สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง วิทยาเขตระยอง

เครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ

(TICKET MACHINE)

โดย

นาย นายศุภรัตน์ บุญชื่น

นาย เศกสิทธิ์ โชติกูล

นาย สุธรรม สัทธรรมสกุล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ
(TICKET MACHINE)

นักศึกษา นายศุภรัตน์ บุญชื่น รหัสประจำตัว 42015528
นายเศกสิทธิ์ โชติกูล รหัสประจำตัว 42015529
นายสุธรรม สัทธรรมสกุล รหัสประจำตัว 42015535

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย
รศ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

ปีการศึกษา 2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบังอนุญาตให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(_____)
_____กรรมการ
(_____)
_____กรรมการ
(_____)
_____กรรมการ
(_____)
_____กรรมการ
(_____)
_____กรรมการ
(_____)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงาน	เครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ	
นักศึกษา	นายสุภรัตน์ บุญชื่น	รหัสประจำตัว 42015528
	นายเศกสิทธิ์ โชติกูล	รหัสประจำตัว 42015529
	นายสุธรรม สัทธรรมสกุล	รหัสประจำตัว 42015535
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย	
	ร.ศ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2544	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ นำเสนอโครงงานเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ ซึ่งจัดทำขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ เพื่อศึกษาการทำงานระบบแมคคานิค รู้จักกับการออกแบบงานด้านแมคคานิค รวมทั้งศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 (เบอร์ AT 89C52) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานง่าย ลักษณะพิเศษของเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ คือ ตรวจสอบเหรียญปลอมและทอนเหรียญ โดยเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติสามารถใช้กับเหรียญชนิด 10 บาท , 5 บาท และ 1 บาท ดังนั้นการนำต้นแบบของเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในงานประเภทอื่น ๆ สามารถทำได้ เช่น เครื่องขายตั๋วรถโดยสารประจำทาง เครื่องขายบัตรโทรศัพท์สาธารณะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT TICKET MACHINE

STUDENT MR. SUPHARAT BOONCHEN
MR. SEAKSITH CHOTIKUL
MR. SUTHAM SATTHAMSAKUL

ADVISOR MISS NOPPIN ANANTRASIRICHAI
ASSOC. PROF. CHAWALIT BENJANGKAPRASERT

LEVEL OF STUDY BACHELOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL TECHNOLOGY

ACADEMIC YEAR 2001

ABSTRACT

This project presents the study in invent prototype of Automated Ticket Selling Machine. The objectives are study about the mechanism, mechanical designing, microcontrol system and programming for practical. This project use microcontroller MCS-51 AT 89C52 type, which is easily adaptable for application. The special characteristics of the Automated Ticket Selling Machine are detected counterfeited coins and return changers. In addition, the Automated Ticket Selling Machine can accept coins of 10 , 5 and 1 BATH. This prototype can be applied for various use, for example, bus ticket selling machines, telephone card issuers, etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเป็นผลสำเร็จ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณท่านอาจารย์นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย และรศ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษา ความสะดวกในการใช้ห้องทดลองรวมถึงเครื่องมือในการจัดทำโครงงาน ขอขอบคุณคณะกรรมการทุกท่านที่ให้คำชี้แนะและคำติชม เพื่อแก้ไขในโครงงานที่จัดทำขึ้น ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่สนับสนุนในการจัดทำโครงงาน รวมทั้งขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยเอาใจใส่ดูแลในทุก ๆ ด้าน ซึ่งทำให้โครงงานนี้แล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่กลุ่มผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

นายศุภรัตน์ บุญชื่น
นายเศกสิทธิ์ โชติกูล
นายสุธรรม สัทธรรมสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
หัวข้อปริญญานิพนธ์		I
บทคัดย่อภาษาไทย		II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		III
กิตติกรรมประกาศ		IV
สารบัญ		V
สารบัญรูป		VII
สารบัญตาราง		IX
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 วัตถุประสงค์	1
	1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
	1.3 ลักษณะของโครงงาน	2
บทที่ 2	ทฤษฎีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	4
	2.1 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	4
	2.2 การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	6
	2.3 ควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	10
	2.4 การเกิดออสซิลเลตของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	13
	2.5 วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	13
บทที่ 3	ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	18
	3.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	18
	3.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51	19
	3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51	23
	3.4 การจัดหน่วยความจำ	24
	3.5 การเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี	28
	3.6 การใช้งานรีจิสเตอร์	29
	3.7 การอินเตอร์รัปต์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง		หน้า
บทที่ 4	โครงสร้างของระบบโครงงานเครื่องขายตั๋วอัติโนมัติ	37
	4.1 ชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว	38
	4.2 ชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญปลอม	40
	4.3 ชุดจ่ายตั๋ว	42
	4.4 ชุดทอนเหรียญ	45
บทที่ 5	บทสรุป	47
เอกสารอ้างอิง		48
ภาคผนวก ก.	แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน	49
ภาคผนวก ข.	โปรแกรมในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	57
ภาคผนวก ค.	วงจรแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงงาน	75
ภาคผนวก ง.	คู่มือการใช้งาน และรายละเอียดของ IC	85
	- ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52	86
	- BCD to Seven Segment เบอร์ 4511	110
	- 8 CH Darlington เบอร์ ULN2803	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูป 2.1	รูปร่างหน้าตาของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดต่าง ๆ	5
รูป 2.2	ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์	6
รูป 2.3	ทิศทางการหมุนโรเตอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 4 เฟส	7
รูป 2.4	ไบโพลาร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส	8
รูป 2.5	ยูนิโพลาร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์	9
รูป 2.6	(ก) กระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็ก 1 ขั้ว	9
	(ข) กระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว	10
รูป 2.7	วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	11
รูป 2.8	บล็อกไดอะแกรมควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์	14
รูป 2.9	(ก) การขับสเต็ปเปอร์แบบยูนิโพลาร์	14
	(ข) การขับสเต็ปเปอร์แบบไบโพลาร์	15
รูป 2.10	(ก) วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	15
	(ข) R-C ชดเชยค่าอินดัคแตนซ์	16
	(ค) การทำงานที่มีความชันของสวิตซ์มาก	16
	(ง) วงจรขับมอเตอร์ที่ดีที่สุด	17
รูป 3.1	แสดงการจัดตำแหน่งขาต่าง ๆ ของ MCS-51	20
รูป 3.2	แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51	23
รูป 3.3	แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำ	24
รูป 3.4	แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรี จิสเตอร์หน้าที่พิเศษ	26
รูป 3.5	ตัวอย่างโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี	27
รูป 3.6	แสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดจากซอร์สโค้ดจนเป็นออปเจ็กต์โค้ด	29
รูป 3.7	หน้าที่การทำงานแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IE	33
รูป 3.8	หน้าที่การทำงานแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON	33
รูป 3.9	หน้าที่การทำงานแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IP	36
รูป 4.1	บล็อกไดอะแกรมรวม	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูป 4.2	อธิบายโครงสร้างชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว	38
รูป 4.3	อธิบายโครงสร้างชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ	41
รูป 4.4	อธิบายโครงสร้างชุดจ่ายตั๋ว	42
รูป 4.5	โครงสร้างชุดจ่ายตั๋ว	44
รูป 4.6	อธิบายโครงสร้างชุดทอนเหรียญ	45
รูป 4.7	โครงสร้างชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ และโครงสร้างชุดทอนเหรียญ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตาราง 2.1	แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	11
ตาราง 2.2	แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	12
ตาราง 2.3	แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	13
ตาราง 3.1	แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51	19
ตาราง 3.2	แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3	21
ตาราง 3.3	แสดงค่าตำแหน่งแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์ โดยสัญญาณต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นใหม่ในโปรแกรมมอนิเตอร์ EMON 51	31
ตาราง 4.1	แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ สถานีรถไฟบางแห่งที่เป็นสถานีย่อยมักจะมีการจำหน่ายตั๋วรถไฟโดยพนักงานการรถไฟแห่งประเทศไทย ประกอบกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิคส์ จึงมีแนวคิดที่จะจัดทำเครื่องจำหน่ายตั๋วรถไฟอัตโนมัติที่สามารถทอนเงินได้ โดยไม่ต้องมีคนเฝ้าเครื่อง โดยที่เครื่องที่จัดทำนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่น เครื่องขายตั๋วเดือนรถโดยสารประจำทาง เครื่องขายบัตรโทรศัพท์สาธารณะ เป็นต้น

1.1 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงานนี้คือ

1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในงานควบคุม
2. เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อศึกษาการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุม
4. เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อข้อมูลของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
5. เพื่อศึกษาระบบกลไก ควบคุมการหยอดเหรียญขั้นพื้นฐาน
6. เพื่อศึกษาระบบกลไกในการตรวจสอบเหรียญปลอมขั้นพื้นฐาน
7. เพื่อศึกษาระบบการทำงานแบบแมคคาโทรนิกส์

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้รับความรู้ความเข้าใจในระบบกลไก ระบบควบคุมการหยอดเหรียญ และการตรวจสอบเหรียญปลอม
3. สามารถเข้าใจการเชื่อมต่อข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบควบคุม
4. สามารถได้รับความรู้ ความเข้าใจในระบบแมคคาโทรนิกส์
5. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ได้

เนื่องจากเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติประกอบด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิคส์ โปรแกรมควบคุม และกลไกทางแมคคานิค ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาถึงการทำงานและพื้นฐานทั่ว ๆ ไปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งในโครงงานนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีของอุปกรณ์ที่สำคัญอยู่ 2 ทฤษฎีคือ ทฤษฎีแรกจะกล่าวถึงทฤษฎีและพื้นฐานทั่ว ๆ ไปของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบแมคคาโทรนิกส์ของโครงงานโดยที่จะนำไปใช้ในส่วนของชุดจ่ายตั๋ว และชุดทอนเหรียญ ส่วนอีกทฤษฎีหนึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎีและพื้นฐานทั่ว ๆ ไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบควบคุมของโครงงาน โดยที่จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโครงงาน โดยจะมีการเขียนโปรแกรมในรูปของคำสั่งที่ใช้ภาษาแอสแซมบลี เพื่อตรวจเช็คราคาตั๋ว และนำไปแสดงผล รวมทั้งนำไปควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์เพื่อทำการจ่ายตั๋วและทอนเหรียญด้วย

1.3 ลักษณะของโครงงาน

โครงงานเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัตินี้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ (HARDWARE)
   - 1.1 ส่วนของชุดหยอดเหรียญ และตรวจสอบเหรียญปลอม (INSERT COIN AND CHECKING COIN UNIT) ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างกลไก ระบบควบคุม และระบบแมคคานิคในการหยอดเหรียญ เพื่อที่จะแยกราคาของเหรียญ และตรวจสอบเหรียญปลอม
   - 1.2 ส่วนของชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว (USER INTERFACE UNIT)
     ในส่วนนี้จะเป็นการสร้าง ระบบการติดต่อระหว่างผู้ซื้อตั๋วกับเครื่องจำหน่ายตั๋ว เพื่อที่จะเลือกซื้อตั๋วในสถานีที่ต้องการจะเดินทาง ซึ่งประกอบด้วยส่วนแสดงผลที่จะแสดงเวลา และจำนวนเงินที่หยอดลงไป
   - 1.3 ส่วนของชุดจ่ายตั๋ว (DISTRIBUTE TICKET UNIT)
     ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างระบบกลไก ระบบควบคุม และระบบแมคคานิคในการจ่ายตั๋ว เพื่อที่ผู้ซื้อจะได้รับตั๋วตามราคาและสถานีที่ต้องการจะไป ในส่วนสำคัญจะสร้างโดยการใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์
   - 1.4 ส่วนของชุดทอนเหรียญ (RETURN THE COIN UNIT)
     ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างกลไก ระบบควบคุม และระบบแมคคานิคในการทอนเงิน เพื่อผู้ซื้อจะได้รับเงินทอนในกรณีที่หยอดเงินเกินราคาตั๋ว ส่วนสำคัญจะสร้างโดยการใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนที่เป็นซอฟท์แวร์ (SOFTWARE)

จะประกอบด้วยโปรแกรมที่เป็นคำสั่งต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะใช้ในการควบคุมชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญปลอม ชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว ชุดจ่ายตั๋ว และชุดหยอดเหรียญซึ่งจะเป็นการควบคุมทางด้านไฟฟ้า

ในการสร้างเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติขึ้นมานี้ จะต้องศึกษาการเขียนและการพัฒนาโปรแกรมและการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมต่าง ๆ และนำมาควบคุมระบบแมคคานิค พร้อมทั้งศึกษาการเชื่อมต่อกับระบบแมคคานิค โดยมีไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นส่วนสำคัญ

ซึ่ง MCS-51 นี้ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลที่นิยมใช้กันทั่วไป และสามารถใช้งานได้หลากหลายและกว้างขวาง ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีขาสัญญาณอินพุต เอาต์พุต จำนวน 32 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว 4 กิโลไบต์ขึ้นไป มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว 128 ไบต์ มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต คำสั่งโดยส่วนใหญ่ทำงานเพียง 1 ไมโครวินาทีต่อคำสั่ง และต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เพียงชุดเดียว ในการพัฒนาการเขียนโปรแกรมจะใช้โปรแกรมภาษาแอสแซมบลี ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบคำสั่งเรียกว่า นิวโมนิก (MNEMONIC) โดยในแต่ละบรรทัดจะมีส่วนคำอธิบาย (COMMENT) ด้วย ซึ่งในส่วนคำอธิบายนี้จะทำให้เข้าใจคำสั่งได้ง่าย และรวมทั้งเข้าใจเมื่อต้องการพัฒนาโปรแกรม ส่วนแสดงผลจะใช้ SEVEN SEGMENT และใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ควบคุมในการจ่ายตั๋ว และใช้โซลินอยด์ ควบคุมการทอนเหรียญและเก็บเหรียญ

เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติมีการติดต่อกับผู้ใช้โดยประกอบด้วยฟังก์ชัน

- หยอดเหรียญที่ช่องหยอดเหรียญ
- เลือกสถานีปลายทางที่ต้องการไป
- รับเงินทอนจากช่องทอนเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การทำงานและพื้นฐานทั่วไปของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อใช้ในโครงงานเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติมีดังต่อไปนี้

2.1 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การแบ่งชนิดสเต็ปเปอร์มอเตอร์ หากแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานหรือความแตกต่างของรูปแบบโรเตอร์จะแบ่งออกได้ 4 ชนิด แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการพันขดลวดบนสเตเตอร์จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1. แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน

● **ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance ; VR)** มีโครงสร้างโรเตอร์แบบมัลติทูธ (multi-tooth) ทำจากเหล็กอ่อน จะทราบว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้ได้โดยการทดสอบอย่างง่าย คือใช้มือหมุนเพลาของมอเตอร์และสังเกตเห็นว่าหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด เพราะที่โรเตอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กแตกต่างจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet ; PM) และชนิดไฮบริด ซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ขณะหมุนจะรู้สึกขัด ๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีจุดด้อยในความถูกต้องของตำแหน่งและทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง

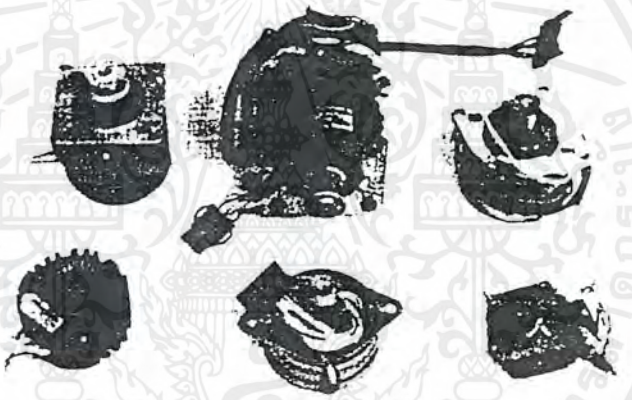
● **ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet ; PM)** มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก บนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวร การควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยล์พันแยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด โรเตอร์จะอยู่คงที่ที่ขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดเป็นแรงยึดหน่วงขึ้น สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีในความถูกต้องของตำแหน่ง ถึงแม้ว่าความเร็วจะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดอื่น

● **ชนิดไฮบริด (Hybrid)** เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โครงสร้างภายในได้จากการรวมเอาโครงสร้างของโรเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์และชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้เป็นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดที่มีแรงยึดหน่วงสูง มีแรงดึงและผลักได้ดีซึ่งมีความคงที่และทำงานได้ดี ถึงแม้ว่าจะมีสเต็ปรอบในการหมุนสูง

● ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบใหม่อีกชนิดหนึ่ง ปรับปรุงมาจากสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มีโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแผ่นยึดติดกับเพลามอเตอร์มีโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำ อัตราเร่งสูง แรงบิดดึงกำลังทางกลและความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก ความเร็วเริ่มหมุนและหยุดสูง สูญเสียพลังงานต่ำ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ดิสก์แมกเน็ตสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Disc Magnet Steppers) รูปร่างหน้าตาของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานกันมากดังรูปที่ 2.1



รูปที่2.1 รูปร่างหน้าตาของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดต่าง ๆ ตัวบนกลางเป็นชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ ล่างซ้ายชนิดแรเอิร์ธดิสก์สเต็ปเปอร์ ตรงกลางชนิดไฮบริดจ์ ล่างขวาชนิดที่ใช้ในฟลอบปี้ไดรฟ์และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.1.2 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์

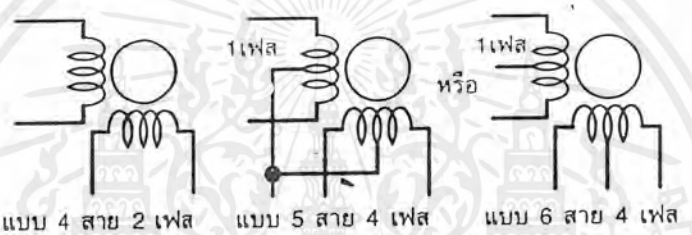
● **แบบไบโพลาร์ (Bipolar)** มีการพันขดลวด 1 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งการกำหนดทิศการไหลและกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทำได้โดยการใช้วงจรสวิตชิ่งกลับขั้วไฟฟ้า

● **แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)** มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้โดยการสวิตชิ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่ง ขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที

ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.2 การพิจารณาว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใดสังเกตได้ง่าย ถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรือดูได้จากป้ายชื่อที่ติดอยู่กับมอเตอร์ ก็ได้



(ก) แบบไบโพลาร์ (ข) แบบยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.2 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์

2.2 การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่ว ๆ ไปโดยเมื่อมีการป้อนกำลังไฟฟ้า มอเตอร์จะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด แต่มอเตอร์ทั่วไปจะหมุนทันทีและตลอดเวลา สเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียดโดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

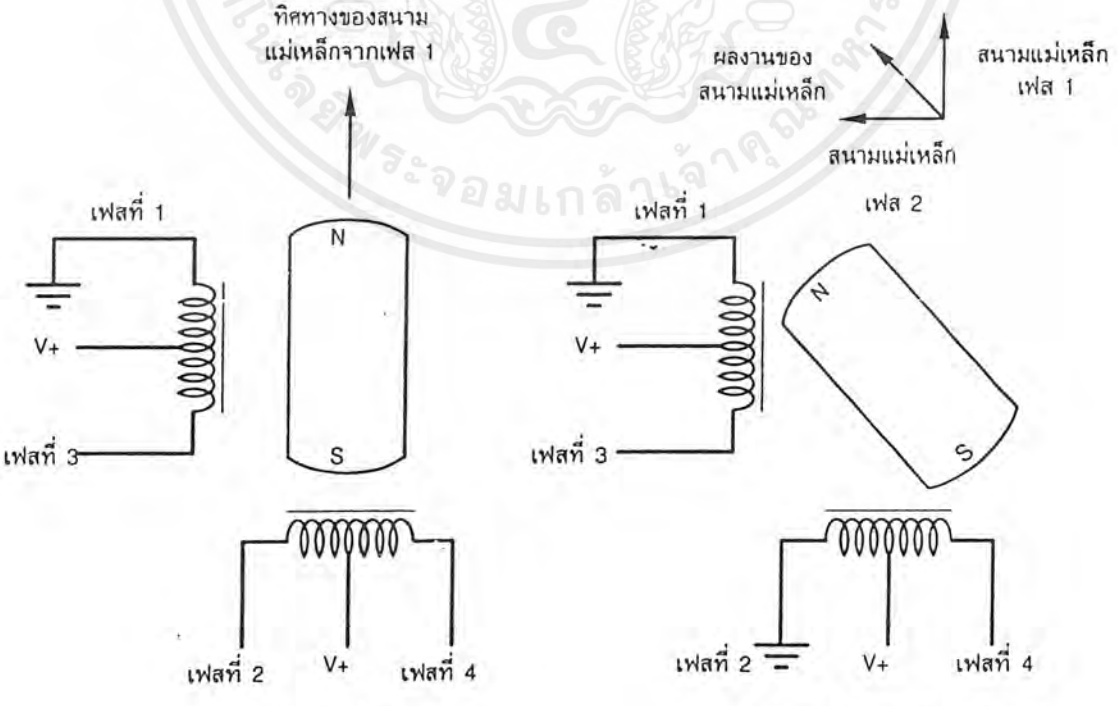
สเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถทำงานในระบบเปิด (open loop system) แต่วิธีกำหนดตำแหน่งการหมุนให้ถูกต้องจำเป็นต้องมีการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้ โดยทั่วไปจะใช้สวิตช์ตรวจจับตำแหน่ง (limit switch) ติดตั้งไว้ตรงตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ เมื่อสเต็ปเปอร์มอเตอร์เริ่มหมุนและหมุนจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสวิตช์ตรวจจับ สัญญาณก็จะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบและทราบการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้ตลอดเวลา ซึ่งโดยปกติในวงจรคอนโทรลเลอร์จะมีการกำหนดจุดอ้างอิงไว้ด้วย เพื่อให้เริ่มต้นทำงานและอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างง่าย ๆ เช่น ถ้าเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะได้ยินเสียงสเต็ปเปอร์มอเตอร์ขณะกำลังเคลื่อนที่พาหาจุดอ้างอิงที่กำหนด หลังจากนั้นวงจรไดรฟ์คอนโทรลเลอร์จะเริ่มทำงานได้ โดยตัวมันจะทราบถึงทุก ๆ สเต็ปที่กำลังขับเคลื่อน

การทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ก็เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไป คือ ต้องมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็ก การหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและกลับทิศทางไปมา โดยกระบวนการทางไฟฟ้ากระแสสลับหรือการจัดวางแปรงถ่านหรือการจัดแยกคอมมิวเตเตอร์ และการทำสวิตชิ่งกำลังไฟฟ้าให้เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามไปตลอดเวลา และเมื่อต้องการให้หยุดหมุนทำได้โดยการหยุดขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่ง โดยหยุดการสวิตชิ่งในลำดับต่อไปเสีย การหมุนกลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ทำการสวิตชิ่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดสนามแม่เหล็กให้หมุนในทิศทางกลับกัน หรือกลับลำดับการสวิตช์ของมัน

เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นให้ดูหลักการทำงานแบบง่าย ๆ ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 4 เฟส ตัวโรเตอร์เป็นแม่เหล็กโดยจะเปลี่ยนทิศทางไปตามสนามแม่เหล็ก การให้พลังงานแก่ขดลวดใดขดลวดหนึ่งโรเตอร์ก็จะหมุนไป 90 องศา ดังรูปที่ 2.3 (ก) แต่ถ้าให้ทีเดียว 2 ขดพร้อมกัน โรเตอร์ก็จะหมุนเพียง 45 องศา ดังรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งแบบหลังจะสร้างแรงบิดได้มากกว่าแบบแรก สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะมีมุมของการเคลื่อนที่แต่ละสเต็ปเป็น 1.8 องศา ดังนั้นที่โรเตอร์จะต้องมีขั้วแม่เหล็ก 50 ขั้ว (90/50 = 1.8)

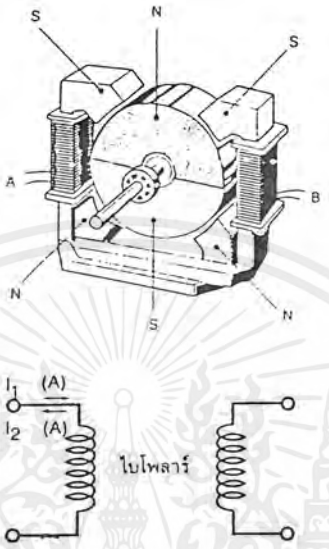


(ก) เฟสที่ 1 ทำงาน (ข) เฟสที่ 1 และ 2 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ทิศทางการหมุนโรเตอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 4 เฟส

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ 4 เฟส (ความจริงแล้วเรียกชื่อยังไม่ถูกต้องนักน่าจะเรียกว่าเป็นแบบ 2 เฟสมากกว่า) ถึงแม้ว่าขดลวดจะมี 4 ขดก็ตาม แต่การทำงานของเฟสที่ 3 หรือเฟสที่ 4 มีค่าเท่ากับเฟสที่ 1 หรือเฟสที่ 2 การที่มี 4 ขด ก็เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม โดยการใส่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ 4 ตัว

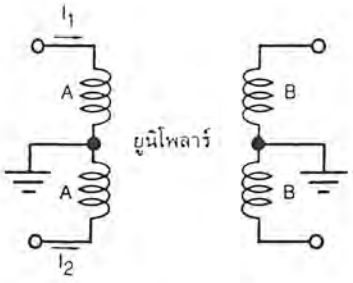


รูปที่ 2.4 ไบโพลาร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส

ส่วนในรูปที่ 2.4 เป็นการพันขดลวดแบบไบโพลาร์ เมื่อขดลวด A และ B มีกระแสไหลผ่าน จะเกิดขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ เป็นผลให้โรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กต่างกับที่สเตเตอร์ถูกดูดต่อมาเมื่อกระแสที่ไหลในขดลวด A เปลี่ยนทิศทางกลับ จึงเป็นผลให้ขั้วแม่เหล็กที่แกน A เปลี่ยนจากขั้ว S เป็นขั้ว N จากขั้ว N เป็นขั้ว S สลับกัน โรเตอร์จึงถูกผลักให้หมุนทวนเข็มไป 90 องศา ลำดับการหมุนใน 1 รอบ เป็นสเต็ปดังนี้ AB, $\bar{A}B$, $\overline{AB}$, $A\bar{B}$, AB มี 4 สเต็ป ๆ ละ 90 องศา เครื่องหมายขีด (−) บนอักษร A, B แทนการกลับขั้ว

จะสังเกตได้ว่าเมื่อกลับขั้วแม่เหล็กในแต่ละเฟสจะต้องมีการหยุดกระแสก่อนแล้วกระแสจึงค่อยเปลี่ยนทิศทาง จึงสรุปเป็นสเต็ปได้คือ $AB, B, \overline{AB}, \bar{A}, \bar{B}, A\bar{B}, A, AB$ การทำงานเป็นแบบครึ่งสเต็ปนี้ เป็นผลให้ค่าโมเมนต์มีค่าน้อยกว่าปกติ เพราะมีช่วงเวลาที่กระแสไหลแค่เฟสเดียว ส่วนแบบยูนิโพลาร์ก็คล้ายกับแบบไบโพลาร์โดยคิดขดเดียว ในแต่ละเฟสของยูนิโพลาร์จะมีแถบกลางซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ขด ดังรูปที่ 2.5 จึงเป็นผลให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อยกว่าไบโพลาร์

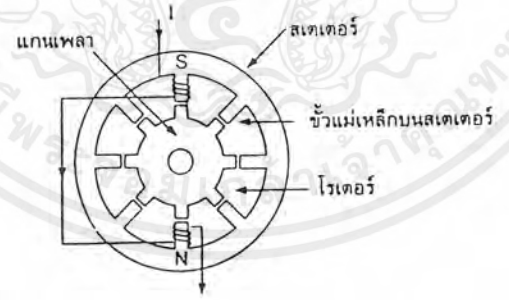
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ยูนิโพลาร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์

ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงกระแสจะไม่เปลี่ยนทิศทางการไหล สนามแม่เหล็กที่ได้ก็น้อยตาม แรงบิดที่ขึ้นกับสนามแม่เหล็กก็น้อยกว่าด้วย

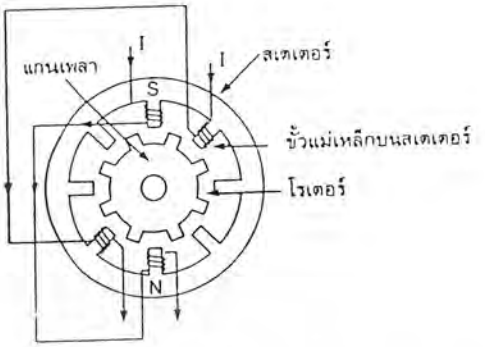
โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมา แต่ละซี่เหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ในขณะเดียวกันด้านตรงข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้า แต่ว่าจะไหลวนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศตรงข้ามขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้น จะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงรอบมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.6 (ก) กระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็ก 1 ขั้ว ในทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนขดอื่น ๆ ไม่ถูกกระตุ้น

การเพิ่มจำนวนของสเต็ปสามารถทำได้อีกวิธีหนึ่ง โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายใน โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลางของ 2 ขั้วแม่เหล็กนั้นหรือเคลื่อนที่ไปครึ่งสเต็ปเท่านั้น และวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิดมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



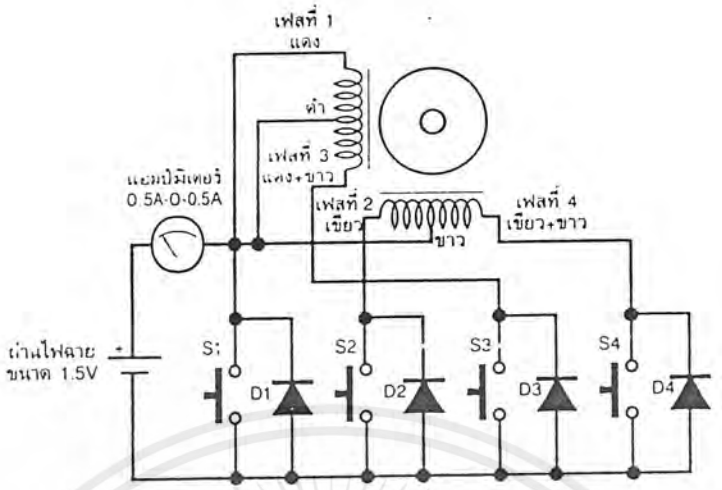
รูปที่ 2.6 (ข) กระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้ว ที่อยู่ใกล้กัน

สเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยทั่วไปมีจำนวนของขั้วแม่เหล็กหรือจำนวนสเต็ปต่อรอบเป็นจำนวนมาก ปกติอยู่ที่ประมาณ 100 – 400 สเต็ปต่อรอบ การมีจำนวนสเต็ปมาก ๆ นี้ไม่ได้เพิ่มที่จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่สเตเตอร์ แต่ทำได้โดยเพิ่มจำนวนซี่ขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ จำนวนสเต็ปต่อรอบทั้งหมดจะได้จากการคูณจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และจำนวนซี่ที่โรเตอร์ เช่น ถ้ามีขั้วแม่เหล็ก 3 ขั้วบนสเตเตอร์ และ 8 ซี่ขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวนี้จะทำงานที่ 24 สเต็ปต่อรอบ หรือ หมุนเป็นมุม 15 องศาต่อสเต็ป

2.3 ควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

วิธีการศึกษาการทำงานของสเต็ปเปอร์มอร์เตอร์มีวิธีง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.7 โดยป้อนแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ มาใช้ขับให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ ใช้สวิตช์กด 4 ตัว ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานแบบเวฟหรือครึ่งสเต็ป ไดโอด D1 – D4 ป้องกันการสปาร์กที่หน้าคอนแท็กสวิตช์และแรงดันย้อนกลับ สมมติว่าขดลวดเฟสที่ 1 สวิตช์ S1 ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 1 ลงกราวด์ และเมื่อสวิตช์ S1 เปิดวงจรก็จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 3 โดยผ่านทางไดโอด D3 ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันตกคร่อมขดลวด 2 ขณะเปิดวงจร (เป็นแรงดันตกคร่อมไดโอด) ซึ่งจะมีขนาดแรงดันเป็น 2 เท่าของแรงดันในตอนแรกเพราะฉะนั้นการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ต้องคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเมื่อนำมาใช้ในการขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปเปอร์

การกระตุ้นเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปในการใช้งานจริง ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

1. **แบบเวฟ (Wave)** เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป เช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้นวงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

2. **แบบ 2 เฟส (Two Phase)** เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟคือขดลวดที่ 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดถัดไป สำหรับข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

3. แบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นรูปแบบผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวด 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องระวังไว้ว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ป เต็มเหมือนกับในในการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับแบบ 2 เฟส จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.4 การเกิดออสซิลเลตของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

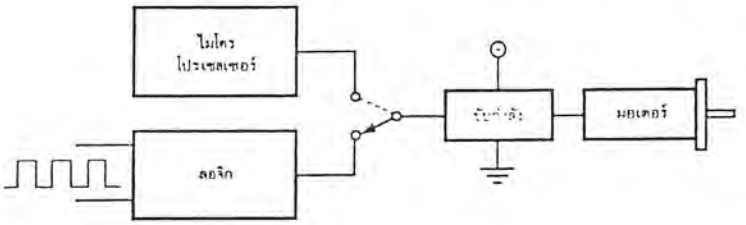
ความเร็วของการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นลิเนียร์กับความถี่ที่ป้อนให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แต่เมื่อเราป้อนความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงความถี่ค่าหนึ่งสเต็ปเปอร์มอเตอร์ก็จะหยุดหมุน เนื่องจากมอเตอร์หมุนตามฟลักซ์แม่เหล็กไม่ทัน เราเรียกว่า มอเตอร์เกิดการออสซิลเลต ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวจะออสซิลเลตที่ความถี่ต่างกันไป โดยทั่วไปจะออสซิลเลตที่ความถี่ประมาณ 500 Hz ในการขับแบบเวฟ หรือ 2 เฟส และจะมีความถี่ประมาณ 1 kHz เมื่อขับแบบครึ่งสเต็ป

แต่เมื่อลดความถี่ให้ต่ำลงมอเตอร์จะไม่หมุนทันทีและเมื่อความถี่ลงจนถึงความถี่หนึ่งมอเตอร์จึงจะเริ่มหมุนอีกครั้ง นั่นคือ มอเตอร์มีฮิสเทอรีซิส (Hysterisis) ซึ่งมอเตอร์จะเริ่มหมุนที่ความถี่ประมาณ 200 Hz ในการขับแบบเวฟ หรือ 2 เฟส และมีความถี่ประมาณ 150 Hz เมื่อขับแบบครึ่งสเต็ป

2.5 วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

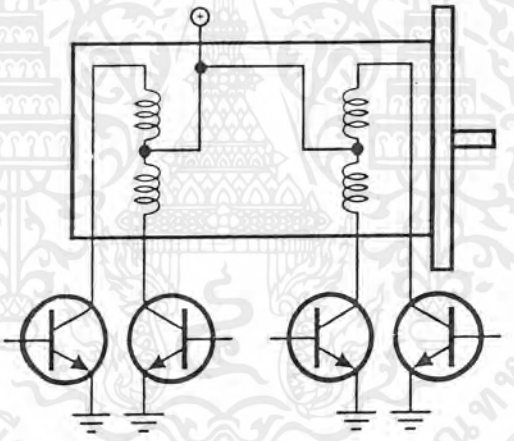
การนำเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาใช้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ แสดงดังในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์

