn14Click(Sender: TObject);
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  private { Private declarations }
  public { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
implementation {$R *.DFM}
```

```
procedure  Delay(msec:LongInt);{DELAY}
var Time : LongInt;
begin
   Time := GetTickCount;
   repeat until  GetTickCount > Time + msec;
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);{POWER}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FC;
end;
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);{DOWN}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FB;
end;
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);{UP}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$FA;
end;
procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);{AUTOMATIC}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F8;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn5Click(Sender: TObject);{MEMORY}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F7;
end;
procedure TForm1.BitBtn6Click(Sender: TObject);{MANUAL}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F2; Delay(1);Port[$2F8]:=$F9;
end;
procedure TForm1.BitBtn7Click(Sender: TObject);{M1}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F7;
end;
procedure TForm1.BitBtn8Click(Sender: TObject);{M2}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F8;
end;
procedure TForm1.BitBtn9Click(Sender: TObject);{M3}
begin
  Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
  Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$F9;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn10Click(Sender: TObject);{M4}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FA;
end;
procedure TForm1.BitBtn11Click(Sender: TObject);{M5}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FB;
end;
procedure TForm1.BitBtn12Click(Sender: TObject);{M6}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FC;
end;
procedure TForm1.BitBtn13Click(Sender: TObject);{M7}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FD;
end;
procedure TForm1.BitBtn14Click(Sender: TObject);{M8}
begin
   Port[$2F8]:=$F5; Delay(1);Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);
   Port[$2F8]:=$F1; Delay(1);Port[$2F8]:=$FE;
end;
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);{TX AUTO}
var AA,AB,AC,AD,AE,AF,AG,AH,AI,AJ,AK : Integer;
begin
   Port[$2F8] := $F6; Delay(1);
```

```
Port[$2F8] := $F1; Delay(1);
AA := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{M1-M8}
  if AA=241 then Shape7.Show else Shape7.Hide;
  if AA<>241 then Shape20.Show else Shape20.Hide;
  if AA=242 then Shape8.Show else Shape8.Hide;
  if AA<>242 then Shape21.Show else Shape21.Hide;
  if AA=243 then Shape9.Show else Shape9.Hide;
  if AA<>243 then Shape22.Show else Shape22.Hide;
  if AA=244 then Shape10.Show else Shape10.Hide;
  if AA<>244 then Shape23.Show else Shape23.Hide;
  if AA=245 then Shape11.Show else Shape11.Hide;
  if AA<>245 then Shape24.Show else Shape24.Hide;
  if AA=246 then Shape12.Show else Shape12.Hide;
  if AA<>246 then Shape25.Show else Shape25.Hide;
  if AA=247 then Shape13.Show else Shape13.Hide;
  if AA<>247 then Shape26.Show else Shape26.Hide;
  if AA=248 then Shape14.Show else Shape14.Hide;
  if AA<>248 then Shape27.Show else Shape27.Hide;

AB := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{MEMORY}
  if AB=241 then Shape6.Show else Shape6.Hide;
  if AB=242 then Shape19.Show else Shape19.Hide;

AC := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{AUTOMATIC}
  if AC=241 then Shape4.Show else Shape4.Hide;
  if AC=242 then Shape17.Show else Shape17.Hide;
```

```
AD := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{MANUAL}
  if AD=241 then Shape5.Show else Shape5.Hide;
  if AD=242 then Shape18.Show else Shape18.Hide;

AE := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{STEREO}
  if AE=241 then Shape3.Show else Shape3.Hide;
  if AE=242 then Shape16.Show else Shape16.Hide;

AF := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{POWER}
  if AF=241 then Shape2.Show else Shape2.Hide;
  if AF=242 then Shape1.Show else Shape1.Hide;
  if AF=242 then Shape15.Show else Shape15.Hide;
  if AF=242 then Shape17.Show else ;
  if AF=242 then Shape18.Show else ;
  if AF=242 then Shape19.Show else ;

AG := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7-SEG#1}
  if AG=250 then Label28.Show else Label28.Hide;
  if AG=245 then Label29.Show else Label29.Hide;

AH := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7-SEG#2}
  if AH=250 then Label18.Show else Label18.Hide;
  if AH=241 then Label19.Show else Label19.Hide;
  if AH=242 then Label20.Show else Label20.Hide;
  if AH=243 then Label21.Show else Label21.Hide;
  if AH=244 then Label22.Show else Label22.Hide;
  if AH=245 then Label23.Show else Label23.Hide;
  if AH=246 then Label24.Show else Label24.Hide;
  if AH=247 then Label25.Show else Label25.Hide;
```

