สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก 1

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา

โดย

นาย อนิพล คฤหเดชรัตนา รหัส 44010578

นาย เอกชัย สุทธิวรรณา รหัส 44010622

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2547

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 61813

วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เชิงกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

b 11603183

i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก 1

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

โดย

นาย อนิพล คฤหเดชรัตนา รหัส 44010578

นาย เอกชัย สุทธิวรรณา รหัส 44010622

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก 1

นาย อนิพล คฤหเดชรัตนา รหัส 44010578
นาย เอกชัย สุทธิวรรณา รหัส 44010622

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา
ปีการศึกษา 2547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างและออกแบบ วงจรขับ (Driver)และส่วนควบคุม การทำงานของแขนกลรุ่น Scorbot ER 5 PLUS โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS 51 รุ่น P89V51RD2 ซึ่งเป็นแบบ Flash memory ที่สามารถโปรแกรมและลบใหม่ได้มากครั้ง ด้วยโปรแกรม Flash Magic เขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี เพื่อให้แขนกลทำงานแบบ Manual และแบบ Auto โหลดการทำงานจากตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่เซฟไว้ โดยสั่งงานผ่านเมตริกซ์สวิตช์ (Keypad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Micro Computer Integrated Manufacturing

Mr. Anipon Karuehadetrattana 44010578

Mr. Ekkachai Sutthiwanna 44010622

Advisor Mr. Teppajit Choeypoca

Academic year 2004

Abstract

This Project is design to create Driver and Controller for robot SCORBOT ER V plus by Microcontroller MCS-51 No. P89V51RD2 with Flash memory to program and erase more than 10000 times. With Assembly language for control robot in manual and automation by loading saved position in memory. User can interface robot with Matrix switch (keypad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แขนกล 7

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 13

2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดระยะการขจัดและการเคลื่อนที่ 21

บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 25

3.2 ตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 25

3.3 หน่วยความจำ MCS-51 27

บทที่ 4 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

4.1 การต่อเชื่อมอุปกรณ์พื้นฐานภายนอกกับ MCS-51 89V51RD 31

4.2 วงจรขับมอเตอร์ 32

4.3 วงจรเบรค 33

4.4 Key-Pad 34

4.5 8-Bit Serial-Input/Serial
Or Parallel-Output Shift Register with Latched 3-State Outputs 35

4.6 DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS 37

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 41

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ค.

ภาคผนวก ง.

ภาคผนวก จ.

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 End Effector แบบมือจับ	3
รูปที่ 1.2 End Effector แบบมือที่เป็นอุปกรณ์	4
รูปที่ 1.3 โรบอทซีมูเลเตอร์	5
รูปที่ 2.1 การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเทียบกับแขนมนุษย์	7
รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน	8
รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก	9
รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม	10
รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์สการา	11
รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์ที่ข้อต่อหมุน	12
รูปที่ 2.7 สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	14
รูปที่ 2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	14
รูปที่ 2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม	14
รูปที่ 2.10 สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม	14
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	16
รูปที่ 2.12 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน	17
รูปที่ 2.13 วงจรขับมอเตอร์แบบบริดจ์เต็มเฟสเดียว	20
รูปที่ 2.14 โพเทนทิโอมิเตอร์แบบโรตารี่	21
รูปที่ 2.15 เฮลิคอลโพเทนทิโอมิเตอร์	21
รูปที่ 2.16 อินคริเมนทอลเอ็นโค้ดเดอร์แบบจานหมุน	22
รูปที่ 2.17 แอ็บโซลูตเอ็นโค้ดเดอร์แบบจานหมุน	23
รูปที่ 2.18 แอ็บโซลูตเอ็นโค้ดเดอร์	24
รูปที่ 2.19 ออพติคัลเซนเซอร์	24
รูปที่ 3.1 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	25
รูปที่ 3.2 วงจรรีเซตการทำงานของMCS-51	26
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งหน่วยความจำ MCS-51	28
รูปที่ 3.4 บิทต่างๆ ของรีจิสเตอร์ A	30
รูปที่ 4.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟให้ MCS-51	31
รูปที่ 4.2 วงจรติดต่อคอมพิวเตอร์ด้วย RS-232	31
รูปที่ 4.3 วงจรสัญญาณนาฬิกาให้ MCS-51	32
รูปที่ 4.4 การเชื่อมต่อกับสวิตช์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ไอซี เบอร์ TA7275P 32
รูปที่ 4.6 การต่อใช้งาน ไอซี เบอร์ TA7275P 33
รูปที่ 4.7 วงจรการเบรคมอเตอร์ 33
รูปที่ 4.8 การทำงานของรีเลย์เมื่อมอเตอร์ทำงาน 34
รูปที่ 4.9 การทำงานของรีเลย์เมื่อมอเตอร์ไม่ทำงาน 34
รูปที่ 4.10 คีย์เมตริกซ์สวิตซ์ 34
รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่อเมตริกซ์สวิตซ์กับ MCS-51 35
รูปที่ 4.12 ไอซี 74HC595 35
รูปที่ 4.13 การสั่งงานผ่านไอซี 74HC595 36
รูปที่ 4.14 การนำไอซี 74HC595 ต่ออนุกรมเพื่อส่งข้อมูลมากกว่า 8 บิต 36
รูปที่ 4.15 ไอซี 74LS151 37
รูปที่ 5.1 Flow Chart แสดงการทำงานโดยรวม 39
รูปที่ 5.2 การทำงานแบบ Manual 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของไอซี TA7275P 33