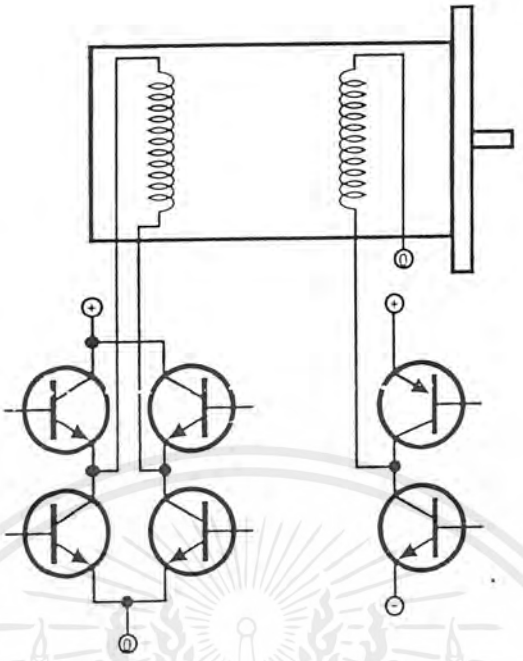
การขับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์นี้ก็ต้องแยกด้วยว่าขับมอเตอร์แบบไบโพลาร์หรือยูนิโพลาร์ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับเฟสของมอเตอร์ด้วยว่ามีจำนวนเฟสมากน้อยแค่ไหนที่จะต้องควบคุม วงจรขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 (ก)



รูปที่ 2.9 (ก) การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

จากวงจรจะเห็นว่าจะใช้ทรานซิสเตอร์ขับขดลวดมอเตอร์ในลักษณะ 1 ขดต่อทรานซิสเตอร์ 1 ตัว ซึ่งจะแตกต่างจากการขับมอเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ขดลวดทางซ้ายมือต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัวต่อวงจรแบบบริดจ์ มาขับขดลวด 1 ขด ส่วนขดลวดทางขวามือนั้นใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาขับขดลวด 1 ขด ดังรูปที่ 2.9 (ข)

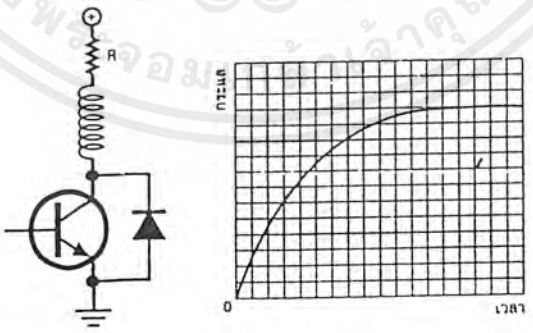
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 (ข) การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์

ส่วนการต่อเพาเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชุด จะไม่เหมือนกัน สังเกตดูให้ดีแล้วในขดทางขวามือจะเป็นแรงดันแบบบวก – กราวด์ – ลบ

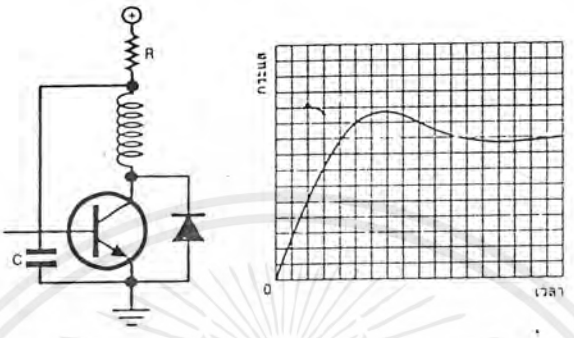
ในรูปที่ 2.10 เป็นวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยจะมีกราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของกระแสที่สเตเตอร์ ในรูปที่ 2.10 (ก)



รูปที่ 2.10 (ก) วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

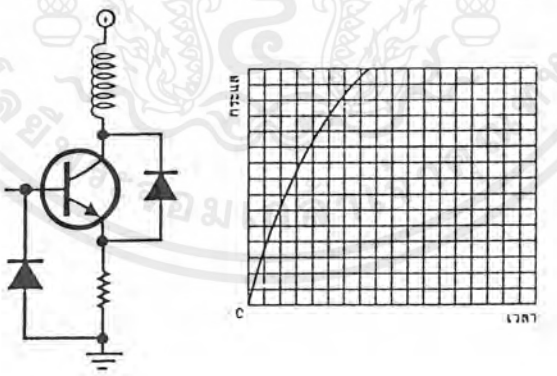
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไปนั้นจะไปลดค่าคาบเวลาในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ให้น้อยลง สำหรับใช้กับโหลดที่มีค่าเหนี่ยวนำน้อย ซึ่งก็แน่นอนว่าจะต้องมีการสูญเสียกำลังงานไปบางส่วน



รูปที่ 2.10 (ข) R-C ชดเชยค่าอินดักแตนซ์

ในรูปที่ 2.10 (ข) เป็นวงจรที่ช่วยชดเชยค่าอินดักแตนซ์ โดยใช้วงจร RC ซึ่งวงจรนี้จะกำเนิดแคมพ์ออสซิลเลชั่นและทำให้ค่าคงที่ในการแคมพ์น้อยสุดกำหนดด้วย ค่า R และ C คุณสมบัติเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตสเต็ปเปอร์มอเตอร์



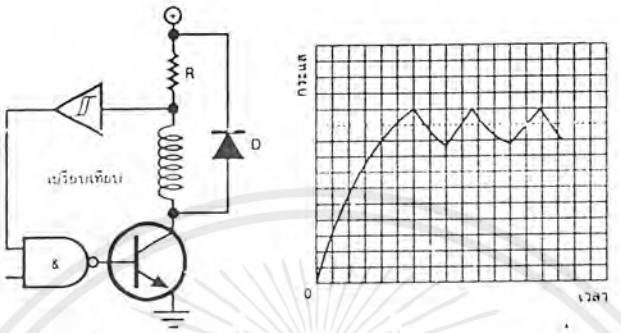
รูปที่ 2.10 (ค) การทำงานที่มีความชันของสวิตซ์มาก

ในรูปที่ 2.10 (ค) ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับกระแส ซึ่งจะทำให้ความชันของการสวิตช์ทำงานมีความชันมาก และจะต้องป้อนแรงดันให้สูงอย่างเพียงพอด้วย ขณะที่กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง วิทยาเขตระยอง

ทรานซิสเตอร์ในระดับต่ำแล้ว ตัวทรานซิสเตอร์จะไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวนานนัก วงจรนี้จะสูญเสียพลังงานมาก จึงต้องระบายความร้อนออกมาในช่วงจังหวะนี้



รูปที่ 2.10 (ง) วงจรขับมอเตอร์ที่ดีที่สุด

ในรูปที่ 2.10 (ง) เป็นวงจรขับกระแสที่ดีมากวงจรหนึ่ง เพราะเมื่อกระแสไหลจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงานและจะทำให้สนามแม่เหล็กลดลง โดยผ่านไดโอดอย่างช้า ๆ เมื่อกระแสตกคร่อมมอเตอร์ลดต่ำลงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทรานซิสเตอร์จะทำงานอีกครั้ง ในวงจรนี้ทรานซิสเตอร์ก็จะไม่สูญเสียพลังงานมากเหมือนในรูปที่ 2.10 (ค)

ถ้าต้องการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการ สามารถต่อเอาต์พุตพอร์ตได้โดยตรง และสามารถสั่งงานโดยการใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุนเดินหน้าหรือถอยหลังได้ตามต้องการและนอกจากนั้นยังสามารถเลือกได้ว่าจะหมุนเป็นเวฟหรือครึ่งสเต็ปก็ได้ โดยการปรับช่วงห่างระหว่างเวลาแต่ละสเต็ป วิธีการควบคุมก็โดยอาศัยวงจรลอจิกนำเอาต์พุตไปควบคุมทรานซิสเตอร์ผ่านวงจร RS ไบสเตเบิล เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น เช่น กรณีของการนำกระแสพร้อม ๆ กันของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวแบบบริดจ์ ในบางกรณีลอจิกเกตจะถูกใช้เป็นตัวเซตและรีเซตวงจรไบสเตเบิลเพื่อกำหนดทิศทางการหมุนได้

มีอุปกรณ์ไอซีที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการออกแบบเป็นวงจรควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วด้วยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของพัลส์ ซึ่งที่มีขายกันตามท้องตลาด เช่น เบอร์ SAA1027, L297 และ L298 หรือ TL376, ULN2002 – ULN2005 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

โครงสร้างและพื้นฐานทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อใช้ในโครงงานเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติ มีดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

คุณสมบัติทั่วไปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังต่อไปนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิการภายในไอซี
- มีขาสัญญาณอินพุต เอาท์พุตจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (external data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K.
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K.
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (on-chip program memory) ขนาด 4K โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8K สำหรับเบอร์ 8031 และ M8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (on-chip data memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ M8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51

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

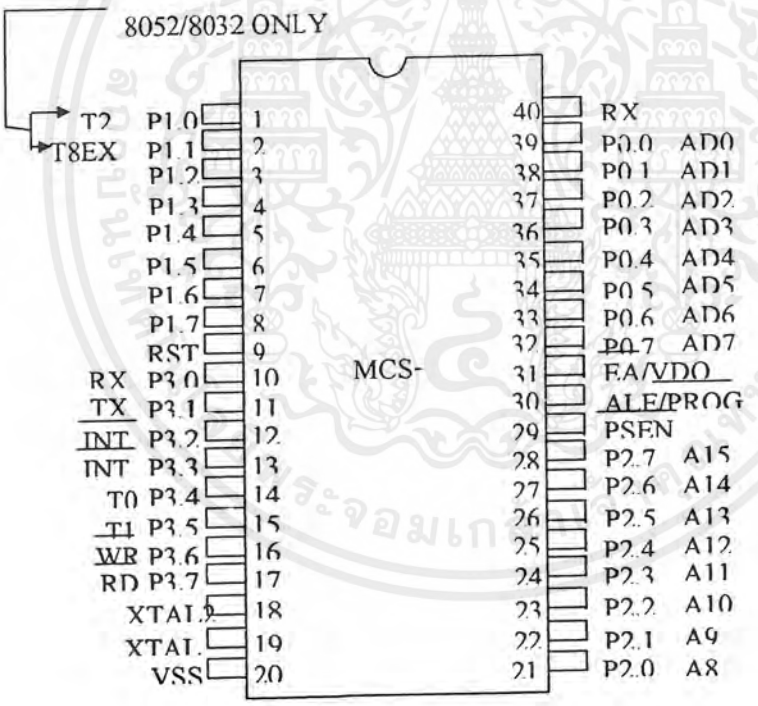
- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากขึ้น
- มีไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ (timer/counters) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทเมอร์ / เคาน์เตอร์จำนวน 3 ตัว
- การอินเตอร์รัปสามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิดโดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเตอร์รัปได้จาก 6 แหล่งกำเนิด การอินเตอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex)
- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์
- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว

3.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS- 51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา V_{CC} เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง + 5 โวลต์
- ขา V_{SS} เป็นขากราวด์
- ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{0.0}$ - $P_{0.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุต เอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้พอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็น พอร์ตอินพุตเอาท์พุทแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A_0 - A_7) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0 - D_7)



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{1.0}$ - $P_{1.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต $P_{1.0}$ และ $P_{1.1}$ จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

- ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{2.0}$ - $P_{2.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาท์พุต แล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A_8 - A_{15})
- ขาพอร์ต 3 (Port 3) ได้แก่ขา $P_{3.0}$ - $P_{3.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแล้ว มันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P_3

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

- ขารีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมชีนไซเกิล ในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่
- ขา ALE/$\overline{\text{PROG}}$ เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตช์ (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

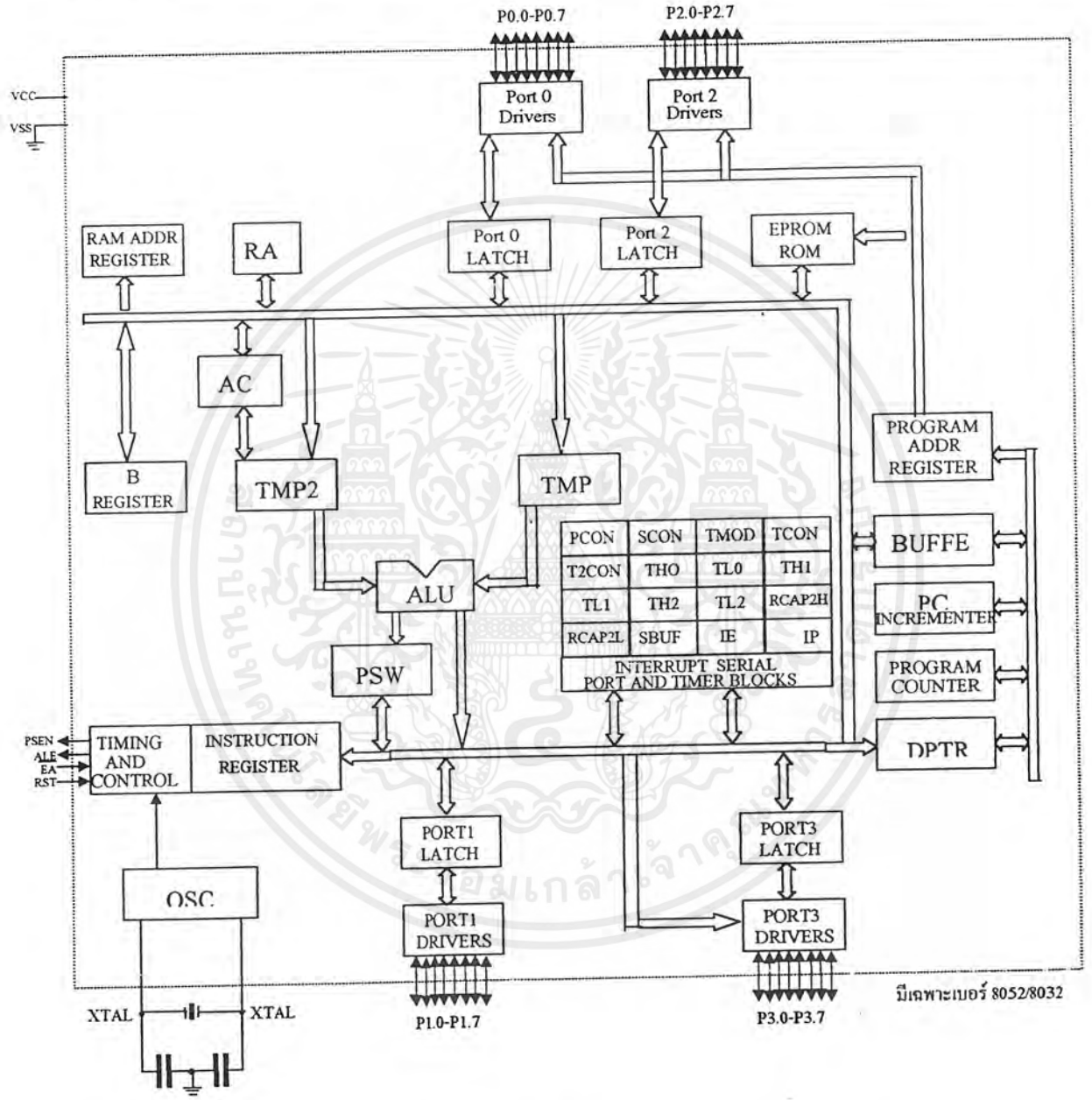
ส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

- ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบจำนวน 2 ครั้งในแต่ละแมชีนไซเกิล แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะไม่มีการส่งสัญญาณสโตรบแต่อย่างใด
- ขา $\overline{\text{EA}}$ / VPP (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอสเดรส 0-0FFFH (0-1FFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (security bit) ในหน่วยความ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม (V_{pp}) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM
- ขา XTAL1 และขา XTAL2 เป็นขาอินพุตและเอาท์พุตของวงจรอินเวอร์ติ้งออสซิลเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตอลภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังในรูปที่ 3.2 โดยส่วนที่มีเครื่องหมายดอกจัน (*) จะมีเฉพาะในเบอร์ 8032 และ 8052 เท่านั้น



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

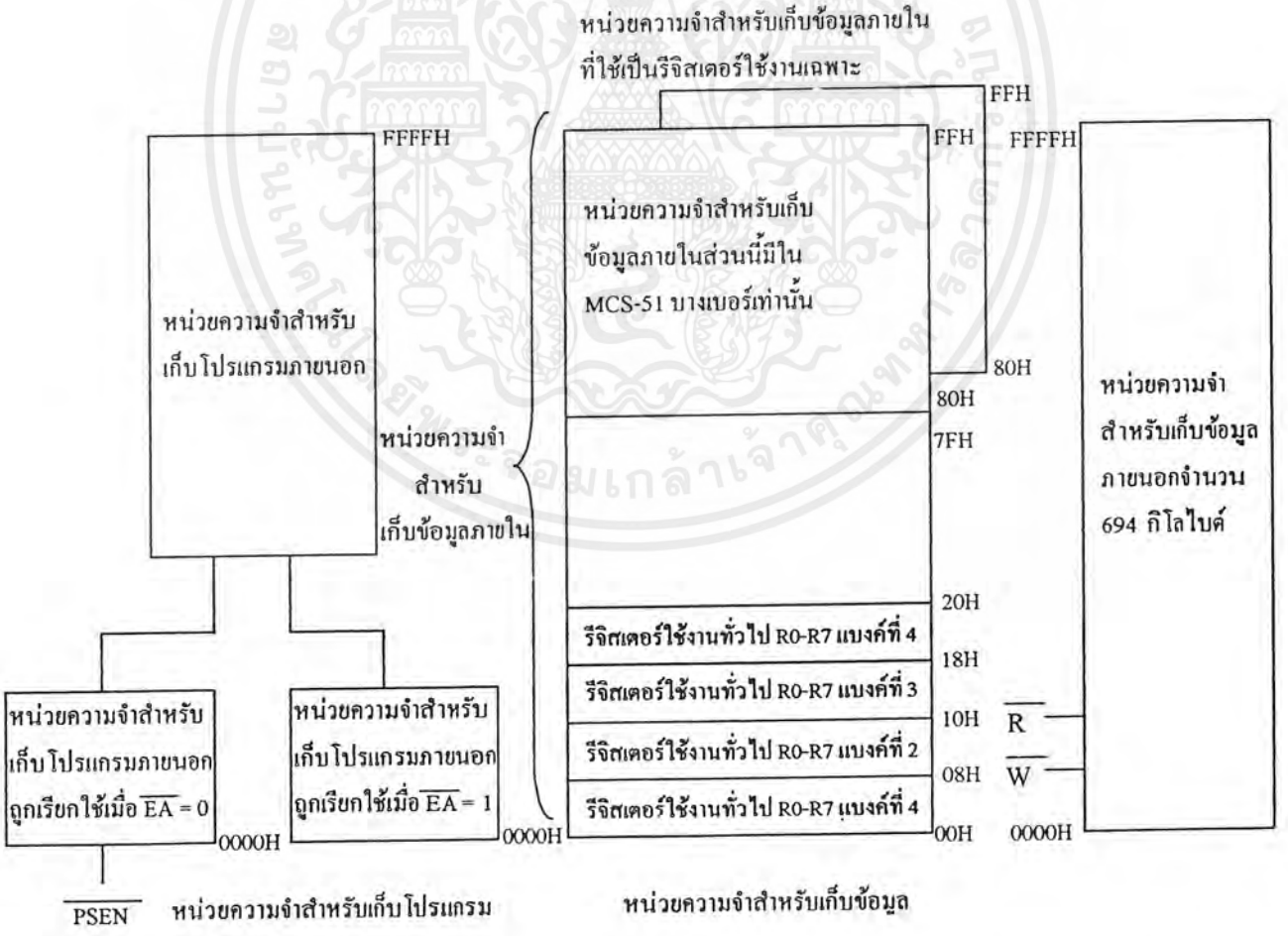
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจัดหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีขนาดไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่น บางเบอร์เป็น ROM และบางเบอร์อาจเป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บไว้ยังหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์ สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลแสดงไว้ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

3.4.2 หน่วยความจำข้อมูล

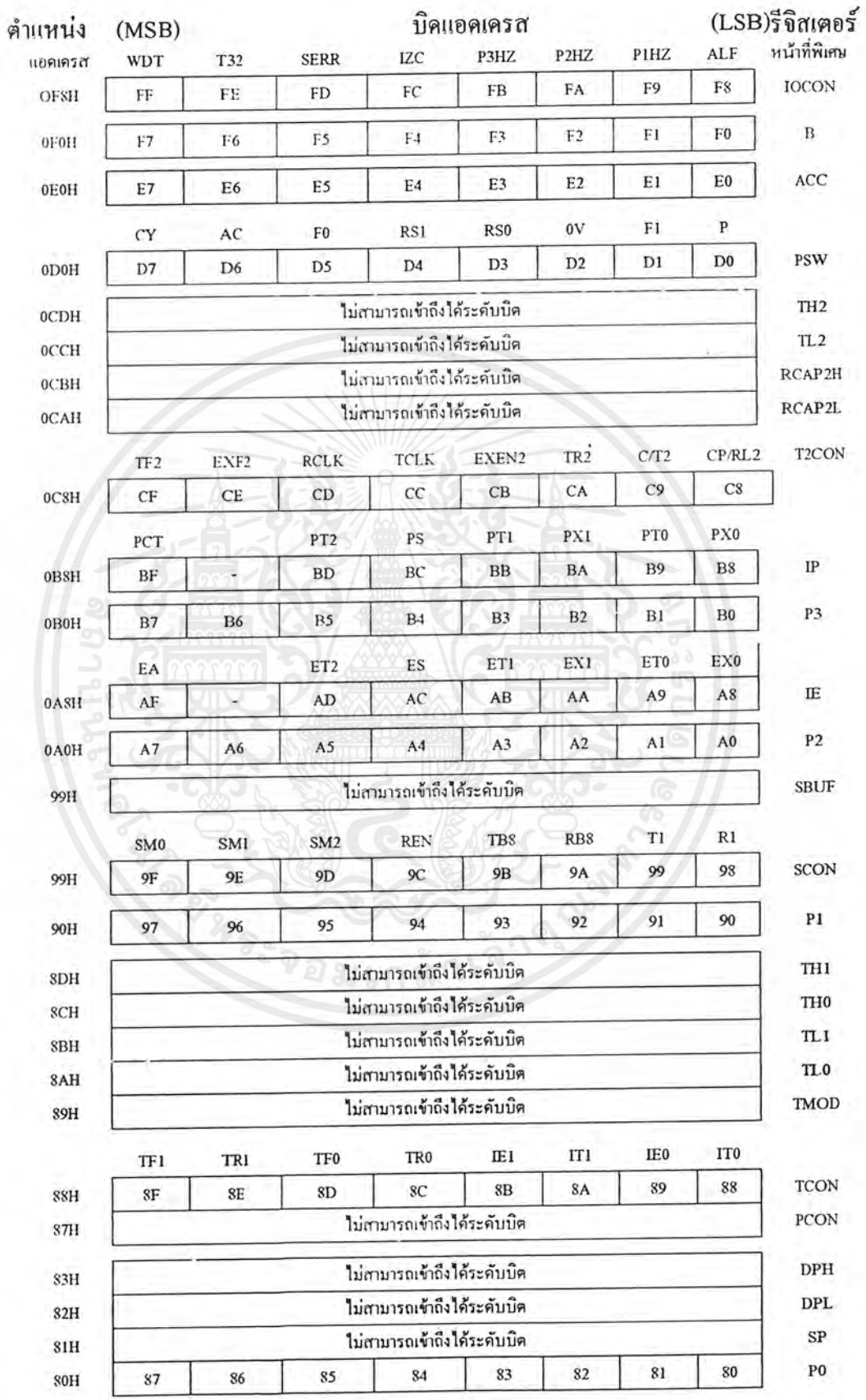
หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือSFR (Spercial Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถทำได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงาน ซึ่งในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (bit addressable) ด้วย ดังแสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่าง ๆ ในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไฟพักไว้ชั่วคราว หรือใช้งานทั่วไปได้ตามต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปนี้มีอยู่ด้วยกัน 8 ตัวคือรีจิสเตอร์ R0-R7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัวถูกจัดให้อยู่รวมกันและมีให้เลือกใช้ถึง 4 แบงค์ (bank) นั่นคือมีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปถึง 32 ตัวให้ใช้งาน เพียงแต่การเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ใดแบงค์หนึ่งจะถูกกำหนดจากบิต RSo, RS1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ PSW ดังนั้นการเลือกใช้จึงเลือกได้เพียงแบงค์เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์แบงค์ใดก็ตาม ที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละแบงค์จะไม่มีผลซึ่งกันและกันเลย ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปนี้ได้ทั้ง 32 ตัวอย่างเต็มที่และไม่ยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

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

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

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีหรือซอร์สโค้ดไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยใช้เวิร์ดโปรเซสเซอร์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

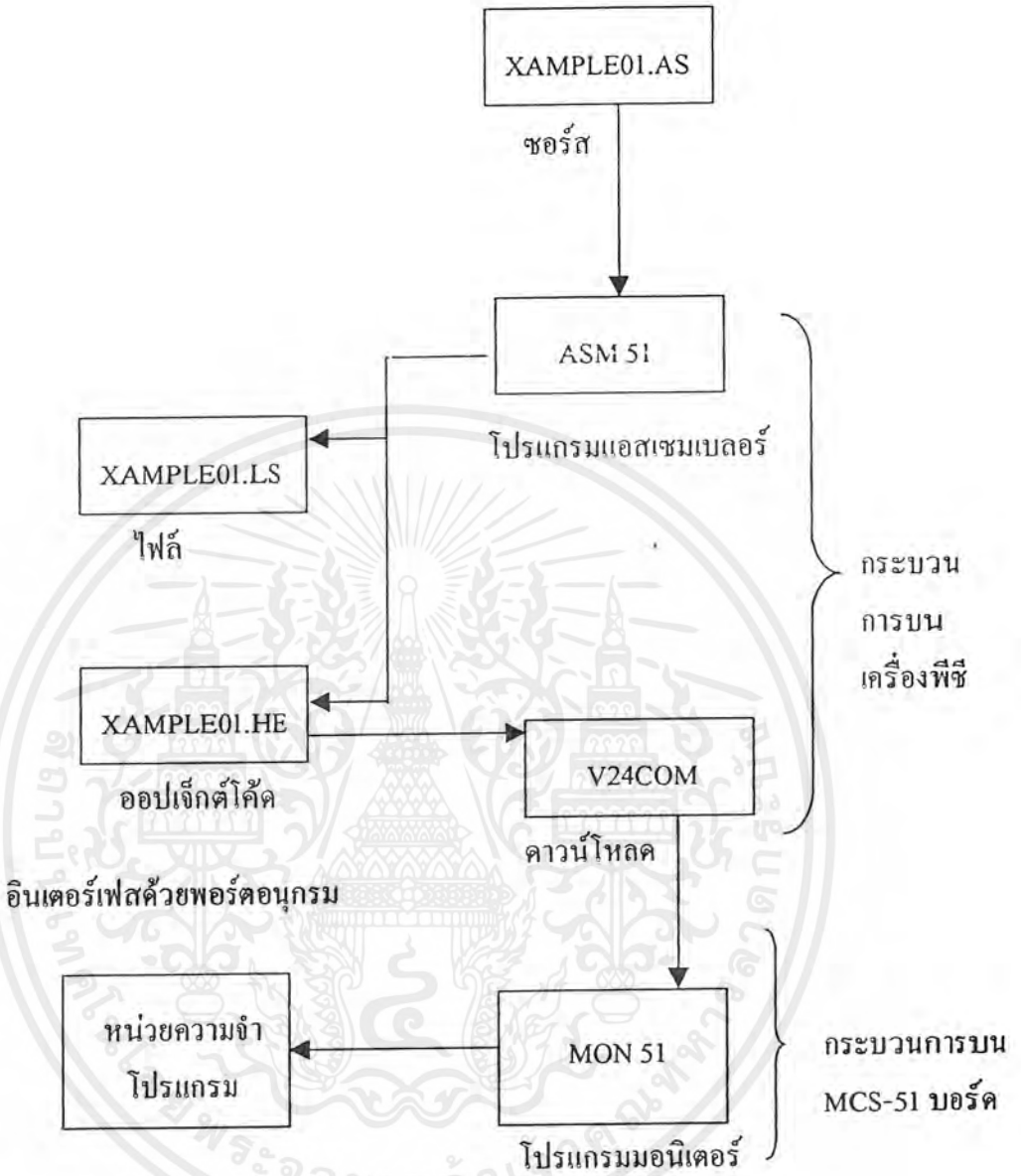
รูปที่ 3.5 เป็นตัวอย่างโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่เขียนขึ้น ภายใต้โปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ซึ่งมีชื่อว่า XAMPLE01.A51 โปรแกรมนี้เรียกว่าซอร์สโค้ดโปรแกรม (Source code program) ในแต่ละบรรทัดจะบรรจุสาระสำคัญต่าง ๆ ในรูปของคำสั่ง คำสั่งที่ถูกเขียนขึ้นเรียกว่านิวโมนิก (mnemonic) นอกจากในแต่ละบรรทัดประกอบด้วยคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วยังมีส่วนของคำอธิบาย (comment) ด้วย คำอธิบายเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งเพื่อให้ผู้อื่นทำความเข้าใจได้กับแต่ละคำสั่งที่เขียนขึ้นหรือแม้แต่ตัวผู้เขียนโปรแกรมเอง เมื่อต้องการพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมจะได้ไม่สับสน

โปรแกรมแอสเซมบลียังไม่สามารถนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที แต่ต้องนำมาทำการแปลงจากซอร์สโค้ดไฟล์เป็นภาษาเครื่อง (machine code) ทั้งคำสั่งต่าง ๆ, ข้อมูลและการอ้างแอดเดรสทั้งหมดถูกแปลงไปเป็นโปรแกรมภาษาเครื่องที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจได้ หรือเรียกว่า ออปเจ็กต์โค้ด (object code) โดยใช้โปรแกรมแอสเซมเบลอร์ในที่นี้คือ EASM51.EXE มาใช้งาน หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ทำการสร้างไฟล์ใหม่ขึ้นมาอีกไฟล์หนึ่ง โดยการนำเอาออปเจ็กต์โค้ดมาแทนที่คำสั่งหรือนิวโมนิกที่เขียนขึ้นโดยไม่สนใจคำอธิบายต่าง ๆ ที่เขียนไว้หรือตัดส่วนนี้ออกไปไม่นำมาใช้งานเลย

เอาท์พุตไฟล์ที่ได้จากการแอสเซมเบลอร์จะมีนามสกุลเป็น .HEX ตัวอย่างเช่น XAMPLE01.HEX ไฟล์ที่ถูกแปลงเป็นภาษาเครื่องแล้วจะอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหกจำนวน 2 หลัก เรียงตามลำดับคำสั่งต่าง ๆ ที่เขียนขึ้น ไฟล์นี้เองที่สามารถประมวลผลได้ทันที เมื่อมันถูกส่งผ่านไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำบน MCS-51 บอร์ด หรือกล่าวได้ว่าเครื่องพีซีทำหน้าที่สร้างออปเจ็กต์โค้ดขึ้นมา และทำการส่งผ่านหรือดาวน์โหลดไปยัง MCS-51 บอร์ด โดยการติดต่อผ่านโปรแกรม V24COM เพื่อส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม

นอกจาก EASM51 จะทำการสร้างออปเจ็กต์โค้ดขึ้นมาไฟล์หนึ่งแล้วมันยังสร้างไฟล์เอกสาร (list file) ขึ้นมาชุดหนึ่งมีนามสกุล .LST ตัวอย่างเช่น SAMPLE01.LST ไฟล์เอกสารนี้สร้างขึ้น เพื่อรวบรวมและแสดงออปเจ็กต์โค้ดที่สร้างโดยโปรแกรมแอสเซมเบลอร์จากซอร์สโค้ดโปรแกรมและข้อมูลอื่น ๆ ที่สำคัญ ดังนั้นไฟล์เอกสารนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เมื่อต้องการศึกษาการทำงานของโปรแกรมและการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อพัฒนาในครั้งต่อไป ถึงแม้ว่าไฟล์เอกสารนี้จะไม่สามารถนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่มันก็มีประโยชน์ดังได้กล่าวมาแล้ว รูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการแปลงโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี จนกระทั่งเป็นโปรแกรมที่สามารถประมวลผลได้ทันทีกับ MCS-51 บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากซอร์สโค้ดที่เขียนบนเครื่องพีซีจนเป็นออปเจ็กต์โค้ด ซึ่งถูกโหลดมาเก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรมบน MCS-51 บอร์ด

3.6 การใช้งานรีจิสเตอร์

โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSC-51 จะทำการประมวลผลข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ ซึ่งกระทำกับรีจิสเตอร์ภายในโดยที่รีจิสเตอร์แต่ละตัวเก็บข้อมูลได้ขนาด 1 ไบต์เช่นกัน เช่น รีจิสเตอร์ A ซึ่งเป็นแอกคิวมูเลเตอร์ (accumulator) ทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์กลางสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือทางลอจิกของตัวกระทำ 2 ตัว ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการบวกค่า 10 กับข้อมูลตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง ให้ทำการโหลดข้อมูลไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ก่อน จากนั้นให้ใช้คำสั่งนำค่า 10 ไปบวกกับ A ผลที่ได้จากการบวกข้อมูลและค่า 10 จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A นอกจากรีจิสเตอร์ A ทำการบวกด้วยการกำหนดค่าโดยตรงแล้ว มันยังทำการคำนวณร่วมกับรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตตัวอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ทั้งไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานในคำสั่งพิเศษ โดยผู้เขียนโปรแกรมอาจกำหนดขึ้นเองได้ โดยที่กำหนดให้อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสพิเศษในที่นี้มีค่ามากกว่า 07FH ขึ้นไป ตัวอย่างเช่น แอกคิวมูเลเตอร์ถูกกำหนดให้ใช้หน่วยความจำภายในที่ 0E0H รีจิสเตอร์เหล่านี้เรียกว่า รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (special function registers หรือ SFRs) จำนวนของรีจิสเตอร์พิเศษอาจจะมีไม่เท่ากันในไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51 ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ทำการตั้งค่าไว้ เพราะรีจิสเตอร์พิเศษเหล่านี้ถูกรวมอยู่หรือใช้พื้นที่ในส่วนของหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหน่วยความจำภายในหรือแรมภายในจะมีขนาดไม่เท่ากันในแต่ละเบอร์

นอกจากรีจิสเตอร์พิเศษหรือ SFR แล้วยังมีรีจิสเตอร์ สำหรับใช้งานทั่วไปอีก 8 ตัว คือ รีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว ถูกบรรจุอยู่ภายในแรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปของแบงค์ (bank) และใช้สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวระหว่างการประมวลผล ในที่นี้จะใช้รีจิสเตอร์เฉพาะแบงค์ศูนย์เท่านั้น และหลังจากรีเซตระบบทุกครั้งรีจิสเตอร์ที่แบงค์ศูนย์จะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

3.7 การอินเตอรัปต์

การขัดจังหวะหรือการอินเตอร์รัปต์ (interrupt) จะถูกนำมาใช้งาน เมื่อผู้เขียนโปรแกรมต้องการให้มีการทำงานในโปรแกรมส่วนหนึ่งที่แยกจากโปรแกรมหลักอย่างทันทีทันใด เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นจากทั้งภายในหรือภายนอกระบบ เช่น การวัดค่าตัวแปรค่าหนึ่งในกระบวนการทำงานภายนอกอย่างรวดเร็วทันทีทันใดเมื่อได้ค่าที่กำหนดไว้

การอินเตอร์รัปสามารถเกิดขึ้นได้จากการกระตุ้น 2 แบบคือจากภายในระบบเองและภายนอกระบบ การอินเตอร์รัปต์จากภายนอกใช้ขาสัญญาณ INTO และ INT1 ขาที่ 12 และ 13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณจะต่อผ่านเข้ามายัง IC10 และส่งผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกกลับสถานะจากอินพุตที่ต่อเข้าที่คอนเน็กเตอร์ ในส่วนนี้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเลือกโหมดการอินเตอร์รัปได้ 2 รูปแบบคือ แบบทำงานที่ขอบขาของสัญญาณและแบบทำงานที่ระดับสถานะเช่น เมื่อ INTO = "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอินเตอร์รัปจากภายในระบบ คือ การอินเตอร์รัปจะเกิดขึ้นจากสถานะของแฟลกหรือรีจิสเตอร์บางตัว เช่น แฟลก TF0 และ TF1 (Timer Flag), แฟลก RI (Receiver Interrupt) และแฟลก TI (Transmitter Interrupt) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8052 และ 8032 จะมีการอินเตอร์รัปต์เพิ่มขึ้นได้จากอีก 2 แหล่งคือ จากรีจิสเตอร์ไทเมอร์ 2 และจากขาสัญญาณ EXF2 (timer 2 external flag)