```
    if AH=248 then Label26.Show else Label26.Hide;
    if AH=249 then Label27.Show else Label27.Hide;

  AI := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7-SEG#3}
    if AI=250 then Label7.Show else Label7.Hide;
    if AI=241 then Label8.Show else Label8.Hide;
    if AI=242 then Label9.Show else Label9.Hide;
    if AI=243 then Label10.Show else Label10.Hide;
    if AI=244 then Label11.Show else Label11.Hide;
    if AI=245 then Label12.Show else Label12.Hide;
    if AI=246 then Label13.Show else Label13.Hide;
    if AI=247 then Label14.Show else Label14.Hide;
    if AI=248 then Label15.Show else Label15.Hide;
    if AI=249 then Label16.Show else Label16.Hide;

  AJ := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7-SEG#4}
    if AJ=250 then Label4.Show else Label4.Hide;
    if AJ=248 then Label5.Show else Label5.Hide;
    if AJ=249 then Label6.Show else Label6.Hide;

  AK := Port[$2F8]; Port[$2F8] := $F0;Delay(1);{7-SEG#5}
    if AK=241 then Label3.Show else Label3.Hide;
    if AK=250 then Label1.Show else Label1.Hide;
end;

end.
```

โปรแกรมทดสอบรหัส

```
unit Tast;
interface
uses
  SysUtils, WinTypes, WinProcs, Messages,
  Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private { private declarations }
  public { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
implementation {$R *.DFM}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
   Port[$2F8]:=$XX; {XX=00H-FFH}
end;

end.
```

ภาคผนวก ข

โปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ บน MCS-51

โปรแกรม EQUALIZER

```
;*********************************************************
        INCL"BASE.ASM"          ;equalizer 10ch
;*********************************************************
        ORG     0000H
INITIAL: MOV    SP,#060H        ;set sp
        MOV     P1,#000H        ;clr p1
        MOV     DPTR,#2FF3H     ;port control#1
        MOV     A,#08AH         ;mode0 10001010b
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     PCON,#080H      ;smod=1,/16
        MOV     TMOD,#022H      ;timer1 mode2
        MOV     TH1,#256-12     ;auto load
        MOV     TL1,#256-12     ;4800 baud
        SETB    TCON.6          ;start timer1
        MOV     SCON,#050H      ;8bit UART mode1

MEM:    MOV     DPTR,#2FF2H     ;port scan display 10ch
        MOV     R4,#00AH        ;do 10 add
        MOV     R1,#070H        ;add start
        MOV     R0,#068H        ;get scaning
        MOV     @R0,#000H       ;frist scaning
LOOP:   MOV     A,@R0           ;sub scan
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     DPTR,#2FF1H     ;port in display 10ch
        MOVX    A,@DPTR
```

```
TI1:    CJNE    A,#002H,TI2
        MOV     @R1,#006H
TI2:    CJNE    A,#004H,TI3
        MOV     @R1,#018H
TI3:    CJNE    A,#008H,TI4
        MOV     @R1,#01EH
TI4:    CJNE    A,#010H,TI5
        MOV     @R1,#060H
TI5:    CJNE    A,#020H,TI6
        MOV     @R1,#066H
TI6:    CJNE    A,#040H,TI7
        MOV     @R1,#078H
TI7:    CJNE    A,#080H,OTI
        MOV     @R1,#07EH
OTI:    INC     DPTR
        INC     R1
        INC     @R0
        MOV     R3,#005H        ;delay display
DEL1:   MOV     R2,#0AAH
DEL2:   DJNZ    R2,DEL2
        DJNZ    R3,DEL1
        MOV     A,@R0
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     R5,#00AH
DELAY:  DJNZ    R5,DELAY        ;delay pulse
        DJNZ    R4,LOOP         ;dec r4 go loop
```

```
TPOWER: MOV   R1,#07AH        ;add 1Ah,power
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   @R1,#006H
        JB    A.4,TBY
        MOV   @R1,#018H
TBY:    MOV   R1,#07BH        ;add 1Bh,by-pass
        MOV   @R1,#018H
        JB    A.5,CODE
        MOV   @R1,#006H