เมื่อปรากฏการอินเตอร์รัปต์ โปรเซสเซอร์จะทำการกระโดดไปยังตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนดไว้ตามชนิดของการอินเตอร์รัปต์เช่นเดียวกับคำสั่ง LCALL ตารางที่ 3.3 แสดงการอินเตอร์รัปต์จากแฟลกต่าง ๆ, ตำแหน่งแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์โดยปกติ, ค่าอินเด็กซ์ที่กำหนดให้เชื่อมต่อ (link index) และตำแหน่งแอดเดรสที่โปรแกรมจะกระโดดไปทำงาน เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ชนิดนั้นขึ้น ซึ่งกำหนดขึ้นใหม่จากโปรแกรมมอนิเตอร์ (link jump)

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตำแหน่งแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์ โดยสัญญาณต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นใหม่ ในโปรแกรมมอนิเตอร์ EMON51

การอินเตอร์รัปต์	ตำแหน่งแอดเดรส ของการอินเตอร์รัปต์ปกติ	ค่าอินเด็กซ์ที่กำหนดในการเชื่อมต่อ	ตำแหน่งแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์ที่กำหนดโดยมอนิเตอร์
1E0	0003H	1	4003H
TF0	000BH	2	4006H
IE1	0013H	3	4009H
TF1	001BH	4	400CH
R1 + T1	0023H	5	400FH
TF2 + EXF2	002BH	6	4012H

จากตารางที่ 3.3 เห็นได้ว่าแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์โดยปกติจะอยู่ในตำแหน่งในส่วนของอีพรอม ซึ่งแน่นอนการแก้ไขโปรแกรมย่อมทำได้ยาก ดังนั้นในโปรแกรมมอนิเตอร์ EMON51 ซึ่งเก็บอยู่ในอีพรอมจึงได้แก้ไขปัญหานี้ โดยการกำหนดการเชื่อมต่อ (link) จากค่าแอดเดรสตำแหน่งเดิมเป็นตำแหน่งใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากคู่มือการใช้งานประกอบในส่วนของโปรแกรมมอนิเตอร์ EMON51

ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์ที่แฟลก IE0 (แฟลกแสดงการอินเตอร์รัปต์ของ INTO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่งแอดเดรส 4003H ซึ่งเป็นส่วนของหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งอยู่ในแรมสำหรับการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งอื่นก็เป็นลักษณะเช่นเดียวกัน ดังในตารางที่ 3.3

อย่างไรก็ตามงานสามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสที่จะกระโดด เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ไปยังตำแหน่งใดก็ได้ตามต้องการ โดยการเรียกมอนิเตอร์ซับรูทีน LINK โดยการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ที่ต้องการลงในรีจิสเตอร์ DPTR และโหลดค่าอินเด็กซ์ของตัวอินเตอร์รัปต์นั้นลงในแอกคิวมูเลเตอร์ หลังจากนั้นก็ทำการเรียกซับรูทีน LINK จากโปรแกรมมอนิเตอร์ที่มีอยู่แล้ว และด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ทุกครั้งที่เขียนโปรแกรม จึงต้องเริ่มต้นที่แอดเดรส 4100H แทนที่จะเริ่มที่แอดเดรส 4000H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MSB) (LSB)

EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	หน้าที่
EA	IE.7	ทำการดีสเอเบิลทุกอินเตอร์รัปต์ ถ้า EA = "0" จะไม่มีการตอบรับอินเตอร์รัปต์ใดๆ ทั้งหมด ถ้า EA = "1" แต่ละอินเตอร์รัปต์จะถูกอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลโดยการเซตหรือเคลียร์อีนาเบิลของมัน
	IE.6	สงวนไว้ไม่ให้ใช้
ET2	IE5	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากการโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 2 ถ้า ET2 = "0" อินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 จะถูกดีสเอเบิล
ES	IE4	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรม ถ้า ES = "0" อินเตอร์รัปต์นี้ถูกดีสเอเบิล
ET1	IE.3	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากการโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 ถ้า ET1 = "0" อินเตอร์รัปต์นี้จะถูกดีสเอเบิล
EX1	IE.2	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 1 ถ้า EX1 = "0" อินเตอร์รัปต์นี้ถูกดีสเอเบิล
ET0	IE.1	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากการโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 0 ถ้า ET0 = "0" อินเตอร์รัปต์นี้จะถูกดีสเอเบิล
EX0	IE.0	ทำการอีนาเบิลหรือดีสเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 01 ถ้า EX0 = "0" อินเตอร์รัปต์นี้ถูกดีสเอเบิล

รูปที่ 3.7 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IE (interrupt enable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MSB) (LSB)

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	หน้าที่
TF1	TCON.7	เป็นโอเวอร์โฟลว์แฟลกของไทเมอร์ 1 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อไทเมอร์/เคาน์เตอร์นี้เกิดโอเวอร์โฟลว์และจะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อโปรเซสเซอร์เข้าสู่กระบวนการอินเตอร์รัปต์รูทีน
TR1	TCON.6	บิตควบคุมการรันของไทเมอร์ 1 มันจะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน
TF0	TCON.5	เป็นโอเวอร์โฟลว์แฟลกของไทเมอร์ 0 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อไทเมอร์/เคาน์เตอร์นี้เกิดโอเวอร์โฟลว์และจะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อโปรเซสเซอร์เข้าสู่กระบวนการอินเตอร์รัปต์รูทีน
TR0	TCON.4	บิตควบคุมการรันของไทเมอร์ 0 มันจะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน
IE1	TCON.3	แฟลกแสดงอินเตอร์รัปต์ที่ 1 ทำงานที่ขอบขา จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อตรวจจับพบสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายจอกที่ขอบขาและจะถูกเคลียร์เมื่อเข้าสู่กระบวนการอินเตอร์รัปต์
IT1	TCON.2	บิตกำหนดรูปแบบการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 1 จะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อให้เกิดอินเตอร์รัปต์ที่ขอบขาลงหรือที่ระดับลอจิกโลว์ของสัญาณอินเตอร์รัปต์
IE0	TCON.1	แฟลกแสดงอินเตอร์รัปต์ที่ 0 ทำงานที่ขอบขา จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อตรวจจับพบสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขอบขาและจะถูกเคลียร์เมื่อเข้าสู่กระบวนการอินเตอร์รัปต์
IT0	TCON.0	บิตกำหนดรูปแบบการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 0 จะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อให้เกิดอินเตอร์รัปต์ที่ขอบขาลงหรือที่ระดับลอจิกโลว์ของสัญาณอินเตอร์รัปต์

รูปที่ 3.8 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON (timer control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการและควบคุมการอินเตอร์รัปต์มีรีจิสเตอร์พิเศษ 2 ตัว สำหรับกำหนดรูปแบบการทำงานต่าง ๆ ซึ่งได้แก่รีจิสเตอร์พิเศษ IE (interrupt enable, อยู่ที่แอดเดรส 0A8H) และ IP (interrupt priority, อยู่ที่แอดเดรส 0B8H) การกำหนดรูปแบบอินเตอร์รัปต์ทำได้ โดยการเซตหรือรีเซตตำแหน่งบิตใน IE อย่างเหมาะสม ดังแสดงความหมายของแต่ละบิตใน IE ในรูปที่ 3.7 สำหรับในรูปที่ 3.8 แสดงความหมายของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON บิตที่น่าสนใจก็คือบิต IT0 และ IT1 ซึ่งเป็นบิตที่กำหนดการทำงานจากการอินเตอร์รัปต์ภายนอกให้เป็นแบบกระตุ้นด้วยระดับลอจิก (ระดับลอจิก = "0") หรือกระตุ้นที่ขอบขา (ขอบขาลงของสัญญาณ) ทั้ง 2 บิตนี้อยู่ในรีจิสเตอร์พิเศษชื่อ TCON (timer/counter control register) ที่แอดเดรส 088H โดยที่ IT0 = TCON.0 และ IT1 = TCON.2

การอินเตอร์รัปต์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีการแบ่งระดับความสำคัญด้วย ในกรณีที่มีการอินเตอร์รัปต์ที่สำคัญมากกว่าการอินเตอร์รัปต์เดิมที่กระทำอยู่ โปรแกรมจะละทิ้งอินเตอร์รัปต์ที่มีความสำคัญต่ำกว่าและไปทำงานในอินเตอร์รัปต์รูทีนที่มีความสำคัญสูงกว่า อย่างไรก็ตามระดับความสำคัญในการอินเตอร์รัปต์สามารถกำหนดได้โดยการเซตและรีเซตตำแหน่งบิตต่าง ๆ ใน รีจิสเตอร์พิเศษ IP ดังแสดงความหมายของแต่ละบิตใน IP ในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MSB) (LSB)

X	X	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	หน้าที่
-	IP.7	สงวนไว้ไม่ใช้งาน
-	IP.6	สงวนไว้ไม่ใช้งาน
PT2	IP.5	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์ 2 ถ้า PT2 = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง
PS	IP.4	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์ 2 ถ้า PS = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง
PT1	IP.3	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์ 1 ถ้า PT1 = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง
PX1	IP.2	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 1 ถ้า PX1 = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง
PT0	IP.1	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์ 0 ถ้า PT0 = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง
PX0	IP.0	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 0 ถ้า PX0 = "1" อินเตอร์รัปต์นี้จะมีความสำคัญระดับสูง

รูปที่ 3.9 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IP (interrupt prority)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

ในโครงงานเครื่องขายตั๋วอัตโนมัตินี้ เป็นการออกแบบและจัดทำโครงงานที่ประกอบด้วยระบบแมคคานิค ระบบกลไก และระบบควบคุมทางอิเลคทรอนิกส์ ซึ่งโครงงานที่จัดทำขึ้นในระบบต่าง ๆคือ ส่วนของชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญปลอม ส่วนของชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว ส่วนของชุดจ่ายตั๋ว ส่วนของชุดทอนเหรียญและส่วนที่เป็นวงจรควบคุมการทำงาน ซึ่งเป็นอุปสรรคและปัญหาที่เกิดขึ้นจะพบในระบบแมคคานิค และระบบกลไกเป็นส่วนใหญ่

5.1 อุปสรรคและปัญหา

1) ปัญหาที่เกิดจากการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งจะเป็นเครื่องต้นแบบที่จัดทำขึ้นโดยมีปัญหาในการออกแบบทางด้านแมคคานิค และระบบกลไกต่าง ๆ

2) ปัญหาที่เกิดจากความคิดในการออกแบบ เมื่อนำมาทดลองทำก็จะเกิดอุปสรรคขึ้น ซึ่งโครงงานในเชิงแมคคานิคต้องการความละเอียดแม่นยำ แข็งแรง ถูกต้องสูงพอสมควร

3) อุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการลงมือปฏิบัติ แล้วต้องมีการตบแต่งวัสดุทั้งในด้านความพอดีในระบบแมคคานิคและระบบกลไกต่าง ๆ รวมทั้งด้านสวยงามของชิ้นงาน เช่น การตัดพลาสติกที่จะประกอบเป็นโครงสร้างต้องออกแบบ และตัดให้ขนาดมีความพอดีกันจึงจะไม่เกิดการติดขัด

4) อุปสรรคในการหาข้อมูลบางส่วนของโครงงาน เช่น ข้อมูลของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งค่อนข้างที่จะหาข้อมูลลำบาก

5) ปัญหาที่เกิดจากการออกแบบวงจรควบคุม เช่น การนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ต้องออกแบบการใช้งานของพอร์ตที่มีอยู่ให้พอดีกับความต้องการ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการประหยัดต้นทุนในการจัดทำโครงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

เนื่องจากโครงงานเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติได้จัดทำขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ ซึ่งรูปแบบการทำงานของเครื่องอาจจะต้องมีการเพิ่มเติม เช่น มีการพิมพ์วันที่ไว้บนตั๋ว เป็นต้น นอกจากนี้ในโครงงานเป็นการจัดทำขึ้นเพื่อจำหน่ายตั๋วรถไฟซึ่งสามารถที่จะที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการจำหน่ายตั๋วหรือบัตรประเภทต่างๆ เช่น ตั๋วเดือนรถโดยสารประจำทาง บัตรโทรศัพท์สาธารณะ หรือคูปองในการรับประทานอาหาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

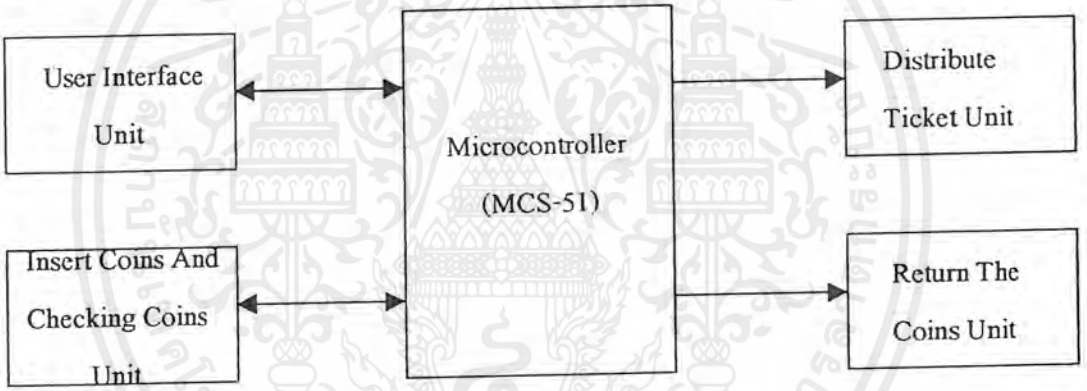
เอกสารอ้างอิง

1. ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด. 2539. เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
2. HOBBY ELECTRONICS. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. ฉบับที่ 93 เดือนพฤศจิกายน 2542. หน้าที่ 56-63.
3. รวมโครงงานอิเล็กทรอนิคส์ "เครื่องควบคุม". บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. หน้าที่ 25-26.
4. http://www.atmel.com
5. http://www.semiconductor.philips.com
6. http://www.toshiba.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โครงสร้างของระบบโครงงานเครื่องขายตั๋วอัตโนมัติ

ในโครงงานเครื่องจำหน่ายตั๋วนั้นเริ่มคิดจากหลักการทั้งหมดของเครื่องว่าน่าจะมีส่วนประกอบอะไรบ้าง ที่เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือดัดแปลง เช่น ในระบบกลไกของชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ ในระบบกลไกของชุดจ่ายตั๋ว ในระบบกลไกของชุดทอนเหรียญ และเราสามารถที่จะทำอุปกรณ์ และวงจรอะไรบ้างที่สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ เช่น ในระบบของชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว โดยโครงงานนี้เราจะนำภาคคอนโทรล ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มาควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยในตอนแรกได้ออกแบบโครงสร้างของระบบเป็นบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) คร่าว ๆ ดังนี้



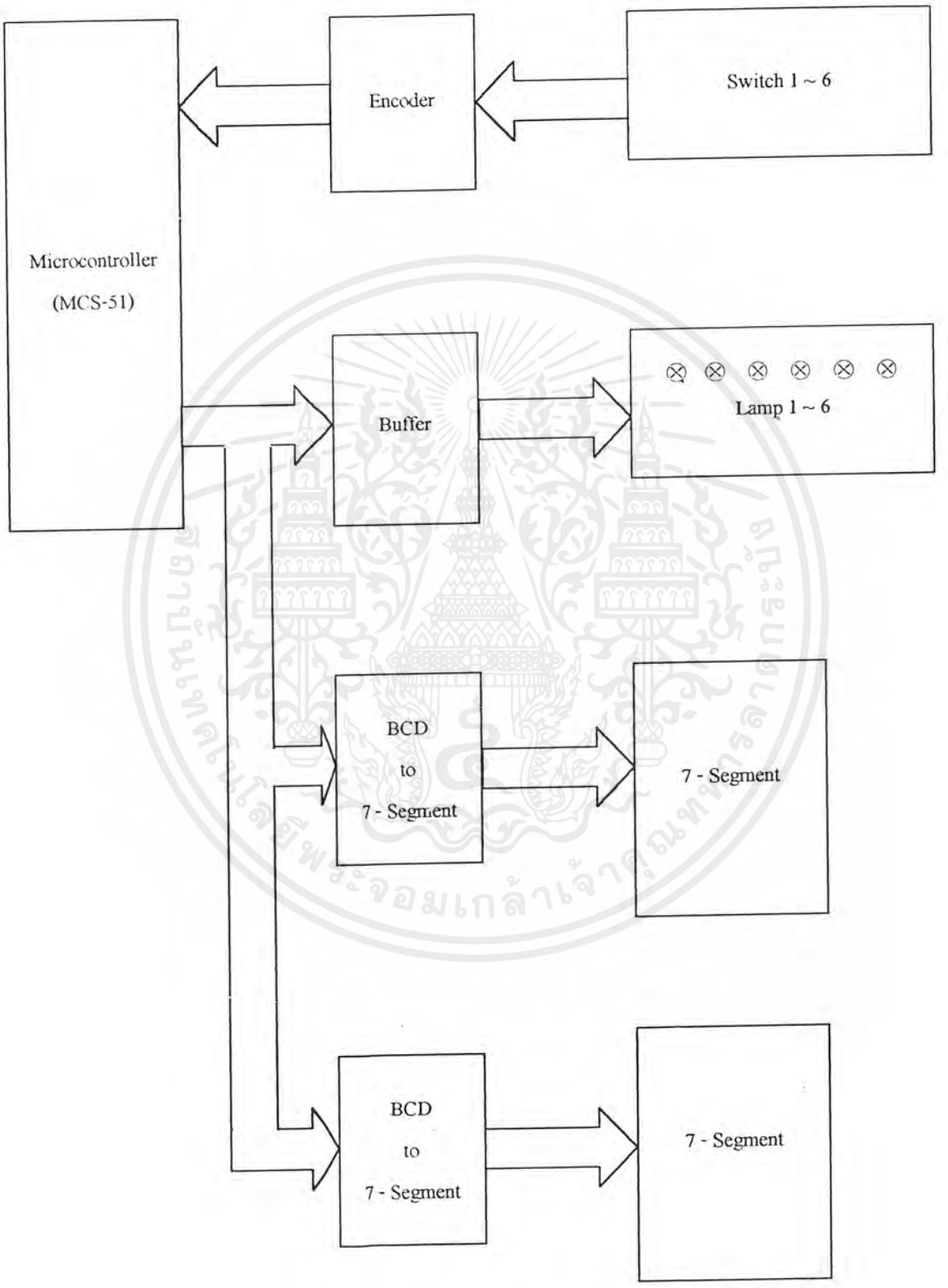
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมรวม

จากบล็อกไดอะแกรมของเครื่องจะมีชุดต่าง ๆ ที่ทำงานดังต่อไปนี้

- ชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว (User Interface Unit)
- ชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ (Insert Coins And Checking Coins Unit)
- ชุดจ่ายตั๋ว (Distribute Ticket Unit)
- ชุดทอนเหรียญ (Return The Coins Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว (User Interface Unit)



รูปที่ 4.2 อธิบายโครงสร้างชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงสร้างของชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋วนั้นจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆของโครงสร้างดังนี้

1) กดเลือกสถานี (Switch 1~6)

2) การแสดงตำแหน่งสถานี (Lamp 1~6)

3) การแสดงจำนวนเงิน (7 – Segment)

ซึ่งส่วนต่าง ๆของโครงสร้างในชุดนี้จะเป็นชุดที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User) ทั้งหมด โดยที่ผู้ใช้งานจะต้องทำการหยอดเหรียญก็จะมีการแสดงจำนวนเงิน (7 – Segment) พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของสถานี (Lamp 1~6) ที่ต้องการจะเดินทางไป ซึ่งได้กำหนดไว้จำนวน 6 สถานี คือ สถานีลาดกระบัง สถานีทับช้าง สถานีหัวหมาก สถานีคลองตัน สถานีมักกะสัน สถานีกรุงเทพ โดยจะมีราคาอยู่ใต้ชื่อแต่ละสถานี ซึ่งจะแบ่งการทำงานของแต่ละส่วนดังนี้

1) กดเลือกสถานี (Switch 1~6) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานเปรียบเสมือนอินพุท (Input) ของโครงสร้าง โดยการเลือกกด Switch ตามสถานีที่ต้องการ เมื่อกด Switch แล้วก็มีสัญญาณไปเข้าที่วงจรถอดรหัส (Encoder) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วสัญญาณดิจิตอลนั้นจะถูกส่งไปยังหน่วยควบคุม (Microcontroller)

2) การแสดงตำแหน่งสถานี (Lamp 1~6) ในส่วนนี้จะรับคำสั่งที่เป็นสัญญาณจากหน่วยประมวลผลเปรียบเสมือนเป็นเอาต์พุท (Output) ของโครงสร้าง ซึ่งสัญญาณนั้นจะถูกส่งเข้าวงจร-บัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นตัวกั้นสัญญาณไว้ในช่วงที่ไม่ต้องการใช้งาน แต่เมื่อมีการใช้ก็จะมีสัญญาณที่ส่งมาพร้อมกันนั้นก็จะทริกให้วงจรบัฟเฟอร์ส่งสัญญาณผ่านไปที่หลอดไฟแสดงตำแหน่งสถานี

3) การแสดงจำนวนเงิน (7 ~ Segment) ในส่วนนี้จะรับคำสั่งที่เป็นสัญญาณมาจากหน่วยประมวลผล (ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจากพอร์ตเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งไปส่วนตำแหน่งสถานี) แล้วสัญญาณนี้จะมาเข้าวงจรแปลงรหัส (BCD to 7-Segment) เพื่อแปลงรหัสให้ไปเข้า 7-Segment ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขสองหลัก (หลักสิบและหลักหน่วย) เพื่อแสดงจำนวนเงินที่หยอดลงไปในช่องหยอดเหรียญ

4.2 ชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญปลอม (Insert Coin And Checking Coin Unit)

แบ่งการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้

1) ตรวจสอบเหรียญทางไฟฟ้า (Electrical Checking) เป็นลักษณะการใช้ขดลวดสปริง 2 ตัวทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิทซ์ โดยที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงตัวหนึ่งต่อลงกราวด์ และปลายข้างหนึ่งของสปริงอีกตัวหนึ่งต่อเข้าอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งถ้าเป็นเหรียญจริงก็จะมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ มีผลทำให้ส่งสัญญาณไปที่อินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นสภาวะลอจิก

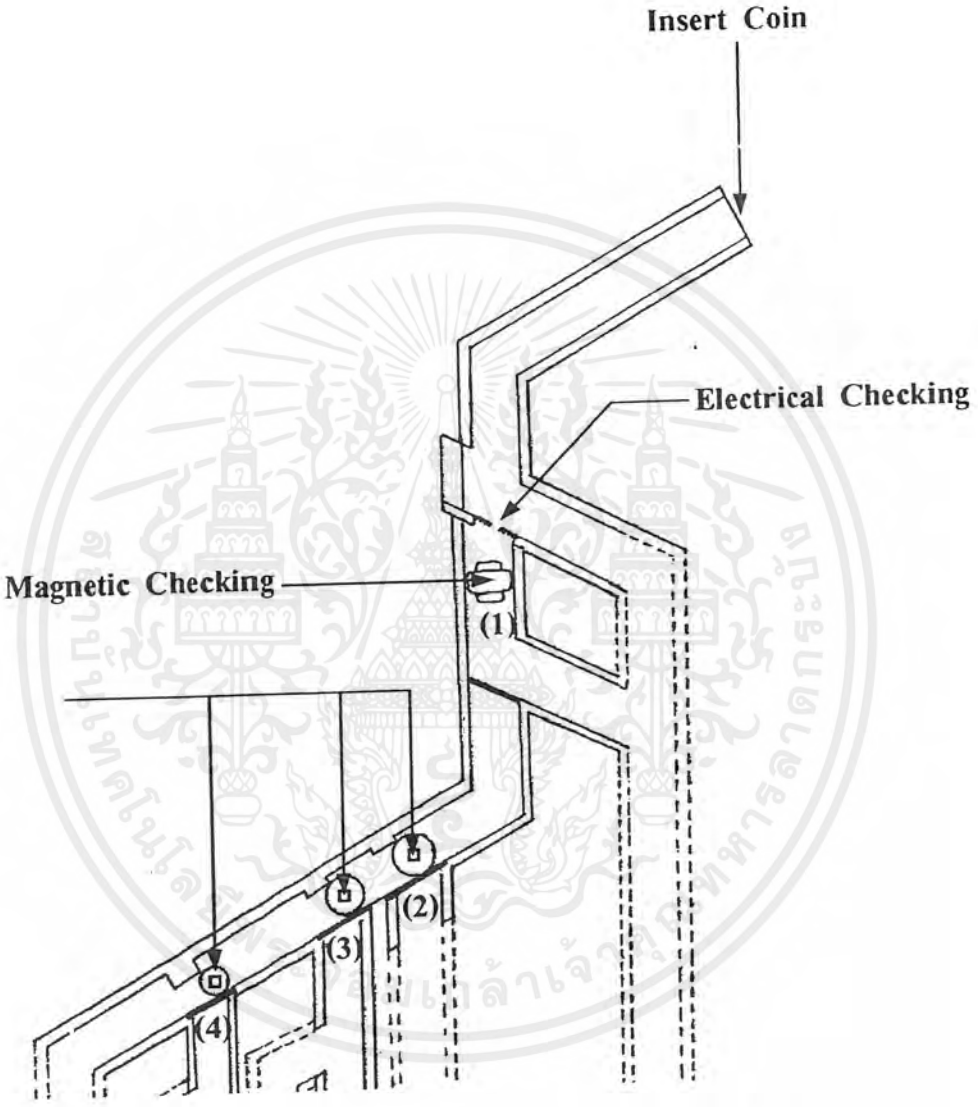
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"0" แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งการทำงานในขั้นต่อไป แต่ถ้าหากเป็นเหรียญปลอมที่ไม่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า เช่น พลาสติกก็จะมีผลทำให้ส่งสัญญาณไปที่อินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสภาวะลอจิก "1" ก็จะไม่ทำงานในขั้นตอนต่อไป เหรียญนั้นก็จะไหลออกทางช่องคืนเหรียญ

2) ตรวจสอบเหรียญทางแม่เหล็ก (Magnetic Checking) จากขั้นตอนแรกที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการทำงาน ก็จะส่งสัญญาณออกไปขับวงจรของรีเลย์ เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับคอยล์แม่เหล็ก และโซลินอยด์ที่จะเปิดคาน (1) โดยที่คอยด์แม่เหล็กและโซลินอยด์ก็จะทำงานพร้อมกัน ซึ่งถ้าหากเป็นเหรียญจริง ก็จะไหลผ่านคาน (1) ลงไปโดยไม่ถูกคอยด์แม่เหล็กดูดไว้ แต่ถ้าหากเป็นเหรียญปลอมเช่น เหล็ก ก็จะถูกคอยด์แม่เหล็กดูดไว้ชั่วขณะหนึ่ง แล้วคาน (1) ก็จะปิดพร้อมกับตัดกระแสไฟฟ้าออกจากคอยด์แม่เหล็ก มีผลทำให้เหรียญไม่ไหลผ่านคาน (1) แต่จะไหลออกสู่ช่องคืนเหรียญ

3) ตรวจจับเพื่อแยกชนิดของเหรียญ (Cost Coin Detector) เป็นลักษณะตัวตรวจจับเพื่อแยกเหรียญตามราคา โดยมีคาน (2) ทำหน้าที่กั้นเหรียญ 10 บาท , คาน (3) ทำหน้าที่กั้นเหรียญ 5 บาท และ คาน (4) ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นเหรียญ 1 บาท ตัวอย่างเช่น เหรียญที่หยอดลงมาเป็นเหรียญห้าบาท จะไหลลงมาหยุดที่ตัวตรวจจับเหรียญห้าบาทชั่วขณะหนึ่ง แต่ถ้าหากเป็นเหรียญจำพวกที่เล็กกว่าเหรียญบาท เช่น เหรียญห้าสิบสตางค์ ก็จะไหลออกสู่ช่องคืนเหรียญ เนื่องจากเครื่องจะรับเฉพาะเหรียญ 10 บาท , 5 บาท และ 1 บาท เท่านั้น

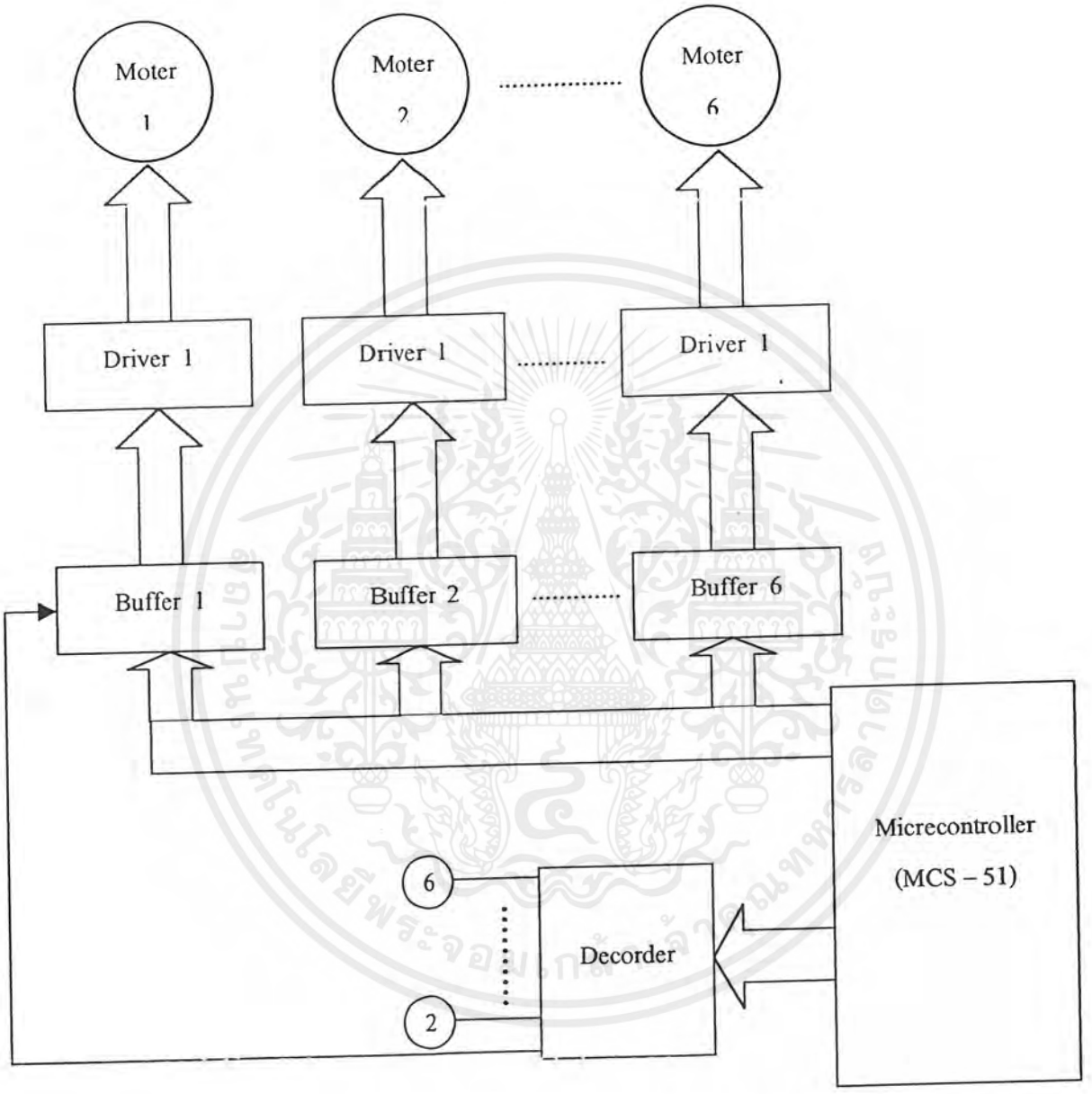
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อธิบายโครงสร้างชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ชุดจ่ายตั๋ว (Distribute Ticket Unit)



รูปที่ 4.4 อธิบายโครงสร้างชุดจ่ายตั๋ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของชุดจ่ายตั๋ว ประกอบด้วยวงจรภาคขับมอเตอร์ (Priver motor circuit) และสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor) จำนวน 6 ชุด ซึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในชุดจ่ายตั๋ว คือ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายตั๋วให้ผู้ซื้อตั๋ว ชุดจ่ายตั๋วสามารถแบ่งการทำงานดังต่อไปนี้

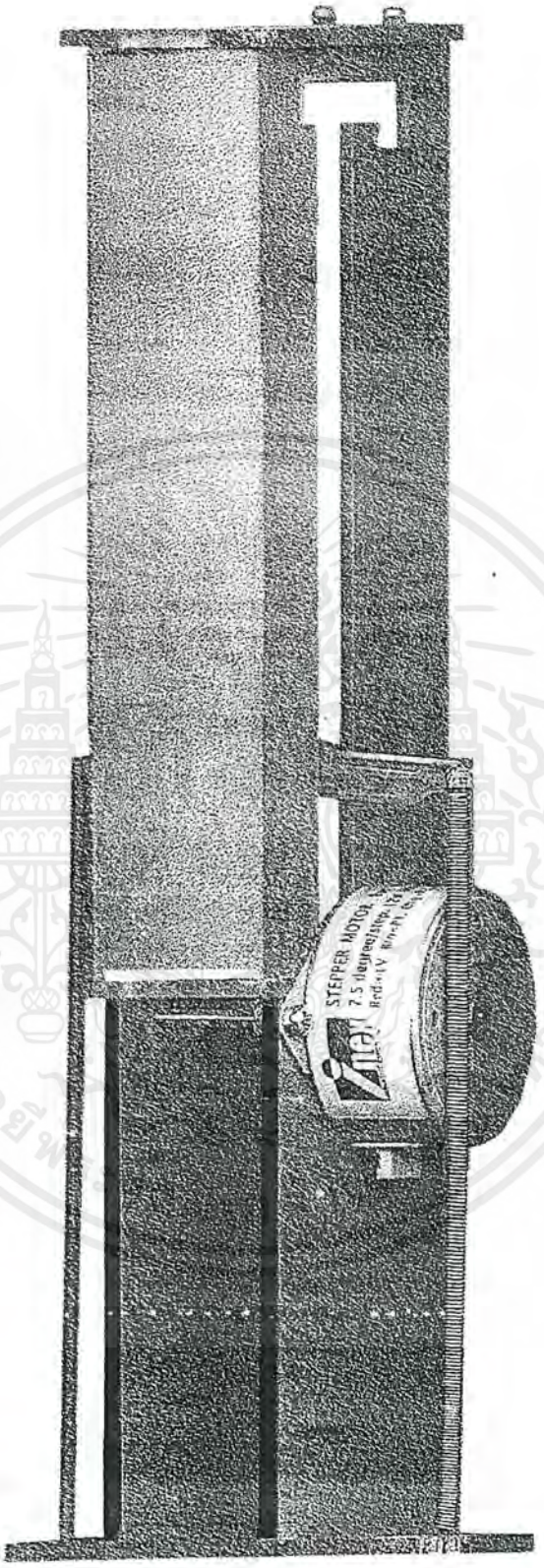
1) วงจรภาคขับมอเตอร์ (Driver motor circuit) เมื่อส่วนของการประมวลผลได้รับข้อมูลมาจากชุดหยอดเหรียญ (ข้อมูลจากตัวตรวจจับเหรียญ) และข้อมูลจากชุดติดต่อกับผู้ซื้อตั๋ว (ข้อมูลจากสวิตซ์กดเลือกสถานี) และจะทำการประมวลผลข้อมูลเหล่านั้น จากนั้นส่วนของการประมวลผลก็จะส่งสัญญาณเข้าวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ทั้ง 6 ชุด พร้อมทั้งส่วนของการประมวลผลจะส่งสัญญาณอีกส่วนหนึ่งผ่านวงจรถอดรหัส (Decorder) เพื่อส่งสัญญาณไปเลือกว่าบัฟเฟอร์ชุดใดจะทำงาน สมมุติว่าบัฟเฟอร์ชุดที่ 1 ทำงาน ก็จะมีสัญญาณจากบัฟเฟอร์ไปเข้าวงจรขับมอเตอร์ (Drive) ชุดที่ 1 เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวที่ 1 ให้ทำงาน

2) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจ่ายตั๋ว โดยจะจ่ายตั๋วในลักษณะแบบฟีด (Feed) ตั๋วออกไปในช่องจ่ายตั๋ว ซึ่งเมื่อสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ได้รับสัญญาณมาจากวงจรภาคขับมอเตอร์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะเริ่มหมุน โดยสัญญาณที่ป้อนให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะเป็นลักษณะการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟสให้กับขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เพื่อที่จะทำให้มีแรงบิดในการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มาก และจะสามารถจ่ายตั๋วออกมาได้

ตารางที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



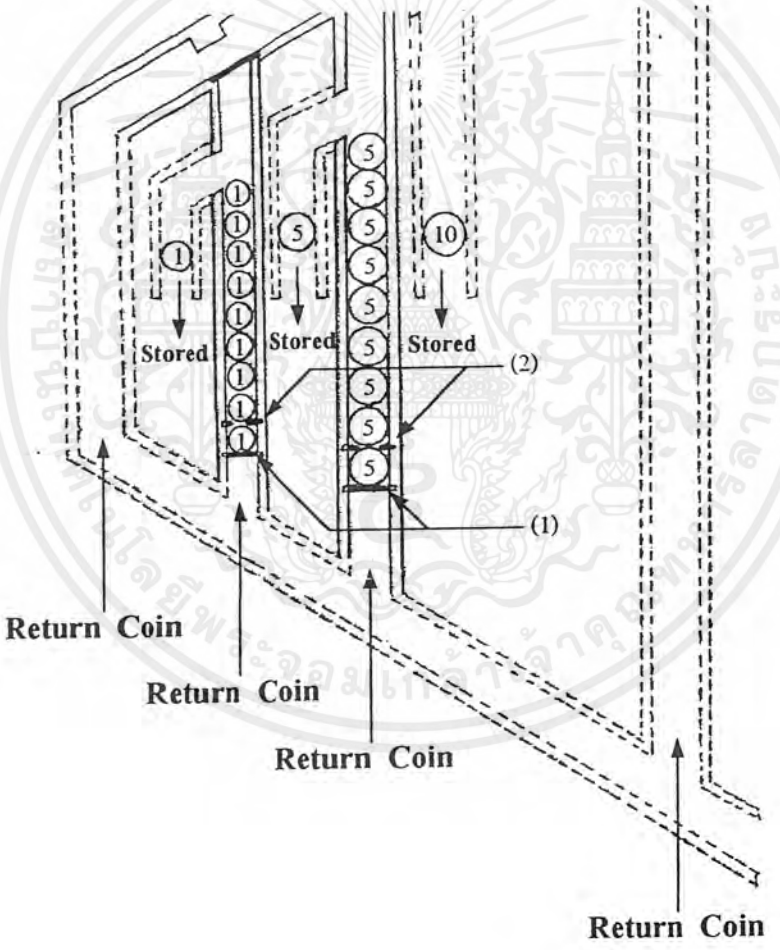
รูปที่ 4.5 โครงสร้างชุดจ่ายตั๋ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ชุดทอนเหรียญ (Return The Coin Unit) แบ่งการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้

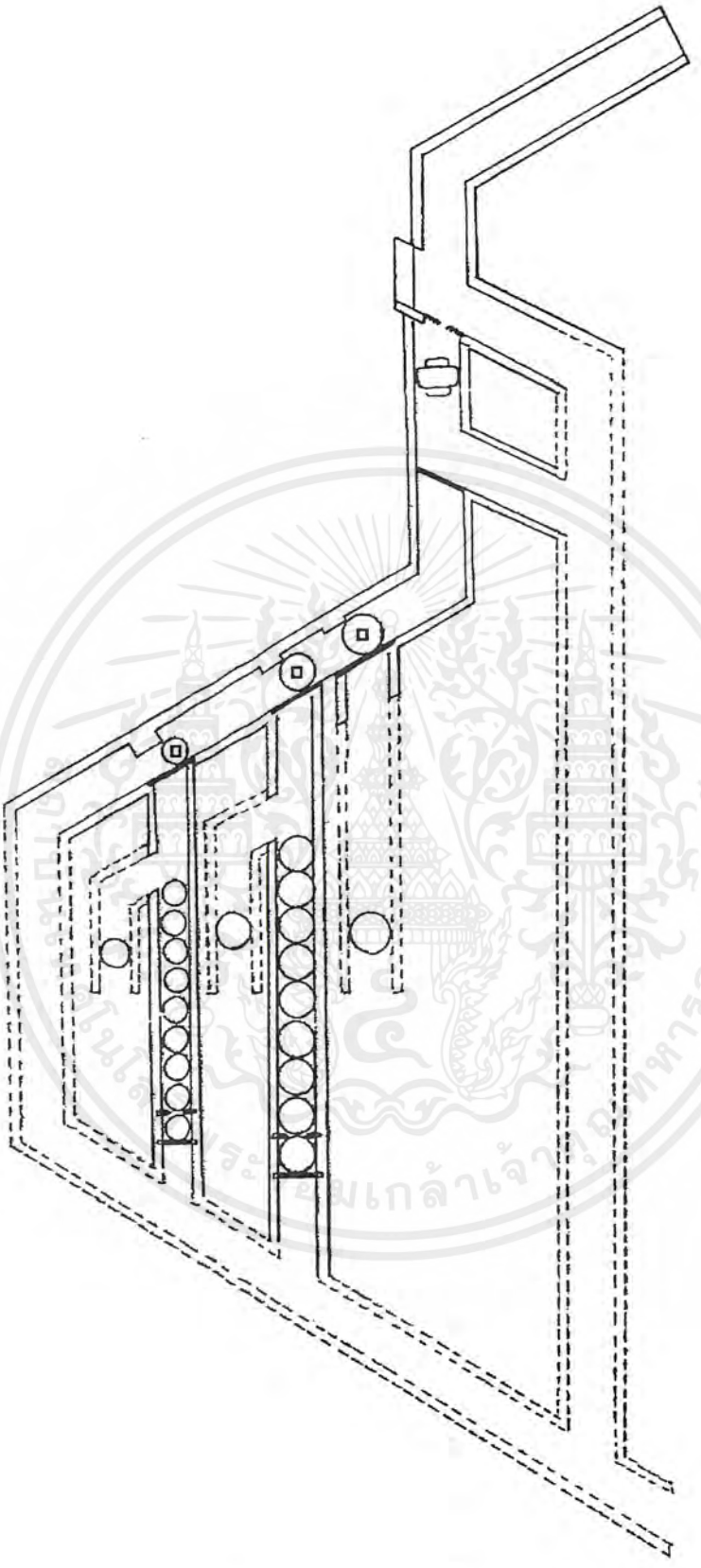
1) ส่วนของการทอนเหรียญ (Return Coin) เป็นลักษณะการใช้โซลินอยด์ควบคุมการเปิด-ปิด คาน 2 ชั้น เช่น เมื่อต้องการทอนเหรียญ คาน (1) ก็จะเปิดเหรียญก็จะตกไปสู่ช่องทอนเหรียญแล้วคาน (1) ก็จะปิด จากนั้นคาน (2) ก็จะเปิดเพื่อให้เหรียญตกลงมาอยู่ที่คาน (1) เพื่อรอสภาวะการทอนเหรียญต่อไป

2) ส่วนของเหรียญ (Stored Coin) เป็นลักษณะของการเก็บเหรียญในส่วนที่เกินมาจากช่องทอนเหรียญในระดับที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อเหรียญที่ร่วงลงไปในช่องทอนเหรียญมีเกินกว่าจำนวนที่กำหนดไว้ เหรียญที่เกินนั้นก็จะไหลออกสู่ช่องเก็บเหรียญ



รูปที่ 4.6 อธิบายโครงสร้างชุดทอนเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

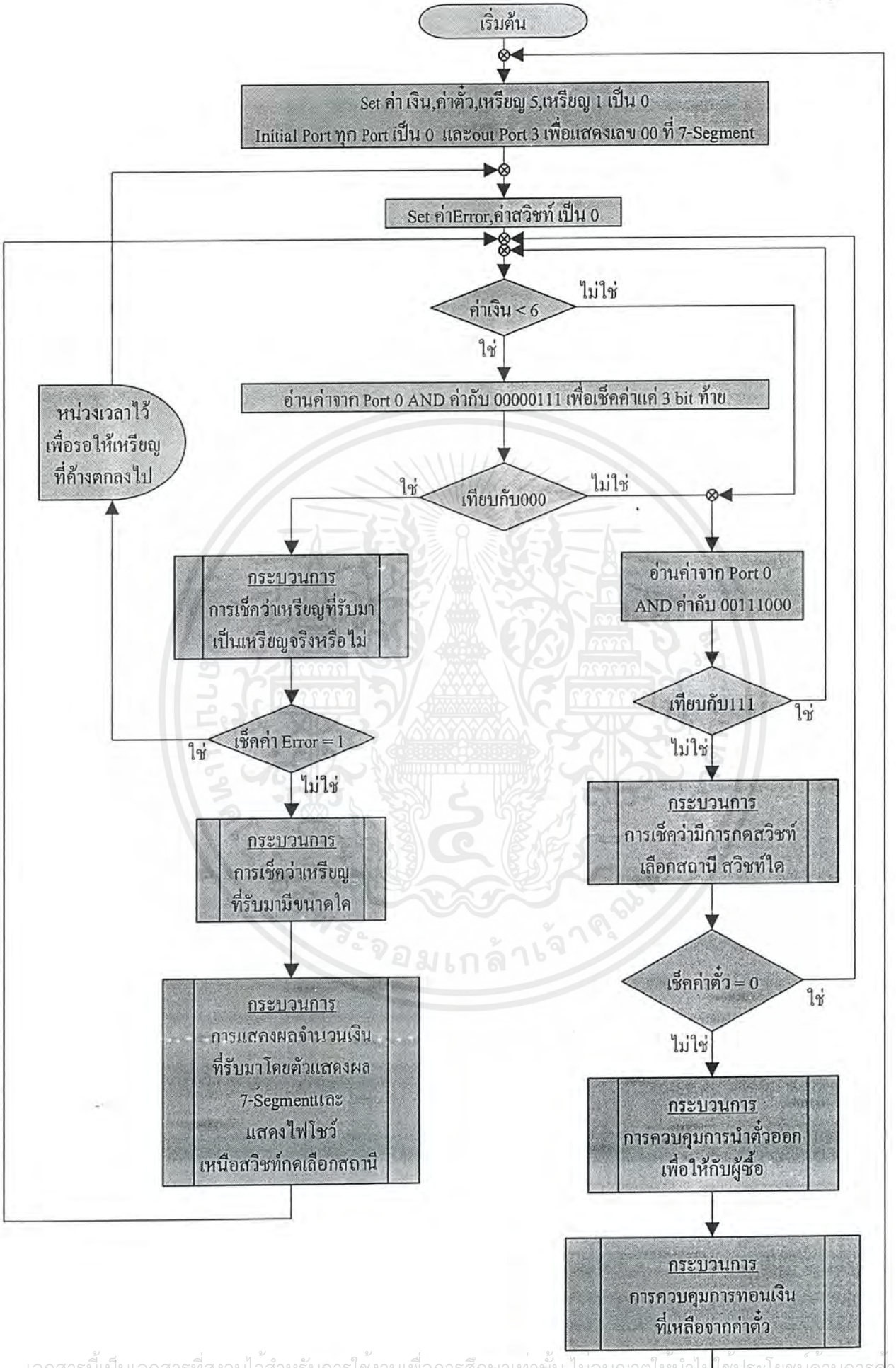


รูปที่ 4.7 โครงสร้างชุดหยอดเหรียญและตรวจสอบเหรียญ และโครงสร้างชุดทอนเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

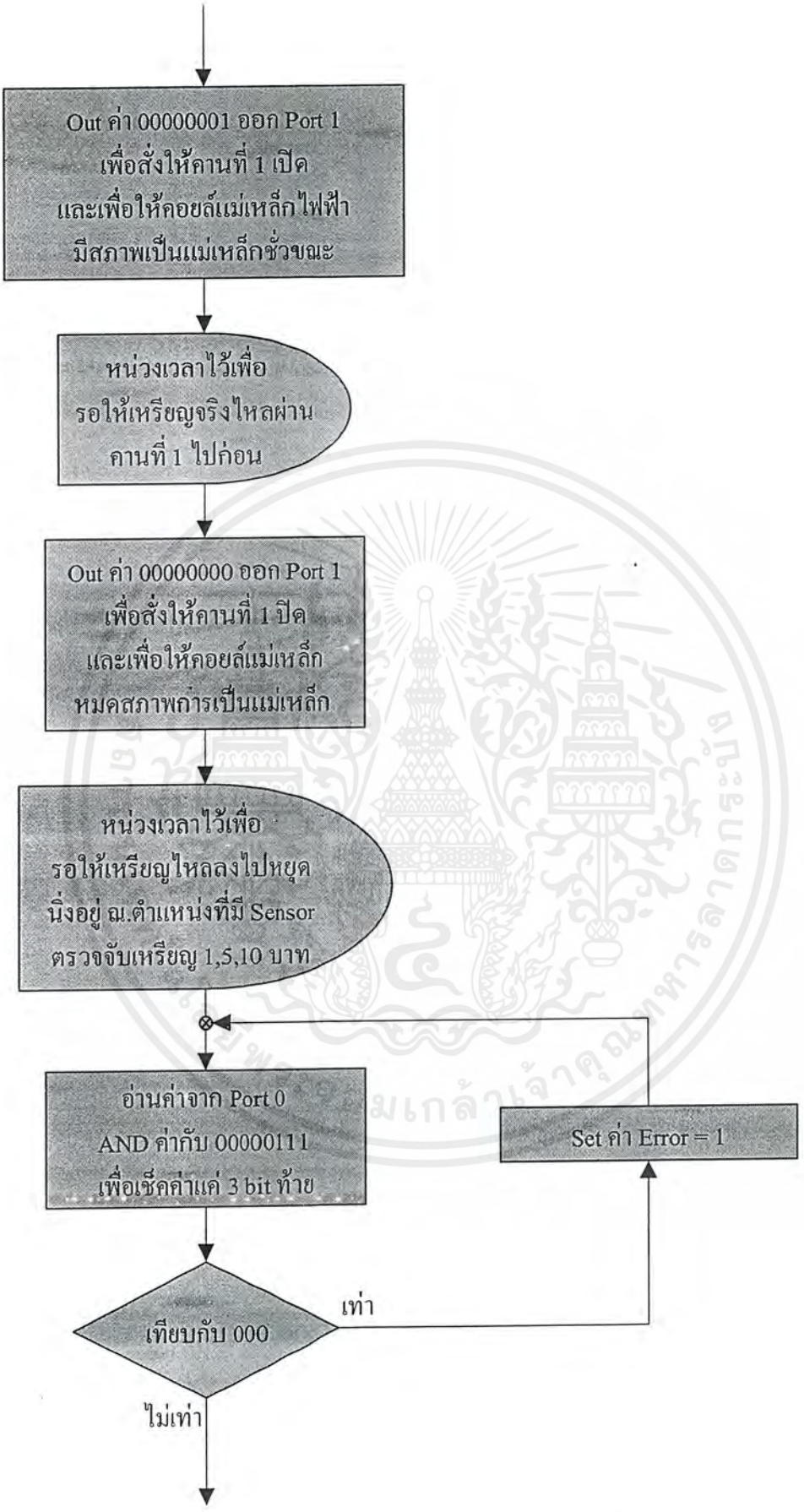
ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



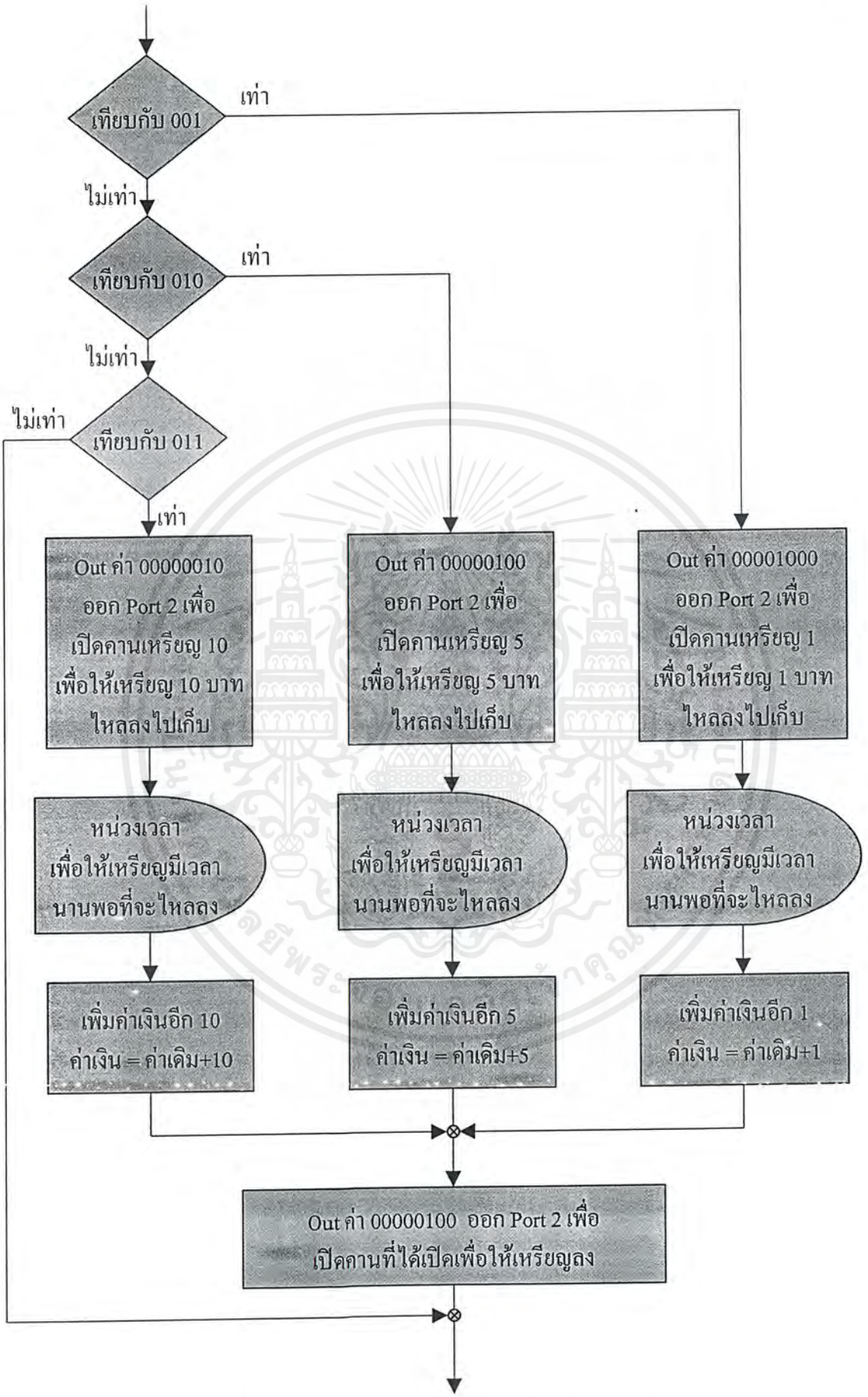
แผนผังแสดงกระบวนการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



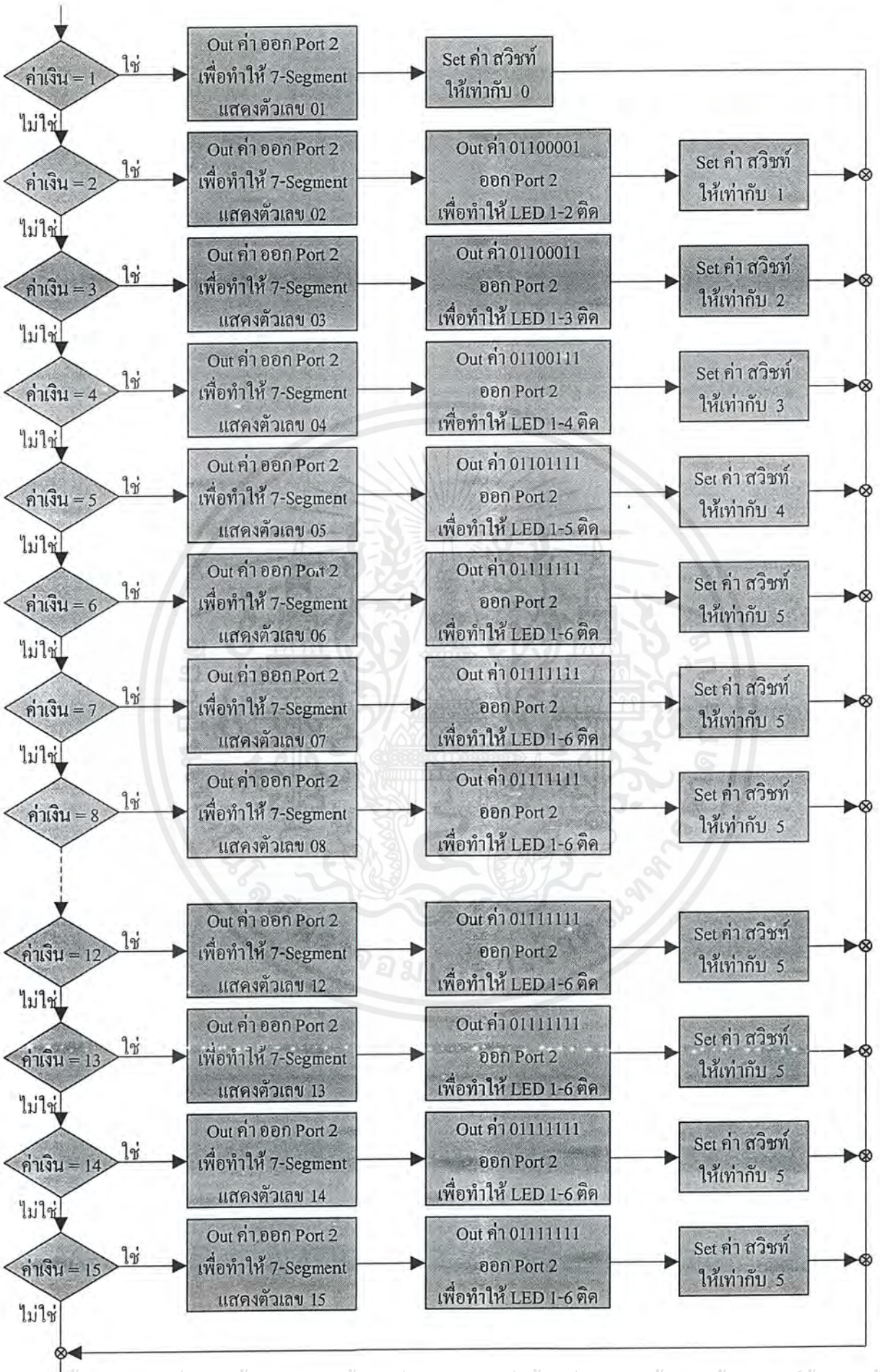
แผนผังกระบวนการตรวจสอบว่าเป็นเหรียญจริงหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



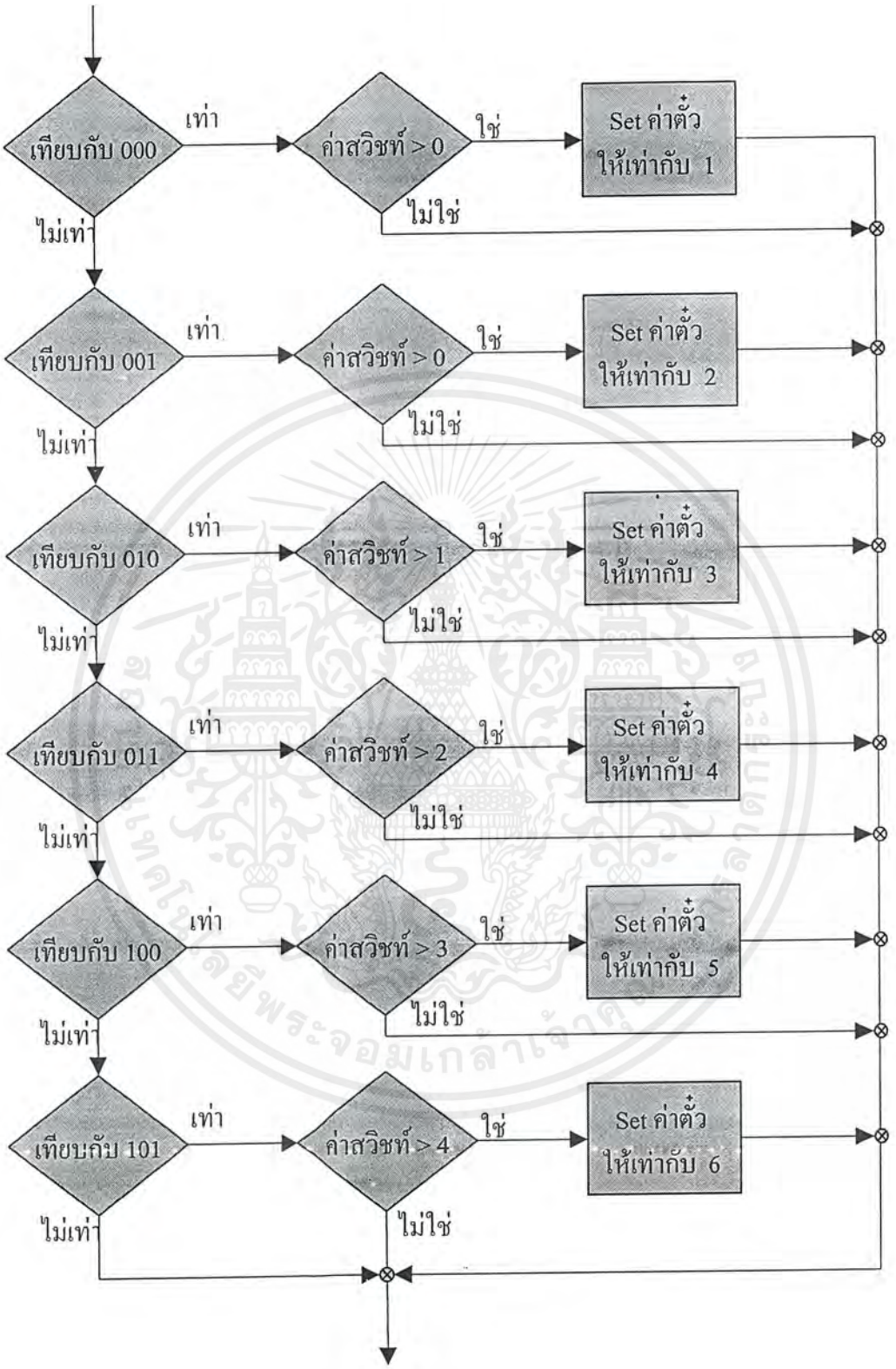
แผนผังกระบวนการ การแยกว่าเหรียญเป็นขนาดใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



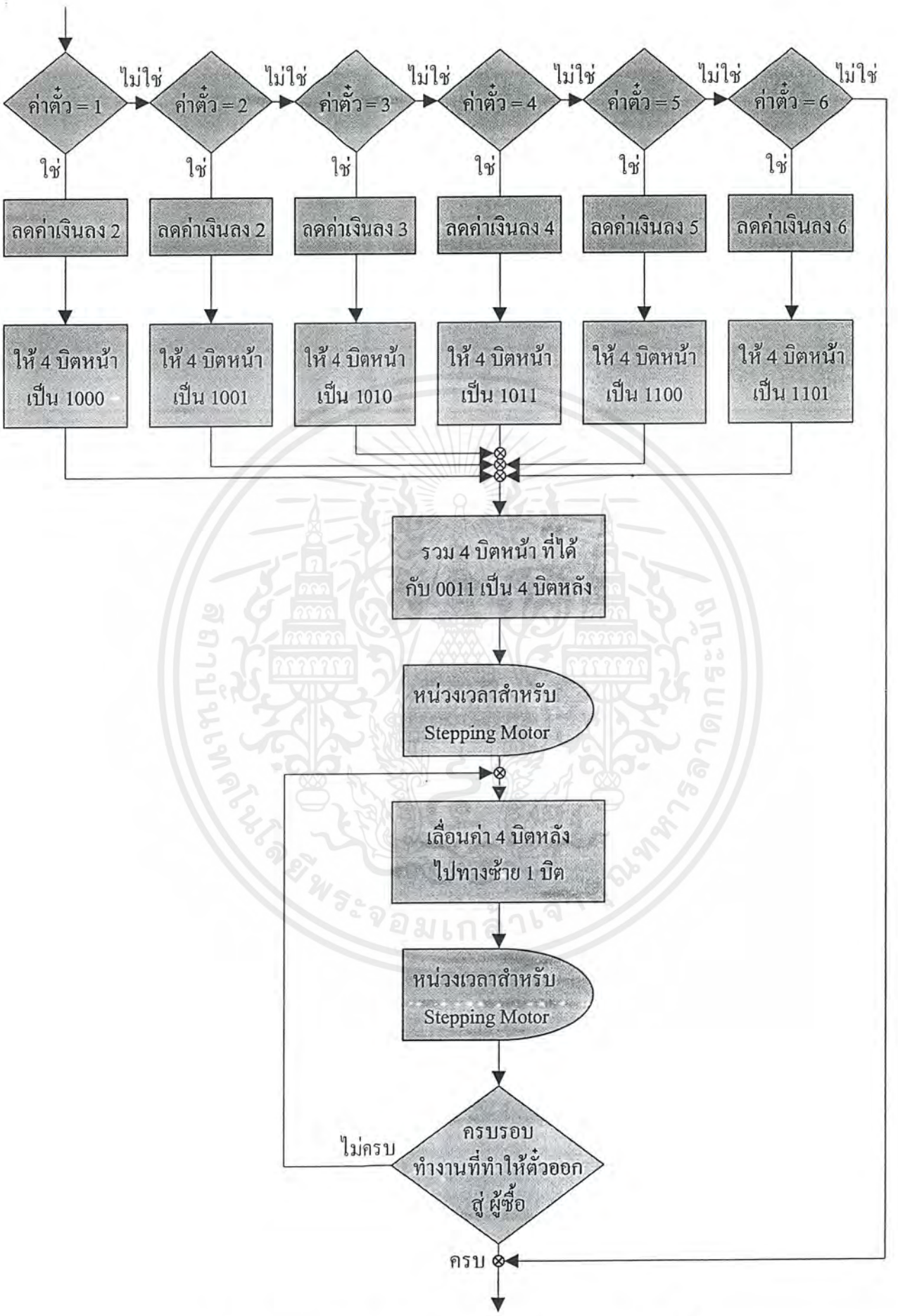
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แผนผังกระบวนการ การแสดงผลจำนวนเงินที่รับมาโดยตัวแสดงผล7-Segmentและแสดงไฟโชว์เหนือสวิชท์กดเลือกสถานี



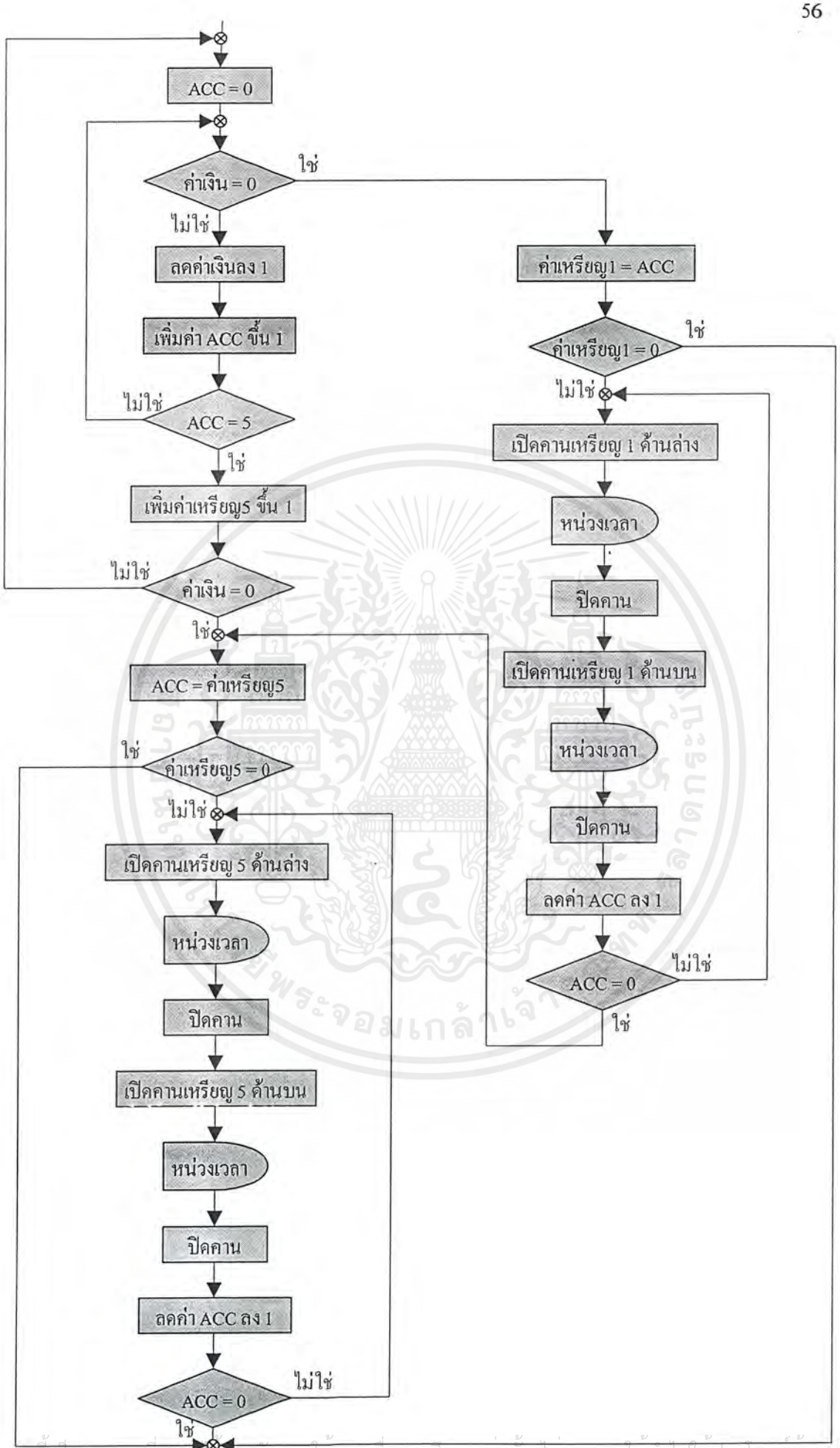
แผนผังกระบวนการ การเช็คว่ามีการกดสวิชท์เลือกสถานี สวิชท์ใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนผังแสดงกระบวนการ การควบคุมการนำตั๋วออกเพื่อให้กับผู้ซื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนผังแสดงกระบวนการ การควบคุมการทอนเงินที่เหลือจากค่าตั๋ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    1   ;PROGRAM CONTROL THE TICKET MACHINE
                    2
                    3
                    4   ;--------- CONDITION ---------
                    5   ;MONEY        EQU   R0
                    6   ;TICKET       EQU   R1
                    7   ;ERROR        EQU   R2
                    8   ;SWITCH       EQU   R3
                    9   ;STEP_MOTOR   EQU   R4
                    10  ;COIN5        EQU   R5
                    11  ;COIN1        EQU   R6
                    12  ;------- END CONDITION -------
                    13
                    14
                    15  ;--------- ASSIGN VALUE ANY DELAY ---------
0063                16  DELAY_CHK     EQU   99D
0063                17  DELAY_CHK1    EQU   99D
0019                18  DELAY_CHK2    EQU   19H
                    19
003B                20  DELAY_STOP    EQU   59D
003B                21  DELAY_STOP1   EQU   59D
001D                22  DELAY_STOP2   EQU   29D
                    23
00FF                24  DELAY_ER1     EQU   0FFH
00FF                25  DELAY_ER2     EQU   0FFH
                    26
0063                27  DELAY_OPEN_S1 EQU   99D
0063                28  DELAY_OPEN_S2 EQU   99D
0019                29  DELAY_OPEN_S3 EQU   19H
                    30
00FF                31  DELAY_STP1    EQU   0FFH
002F                32  DELAY_STP2    EQU   02FH
                    33
000A                34  LOOP_STP      EQU   0AH
                    35  ;------- END ASSIGN VALUE ANY DELAY ------
                    36
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                37
                38  ;--------- MAIN PROGRAM ---------
0000            39              ORG     0000H
0000 750000     40  MAIN:       MOV     P1,#00H         ;Initial Port1
0003 750000     41              MOV     P2,#00H         ;Initial Port2
0006 750080     42              MOV     P3,#10000000B   ;Initial Port3 (LED)
0009 7500C0     43              MOV     P3,#11000000B   ;(7 SEGMENT DISPLAY 00)
000C 7500E0     44              MOV     P3,#11100000B   ;
000F 7D00       45              MOV     R5,#00H         ;SET COIN5 = 0
0011 7E00       46              MOV     R6,#00H         ;SET COIN1 = 0
0013 7800       47              MOV     R0,#00H         ;SET MONEY = 0
0015 7900       48              MOV     R1,#00H         ;SET TICKET = 0
0017 7A00       49  LOOP1:      MOV     R2,#00H         ;SET ERROR = 0
0019 7B00       50              MOV     R3,#00H         ;SET SWITCH = 0
001B B80502     51  LOOP2:      CJNE    R0,#05H,PASS1   ;MONEY isn't 5 >>> jump pass1
001E 801B       52              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 5 (R0<6)
0020 B80402     53  PASS1:      CJNE    R0,#04H,PASS2   ;MONEY isn't 4 >>> jump pass2
0023 8016       54              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 4 (R0<6)
0025 B80302     55  PASS2:      CJNE    R0,#03H,PASS3   ;MONEY isn't 3 >>> jump pass3
0028 8011       56              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 3 (R0<6)
002A B80202     57  PASS3:      CJNE    R0,#02H,PASS4   ;MONEY isn't 2 >>> jump pass4
002D 800C       58              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 2 (R0<6)
002F B80102     59  PASS4:      CJNE    R0,#01H,PASS5   ;MONEY isn't 1 >>> jump pass5
0032 8007       60              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 1 (R0<6)
0034 B80002     61  PASS5:      CJNE    R0,#00H,PASS6   ;MONEY isn't 0 >>> jump pass6
0037 8002       62              SJMP    COIN_OR_SW      ;MONEY = 0 (R0<6)
0039 8019       63  PASS6:      SJMP    SW_ONLY         ;MONEY >= 6 >>> jump for check
                64                                      ;       switch only (not check coin)
003B 7500FF     65  COIN_OR_SW: MOV     P0,#0FFH        ;out FFH
003E E500       66              MOV     A,P0            ;for In DATA
0040 5407       67              ANL     A,#00000111B    ;for check 00000XXX
0042 B4000F     68              CJNE    A,#00H,SW_ONLY  ;Input isn't spring >>> jump for
                69          ;Input = spring >>> coin does insert the machine      check switch
0045 116D       70              ACALL   CHK_COIN        ;Process Procedure CHK_COIN
0047 BA0104     71              CJNE    R2,#01H,NOT_HANG;coin pass spring (not hang on spring)
004A 717F       72              ACALL   DELAY_ERROR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
004C 80C9      73            SJMP   LOOP1          ;ERROR = 1 (coin hang on the spring)
004E 1186      74  NOT_HANG:  ACALL  CHK_SIZE       ;Process Procedure CHK_SIZE
0050 11C0      75            ACALL  DISPLAY        ;Process Procedure DISPLAY
0052 80C7      76            SJMP   LOOP2
               77
0054 7500FF    78  SW_ONLY:  MOV    P0,#0FFH       ;out FFH
0057 E500      79            MOV    A,P0           ;for In DATA
0059 5438      80            ANL    A,#00111000B   ;for check 00XXX000
005B B43802    81            CJNE   A,#00111000B,ON_SW
005E 80BB      82            SJMP   LOOP2          ;isn't PUSH switch by USER
0060 5106      83  ON_SW:    ACALL  CHK_SW         ;Process Procedure CHK_SW
0062 B90002    84            CJNE   R1,#00H,ON_TICKET
0065 80B4      85            SJMP   LOOP2          ;isn't GIVE the ticket to USER
0067 5181      86  ON_TICKET: ACALL  TICKET        ;Process Procedure TICKET
0069 51F4      87            ACALL  CHANGE         ;Process Procedure CHANGE
006B 8093      88            SJMP   MAIN           ;Process COMPLETE >>> jump to MAIN
               89                                  ;                  for START AGAIN
               90  ;------- END MAIN PROGRAM -------
               91
               92
               93  ;--------- Procedure CHK_COIN ---------
006D 750001    94  CHK_COIN:  MOV    P2,#00000001B  ;for OPEN bar1 & ON electric magnetic
0070 7137      95            ACALL  DELAY_CHK_COIN
0072 750000    96            MOV    P2,#00H
0075 715B      97            ACALL  DELAY_COIN_STOP
0077 7500FF    98  LOOP1_1:  MOV    P0,#0FFH       ;out FFH
007A E500      99            MOV    A,P0           ;for In DATA
007C 5407      100           ANL    A,#00000111B   ;for check 00000XXX
007E B40004    101           CJNE   A,#00H,COIN_PASS
0081 7A01      102           MOV    R2,#01H        ;SET ERROR = 1
0083 80F2      103           SJMP   LOOP1_1
0085 22        104 COIN_PASS: RET
               105 ;------- END Procedure CHK_COIN -------
               106
               107
               108 ;--------- Procedure CHK_SIZE ---------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0086 B4010F     109  CHK_SIZE:     CJNE   A,#00000001B,NO_COIN10
                110          ;----- coin is 10 BATH -----
0089 750002     111               MOV    P2,#00000010B
008C 7195       112               ACALL  DELAY_OPEN_SOL
008E C000       113               PUSH   ACC
0090 740A       114               MOV    A,#0AH        ;ACC = 10
0092 28         115               ADD    A,R0          ;ACC = ACC + R0
0093 F8         116               MOV    R0,A          ;RO = ACC
0094 D000       117               POP    ACC
0096 8024       118               SJMP   COIN_END
                119          ;--- END coin is 10 BATH ---
0098 B4020F     120  NO_COIN10:    CJNE   A,#00000010B,NO_COIN5
                121          ;----- coin is 5 BATH -----
009B 750004     122               MOV    P2,#00000100B
009E 7195       123               ACALL  DELAY_OPEN_SOL
00A0 C000       124               PUSH   ACC
00A2 7405       125               MOV    A,#05H        ;ACC = 5
00A4 28         126               ADD    A,R0          ;ACC = ACC + R0
00A5 F8         127               MOV    R0,A          ;RO = ACC
00A6 D000       128               POP    ACC
00A8 8012       129               SJMP   COIN_END
                130          ;--- END coin is 5 BATH ---
00AA B40312     131  NO_COIN5:     CJNE   A,#00000011B,NO_COIN1
                132          ;----- coin is 1 BATH -----
00AD 750008     133               MOV    P2,#00001000B
00B0 7195       134               ACALL  DELAY_OPEN_SOL
00B2 C000       135               PUSH   ACC
00B4 7401       136               MOV    A,#01H        ;ACC = 1
00B6 28         137               ADD    A,R0          ;ACC = ACC + R0
00B7 F8         138               MOV    R0,A          ;RO = ACC
00B8 D000       139               POP    ACC
00BA 8000       140               SJMP   COIN_END
                141          ;--- END coin is 1 BATH ---
00BC 750000     142  COIN_END:     MOV    P2,#00H
00BF 22         143  NO_COIN1:     RET
                144  ;------ END Procedure CHK_SIZE ------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    145
                    146
                    147  ;--------- Procedure DISPLAY ---------
00C0 B80110         148  DISPLAY:      CJNE   R0,#01H,NO_1BATH
                    149       ;----- MONEY = 1 BATH -----
00C3 750080         150            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
00C6 7500C0         151            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
00C9 7500C1         152            MOV    P3,#11000001B  ;out number 1
00CC 7500E1         153            MOV    P3,#11100001B  ;open Digit 1 for Display number 1
00CF 7B00           154            MOV    R3,#00H        ;SET SWITCH = 0
00D1 4105           155            AJMP   END_DISP
                    156       ;--- END MONEY = 1 BATH ---
00D3 B80213         157  NO_1BATH:     CJNE   R0,#02H,NO_2BATH
                    158       ;----- MONEY = 2 BATH -----
00D6 750080         159            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
00D9 7500C0         160            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
00DC 7500C2         161            MOV    P3,#11000010B  ;out number 2
00DF 7500E2         162            MOV    P3,#11100010B  ;open Digit 1 for Display number 2
00E2 750061         163            MOV    P3,#01100001B  ;show LED station 1-2
00E5 7B01           164            MOV    R3,#01H        ;SET SWITCH = 1
00E7 4105           165            AJMP   END_DISP
                    166       ;--- END MONEY = 2 BATH ---
00E9 B80313         167  NO_2BATH:     CJNE   R0,#03H,NO_3BATH
                    168       ;----- MONEY = 3 BATH -----
00EC 750080         169            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
00EF 7500C0         170            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
00F2 7500C3         171            MOV    P3,#11000011B  ;out number 3
00F5 7500E3         172            MOV    P3,#11100011B  ;open Digit 1 for Display number 3
00F8 750063         173            MOV    P3,#01100011B  ;show LED station 1-3
00FB 7B02           174            MOV    R3,#02H        ;SET SWITCH = 2
00FD 4105           175            AJMP   END_DISP
                    176       ;--- END MONEY = 3 BATH ---
00FF B80413         177  NO_3BATH:     CJNE   R0,#04H,NO_4BATH
                    178       ;----- MONEY = 4 BATH -----
0102 750080         179            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
0105 7500C0         180            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0108 7500C4   181          MOV   P3,#11000100B  ;out number 4
010B 7500E4   182          MOV   P3,#11100100B  ;open Digit 1 for Display number 4
010E 750067   183          MOV   P3,#01100111B  ;show LED station 1-4
0111 7B03     184          MOV   R3,#03H        ;SET SWITCH = 3
0113 4105     185          AJMP  END_DISP
              186       ;--- END MONEY = 4 BATH ---
0115 B80513   187  NO_4BATH:    CJNE  R0,#05H,NO_5BATH
              188       ;----- MONEY = 5 BATH -----
0118 750080   189          MOV   P3,#10000000B  ;out number 0
011B 7500C0   190          MOV   P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
011E 7500C5   191          MOV   P3,#11000101B  ;out number 5
0121 7500E5   192          MOV   P3,#11100101B  ;open Digit 1 for Display number 5
0124 75006F   193          MOV   P3,#01101111B  ;show LED station 1-5
0127 7B04     194          MOV   R3,#04H        ;SET SWITCH = 4
0129 4105     195          AJMP  END_DISP
              196       ;--- END MONEY = 5 BATH ---
012B B80613   197  NO_5BATH:    CJNE  R0,#06H,NO_6BATH
              198       ;----- MONEY = 6 BATH -----
012E 750080   199          MOV   P3,#10000000B  ;out number 0
0131 7500C0   200          MOV   P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
0134 7500C6   201          MOV   P3,#11000110B  ;out number 6
0137 7500E6   202          MOV   P3,#11100110B  ;open Digit 1 for Display number 6
013A 75007F   203          MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
013D 7B05     204          MOV   R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
013F 4105     205          AJMP  END_DISP
              206       ;--- END MONEY = 6 BATH ---
0141 B80713   207  NO_6BATH:    CJNE  R0,#07H,NO_7BATH
              208       ;----- MONEY = 7 BATH -----
0144 750080   209          MOV   P3,#10000000B  ;out number 0
0147 7500C0   210          MOV   P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
014A 7500C7   211          MOV   P3,#11000111B  ;out number 7
014D 7500E7   212          MOV   P3,#11100111B  ;open Digit 1 for Display number 7
0150 75007F   213          MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
0153 7B05     214          MOV   R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
0155 4105     215          AJMP  END_DISP
              216       ;--- END MONEY = 7 BATH ---
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0157 B80813     217  NO_7BATH:    CJNE   R0,#08H,NO_8BATH
                218       ;----- MONEY = 8 BATH -----
015A 750080     219            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
015D 7500C0     220            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
0160 7500C8     221            MOV    P3,#11001000B  ;out number 8
0163 7500E8     222            MOV    P3,#11101000B  ;open Digit 1 for Display number 8
0166 75007F     223            MOV    P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
0169 7B05       224            MOV    R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
016B 4105       225            AJMP   END_DISP
                226       ;--- END MONEY = 8 BATH ---
016D B80913     227  NO_8BATH:     CJNE   R0,#09H,NO_9BATH
                228       ;----- MONEY = 9 BATH -----
0170 750080     229            MOV    P3,#10000000B  ;out number 0
0173 7500C0     230            MOV    P3,#11000000B  ;open Digit 2 for Display number 0
0176 7500C9     231            MOV    P3,#11001001B  ;out number 9
0179 7500E9     232            MOV    P3,#11101001B  ;open Digit 1 for Display number 9
017C 75007F     233            MOV    P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
017F 7B05       234            MOV    R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
0181 4105       235            AJMP   END_DISP
                236       ;--- END MONEY = 9 BATH ---
0183 B80A13     237  NO_9BATH:     CJNE   R0,#0AH,NO_10BATH
                238       ;----- MONEY = 10 BATH -----
0186 750081     239            MOV    P3,#10000001B  ;out number 1
0189 7500C1     240            MOV    P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
018C 7500C0     241            MOV    P3,#11000000B  ;out number 0
018F 7500E0     242            MOV    P3,#11100000B  ;open Digit 1 for Display number 0
0192 75007F     243            MOV    P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
0195 7B05       244            MOV    R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
0197 806C       245            SJMP   END_DISP
                246       ;--- END MONEY = 10 BATH ---
0199 B80B13     247  NO_10BATH:    CJNE   R0,#0BH,NO_11BATH
                248       ;----- MONEY = 11 BATH -----
019C 750081     249            MOV    P3,#10000001B  ;out number 1
019F 7500C1     250            MOV    P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
01A2 7500C1     251            MOV    P3,#11000001B  ;out number 1
01A5 7500E1     252            MOV    P3,#11100001B  ;open Digit 1 for Display number 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
01A8 75007F     253             MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
01AB 7B05       254             MOV   R3,#05H       ;SET SWITCH = 5
01AD 8056       255             SJMP  END_DISP
                256         ;--- END MONEY = 11 BATH ---
01AF B80C13     257   NO_11BATH:    CJNE  R0,#0CH,NO_12BATH
                258         ;----- MONEY = 12 BATH -----
01B2 750081     259             MOV   P3,#10000001B  ;out number 1
01B5 7500C1     260             MOV   P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
01B8 7500C2     261             MOV   P3,#11000010B  ;out number 2
01BB 7500E2     262             MOV   P3,#11100010B  ;open Digit 1 for Display number 2
01BE 75007F     263             MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
01C1 7B05       264             MOV   R3,#05H       ;SET SWITCH = 5
01C3 8040       265             SJMP  END_DISP
                266         ;--- END MONEY = 12 BATH ---
01C5 B80D13     267   NO_12BATH:    CJNE  R0,#0DH,NO_13BATH
                268         ;----- MONEY = 13 BATH -----
01C8 750081     269             MOV   P3,#10000001B  ;out number 1
01CB 7500C1     270             MOV   P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
01CE 7500C3     271             MOV   P3,#11000011B  ;out number 3
01D1 7500E3     272             MOV   P3,#11100011B  ;open Digit 1 for Display number 3
01D4 75007F     273             MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
01D7 7B05       274             MOV   R3,#05H       ;SET SWITCH = 5
01D9 802A       275             SJMP  END_DISP
                276         ;--- END MONEY = 13 BATH ---
01DB B80E13     277   NO_13BATH:    CJNE  R0,#0EH,NO_14BATH
                278         ;----- MONEY = 14 BATH -----
01DE 750081     279             MOV   P3,#10000001B  ;out number 1
01E1 7500C1     280             MOV   P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
01E4 7500C4     281             MOV   P3,#11000100B  ;out number 4
01E7 7500E4     282             MOV   P3,#11100100B  ;open Digit 1 for Display number 4
01EA 75007F     283             MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
01ED 7B05       284             MOV   R3,#05H       ;SET SWITCH = 5
01EF 8014       285             SJMP  END_DISP
                286         ;--- END MONEY = 14 BATH ---
01F1 B80F11     287   NO_14BATH:    CJNE  R0,#0FH,END_DISP
                288         ;----- MONEY = 15 BATH -----
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
01F4 750081   289            MOV   P3,#10000001B  ;out number 1
01F7 7500C1   290            MOV   P3,#11000001B  ;open Digit 2 for Display number 1
01FA 7500C5   291            MOV   P3,#11000101B  ;out number 5
01FD 7500E5   292            MOV   P3,#11100101B  ;open Digit 1 for Display number 5
0200 75007F   293            MOV   P3,#01111111B  ;show LED station 1-6
0203 7B05     294            MOV   R3,#05H        ;SET SWITCH = 5
              295        ;--- END MONEY = 15 BATH ---
0205 22       296  END_DISP:     RET
              297  ;------- END Procedure DISPLAY -------
              298
              299
              300  ;--------- Procedure CHK_SW ---------
0206 B40009   301  CHK_SW:       CJNE  A,#00000000B,NO_SW1
              302        ;----- switch 1 to PUSH -----
0209 BB0002   303            CJNE  R3,#00000000B,MORE_EQU1_1
020C 8072     304            SJMP  END_SW
020E 7901     305  MORE_EQU1_1:  MOV   R1,#01H       ;SET TICKET = 1
0210 806E     306            SJMP  END_SW
              307        ;--- END switch 1 to PUSH ---
              308
0212 B40809   309  NO_SW1:       CJNE  A,#00001000B,NO_SW2
              310        ;----- switch 2 to PUSH -----
0215 BB0002   311            CJNE  R3,#00000000B,MORE_EQU1_2
0218 8066     312            SJMP  END_SW
021A 7902     313  MORE_EQU1_2:  MOV   R1,#02H       ;SET TICKET = 2
021C 8062     314            SJMP  END_SW
              315        ;--- END switch 2 to PUSH ---
              316
021E B4100E   317  NO_SW2:       CJNE  A,#00010000B,NO_SW3
              318        ;----- switch 3 to PUSH -----
0221 BB0002   319            CJNE  R3,#00000000B,MORE_EQU1_3
0224 805A     320            SJMP  END_SW
0226 BB0102   321  MORE_EQU1_3:  CJNE  R3,#00000001B,MORE_EQU2_3
0229 8055     322            SJMP  END_SW
022B 7903     323  MORE_EQU2_3:  MOV   R1,#03H       ;SET TICKET = 3
022D 8051     324            SJMP  END_SW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                325         ;--- END switch 3 to PUSH ---
                326
022F B41813     327 NO_SW3:       CJNE   A,#00011000B,NO_SW4
                328         ;----- switch 4 to PUSH -----
0232 BB0002     329               CJNE   R3,#00000000B,MORE_EQU1_4
0235 8049       330               SJMP   END_SW
0237 BB0102     331 MORE_EQU1_4:  CJNE   R3,#00000001B,MORE_EQU2_4
023A 8044       332               SJMP   END_SW
023C BB0202     333 MORE_EQU2_4:  CJNE   R3,=00000010B,MORE_EQU3_4
023F 803F       334               SJMP   END_SW
0241 7904       335 MORE_EQU3_4:  MOV    R1,=04H      ;SET TICKET = 4
0243 803B       336               SJMP   END_SW
                337         ;--- END switch 4 to PUSH ---
                338
0245 B42018     339 NO_SW4:       CJNE   A,#00100000B,NO_SW5
                340         ;----- switch 5 to PUSH -----
0248 BB0002     341               CJNE   R3,#00000000B,MORE_EQU1_5
024B 8033       342               SJMP   END_SW
024D BB0102     343 MORE_EQU1_5:  CJNE   R3,#00000001B,MORE_EQU2_5
0250 802E       344               SJMP   END_SW
0252 BB0202     345 MORE_EQU2_5:  CJNE   R3,#00000010B,MORE_EQU3_5
0255 8029       346               SJMP   END_SW
0257 BB0302     347 MORE_EQU3_5:  CJNE   R3,#00000011B,MORE_EQU4_5
025A 8024       348               SJMP   END_SW
025C 7905       349 MORE_EQU4_5:  MOV    R1,#05H      ;SET TICKET = 5
025E 8020       350               SJMP   END_SW
                351         ;--- END switch 5 to PUSH ---
                352
0260 B4281D     353 NO_SW5:       CJNE   A,#00101000B,END_SW
                354         ;----- switch 6 to PUSH -----
0263 BB0002     355               CJNE   R3,#00000000B,MORE_EQU1_6
0266 8018       356               SJMP   END_SW
0268 BB0102     357 MORE_EQU1_6:  CJNE   R3,#00000001B,MORE_EQU2_6
026B 8013       358               SJMP   END_SW
026D BB0202     359 MORE_EQU2_6:  CJNE   R3,#00000010B,MORE_EQU3_6
0270 800E       360               SJMP   END_SW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0272 BB0302     361  MORE_EQU3_6:  CJNE   R3,#00000011B,MORE_EQU4_6
0275 8009       362                SJMP   END_SW
0277 BB0402     363  MORE_EQU4_6:  CJNE   R3,#00000100B,MORE_EQU5_6
027A 8004       364                SJMP   END_SW
027C 7906       365  MORE_EQU5_6:  MOV    R1,#06H       ;SET TICKET = 6
027E 8000       366                SJMP   END_SW
                367          ;--- END switch 6 to PUSH ---
0280 22         368  END_SW:       RET
                369  ;------- END Procedure CHK_SW -------
                370
                371
                372  ;--------- Procedure TICKET ---------
0281 B90106     373  TICKET:       CJNE   R1,#01H,NO_TICKET1
0284 18         374                DEC    R0          ;DEC MONEY 2
0285 18         375                DEC    R0          ;
0286 7C8F       376                MOV    R4,#10001111B  ;Select Stepping Motor 1
0288 8035       377                SJMP   GIVE_TICKET
028A B90206     378  NO_TICKET1:   CJNE   R1,#02H,NO_TICKET2
028D 18         379                DEC    R0          ;DEC MONEY 2
028E 18         380                DEC    R0          ;
028F 7C9F       381                MOV    R4,#10011111B  ;Select Stepping Motor 2
0291 802C       382                SJMP   GIVE_TICKET
0293 B90307     383  NO_TICKET2:   CJNE   R1,#03H,NO_TICKET3
0296 18         384                DEC    R0          ;DEC MONEY 3
0297 18         385                DEC    R0          ;
0298 18         386                DEC    R0          ;
0299 7CAF       387                MOV    R4,#10101111B  ;Select Stepping Motor 3
029B 8022       388                SJMP   GIVE_TICKET
029D B90408     389  NO_TICKET3:   CJNE   R1,#04H,NO_TICKET4
02A0 18         390                DEC    R0          ;DEC MONEY 4
02A1 18         391                DEC    R0          ;
02A2 18         392                DEC    R0          ;
02A3 18         393                DEC    R0          ;
02A4 7CBF       394                MOV    R4,#10111111B  ;Select Stepping Motor 4
02A6 8017       395                SJMP   GIVE_TICKET
02A8 B90509     396  NO_TICKET4:   CJNE   R1,#05H,NO_TICKET5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
02AB 18      397            DEC   R0          ;DEC MONEY 5
02AC 18      398            DEC   R0          ;
02AD 18      399            DEC   R0          ;
02AE 18      400            DEC   R0          ;
02AF 18      401            DEC   R0          ;
02B0 7CCF    402            MOV   R4,#11001111B  ;Select Stepping Motor 5
02B2 800B    403            SJMP  GIVE_TICKET
02B4 B90639  404  NO_TICKET5:  CJNE  R1,#06H,END_TICKET
02B7 18      405            DEC   R0          ;DEC MONEY 6
02B8 18      406            DEC   R0          ;
02B9 18      407            DEC   R0          ;
02BA 18      408            DEC   R0          ;
02BB 18      409            DEC   R0          ;
02BC 18      410            DEC   R0          ;
02BD 7CDF    411            MOV   R4,#11011111B  ;Select Stepping Motor 6
02BF 740A    412  GIVE_TICKET:  MOV   A,#LOOP_STP
02C1 C000    413  TICKET1:     PUSH  ACC
02C3 74F3    414            MOV   A,#11110011B
02C5 5C      415            ANL   A,R4
02C6 F500    416            MOV   P1,A
02C8 D000    417            POP   ACC
02CA 71B7    418            ACALL DELAY_STEP
             419
02CC C000    420            PUSH  ACC
02CE 74F6    421            MOV   A,#11110110B
02D0 5C      422            ANL   A,R4
02D1 F500    423            MOV   P1,A
02D3 D000    424            POP   ACC
02D5 71B7    425            ACALL DELAY_STEP
             426
02D7 C000    427            PUSH  ACC
02D9 74FC    428            MOV   A,#11111100B
02DB 5C      429            ANL   A,R4
02DC F500    430            MOV   P1,A
02DE D000    431            POP   ACC
02E0 71B7    432            ACALL DELAY_STEP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                433
02E2 C000       434             PUSH   ACC
02E4 74F9       435             MOV    A,#11111001B
02E6 5C         436             ANL    A,R4
02E7 F500       437             MOV    P1,A
02E9 D000       438             POP    ACC
02EB 71B7       439             ACALL  DELAY_STEP
                440
02ED 14         441             DEC    A
02EE 70D1       442             JNZ    TICKET1
02F0 750000     443 END_TICKET: MOV    P1,#00H
02F3 22         444             RET
                445 ;------- END Procedure TICKET -------
                446
                447
                448 ;--------- Procedure CHANGE ---------
02F4 7400       449 CHANGE:     MOV    A,#00H      ;SET LOOP = 0
02F6 B8001B     450 CHANGE1:    CJNE   R0,#00H,MONEY_NOT_0
                451         ;----- CHANGE COIN 1 BATH -----
02F9 FE         452             MOV    R6,A        ;COIN1 = LOOP
02FA BE0002     453 CHK_C1:     CJNE   R6,#00H,CHANGE_C1
02FD 801E       454             SJMP   CHK_C5
02FF 750080     455 CHANGE_C1:  MOV    P2,#10000000B  ;for Open BarCOIN1low
0302 7195       456             ACALL  DELAY_OPEN_SOL
0304 750000     457             MOV    P2,#00H
0307 750040     458             MOV    P2,#01000000B  ;for Open BarCOIN1up
030A 7195       459             ACALL  DELAY_OPEN_SOL
030C 750000     460             MOV    P2,#00H
030F 14         461             DEC    A
0310 70ED       462             JNZ    CHANGE_C1
0312 8009       463             SJMP   CHK_C5
                464         ;--- END CHANGE COIN 1 BATH ---
0314 18         465 MONEY_NOT_0: DEC   R0          ;DEC MONEY
0315 04         466             INC    A           ;INC LOOP
0316 B405DD     467             CJNE   A,#05H,CHANGE1
0319 0D         468             INC    R5          ;INC COIN5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
031A B800D7   469            CJNE   R0,#00H,CHANGE
031D ED       470  CHK_C5:     MOV    A,R5          ;LOOP = COIN5
              471       ;----- CHANGE COIN 5 BATH -----
031E BD0002   472            CJNE   R5,#00H,CHANGE_C5
0321 8013     473            SJMP   END_CHANGE
0323 750020   474  CHANGE_C5:  MOV    P2,#00100000B  ;for Open BarCOIN5low
0326 7195     475            ACALL  DELAY_OPEN_SOL
0328 750000   476            MOV    P2,#00H
032B 750010   477            MOV    P2,#00010000B  ;for Open BarCOIN5up
032E 7195     478            ACALL  DELAY_OPEN_SOL
0330 750000   479            MOV    P2,#00H
0333 14       480            DEC    A
0334 70ED     481            JNZ    CHANGE_C5
              482       ;--- END CHANGE COIN 5 BATH ---
0336 22       483  END_CHANGE:   RET
              484  ;------- END Procedure CHANGE -------
              485
              486
              487  ;--------- Procedure DELAY_CHK_COIN ---------
0337 C000     488  DELAY_CHK_COIN: PUSH   ACC
0339 7463     489            MOV    A,#DELAY_CHK
033B 120344   490  LOOP_CHK_C:   LCALL   DELAY_CHK_C1
033E 14       491            DEC    A
033F 70FA     492            JNZ    LOOP_CHK_C
0341 D000     493            POP    ACC
0343 22       494            RET
              495
0344 C000     496  DELAY_CHK_C1:  PUSH   ACC
0346 7463     497            MOV    A,#DELAY_CHK1
0348 120351   498  LOOP_CHK_C1:   LCALL   DELAY_CHK_C2
034B 14       499            DEC    A
034C 70FA     500            JNZ    LOOP_CHK_C1
034E D000     501            POP    ACC
0350 22       502            RET
              503
0351 C000     504  DELAY_CHK_C2:  PUSH   ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0353 7419      505            MOV    A,#DELAY_CHK2
0355 14        506  LOOP_CHK_C2:  DEC    A
0356 70FD      507            JNZ    LOOP_CHK_C2
0358 D000      508            POP    ACC
035A 22        509            RET
               510  ;------- END Procedure DELAY_CHK_COIN -------
               511
               512
               513  ;--------- Procedure DELAY_COIN_STOP ---------
035B C000      514  DELAY_COIN_STOP:PUSH   ACC
035D 743B      515            MOV    A,#DELAY_STOP
035F 120368    516  LOOP_STOP:    LCALL  DELAY_C_STOP1
0362 14        517            DEC    A
0363 70FA      518            JNZ    LOOP_STOP
0365 D000      519            POP    ACC
0367 22        520            RET
               521
0368 C000      522  DELAY_C_STOP1:  PUSH   ACC
036A 743B      523            MOV    A,#DELAY_STOP1
036C 120375    524  LOOP_STOP1:   LCALL  DELAY_C_STOP2
036F 14        525            DEC    A
0370 70FA      526            JNZ    LOOP_STOP1
0372 D000      527            POP    ACC
0374 22        528            RET
               529
0375 C000      530  DELAY_C_STOP2:  PUSH   ACC
0377 741D      531            MOV    A,#DELAY_STOP2
0379 14        532  LOOP_STOP2:   DEC    A
037A 70FD      533            JNZ    LOOP_STOP2
037C D000      534            POP    ACC
037E 22        535            RET
               536  ;------- END Procedure DELAY_COIN_STOP -------
               537
               538
               539  ;-------- Procedure DELAY_ERROR ---------
037F C000      540  DELAY_ERROR:   PUSH   ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0381 74FF      541          MOV   A,#DELAY_ER1
0383 718B      542  LOOP_ER:     ACALL  DELAY_ERROR1
0385 14        543          DEC   A
0386 70FB      544          JNZ   LOOP_ER
0388 D000      545          POP   ACC
038A 22        546          RET
               547
038B C000      548  DELAY_ERROR1:  PUSH   ACC
038D 74FF      549          MOV   A,#DELAY_ER2
038F 14        550  LOOP_ER1:     DEC   A
0390 70FD      551          JNZ   LOOP_ER1
0392 D000      552          POP   ACC
0394 22        553          RET
               554  ;-------END Procedure DELAY_ERROR -------
               555
               556
               557  ;--------- Procedure DELAY_OPEN_SOL ---------
0395 C000      558  DELAY_OPEN_SOL: PUSH   ACC
0397 7463      559          MOV   A,#DELAY_OPEN_S1
0399 71A1      560  LOOP_SOL:     ACALL  DELAY_OPEN_SOL1
039B 14        561          DEC   A
039C 70FB      562          JNZ   LOOP_SOL
039E D000      563          POP   ACC
03A0 22        564          RET
               565
03A1 C000      566  DELAY_OPEN_SOL1:PUSH   ACC
03A3 7463      567          MOV   A,#DELAY_OPEN_S2
03A5 71AD      568  LOOP_SOL1:    ACALL  DELAY_OPEN_SOL2
03A7 14        569          DEC   A
03A8 70FB      570          JNZ   LOOP_SOL1
03AA D000      571          POP   ACC
03AC 22        572          RET
               573
03AD C000      574  DELAY_OPEN_SOL2:PUSH   ACC
03AF 7419      575          MOV   A,#DELAY_OPEN_S3
03B1 14        576  LOOP_SOL2:    DEC   A
```

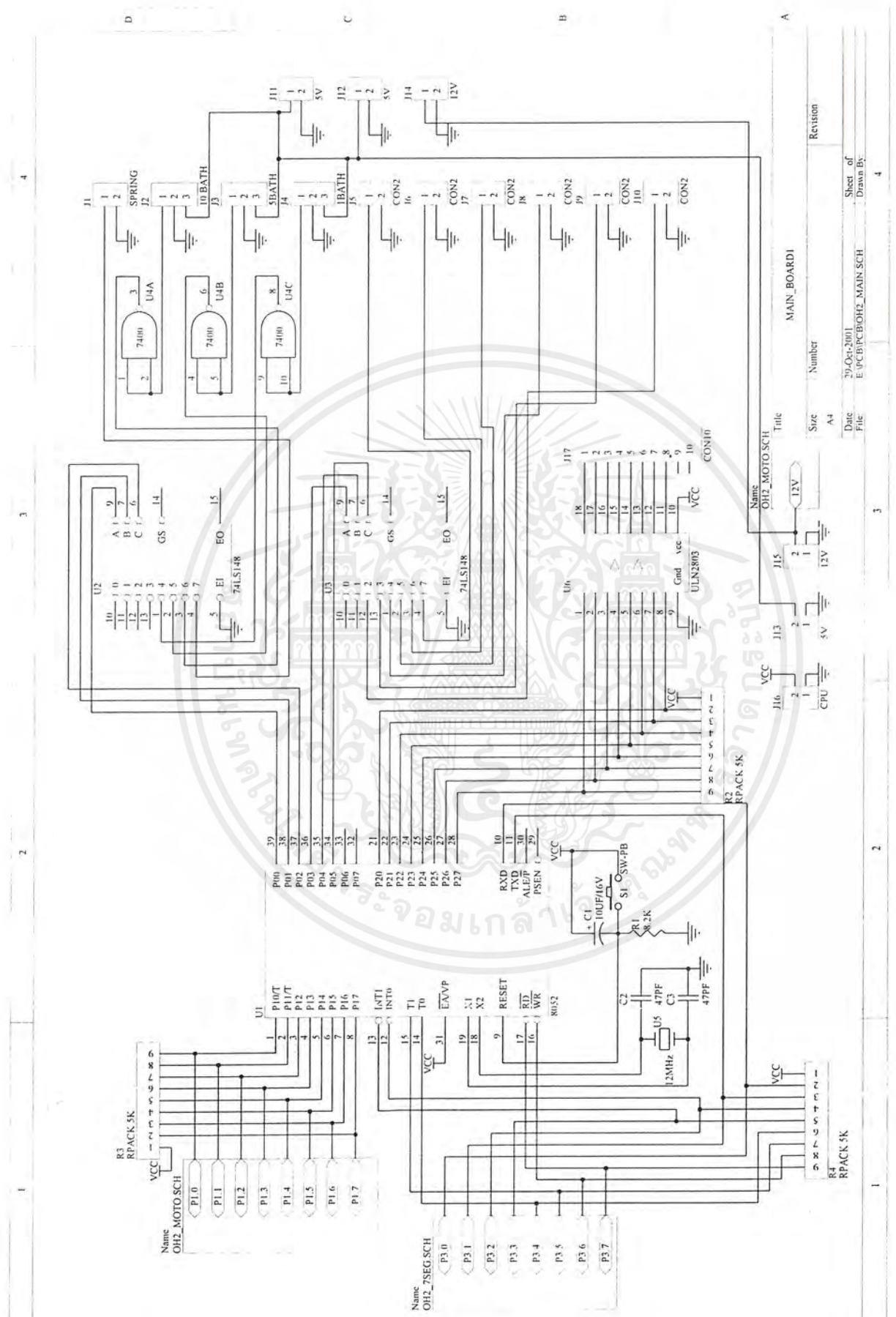
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
03B2 70FD   577            JNZ   LOOP_SOL2
03B4 D000   578            POP   ACC
03B6 22     579            RET
            580 ;------- END Procedure DELAY_OPEN_SOL -------
            581
            582
            583 ;--------- Procedure DELAY_STP ---------
03B7 C000   584 DELAY_STEP:   PUSH  ACC
03B9 74FF   585            MOV   A,#DELAY_STP1
03BB 1203C4 586 LOOP_STP1:    LCALL DELAY_STEP2
03BE 14     587            DEC   A
03BF 70FA   588            JNZ   LOOP_STP1
03C1 D000   589            POP   ACC
03C3 22     590            RET
            591
03C4 C000   592 DELAY_STEP2:  PUSH  ACC
03C6 742F   593            MOV   A,#DELAY_STP2
03C8 14     594 LOOP_STP2:    DEC   A
03C9 70FD   595            JNZ   LOOP_STP2
03CB D000   596            POP   ACC
03CD 22     597            RET
            598 ;------- END Procedure DELAY_STP -------
            599
```