CODE:   JNB   RI,MEM          ;What is job,rx or tx
        CLR   RI
        MOV   A,SBUF
        CJNE  A,#066H,NEXT    ;if then rx else next
        AJMP  RX
NEXT:   CJNE  A,#078H,MEM     ;if then tx else mem
        AJMP  TX

RX:     JNB   RI,RX           ;sub rx
        CLR   RI
        MOV   A,SBUF
        CJNE  A,#018H,OTO     ;if then datarx else mem
DATARX: JNB   RI,DATARX
        CLR   RI
        MOV   A,SBUF
TO1:    CJNE  A,#006H,TO2     ;if then group1 else to2
        AJMP  GROUP1
TO2:    CJNE  A,#018H,TO3     ;if then group2 else to3
        AJMP  GROUP2
```

```
TO3:    CJNE    A,#01EH,OTO     ;if then group3 else mem
        AJMP    GROUP3
OTO:    AJMP    MEM

GROUP1: JNB     RI,GROUP1       ;sub group1
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
UI:     CJNE    A,#07EH,DI      ;boot 63Hz
        MOV     @R0,#001H
        AJMP    WORK
DI:     CJNE    A,#080H,UII     ;cut  63Hz
        MOV     @R0,#002H
        AJMP    WORK
UII:    CJNE    A,#086H,DII     ;boot 100Hz
        MOV     @R0,#003H
        AJMP    WORK
DII:    CJNE    A,#098H,UIII    ;cut  100Hz
        MOV     @R0,#004H
        AJMP    WORK
UIII:   CJNE    A,#09EH,DIII    ;boot 200Hz
        MOV     @R0,#005H
        AJMP    WORK
DIII:   CJNE    A,#0E0H,UIV     ;cut  200Hz
        MOV     @R0,#006H
        AJMP    WORK
UIV:    CJNE    A,#0E6H,DIV     ;boot 330Hz
        MOV     @R0,#007H
        AJMP    WORK
```

```
DIV:      CJNE    A,#0F8H,GROUP1O ;cut  330Hz
          MOV     @R0,#008H
          AJMP    WORK
GROUP1O:AJMP      MEM

GROUP2: JNB       RI,GROUP2       ;sub group2
          CLR     RI
          MOV     A,SBUF
UV:       CJNE    A,#07EH,DV      ;boot 500Hz
          MOV     @R0,#009H
          AJMP    WORK
DV:       CJNE    A,#080H,UVI     ;cut  500Hz
          MOV     @R0,#00AH
          AJMP    WORK
UVI:      CJNE    A,#086H,DVI     ;boot 1Khz
          MOV     @R0,#010H
          AJMP    WORK
DVI:      CJNE    A,#098H,UVII    ;cut  1KHz
          MOV     @R0,#020H
          AJMP    WORK
UVII:     CJNE    A,#09EH,DVII    ;boot 2KHz
          MOV     @R0,#030H
          AJMP    WORK
DVII:     CJNE    A,#0E0H,UVIII   ;cut  2KHz
          MOV     @R0,#040H
          AJMP    WORK
UVIII:    CJNE    A,#0E6H,DVIII   ;boot 3K3Hz
          MOV     @R0,#050H
          AJMP    WORK
```

```
DVIII:    CJNE   A,#0F8H,GROUP2O  ;cut  3K3Hz
          MOV    @R0,#060H
          AJMP   WORK
GROUP2O:  AJMP   MEM
GROUP3:   JNB    RI,GROUP3       ;sub group3
          CLR    RI
          MOV    A,SBUF
UIX:      CJNE   A,#07EH,DIX     ;boot 7KHz
          MOV    @R0,#070H
          AJMP   WORK
DIX:      CJNE   A,#080H,UX      ;cut  7KHz
          MOV    @R0,#080H
          AJMP   WORK
UX:       CJNE   A,#086H,DX      ;boot 14KHz
          MOV    @R0,#090H
          AJMP   WORK
DX:       CJNE   A,#098H,BYPASS  ;cut  14KHz
          MOV    @R0,#0A0H
          AJMP   WORK
BYPASS:   CJNE   A,#09EH,POWER   ;by-pass
          MOV    @R0,#0F0H
          AJMP   WORK
POWER:    CJNE   A,#0E0H,GROUP3O ;power
          MOV    @R0,#00FH
          AJMP   WORK
GROUP3O:  AJMP   MEM
WORK:     MOV    DPTR,#2FF0H     ;sub work
          MOV    A,@R0
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    R1,#0AAH
```