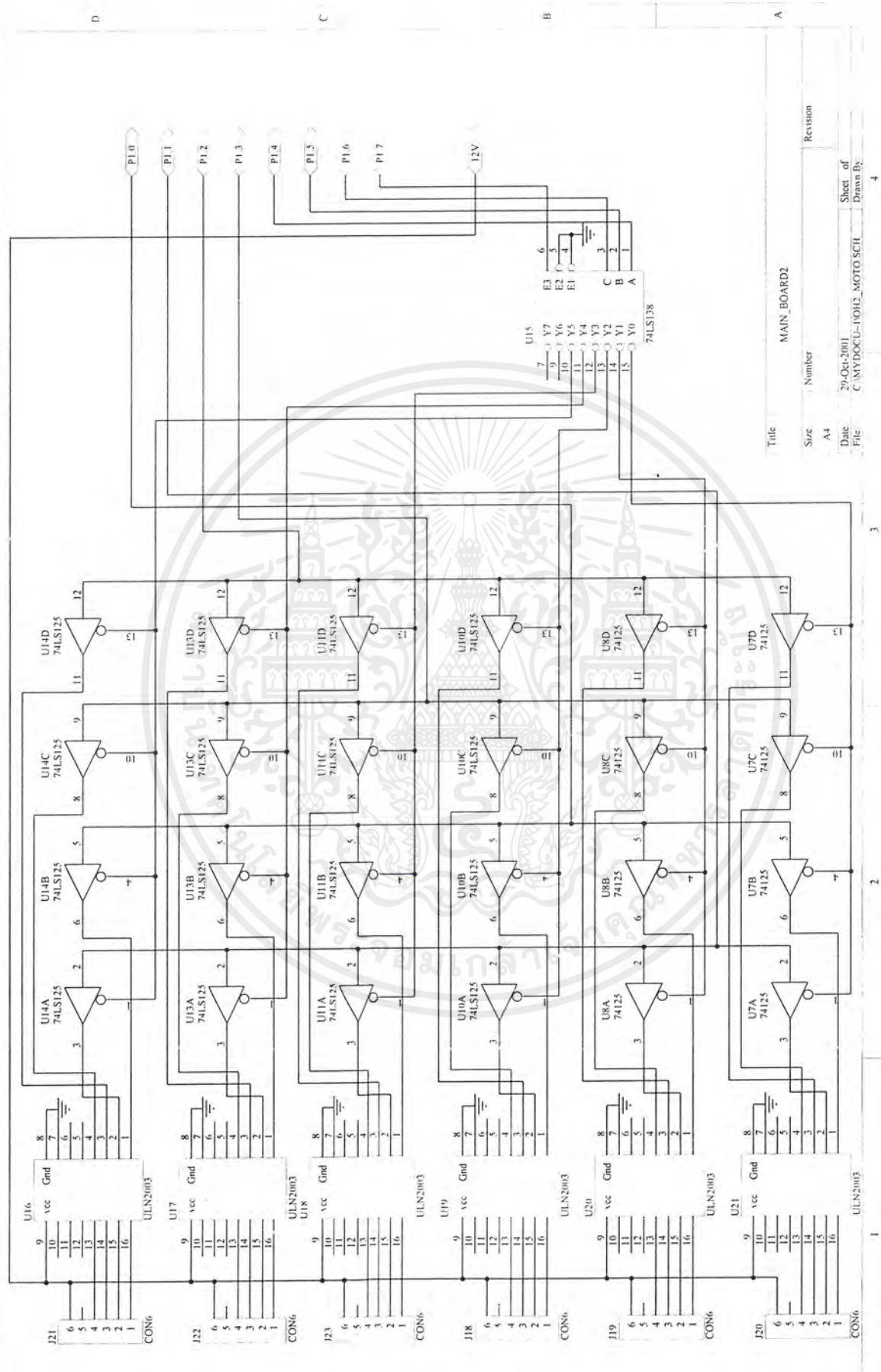
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

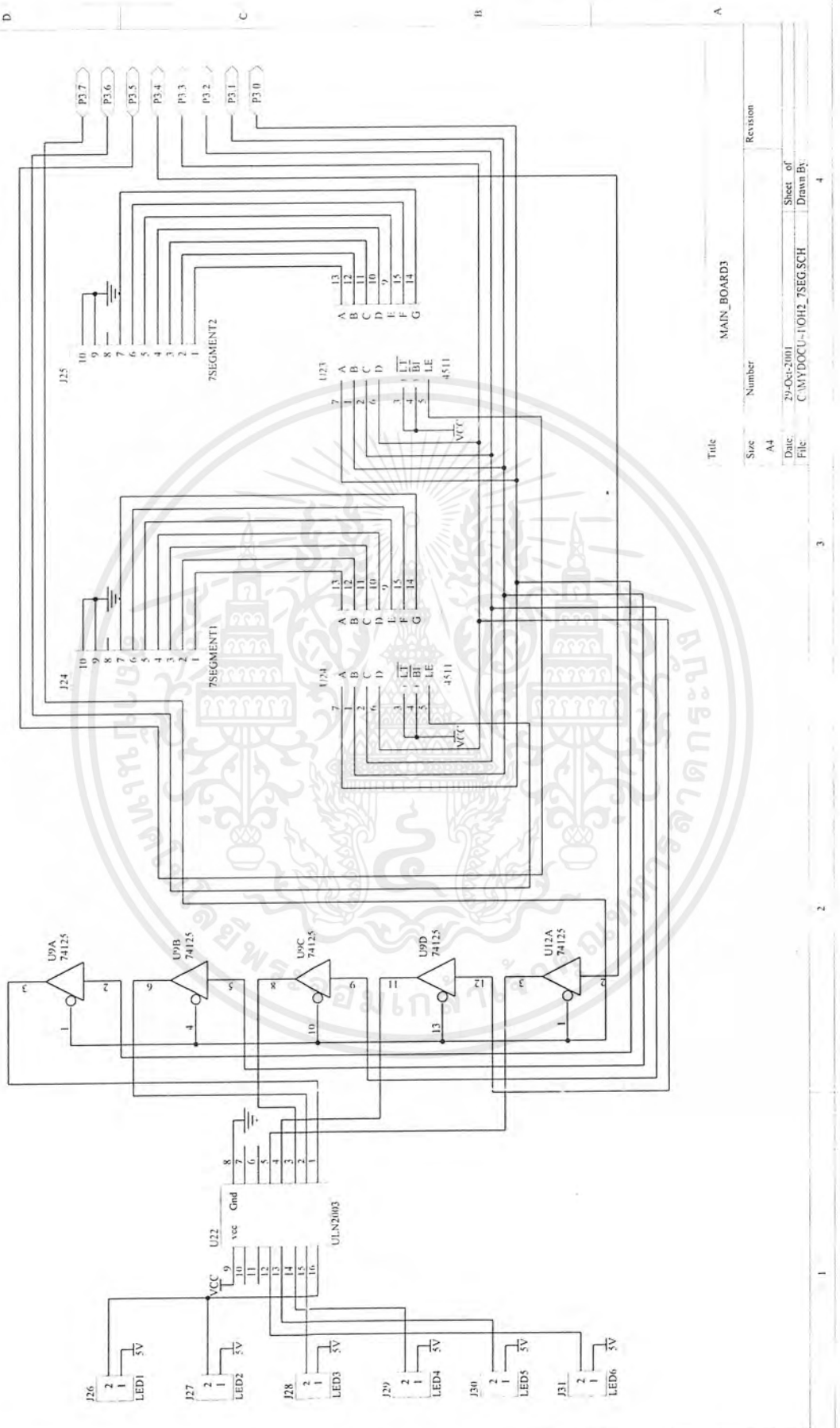
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



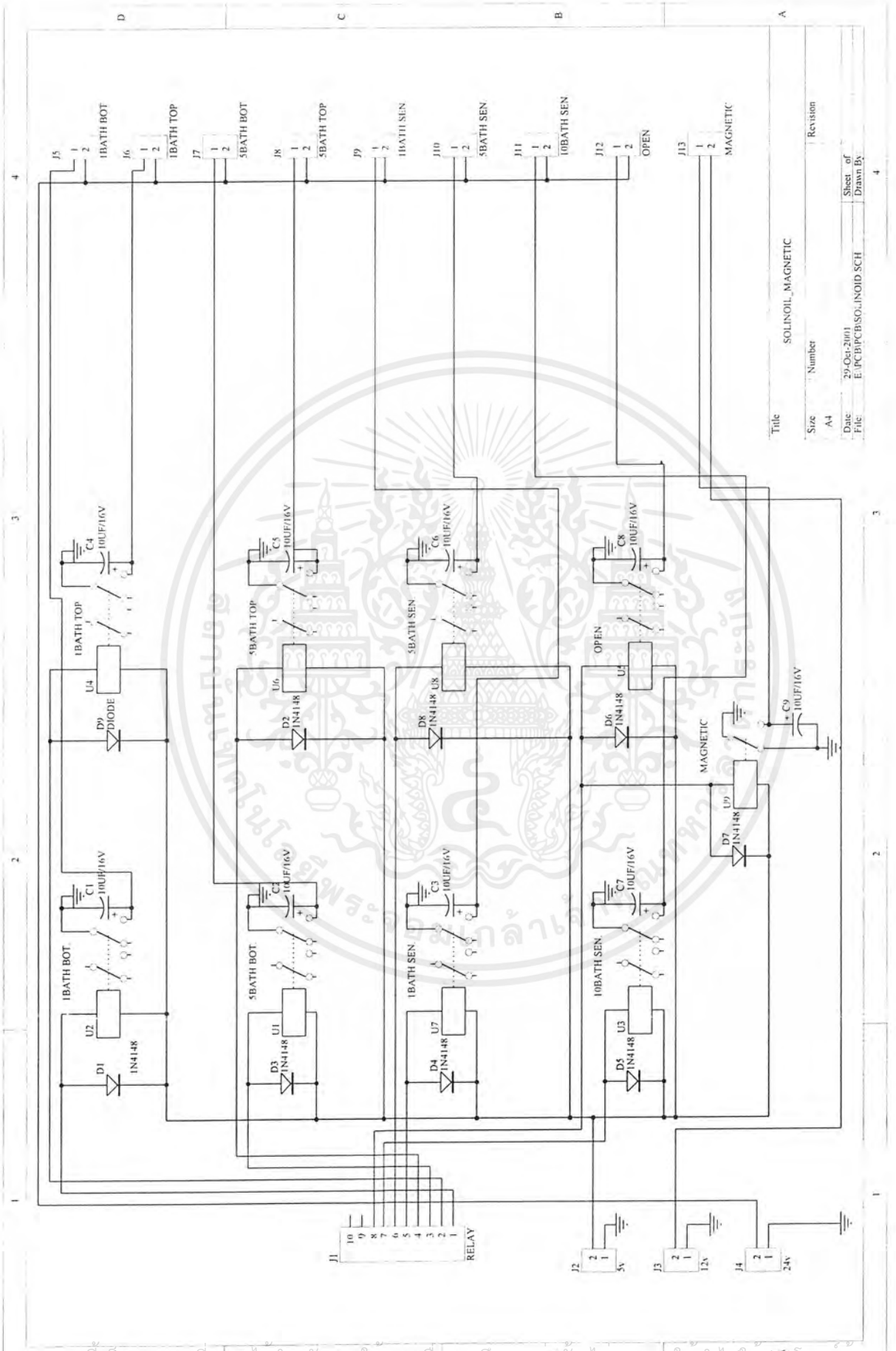
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



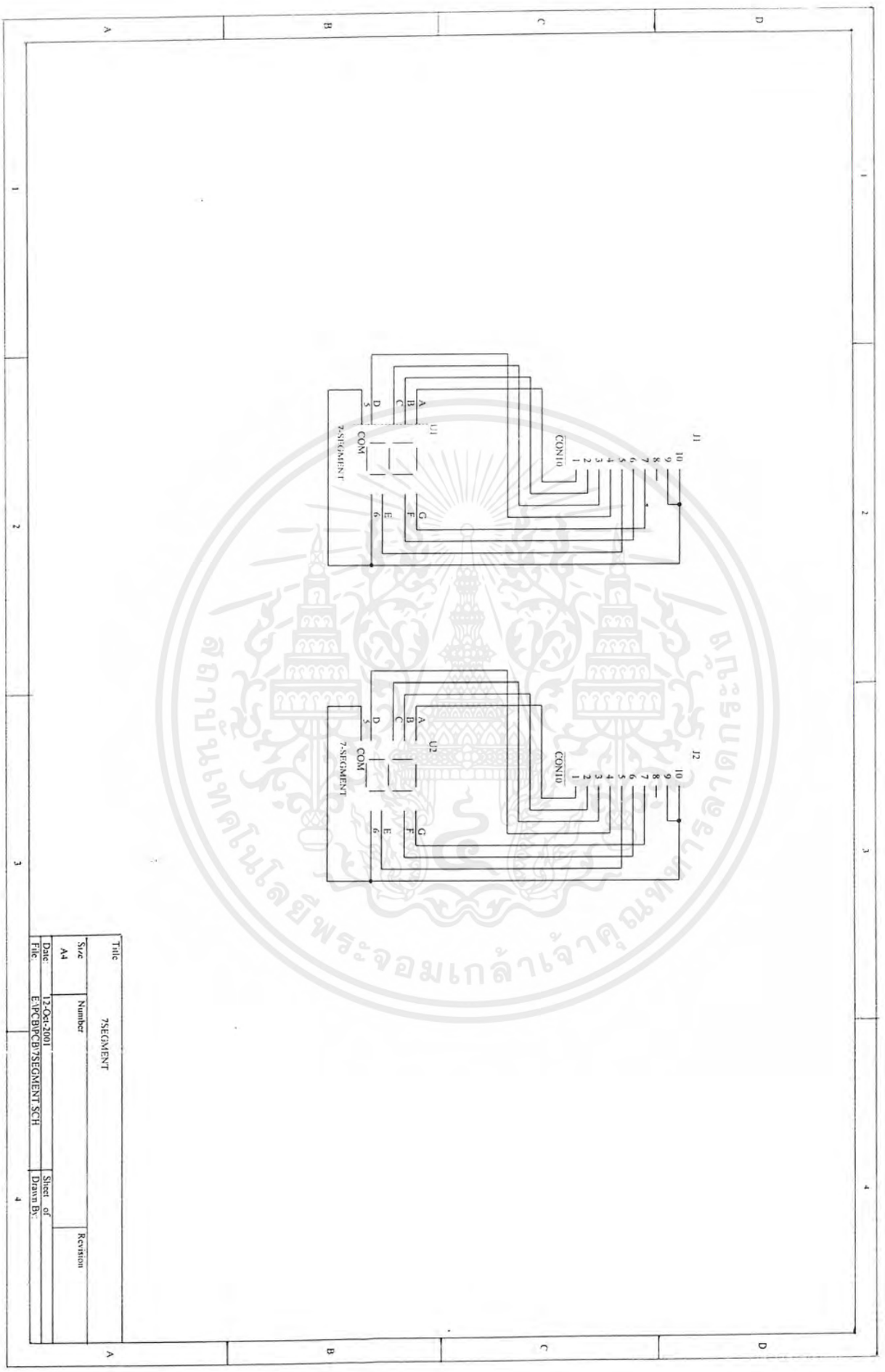
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



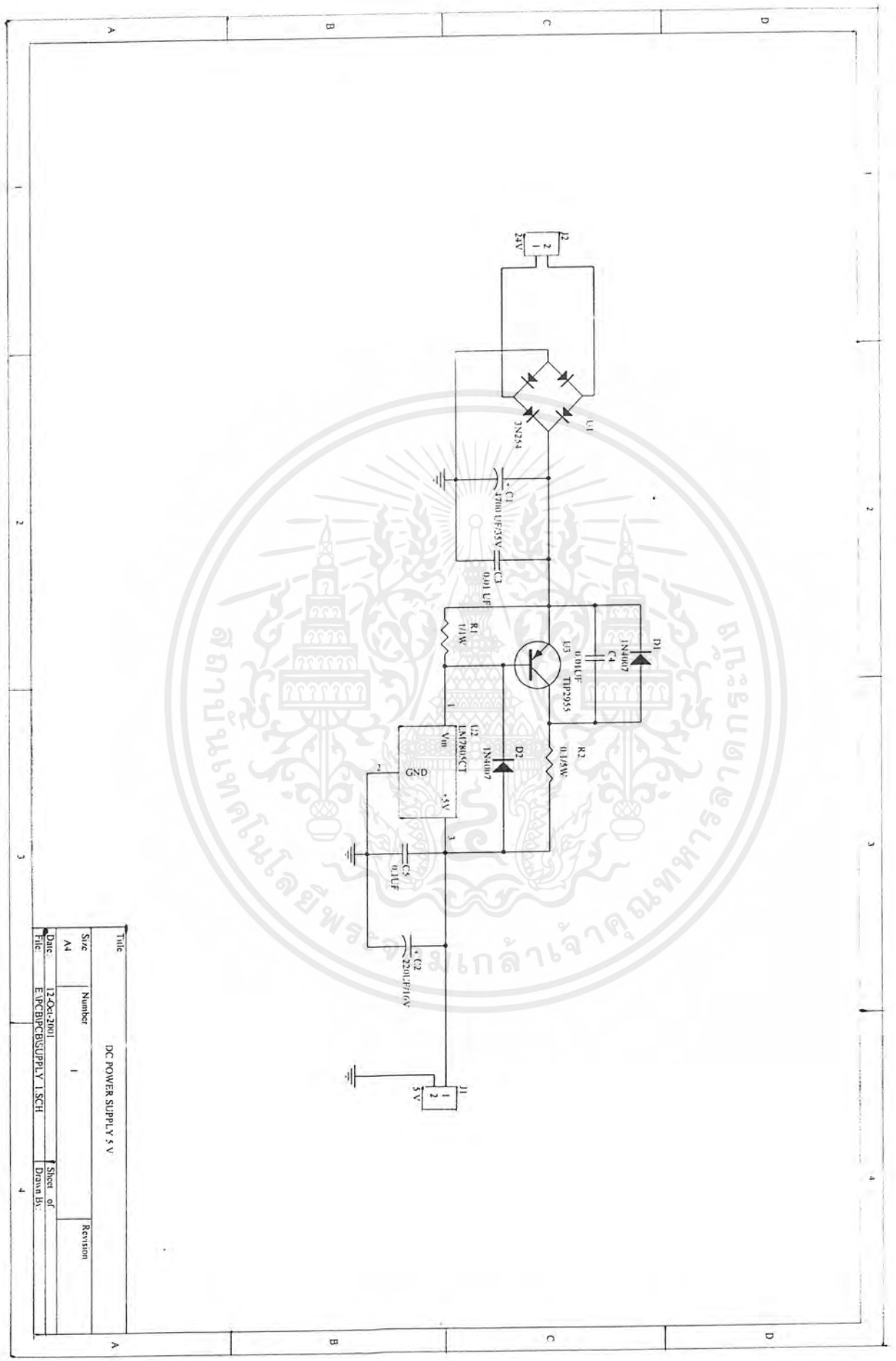
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น-ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



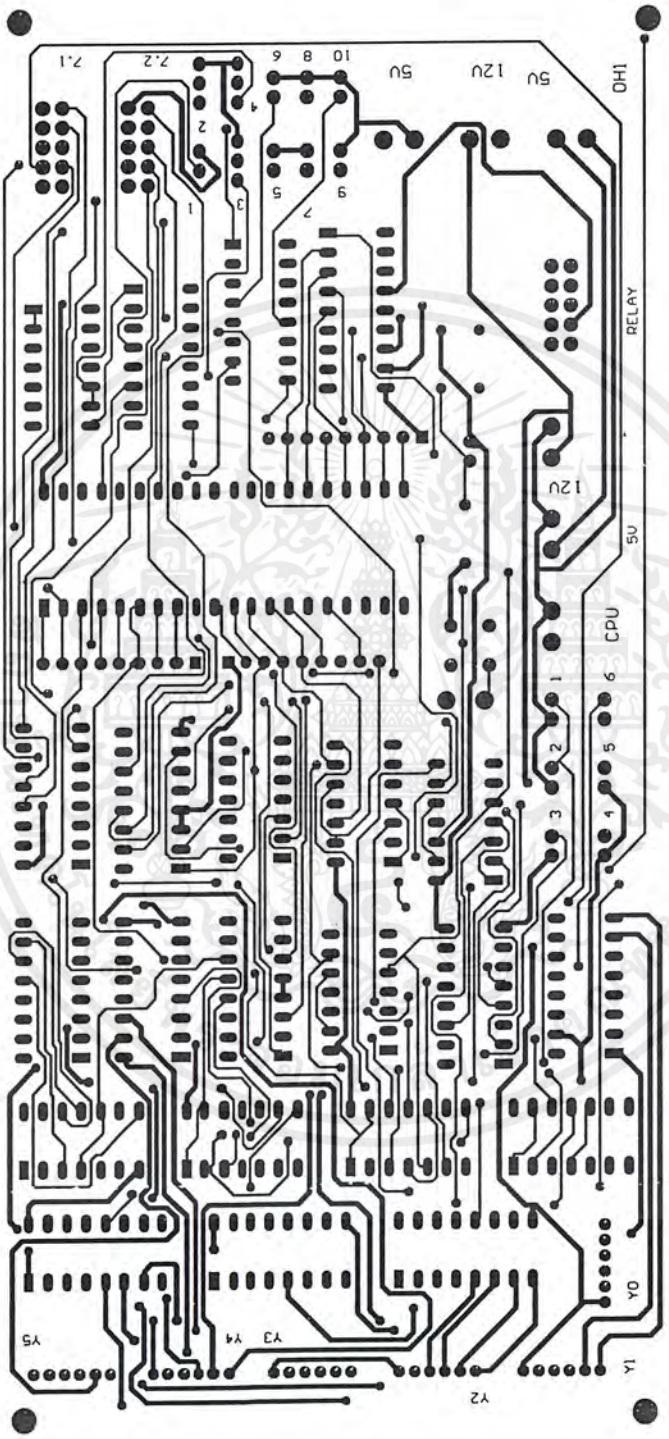
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

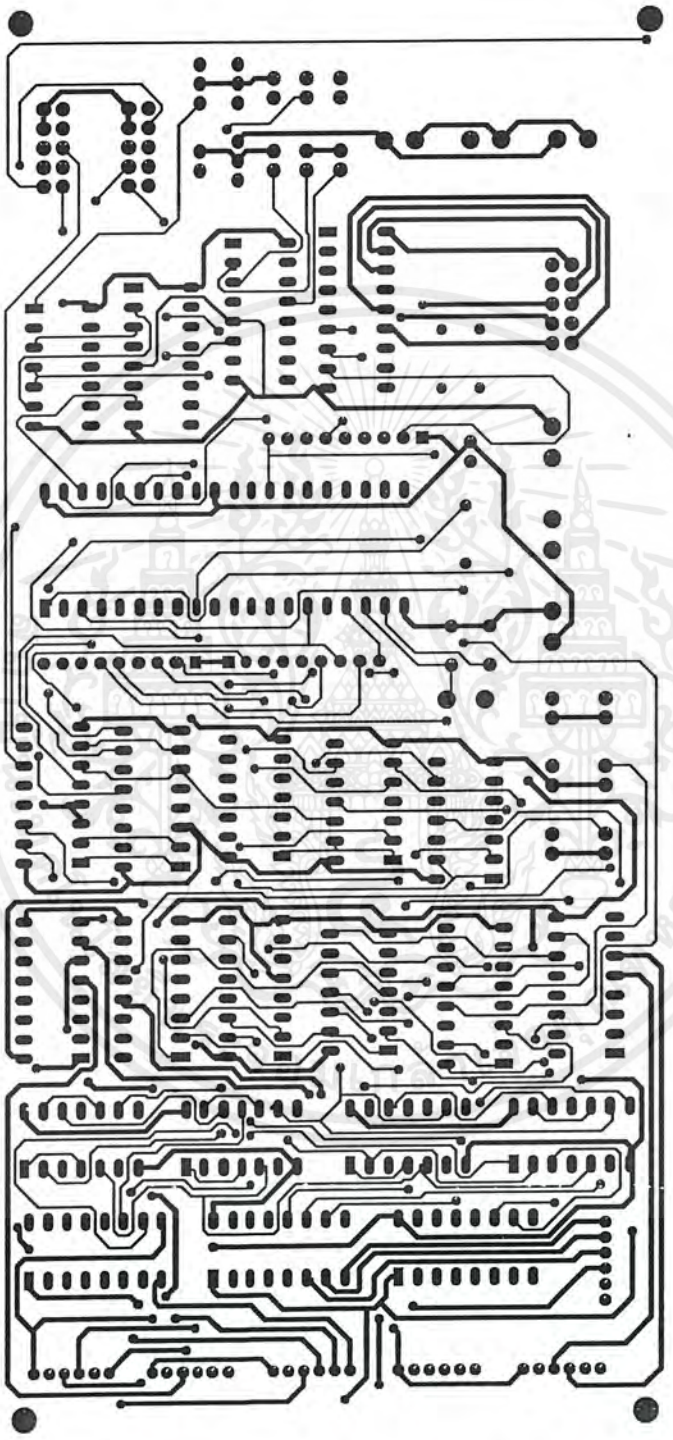


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



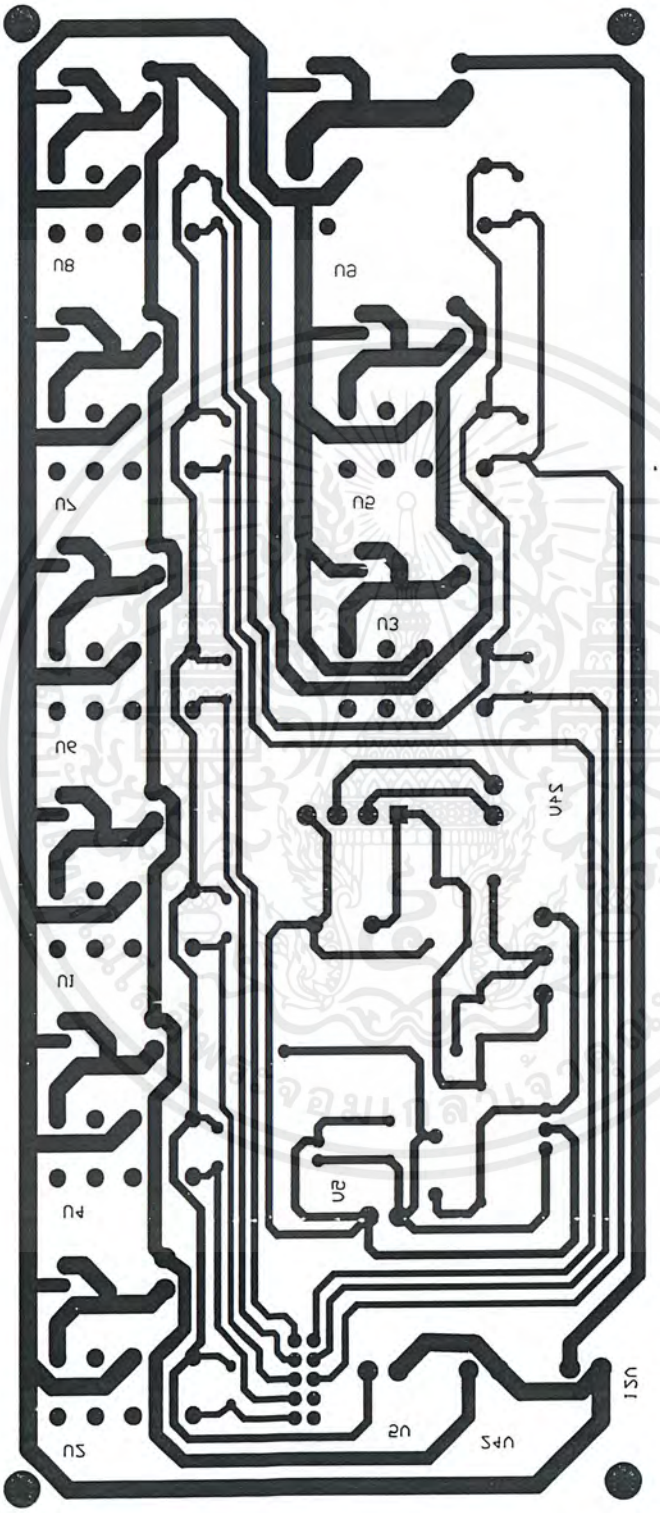
ลายแผ่นปริ้นท์วงจรประมวลผลส่วนกลาง(Mainboard)ด่านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายแผ่นปริ้นท์วงจรประมวลผลส่วนกลาง(Mainboard)ด่านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายแผ่นปริ้นท์วงจรควบคุมโซลินอยด์และแมกเนติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

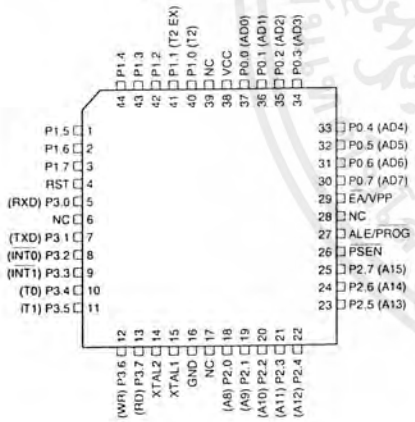
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt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

Description

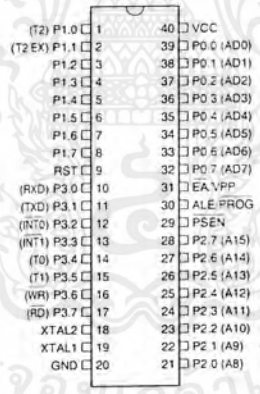
The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

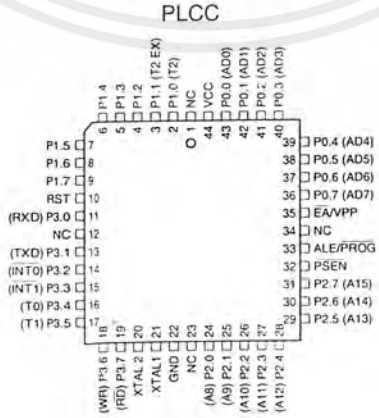
PQFP/TQFP



PDIP



PLCC



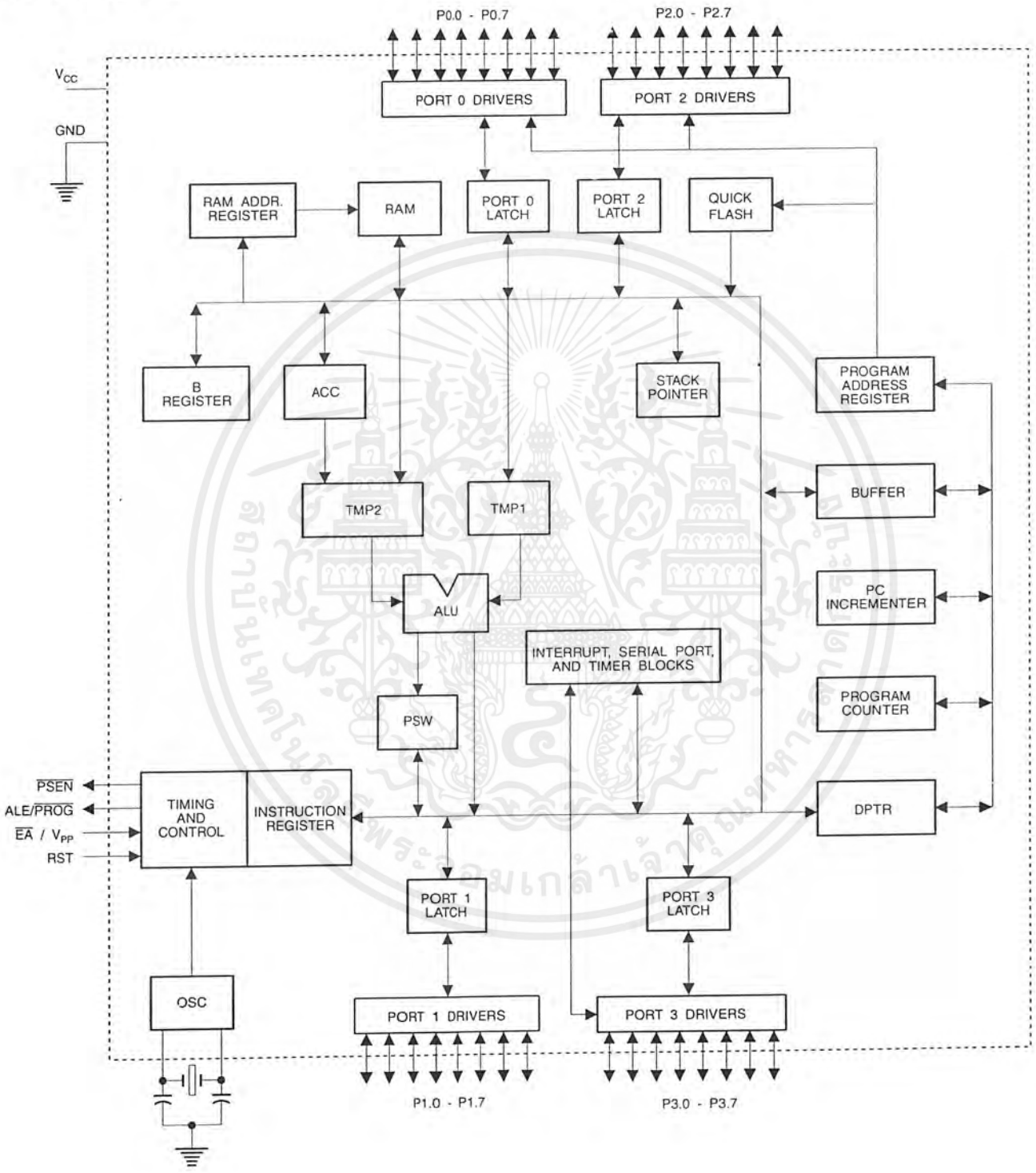
8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89C52

Rev. 0313H–02/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Pin Description

VCC
Supply voltage.