```
DEL3:    MOV    R2,#0FFH
DEL4:    DJNZ   R2,DEL4
         DJNZ   R1,DEL3
         MOV    A,#000H
         MOVX   @DPTR,A
RXEXIT:  AJMP   MEM              ;end rx
TX:      JNB    RI,TX            ;sub tx
         CLR    RI
         MOV    A,SBUF
         CJNE   A,#018H,TXEXIT   ;if then ok else mem

         MOV    P1,#0FFH         ;enable tx
         MOV    R4,#00CH         ;do 12 add
         MOV    R1,#070H         ;frist add
TXLOOP:  MOV    A,@R1
         CLR    TI
         MOV    SBUF,A
DATATX:  JNB    TI,DATATX
         CLR    TI
         INC    R1               ;inc add
WAIT:    JNB    RI,WAIT          ;wait rx
         CLR    RI
         DJNZ   R4,TXLOOP        ;dec r4 go txloop
         MOV    P1,#000H         ;clr p1
TXEXIT:  LJMP   MEM              ;to memory

         END                     ;ending

;****************************************
```

โปรแกรม TUNER

```
;************************************************
        INCL"BASE.ASM"   ;tuner fm stereo
;************************************************

        ORG     0000H

INITIAL: MOV    SP,#060H        ;set sp
         MOV    P1,#000H        ;clr p1
         MOV    DPTR,#2FF3H     ;port control #1
         MOV    A,#092H         ;mode0 10010010b
         MOVX   @DPTR,A
         MOV    DPTR,#4FF3H     ;port control #2
         MOV    A,#09BH         ;mode0 10011011b
         MOVX   @DPTR,A
         MOV    PCON,#080H      ;smod = 1 ,/16
         MOV    TMOD,#022H      ;timer1 mode2
         MOV    TH1,#256-12     ;auto load
         MOV    TL1,#256-12     ;4800 baud
         SETB   TCON.6          ;start timer1
         MOV    SCON,#050H      ;8bit UART  mode1
         MOV    R1,#068H        ;address control

MEM:     MOV    DPTR,#2FF0H     ;port memory1-8
         MOV    R0,#070H        ;address 70h
         MOVX   A,@DPTR
TM1:     CJNE   A,#001H,TM2
```

```
        MOV     @R0,#006H

TM2:    CJNE    A,#002H,TM3
        MOV     @R0,#018H
TM3:    CJNE    A,#004H,TM4
        MOV     @R0,#01EH
TM4:    CJNE    A,#008H,TM5
        MOV     @R0,#060H
TM5:    CJNE    A,#010H,TM6
        MOV     @R0,#066H
TM6:    CJNE    A,#020H,TM7
        MOV     @R0,#078H
TM7:    CJNE    A,#040H,TM8
        MOV     @R0,#07EH
TM8:    CJNE    A,#080H,TMO
        MOV     @R0,#080H
TMO:    CJNE    A,#000H,TMF
        MOV     @R0,#086H
TMF:    CJNE    A,#00FH,OTM
        MOV     @R0,#098H

OTM:    MOV     DPTR,#2FF1H     ;port control of tuner
        MOV     R0,#071H        ;address 71h,memory
        MOVX    A,@DPTR
TMEM:   MOV     @R0,#006H
        JB      A.0,TAU
        MOV     @R0,#018H
TAU:    MOV     R0,#072H        ;address 72h,automatic
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     @R0,#006H
```

```
        JB      A.1,TMA
        MOV     @R0,#018H
TMA:    MOV     R0,#073H        ;address 73h,manual
        MOV     @R0,#006H
        JB      A.2,TST
        MOV     @R0,#018H
TST:    MOV     R0,#074H        ;address 74h,stereo
        MOV     @R0,#006H
        JNB     A.3,TPOWER
        MOV     @R0,#018H
TPOWER: MOV     R0,#075H        ;address 75h,power
        MOV     @R0,#006H
        JB      A.4,OCON
        MOV     @R0,#018H

OCON:   MOV     DPTR,#4FF2H     ;port 7-seg2
        MOV     R0,#076H        ;address 76h,0/5
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     @R0,#098H
        JB      A.0,TSEG2
        MOV     @R0,#066H
TSEG2:  MOV     R0,#077H        ;address 77h,7-seg2
        MOVX    A,@DPTR
        ANL     A,#0FEH
TS20:   CJNE    A,#0FCH,TS21    ;number 0
        MOV     @R0,#098H
TS21:   CJNE    A,#060H,TS22    ;number 1
        MOV     @R0,#006H
TS22:   CJNE    A,#0DAH,TS23    ;number 2
        MOV     @R0,#018H
```