GND
Ground.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

PSEN

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

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

EA/VPP

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

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

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Function Registers

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

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

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

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

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

Table 2. T2CON – Timer/Counter 2 Control Registe

T2CON Address = 0C8H — Reset Value = 0000 0000B

Bit Addressable

Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$
	7	6	5	4	3	2	1	0

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

Data Memory

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

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

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

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


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

Timer 0 and 1

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

Timer 2

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

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

Table 3. Timer 2 Operating Modes

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

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

Capture Mode

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

Auto-reload (Up or Down Counter)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Timer in Capture Mode

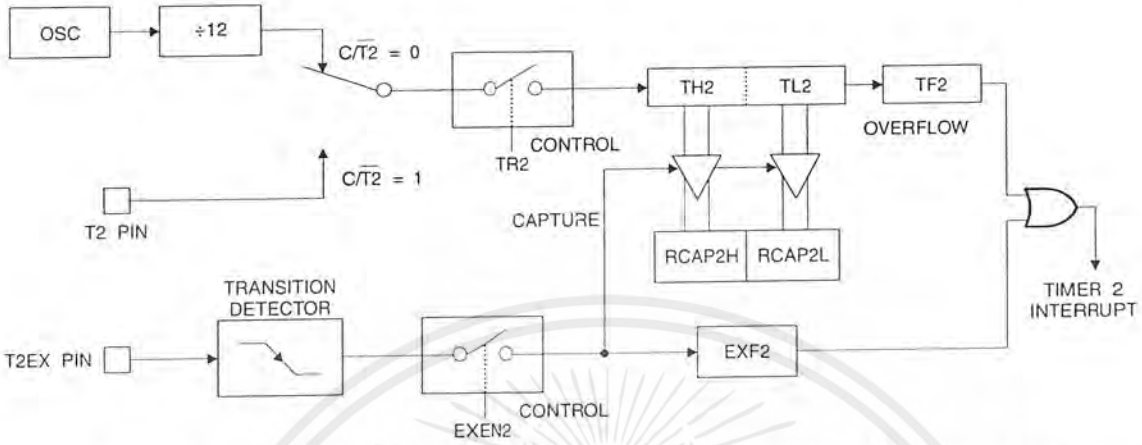


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in Timer in Capture ModeRCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

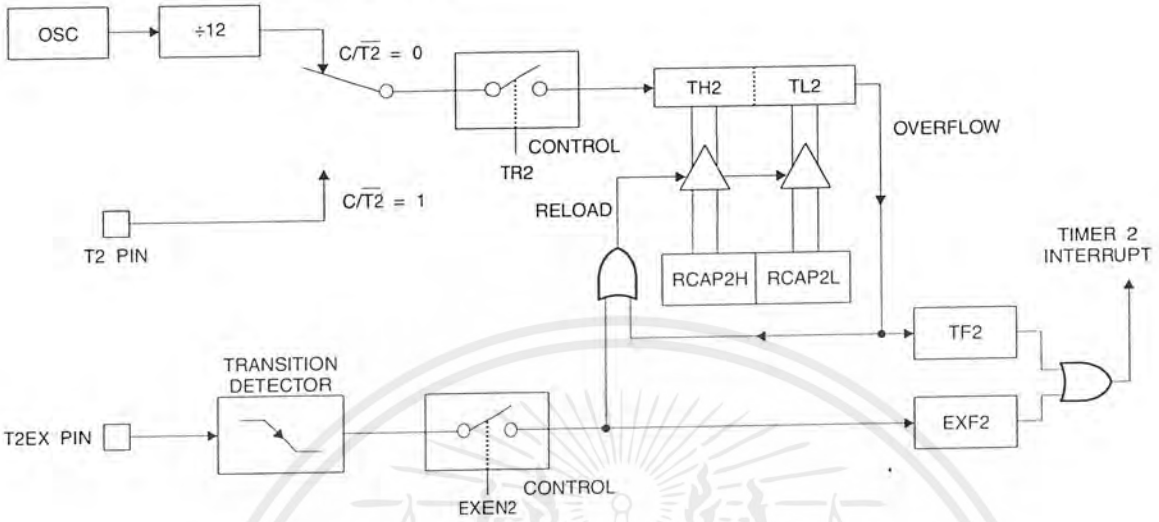


Table 4. T2MOD – Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H — Reset Value = XXXX XX00B

Not Bit Addressable

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	–	–	–	–	–	–	T2OE	DCEN

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

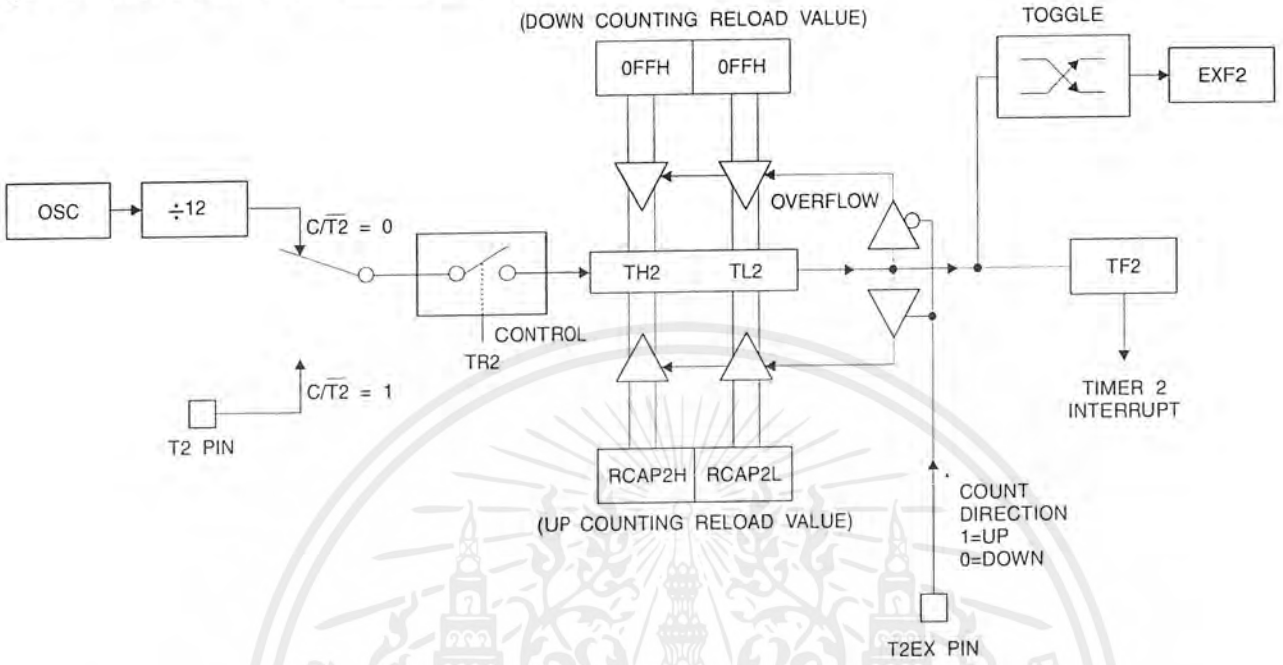
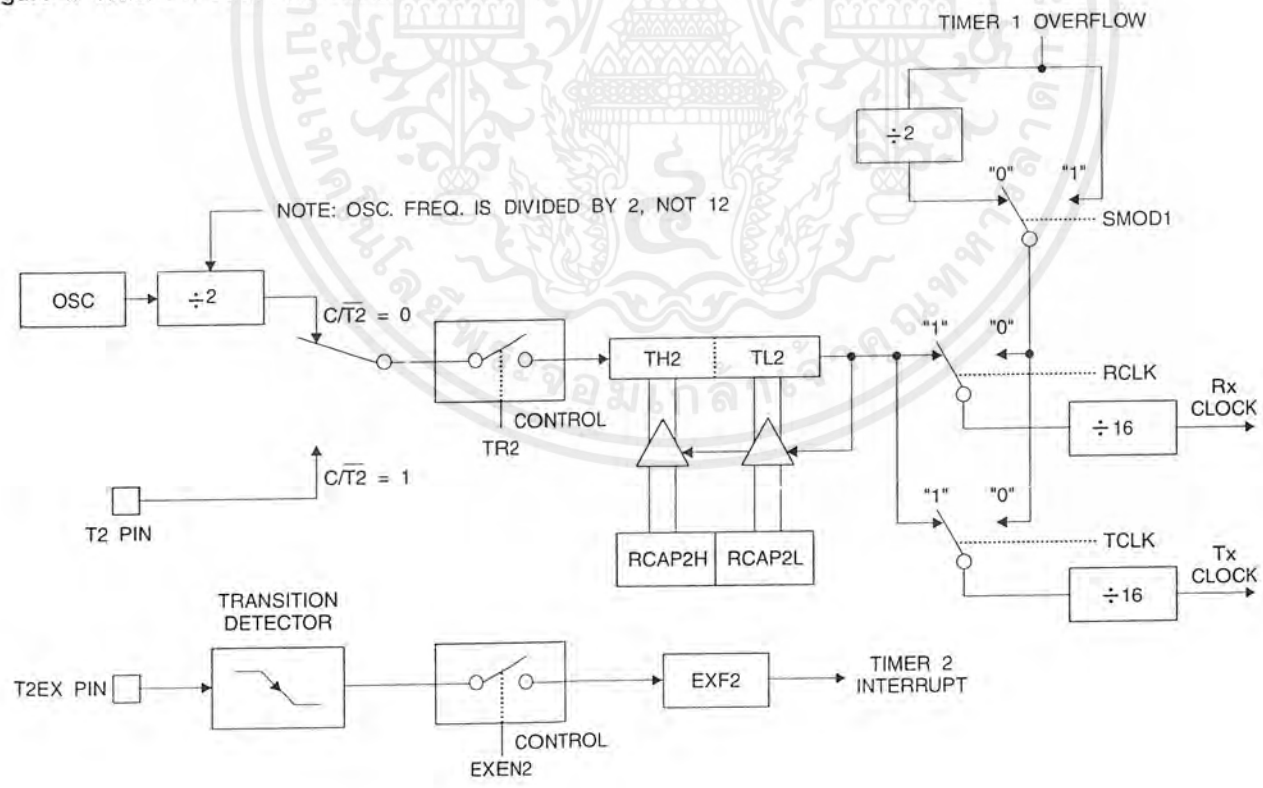


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baud Rate Generator

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

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

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

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

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation ($C/\overline{T2} = 0$). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

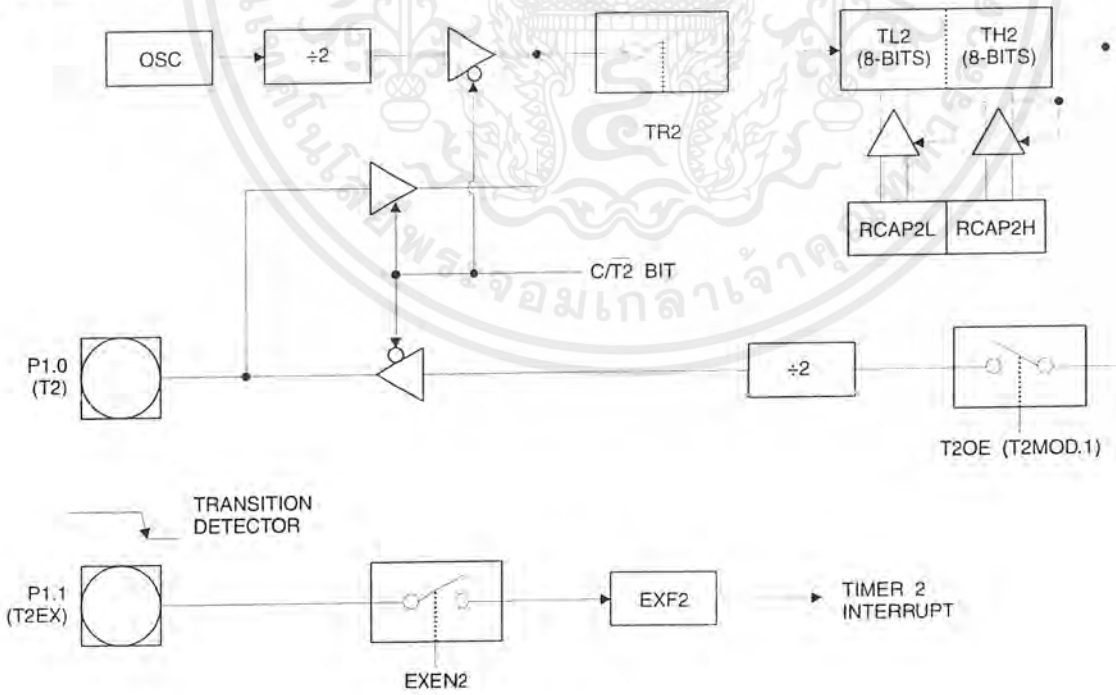
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H,RCAP2L})]}$$

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

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

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

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable Clock Out

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

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

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

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

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

UART

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

Interrupts

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

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

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

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

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However, the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

Table 5. Interrupt Enable (IE) Register

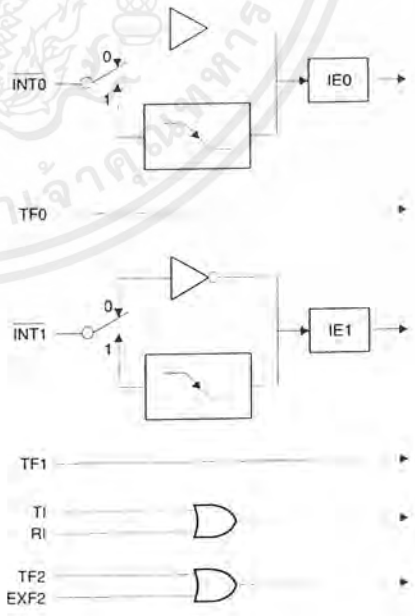
(MSB)							(LSB)
EA	–	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

Enable Bit = 1 enables the interrupt.

Enable Bit = 0 disables the interrupt.

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

Figure 6. Interrupt Sources



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oscillator Characteristics

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

Idle Mode

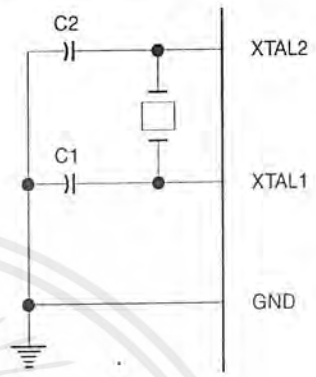
In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware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

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

Power-down Mode

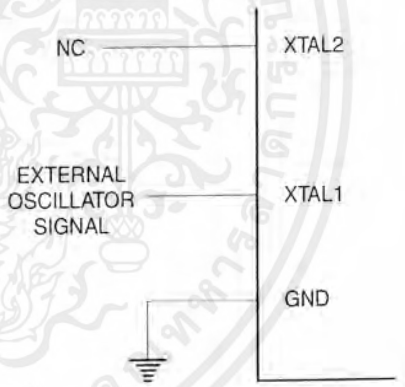
In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Powe-down Modes

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Memory Lock Bits

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

Lock Bit Protection Modes

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

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

Programming the Flash

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

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

	V_{PP} = 12V	V_{PP} = 5V
Top-side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx - 5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = 05H

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

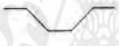
(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 52H indicates 89C52
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

Mode		RST	$\overline{PSEN}$	ALE/$\overline{PROG}$	$\overline{EA}$/V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{PROG}$ pulse.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9. Programming the Flash Memory

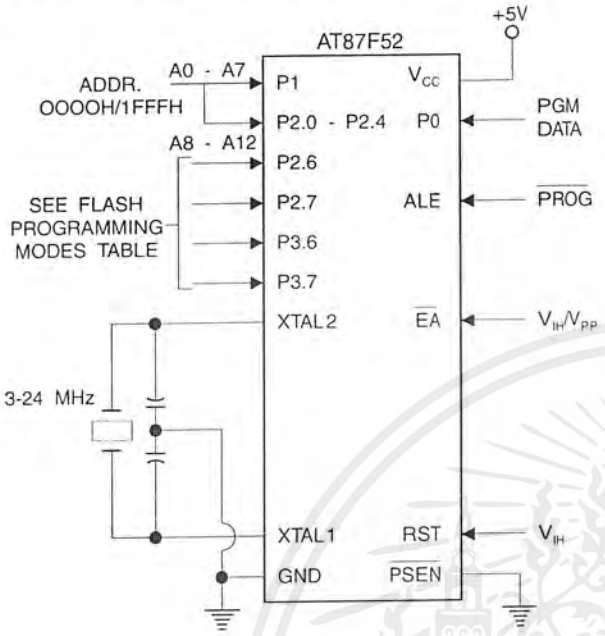
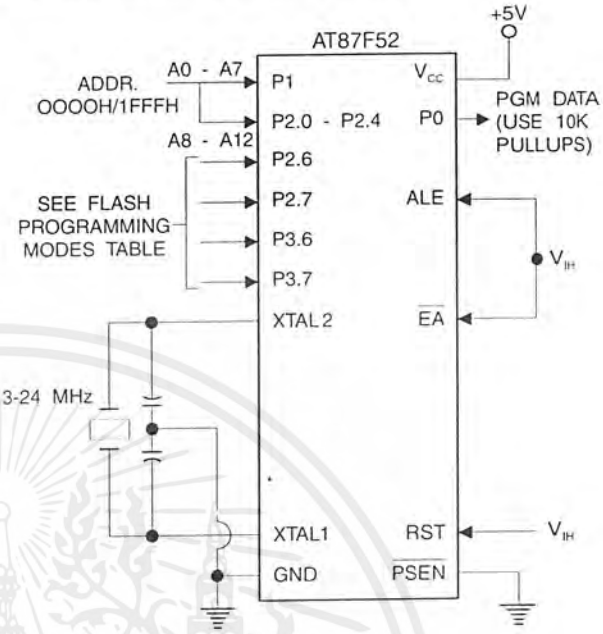


Figure 10. Verifying the Flash Memory



Flash Programming and Verification Characteristics

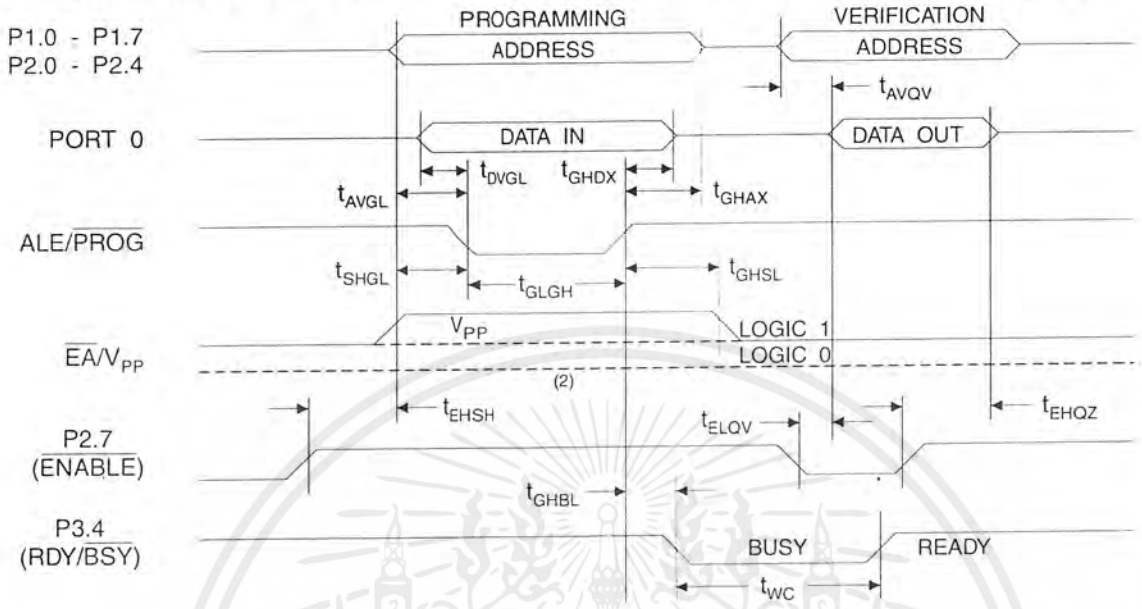
T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

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

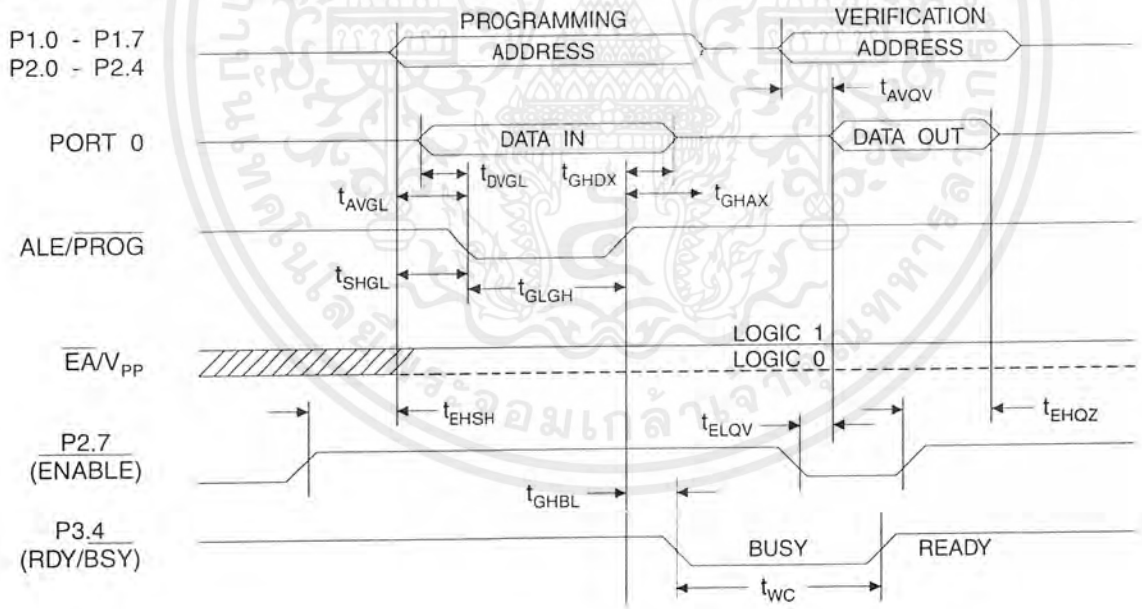
Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings*

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

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

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for T_A = -40°C to 85°C and V_{CC} = 5.0V ± 20%, unless otherwise noted.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics

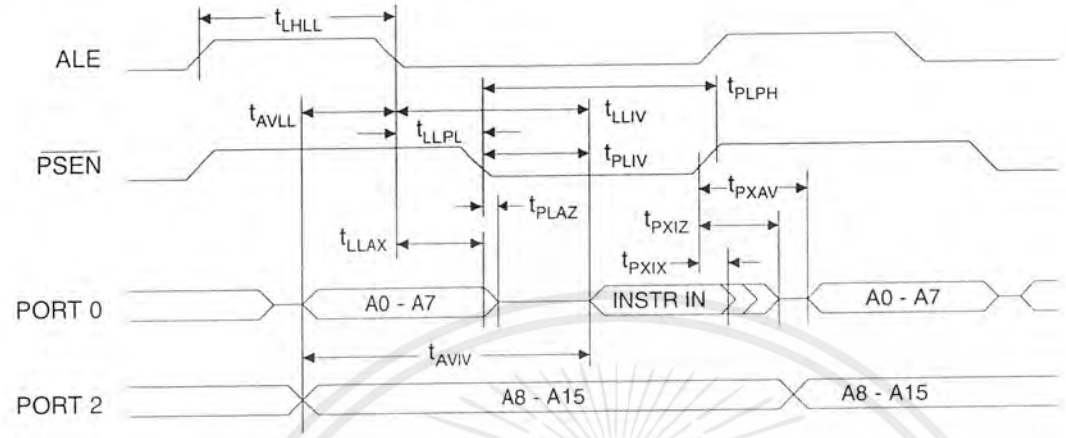
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/$\overline{PROG}$, and $\overline{PSEN}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

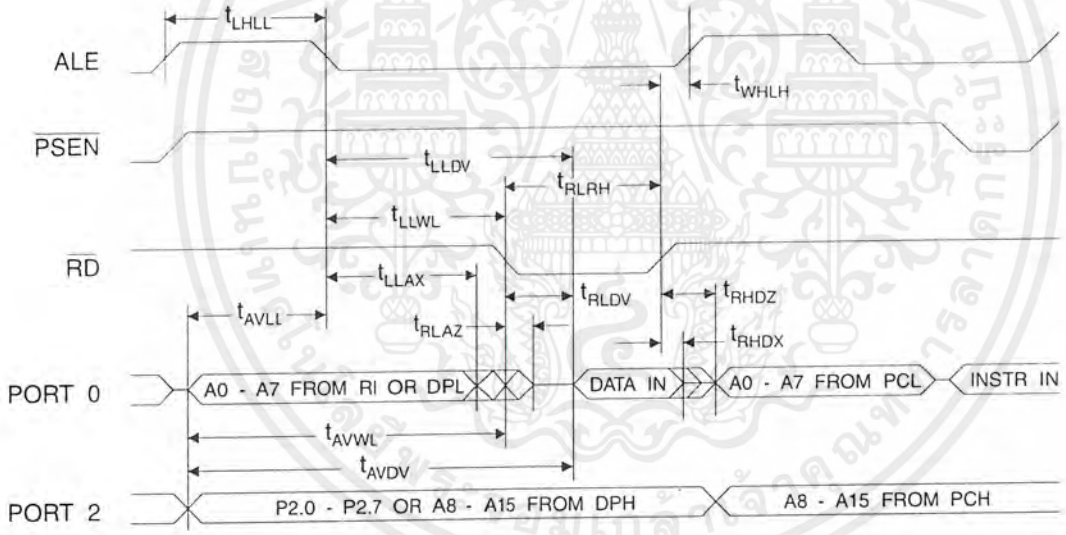
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}$-40		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		t_{CLCL}-13		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		t_{CLCL}-20		ns
t_{LLIV}	ALE Low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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Program Memory Read Cycle

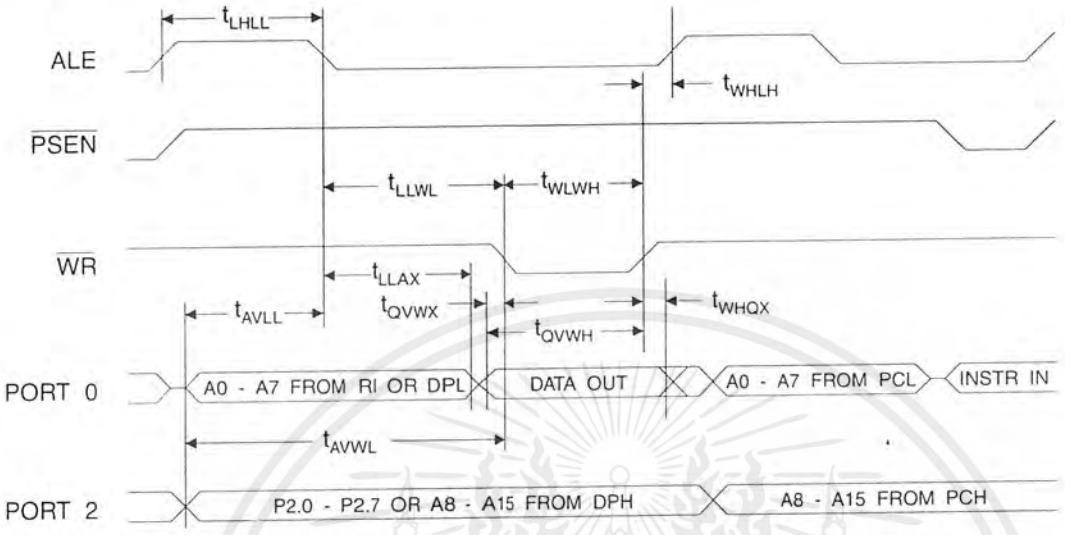


External Data Memory Read Cycle

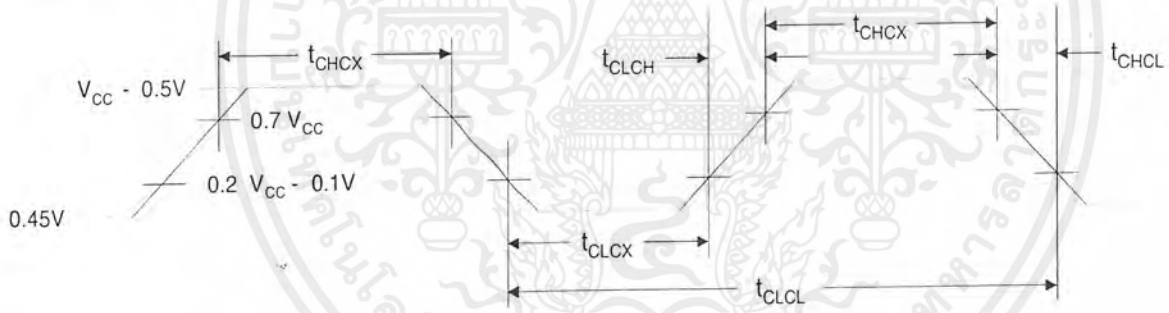


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

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

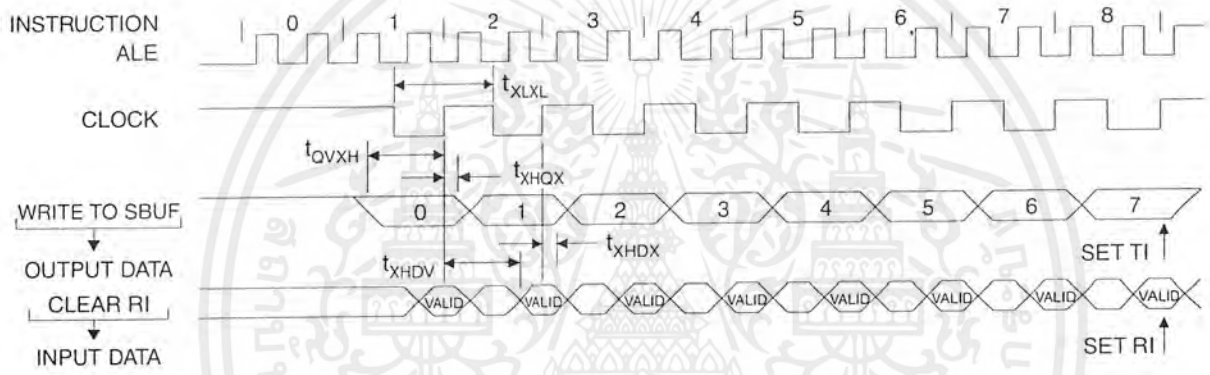
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

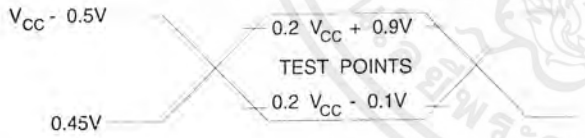
The values in this table are valid for V_{CC} = 5.0V ± 20% and Load Capacitance = 80 pF.

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

Shift Register Mode Timing Waveforms

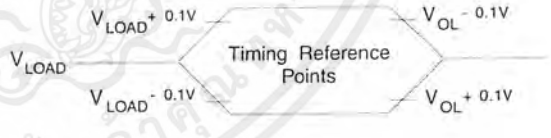


AC Testing Input/Output Waveforms(1)



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

Float Waveforms(1)



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

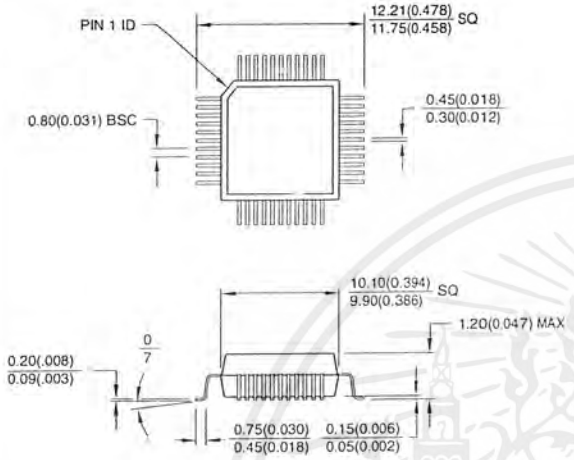
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC AT89C52-12JC AT89C52-12PC AT89C52-12QC	44A 44J 40P6 44Q	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-12AI AT89C52-12JI AT89C52-12PI AT89C52-12QI	44A 44J 40P6 44Q	Industrial (-40°C to 85°C)
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC AT89C52-16JC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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

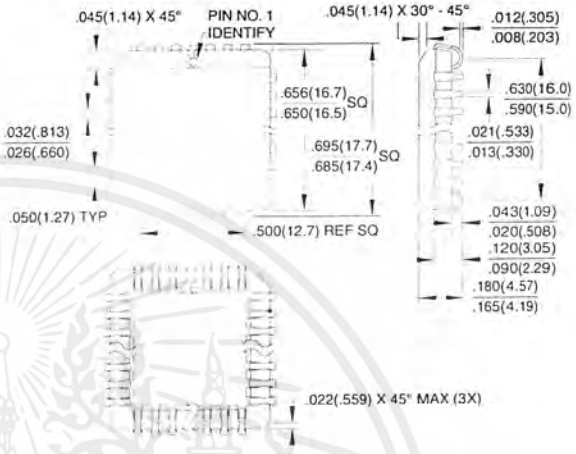
Packaging Information

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

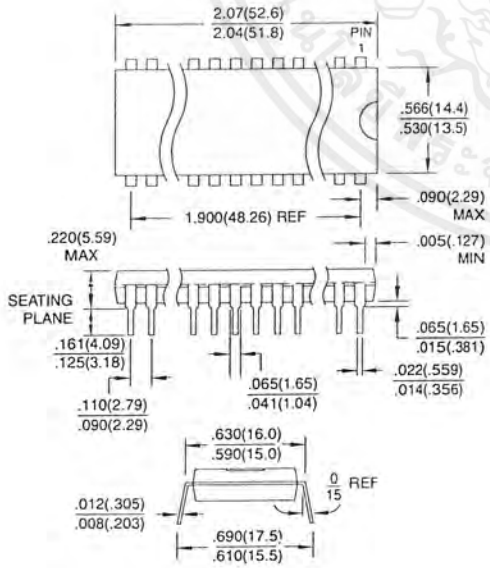


Controlling dimension: millimeters

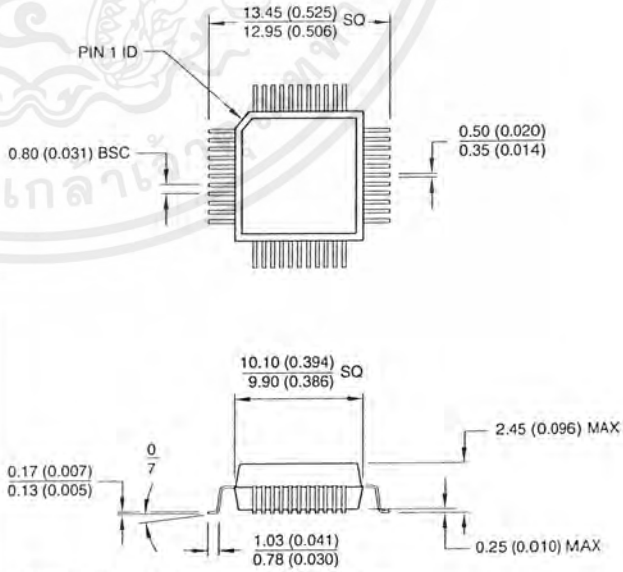
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC STANDARD MS-018 AC



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



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



Controlling dimension: millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atmel Headquarters

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

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

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

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

Atmel Operations

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

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

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

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 1999.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

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

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

Printed on recycled paper.

0313H–02/00/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA TC74HC4511AP/AF

TOSHIBA CMOS DIGITAL INTEGRATED CIRCUIT SILICON MONOLITHIC

TC74HC4511AP, TC74HC4511AF

BCD – TO – 7 SEGMENT LATCH / DECODER / DRIVER

The TC74HC4511A is a high speed CMOS BCD-TO-7 SEGMENT LATCH / DECODER / DRIVER fabricated with silicon gate C^2MOS technology.

It achieves the high speed operation similar to equivalent LSTTL while maintaining the CMOS low power dissipation.

The segment output driver, which is of CMOS construction, has a large I_{OH} capability which permits the device to drive cathode common LED directly.

When lamp test (LT) is held low, all segment outputs will go high, and when the blanking input (BI) is held low and LT is held high, all segment outputs will go low. These functions are independent of other inputs and used to test the display.

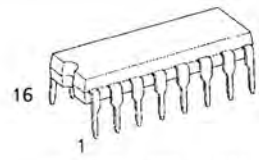
BI is used to pulse - modulate the brightness of the display.

When error code (over 10) is applied to BCD inputs, all segment outputs will go to low (turn off).

All inputs are equipped with protection circuits against static discharge or transient excess voltage.

FEATURES :

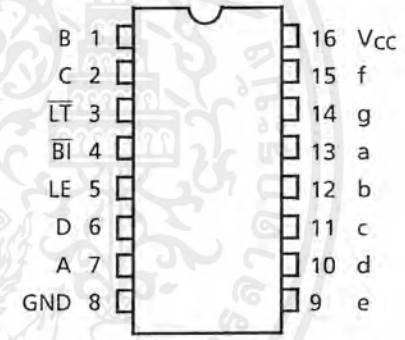
- High Speed ····· t_{pd} = 28ns(typ.) at V_{CC} = 5V
- Low Power Dissipation ····· I_{CC} = 4μA(Max.) at Ta = 25°C
- High Noise Immunity ····· $V_{NIH} = V_{NIL}$ = 28% V_{CC} (Min.)
- Output Drive Capability ····· 10 LSTTL Loads
- Symmetrical Output Impedance ···· $|I_{OH}|$ = 20mA
- Wide Operating Voltage Range ···· V_{CC} (opr.) = 2V ~ 6V
- Pin and Function Compatible with TC4511B



P (DIP16-P-300-2.54A)
Weight : 1.00g (Typ.)