```
TS23:   CJNE    A,#0F2H,TS24    ;number 3
        MOV     @R0,#01EH
TS24:   CJNE    A,#066H,TS25    ;number 4
        MOV     @R0,#060H
TS25:   CJNE    A,#0B6H,TS26    ;number 5
        MOV     @R0,#066H
TS26:   CJNE    A,#0BEH,TS27    ;number 6
        MOV     @R0,#078H
TS27:   CJNE    A,#0E0H,TS28    ;number 7
        MOV     @R0,#07EH
TS28:   CJNE    A,#0FEH,TS29    ;number 8
        MOV     @R0,#080H
TS29:   CJNE    A,#0F6H,OTS2    ;number 9
        MOV     @R0,#086H

OTS2:   MOV     DPTR,#4FF1H     ;port 7-seg3
        MOV     R0,#078H        ;address 78h,7-seg3
        MOVX    A,@DPTR
        ANL     A,#0FEH
TS30:   CJNE    A,#0FCH,TS31    ;number 0
        MOV     @R0,#098H
TS31:   CJNE    A,#060H,TS32    ;number 1
        MOV     @R0,#006H
TS32:   CJNE    A,#0DAH,TS33    ;number 2
        MOV     @R0,#018H
TS33:   CJNE    A,#0F2H,TS34    ;number 3
        MOV     @R0,#01EH
TS34:   CJNE    A,#066H,TS35    ;number 4
        MOV     @R0,#060H
TS35:   CJNE    A,#0B6H,TS36    ;number 5
```

```
        MOV     @R0,#066H

TS36:   CJNE    A,#0BEH,TS37    ;number 6
        MOV     @R0,#078H
TS37:   CJNE    A,#0E0H,TS38    ;number 7
        MOV     @R0,#07EH
TS38:   CJNE    A,#0FEH,TS39    ;number 8
        MOV     @R0,#080H
TS39:   CJNE    A,#0F6H,OTS3    ;number 9
        MOV     @R0,#086H

OTS3:   MOV     DPTR,#4FF0H     ;port 7-seg4
        MOV     R0,#079H        ;address 79h,7-seg4
        MOVX    A,@DPTR
        ANL     A,#07FH
TS40:   CJNE    A,#07EH,TS48    ;number 0
        MOV     @R0,#098H
TS48:   CJNE    A,#07FH,TS49    ;number 8
        MOV     @R0,#080H
TS49:   CJNE    A,#07BH,OTS4    ;number 9
        MOV     @R0,#086H
OTS4:   MOV     R0,#07AH        ;address 7Ah,0/1
        MOVX    A,@DPTR
        MOV     @R0,#006H
        JB      A.7,CODE
        MOV     @R0,#098H

CODE:   JNB     RI,OTO          ;What is job,rx or tx
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
```

```
        CJNE    A,#066H,NEXT    ;if then rx else next
        AJMP    RX
NEXT:   CJNE    A,#078H,OTO     ;if then tx else mem
        AJMP    TX

RX:     JNB     RI,RX           ;sub rx
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
        CJNE    A,#006H,OTO     ;if then datarx else mem
DATARX: JNB     RI,DATARX
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
TO1:    CJNE    A,#006H,TO2     ;if then group1 else to2
        AJMP    GROUP1
TO2:    CJNE    A,#018H,OTO     ;if then group2 else mem
        AJMP    GROUP2
OTO:    AJMP    MEM

GROUP1: JNB     RI,GROUP1       ;sub group1
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
M1:     CJNE    A,#07EH,M2      ;m1
        MOV     @R1,#0F1H
        AJMP    WORK
M2:     CJNE    A,#080H,M3      ;m2
        MOV     @R1,#0F2H
        AJMP    WORK
M3:     CJNE    A,#086H,M4      ;m3
        MOV     @R1,#0F3H
        AJMP    WORK
```

```
M4:       CJNE    A,#098H,M5        ;m4
          MOV     @R1,#0F4H
          AJMP    WORK
M5:       CJNE    A,#09EH,M6        ;m5
          MOV     @R1,#0F5H
          AJMP    WORK
M6:       CJNE    A,#0E0H,M7        ;m6
          MOV     @R1,#0F6H
          AJMP    WORK
M7:       CJNE    A,#0E6H,M8        ;m7
          MOV     @R1,#0F7H
          AJMP    WORK
M8:       CJNE    A,#0F8H,GROUP1O   ;m8
          MOV     @R1,#0F8H
          AJMP    WORK
GROUP1O:  LJMP    MEM

GROUP2:   JNB     RI,GROUP2         ;sub group2
          CLR     RI
          MOV     A,SBUF
ME:       CJNE    A,#07EH,AU        ;memory
          MOV     @R1,#0F9H
          AJMP    WORK
AU:       CJNE    A,#080H,MA        ;automatic
          MOV     @R1,#0FAH
          AJMP    WORK
MA:       CJNE    A,#086H,UP        ;manual
          MOV     @R1,#0FCH
          AJMP    WORK
```

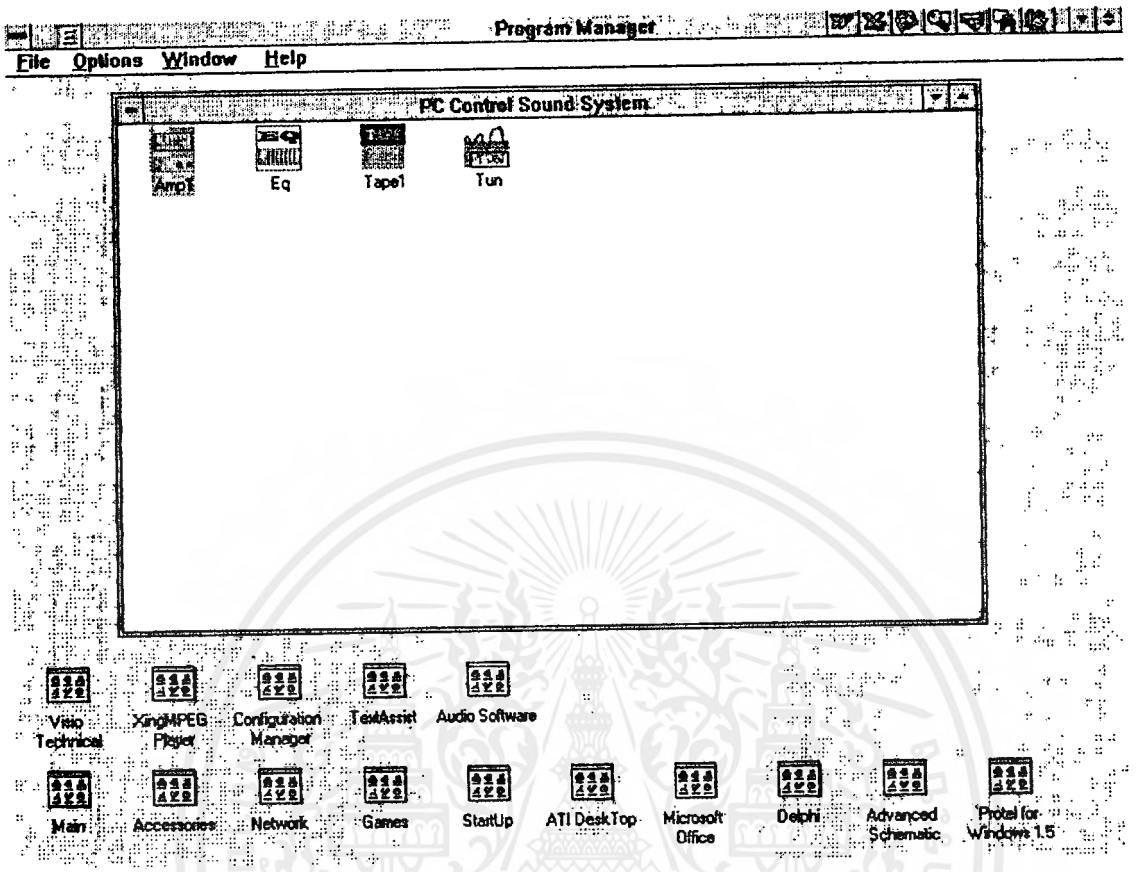
```
UP:       CJNE    A,#098H,DW          ;up
          MOV     @R1,#0FDH
          AJMP    WORK
DW:       CJNE    A,#09EH,POWER       ;down
          MOV     @R1,#0FEH
          AJMP    WORK
POWER:    CJNE    A,#0E0H,GROUP2O ;power
          MOV     @R1,#0FFH
          AJMP    WORK
GROUP2O: LJMP     MEM