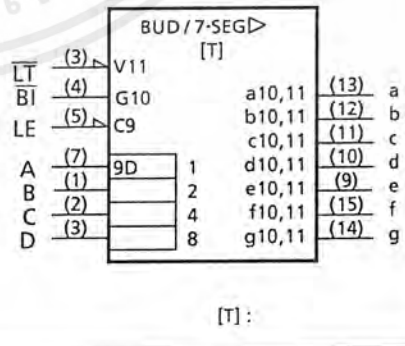
F (SOP16-P-300-1.27)
Weight : 0.18g (Typ.)

PIN ASSIGNMENT



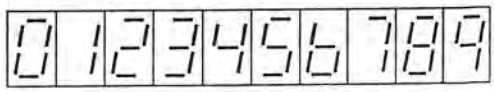
(TOP VIEW)

IEC LOGIC SYMBOL



[T] :

DISPLAY MODE

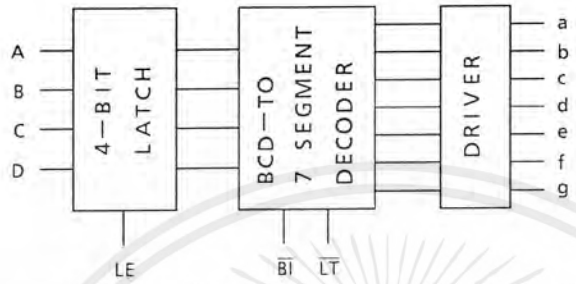


961001EBA2

● TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



TRUTH TABLE

INPUTS							OUTPUTS							DISPLAY MODE
LE	$\overline{BI}$	$\overline{LT}$	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
※	※	L	※	※	※	※	H	H	H	H	H	H	H	8
※	L	H	※	※	※	※	L	L	L	L	L	L	L	BLANK
L	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	0
L	H	H	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	1
L	H	H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	2
L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	H	3
L	H	H	L	H	L	L	L	H	H	L	L	H	H	4
L	H	H	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	H	5
L	H	H	L	H	H	L	L	L	H	H	H	H	H	6
L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	7
L	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	8
L	H	H	H	L	L	H	H	H	H	L	L	H	H	9
L	H	H	H	L	H	※	L	L	L	L	L	L	L	BLANK
L	H	H	H	H	※	※	L	L	L	L	L	L	L	BLANK
H	H	H	※	※	※	※	Hold the stage at the leading edege of LE							

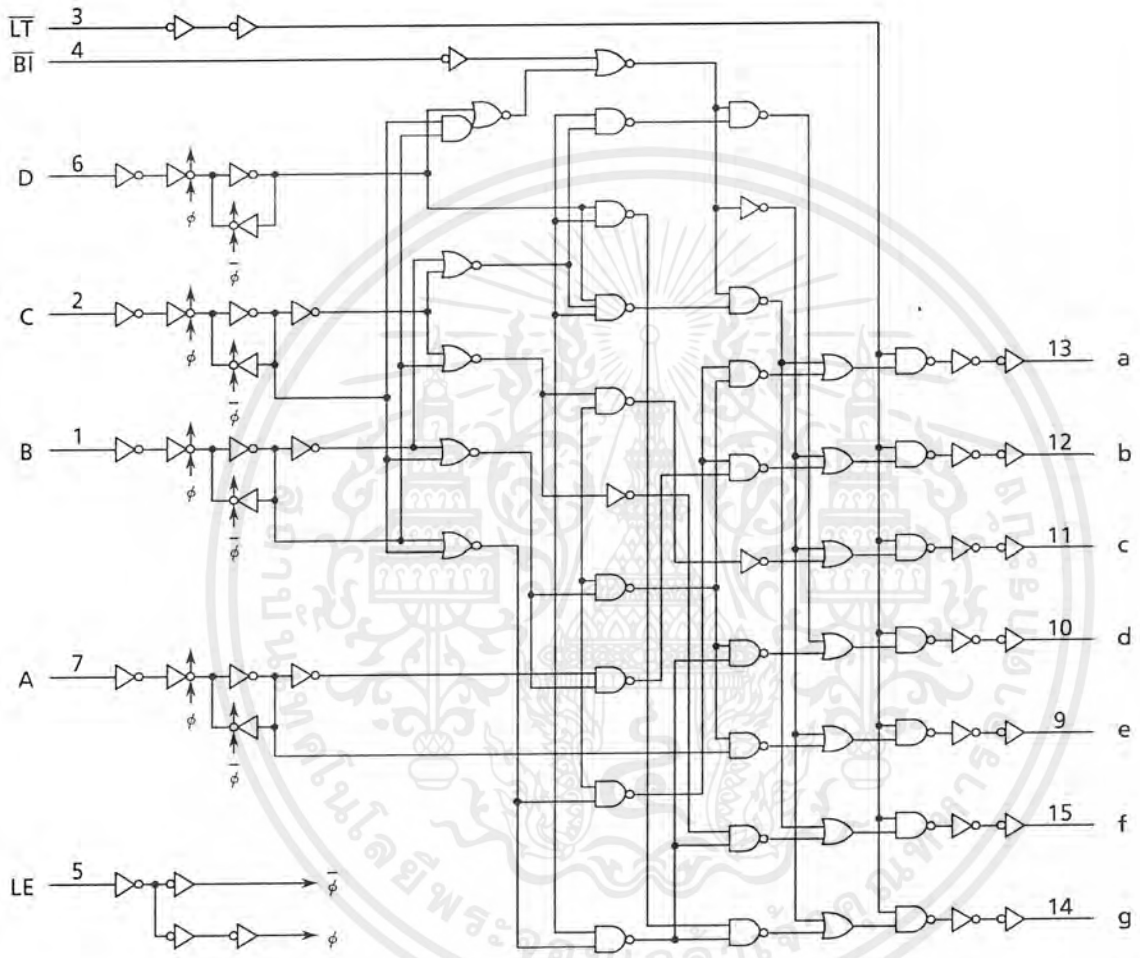
※ Don't Care

961001EBA2'

- The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage Range	V_{CC}	−0.5~7	V
DC Input Voltage	V_{IN}	−0.5~V_{CC}+0.5	V
DC Output Voltage	V_{OUT}	−0.5~V_{CC}+0.5	V
Input Diode Current	I_{IK}	± 20	mA
Output Diode Current	I_{OK}	± 20	mA
DC Output Current	I_{OUT}	+25 (Sinc) / -35 (Source)	mA
DC V_{CC}/ Ground Current	I_{CC}	+ 150 (I_{CC}) / -50 (I_{GND})	mA
Power Dissipation	P_D	500 (DIP)* / 180 (SOP)	mW
Storage Temperature	T_{stg}	−65~150	°C

*500mW in the range of Ta = −40°C~65°C. From Ta = 65°C to 85 °C a derating factor of −10mW/ °C shall be applied until 300mW.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage	V_{CC}	2~6	V
Input Voltage	V_{IN}	0~V_{CC}	V
Output Voltage	V_{OUT}	0~V_{CC}	V
Operating Temperature	T_{opr}	−40~85	°C
Input Rise and Fall Time	t_r, t_f	0~1000 (V_{CC} = 2.0V) 0~ 500 (V_{CC} = 4.5V) 0~ 400 (V_{CC} = 6.0V)	ns

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITION		V_{CC} (V)	Ta = 25°C MIN.	Ta = 25°C TYP.	Ta = 25°C MAX.	Ta = −40~85°C MIN.	Ta = −40~85°C MAX.	UNIT
High - Level Input Voltage	V_{IH}			2.0 4.5 6.0	1.50 3.15 4.20	— — —	— — —	1.50 3.15 4.20	— — —	V
Low - Level Input Voltage	V_{IL}			2.0 4.5 6.0	— — —	— — —	0.50 1.35 1.80	— — —	0.50 1.35 1.80	V
High - Level Output Voltage	V_{OH}	V_{IN} = V_{IH} or V_{IL}	I_{OH} = −20μA	2.0 4.5 6.0	1.9 4.4 5.9	2.0 4.5 6.0	— — —	1.9 4.4 5.9	— — —	V
			I_{OH} = −4 mA I_{OH} = −20 mA I_{OH} = −7.2mA	4.5 4.5 6.0	4.18 3.20 5.68	4.31 3.80 5.80	— — —	4.13 2.90 5.63	— — —	
Low - Level Output Voltage	V_{OL}	V_{IN} = V_{IH} or V_{IL}	I_{OL} = 20μA	2.0 4.5 6.0	— — —	0.0 0.0 0.0	0.1 0.1 0.1	— — —	0.1 0.1 0.1	V
			I_{OL} = 4 mA I_{OL} = 5.2mA	4.5 6.0	— —	0.17 0.18	0.26 0.26	— —	0.33 0.33	
Input Leakage Current	I_{IN}	V_{IN} = V_{CC} or GND		6.0	—	—	±0.1	—	±1.0	μA
Quiescent Supply Current	I_{CC}	V_{IN} = V_{CC} or GND		6.0	—	—	4.0	—	40.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING REQUIREMENTS (Input $t_r = t_f = 6ns$)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITION	V_{CC} (V)	Ta = 25°C TYP.	Ta = 25°C LIMIT	Ta = −40~85°C LIMIT	UNIT
Minimum Pulse Width (LE)	$t_{W(L)}$		2.0	−	75	95	ns
			4.5	−	15	19	
			6.0	−	13	16	
Minimum Set−up Time	t_s		2.0	−	75	95	
			4.5	−	15	19	
			6.0	−	13	16	
Minimum Hold Time	t_h		2.0	−	0	0	
			4.5	−	0	0	
			6.0	−	0	0	

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($C_L = 15pF$, $V_{CC} = 5V$, Ta = 25°C, Input $t_r = t_f = 6ns$)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Transition Time	t_{TLH}		−	4	8	ns
Output Transition Time	t_{THL}		−	4	8	
Propagation Delay Time (BCD−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		−	28	45	
Propagation Delay Time ($\overline{BI}$−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		−	18	31	
Propagation Delay Time ($\overline{LT}$−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		−	12	21	
Propagation Delay Time (LE−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		−	26	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, Input $t_r = t_f$ = 6ns)

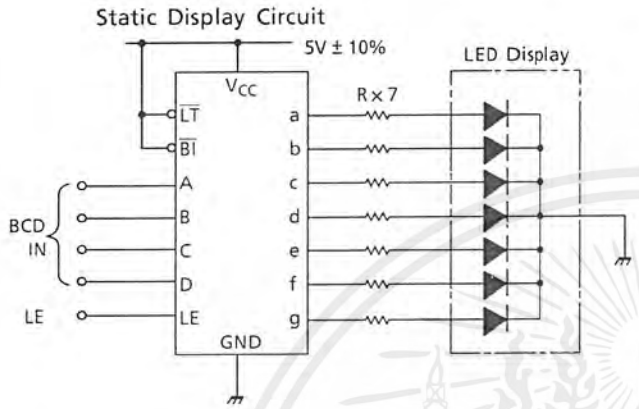
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITION		Ta = 25°C			Ta = −40~85°C		UNIT
			V_{CC} (V)	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	MAX.	
Output Transition Time Low to High	t_{TLH}		2.0	−	25	60	−	75	ns
			4.5	−	7	12	−	15	
			6.0	−	6	11	−	13	
Output Transition Time High to Low	t_{THL}		2.0	−	30	75	−	95	
			4.5	−	8	15	−	19	
			6.0	−	7	13	−	16	
Propagation Delay Time (BCD−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		2.0	−	125	255	−	320	
			4.5	−	33	51	−	64	
			6.0	−	23	43	−	54	
Propagation Delay Time ($\overline{BI}$−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		2.0	−	70	175	−	220	
			4.5	−	22	35	−	44	
			6.0	−	17	30	−	37	
Propagation Delay Time ($\overline{LT}$−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		2.0	−	60	120	−	150	
			4.5	−	15	24	−	30	
			6.0	−	12	20	−	26	
Propagation Delay Time (LE−Segment)	t_{pLH} t_{pHL}		2.0	−	95	240	−	300	
			4.5	−	32	48	−	60	
			6.0	−	23	41	−	51	
Input Capacitance	C_{IN}			−	5	10	−	10	pF
Power Dissipation Capacitance	C_{PD} (1)	(Note 1)		−	95	−	−	−	

Note (1) C_{PD} is defined as the value of the internal equivalent capacitance which is calculated from the operating current consumption without load.
Average operating current can be obtained by the equation :

$$I_{CC}(opr) = C_{PD} \cdot V_{CC} \cdot f_{IN} + I_{CC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION CIRCUIT

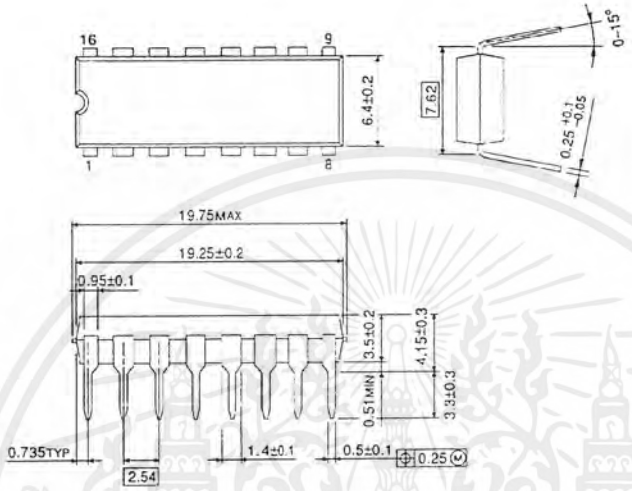


Recommended Resistance R

DISPLAY	COLOR	LETTER HIGHT	R
TLR358T	Red	13.4mm	390Ω
TLR362T	〃	14.2	〃
TLR332T	〃	7.6	〃
TLR342T	〃	10.9	〃
TLG358T	Green	13.4mm	160Ω
TLG362T	〃	14.2	〃
TLG332T	〃	7.6	〃
TLG342T	〃	10.9	〃

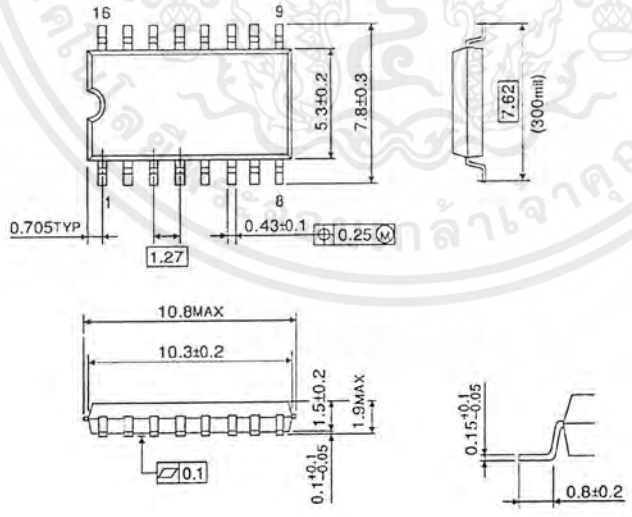
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIP 16PIN OUTLINE DRAWING (DIP16-P-300-2.54A) Unit in mm



Weight : 1.00g (Typ.)

SOP 16PIN (200mil BODY) OUTLINE DRAWING (SOP16-P-300-1.27) Unit in mm



Weight : 0.18g (Typ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

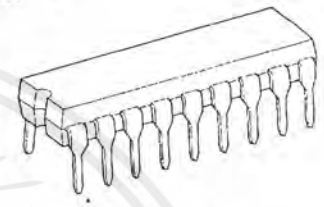
TOSHIBA BIPOLAR DIGITAL INTEGRATED CIRCUIT SILICON MONOLITHIC

ULN2803AP, ULN2803AFW, ULN2804AP, ULN2804AFW

8CH DARLINGTON SINK DRIVER

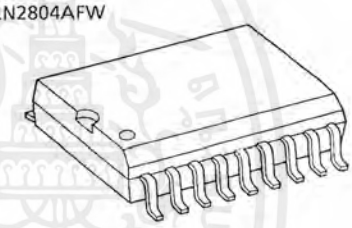
The ULN2803AP / AFW Series are high-voltage, high-current darlington drivers comprised of eight NPN darlington pairs.
All units feature integral clamp diodes for switching inductive loads.
Applications include relay, hammer, lamp and display (LED) drivers.

ULN2803AP
ULN2804AP



DIP18-P-300-2.54F

ULN2803AFW
ULN2804AFW



SOL18-P-300-1.27

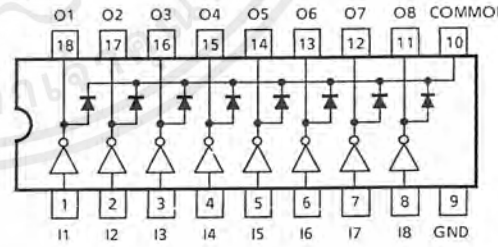
Weight
DIP18-P-300-2.54F : 1.478g (Typ.)
SOL18-P-300-1.27 : 0.48g (Typ.)

FEATURES

- Output current (single output)
  500mA (Max.) (ULN2803AP / AFW series)
- High sustaining voltage output
  50V (Min.) (ULN2803AP / AFW series)
- Output clamp diodes
- Inputs compatible with various types of logic.
- Package type-AP : DIP-18pin
- Package type-AFW : SOL-18pin

TYPE	INPUT BASE RESISTOR	DESIGNATION
ULN2803AP / AFW	2.7kΩ	TTL, 5V CMOS
ULN2804AP / AFW	10.5kΩ	6~15V PMOS, CMOS

PIN CONNECTION (TOP VIEW)



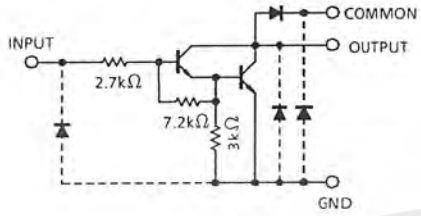
961001EBA1

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

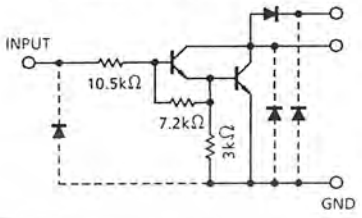
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATICS (EACH DRIVER)

ULN2803AP / AFW



ULN2804AP / AFW



(Note) The input and output parasitic diodes cannot be used as clamp diodes.

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Output Sustaining Voltage		$V_{CE(SUS)}$	−0.5~50	V
Output Current		I_{OUT}	500	mA / ch
Input Voltage		V_{IN}	−0.5~30	V
Clamp Diode Reverse Voltage		V_R	50	V
Clamp Diode Forward Current		I_F	500	mA
Power Dissipation	AP	P_D	1.47	W
	AFW		0.92 / 1.31 (Note)	
Operating Temperature		T_{opr}	−40~85	°C
Storage Temperature		T_{stg}	−55~150	°C

(Note) On Glass Epoxy PCB (75 × 114 × 1.6mm Cu 20%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (Ta = −40~85°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Sustaining Voltage		$V_{CE\ (SUS)}$		0	—	50	V
Output Current	AP	I_{OUT}	T_{pw} = 25ms, Duty = 10%, 8 Circuits	0	—	347	mA / ch
			T_{pw} = 25ms, Duty = 50%, 8 Circuits	0	—	123	
	AFW		T_{pw} = 25ms, Duty = 10%, 8 Circuits	0	—	268	
			T_{pw} = 25ms, Duty = 50%, 8 Circuits	0	—	90	
Input Voltage		V_{IN}		0	—	30	V
Input Voltage (Output On)	ULN2803AP / AFW	$V_{IN\ (ON)}$		3.5	—	30	V
	ULN2804AP / AFW			8	—	30	
Clamp Diode Reverse Voltage		V_R		—	—	50	V
Clamp Diode Forward Current		I_F		—	—	400	mA
Power Dissipation	AP	P_D	Ta = 85°C	—	—	0.76	W
	AFW		Ta = 85°C (Note)	—	—	0.48	

(Note) On Glass Epoxy PCB (75 × 114 × 1.6mm Cu 20%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

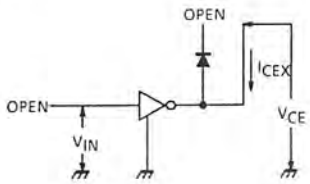
CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Leakage Current		I_{CEX}	1	V_{CE} = 50V	Ta = 25°C	—	—	50	μA
	ULN2804AP / AFW			V_{CE} = 50V	Ta = 85°C	—	—	100	
				V_{CE} = 50V	V_{IN} = 1V	—	—	500	
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE\ (sat)}$	2	I_{OUT} = 350mA, I_{IN} = 500μA		—	1.3	1.6	V
				I_{OUT} = 200mA, I_{IN} = 350μA		—	1.1	1.3	
				I_{OUT} = 100mA, I_{IN} = 250μA		—	0.9	1.1	
Input Current	ULN2803AP / AFW	$I_{IN\ (ON)}$	2	V_{IN} = 3.85V		—	0.93	1.35	mA
	ULN2804AP / AFW			V_{IN} = 5V		—	0.35	0.5	
				V_{IN} = 12V		—	1.0	1.45	
		$I_{IN\ (OFF)}$	4	I_{OUT} = 500μA, Ta = 85°C		50	65	—	μA
Input Voltage (Output On)	ULN2803AP / AFW	$V_{IN\ (ON)}$	5	V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 200mA		—	—	2.4	V
				V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 250mA		—	—	2.7	
				V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 300mA		—	—	3.0	
	ULN2804AP / AFW			V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 125mA		—	—	5.0	
				V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 200mA		—	—	6.0	
				V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 275mA		—	—	7.0	
				V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 350mA		—	—	8.0	
DC Current Transfer Ratio		h_{FE}	2	V_{CE} = 2V, I_{OUT} = 350mA		1000	—	—	
Clamp Diode Reverse Current		I_R	6	Ta = 25°C (Note)		—	—	50	μA
				Ta = 85°C (Note)		—	—	100	
Clamp Diode Forward Voltage		V_F	7	I_F = 350mA		—	—	2.0	V
Input Capacitance		C_{IN}	—			—	15	—	pF
Turn-On Delay		t_{ON}	8	R_L = 125Ω, V_{OUT} = 50V		—	0.1	—	μs
Turn-Off Delay		t_{OFF}		R_L = 125Ω, V_{OUT} = 50V		—	0.2	—	

(Note) $V_R = V_R$ MAX.

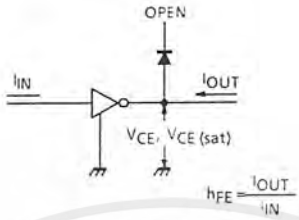
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUIT

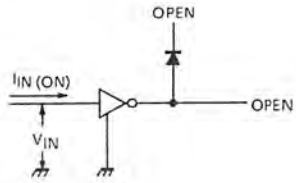
1. I_{CEX}



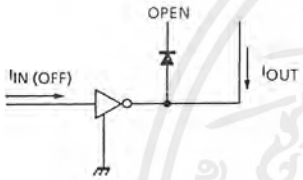
2. $V_{CE\ (sat)}$, h_{FE}



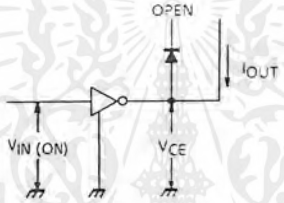
3. $I_{IN\ (ON)}$



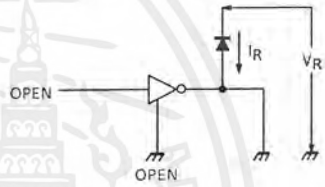
4. $I_{IN\ (OFF)}$



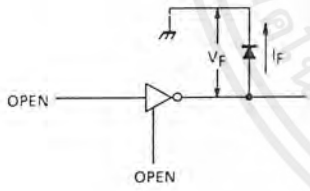
5. $V_{IN\ (ON)}$



6. I_R

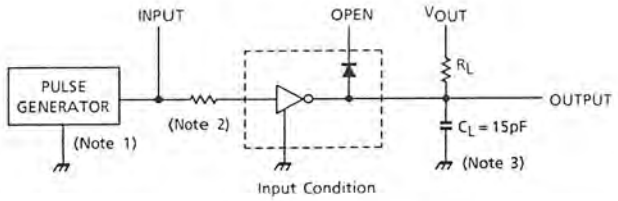


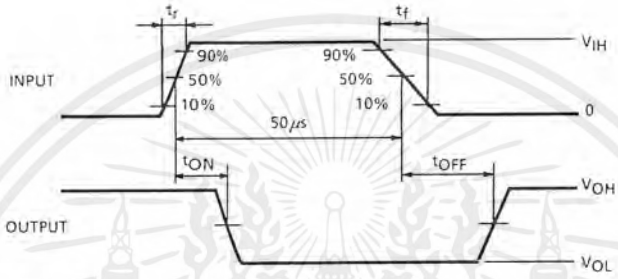
7. V_F



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. t_{ON}, t_{OFF}





(Note 1) Pulse Width 50μs, Duty Cycle 10%
Output Impedance 50Ω, $t_r \leq$ 5ns, $t_f \leq$ 10ns

(Note 2) See below.

INPUT CONDITION

TYPE NUMBER	R1	V_{IH}
ULN2803AP / AFW	0Ω	3V
ULN2804AP / AFW	0Ω	8V

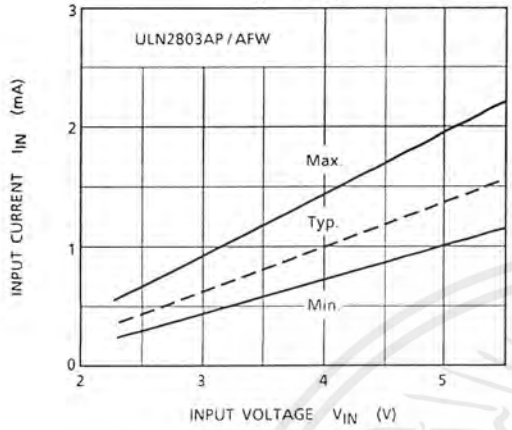
(Note 3) C_L includes probe and jig capacitance

PRECAUTIONS for USING

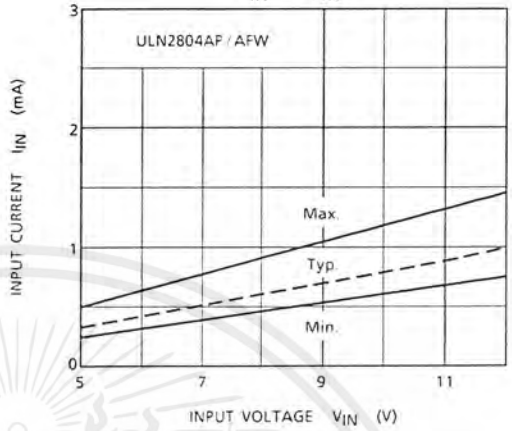
Utmost care is necessary in the design of the output line, COMMON and GND line since IC may be destroyed due to short-circuit between outputs, air contamination fault, or fault by improper grounding.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

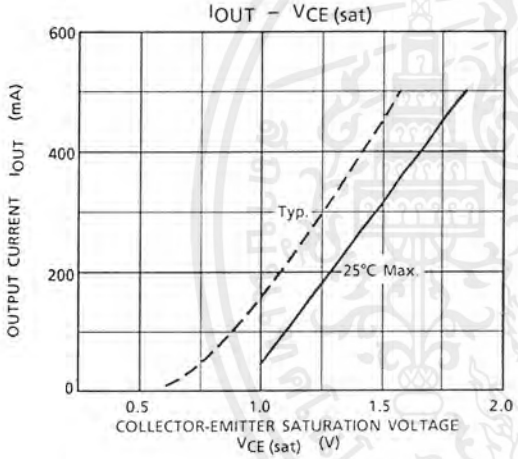
I_{IN} – V_{IN}



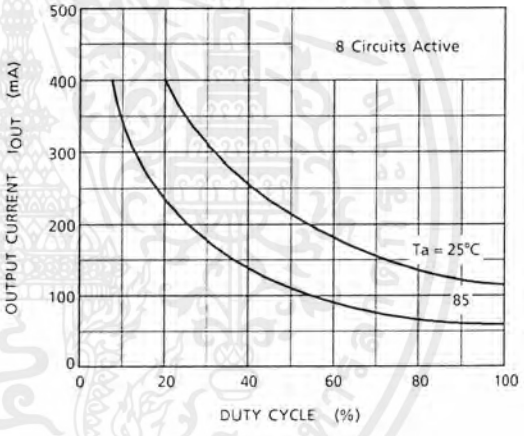
I_{IN} – V_{IN}



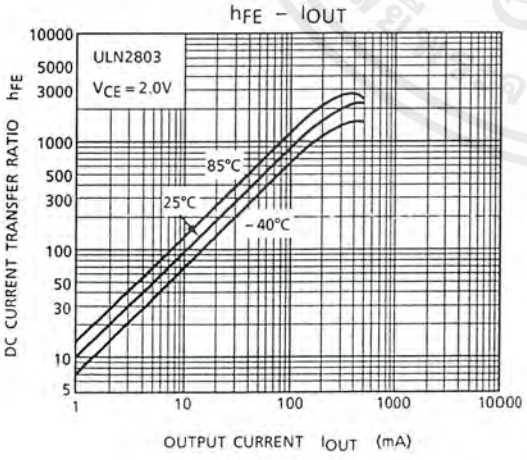
I_{OUT} – $V_{CE\,(sat)}$



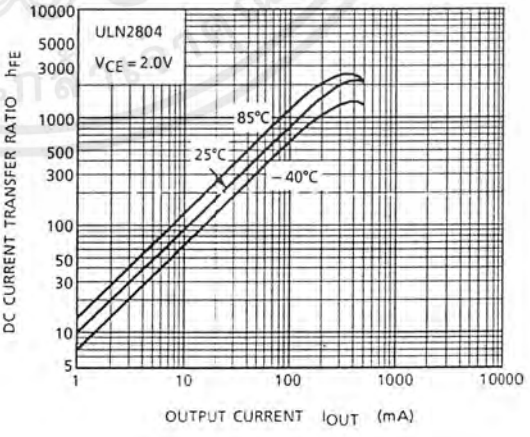
I_{OUT} – DUTY CYCLE



h_{FE} – I_{OUT}

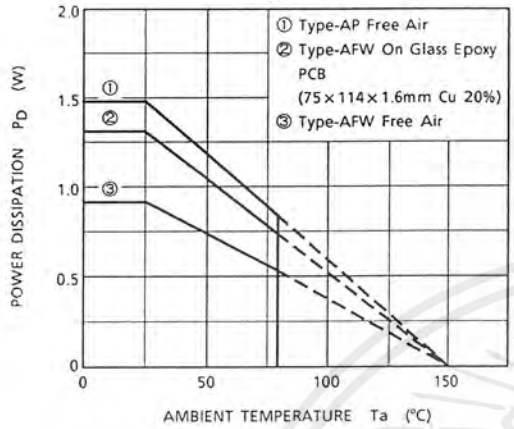


h_{FE} – I_{OUT}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_D – Ta

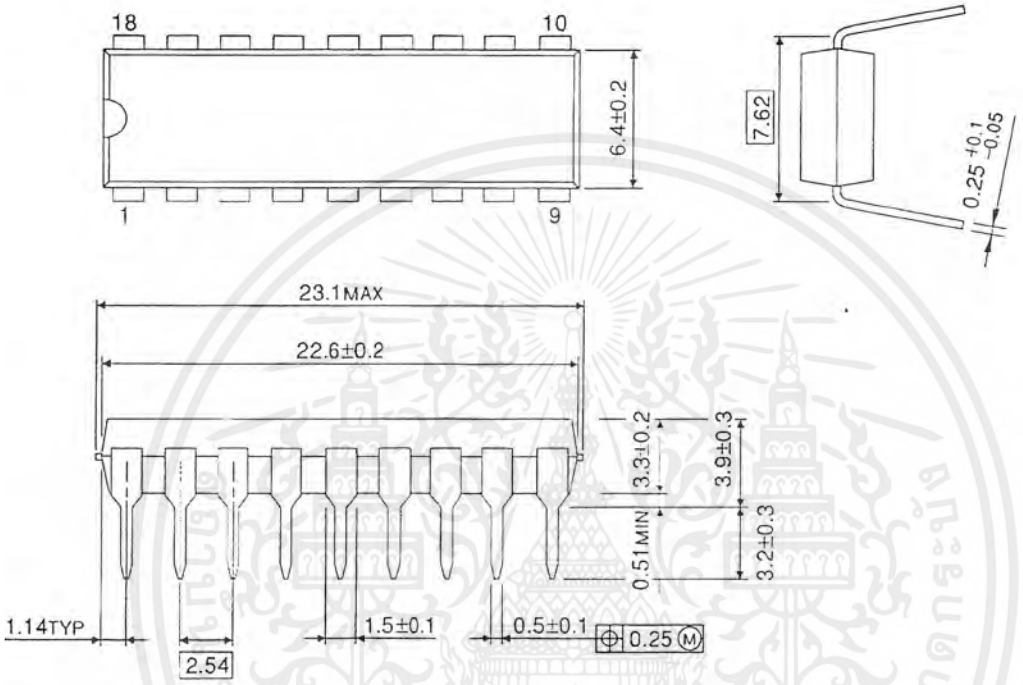


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DRAWING

DIP18-P-300-2.54F

Unit : mm



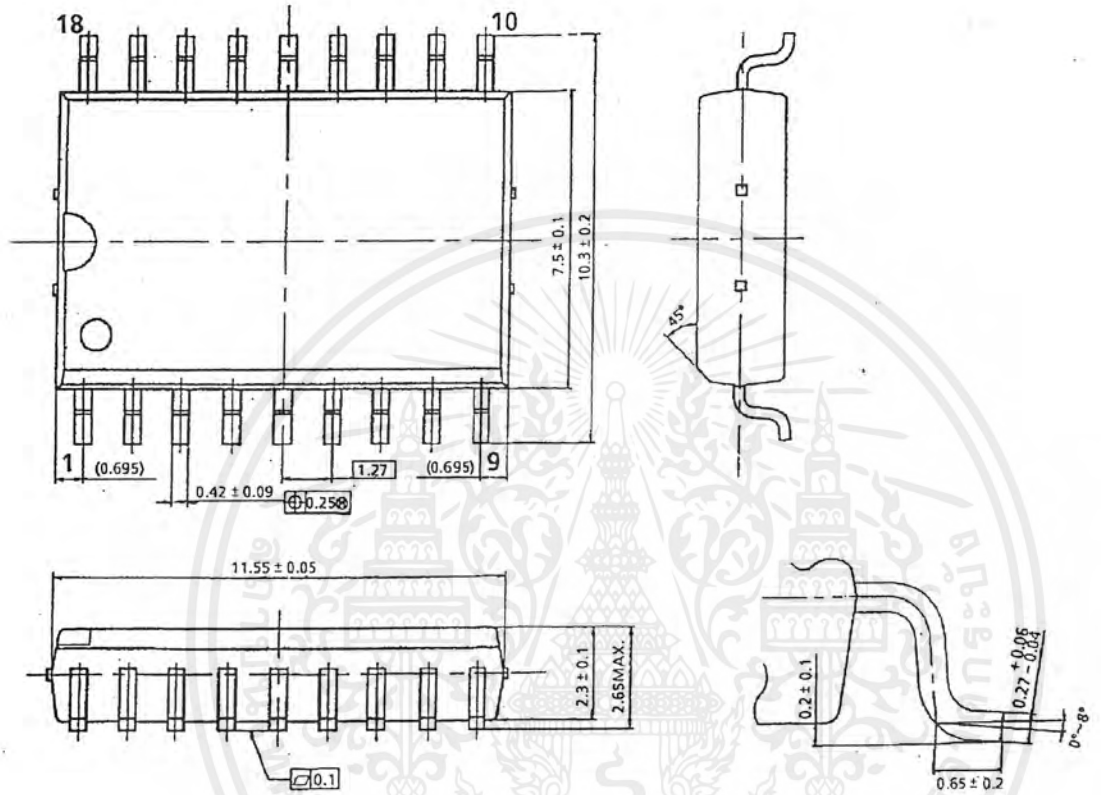
Weight : 1.478g (Typ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DRAWING

SOL18-P-300-1.27

Unit : mm



Weight : 0.48g (Typ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้