WORK:     MOV     DPTR,#2FF2H         ;sub work
          MOV     A,@R1
          MOVX    @DPTR,A
          MOV     R3,#011H
DELAY2:   MOV     R2,#0AAH
DELAY1:   DJNZ    R2,DELAY1
          DJNZ    R3,DELAY2
          MOV     A,#000H
          MOVX    @DPTR,A
RXEXIT:   LJMP    MEM                 ;end rx

TX:       JNB     RI,TX               ;sub tx
          CLR     RI
          MOV     A,SBUF
          CJNE    A,#006H,TXEXIT ;if then ok else mem
          MOV     P1,#0FFH            ;enable tx
          MOV     R4,#00BH            ;do 11 address
          MOV     R0,#070H            ;first address
```

```
TXLOOP: MOV     A,@R0
        CLR     TI
        MOV     SBUF,A
DATATX: JNB     TI,DATATX
        CLR     TI
        INC     R0              ;inc address
WAIT:   JNB     RI,WAIT         ;wait rx
        CLR     RI
        DJNZ    R4,TXLOOP       ;dec r4 go txloop
        MOV     P1,#000H        ;clr p1
TXEXIT: LJMP    MEM             ;to memory

        END                     ;ending

;*************************************************
```

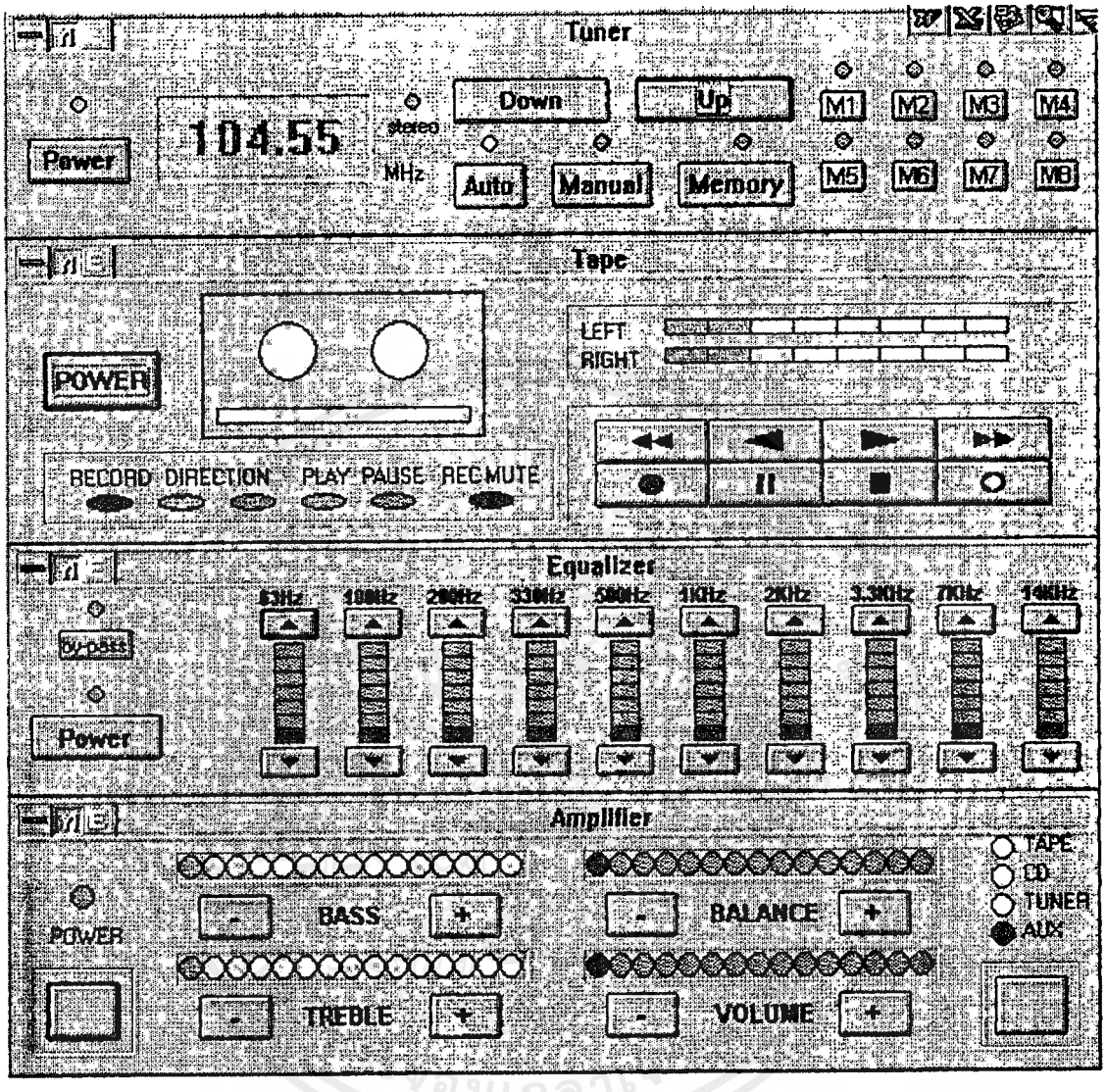
โปรแกรมทดสอบรหัส

```
;************************************************
        INCL"BASE.ASM"          ;data test
;************************************************
        ORG     0000H
INITIAL: MOV    DPTR,#2FF3H     ;port control#1
        MOV     A,#080H         ;mode1 10000000b
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     DPTR,#4FF3H     ;port control#2
        MOV     A,#080H         ;mode1 10000000b
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     PCON,#080H      ;smod=1,1/16
        MOV     TMOD,#022H      ;timer1 mode2
        MOV     TH1,#256-12     ;auto load
        MOV     TL1,#256-12     ;4800 baud
        SETB    TCON.6          ;start timer1
        MOV     SCON,#050H      ;8bit UART mode1
        MOV     DPTR,#2FF0H
RX1:    JNB     RI,RX1          ;byte after
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
        MOV     DPTR,#2FF0H     ;port A
        MOVX    @DPTR,A
RX2:    JNB     RI,RX2          ;byte before
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
        MOV     DPTR,#2FF1H     ;port B
        MOVX    @DPTR,A
        END                     ;ending
;************************************************
```

ภาคผนวก ค



แสดง ICON ของโปรแกรม Computer Control Sound System



รูปแสดง หน้าจอบนคอมพิวเตอร์ขณะใช้งาน

หนังสืออ้างอิง

1. บุญเลิศ เอี่ยมทัศนา , " DELPHI " , เริ่มเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย DELPHI 1.0 และ 2.0.
2. นุกูลกระจาย , " บอร์แลนด์ปาสคาล " , การเขียนแอปพลิเคชั่นในวิรดดวส์ด้วยบอร์แลนด์-ปาสคาล.
3. นุกูลกระจาย , " บอร์แลนด์ปาสคาล 7.0 " , การเขียนโปรแกรมด้วยบอร์แลนด์ปาสคาล 7.0.
4. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น ," MCS-51 (80C535) " , โมโครโปรเซสเซอร์ 2.
5. สุเจตน์ จันทรังษ์ , " MCS-51 " , มหานครวิทยาลัย , ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051.
6. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น , " การสื่อสารข้อมูลพอร์ทอนุกรม" , คัมภีการใช้งานการสื่อสาร-อนุกรมบน PC.
7. นุกูล กระจาย , " ภาษาปาสคาล " , การเขียนโปรแกรมและประมวลผลข้อมูลด้วย-เทอร์โบปาสคาล.
8. พ.ต.ประพัฒน์ อุทโยกาศ , " เทอร์โบปาสคาล " , เรียนเทอร์โบปาสคาลด้วยตนเอง.
9. สุนทร วิทูสุรพจน์ , " คอนโทรลเลอร์ 8051 " , การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโคร-คอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 .
10. รัชนัย อินทุใส , ไตรภพ อินทุใส , " MCS-51 " , ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 .
11. วิริยชัย วิไลเทเวศร์ ," จูนเนอร์เอฟเอ็มซินธีไซเซอร์ " , วารสารเซมิคอนดัคเตอร์-อิเล็กทรอนิกส์ , ฉบับที่ 124 , 2536 , หน้า14-25.
12. วิทยา เปี่ยมเจริญ , " ดีซีโทนคอนโทรลกับสเตริโอไวด์ " , รวมโครงาน 90 (CEW) , หน้า 55-58.