ตารางที่ 4.2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของไอซี 74LS151 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการนำแขนกลมาทำงานแทนมนุษย์กันมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศไทย มีหลายบริษัทได้นำแขนกลเข้ามาช่วยในงานอุตสาหกรรม ซึ่งแขนกลดังกล่าว ส่วนใหญ่ยังต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย การใช้แขนกลที่ผลิตภายในประเทศจะช่วยให้ต้นทุนการผลิตสินค้าถูกลง ดังนั้นจึงควรที่จะมีการขยายการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับแขนกลให้มากขึ้น เพื่อที่จะสามารถนำแขนกลไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับงานอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสมและสิ้นเปลืองงบการลงทุนน้อยที่สุด

งานหลายประเภท มีลักษณะการทำงานที่ซ้ำๆกัน โดยเฉพาะงานประกอบชิ้นงาน ซึ่งไม่ได้มีความซับซ้อนมากนัก น่าจะสามารถใช้เครื่องจักรมาทำงานแทนมนุษย์ได้ และเครื่องจักรที่ว่านี้จะต้องผลิตผลงานได้อย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพเป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงมีความคิดที่จะนำความรู้ที่ได้เรียนมาในด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนี้ จึงเลือกหัวข้อที่เกี่ยวกับการควบคุมแขนกลมาเป็นหัวข้อในการทำโครงงานครั้งนี้

การศึกษาโครงงานในครั้งนี้ก็เพื่อจะศึกษาพื้นฐานหลักการทำงานและการควบคุมของแขนกล โดยให้แขนกลสามารถประกอบชิ้นงาน เคลื่อนย้ายชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง มีการทำงานแบบอัตโนมัติ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานนี้จะทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาแขนกลให้สามารถทำงานอย่างอื่นได้ตามที่ต้องการ รวมถึงเพิ่มความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อนขึ้นต่อไปในอนาคต

1.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

"An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose, manipulator programmable in three or more axes which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation application"

หุ่นยนต์อุตสาหกรรม หมายถึง เครื่องจักรกลที่สามารถตั้งโปรแกรมได้หลายครั้ง รวมทั้งสามารถทำงานได้หลายหน้าที่ เช่น การเคลื่อนย้ายวัตถุ อุปกรณ์ เครื่องมือ โดยอาศัยการควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่ของมันให้ทำงานได้หลายอย่างตามต้องการ โดยต้องเคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่า จากความหมายดังกล่าวนี้ เราจะเห็นได้ว่าการที่หุ่นยนต์สามารถตั้งโปรแกรมได้หลายครั้งนั่นหมายความว่า มันสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงการทำงานได้ถ้าหากเราเปลี่ยนแปลงโปรแกรมใหม่ โดยลักษณะของโปรแกรมที่เราเปลี่ยนแปลงนั้น จะขึ้นอยู่กับประเภทหรือลักษณะของงานที่เราต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนั้นมี 4 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. *โครงสร้างของหุ่นยนต์* ซึ่งประกอบด้วยแขน (Link) ที่เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงหลายส่วนมาเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ (Joint) เป็นรูปทรงต่างๆ
2. *ตัวขับ (Actuators)* มีหน้าที่ทำให้หุ่นยนต์นี้เคลื่อนที่ได้โดยการนำตัวขับนี้ไปติดตรงตำแหน่งของข้อต่อ ตัวอย่างของตัวขับมีหลายชนิดเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิก เป็นต้น
3. *อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor)* มีหน้าที่วัดสถานะของหุ่นยนต์ขณะทำงาน เช่นตำแหน่งจุดปลายของแขน หรือบางครั้งก็ใช้วัดสถานะของสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น
4. *ระบบควบคุม (Controller)* เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการคบคุมตัวขับของหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ

หลักการทำงานจะคล้ายกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยคำสั่งเชิงตัวเลข (Numerical control machine) ในลักษณะของการป้อนกลับ (feedback) แต่จุดที่ต่างกันคือ การสั่งงานหรือการโปรแกรมหุ่นยนต์นี้ทำได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านเทปกระดาษ โดยมีแนวโน้มว่าจะมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น เพราะสามารถควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง

1.2.1 คุณสมบัติเฉพาะของหุ่นยนต์ ในการทำงาน หุ่นยนต์แต่ละตัว มีขีดความสามารถ ความถนัดไม่เหมือนกันขึ้นกับการออกแบบ

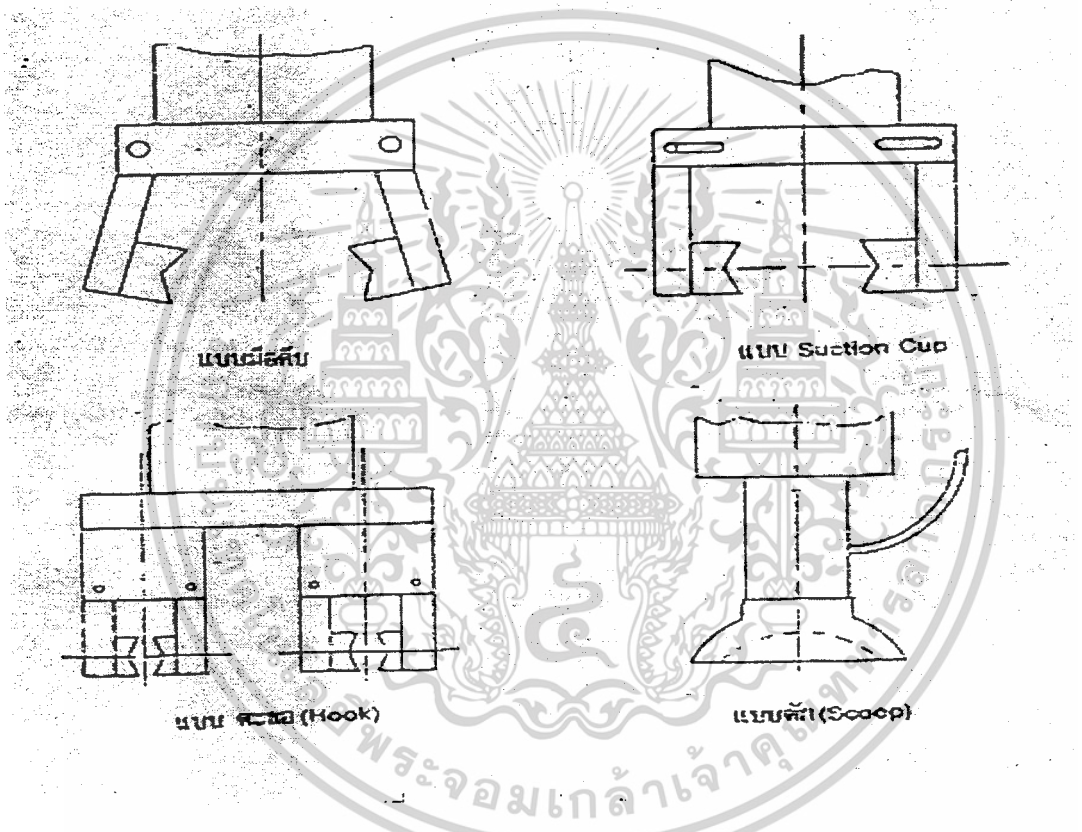
- หุ่นยนต์ที่มีความละเอียดสูง ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาสร้างหุ่นยนต์ ใช้ในการผลิตที่ต้องการความละเอียดสูงและความแม่นยำมากๆ เหมาะกับงานที่ทำซ้ำ มีกำลังไม่สูง เช่น การผลิตไอซี ข้อเสียคือ มีการออกแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน
- หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหนัก มีการออกแบบจากไฮดรอลิก กำลังสูง ง่ายต่อการดูแลรักษา ทนทานเคลื่อนที่ได้เร็ว เช่น หุ่นยนต์ยกของ ข้อเสีย คือ มีความคลาดเคลื่อนสูง
- หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง มีความสามรถไม่สูงนัก เช่น ระบบกำหนดเป้าหมายต่างๆ มีการออกแบบจากนิวเมติก ข้อเสีย คือ ใช้ในงานละเอียดได้ไม่ดีเท่าทีควรและใช้รับน้ำหนักมากๆได้ไม่ดี

1.2.2 End Effector เป็นส่วนที่หุ่นยนต์ใช้ทำงานจริง (โดยที่ส่วนแขนนั้นใช้เพื่อเลื่อนตำแหน่งมือจับให้ไปยังจุดที่ต้องการเท่านั้น) งานที่ส่วนนี้ทำก็มี เช่น การจับชิ้นส่วน การบัดกรี การพ่นสี ฯลฯ ดังนั้น ส่วนนี้จึงมีแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะการออกแบบและงานที่ทำ แต่จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ แบบมือจับ (gripper) และแบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (tool as end effector)

1.2.2.1 แบบมือจับ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หยิบจับชิ้นส่วนหรือเครื่องมือ โดยการออกแบบมีได้หลายลักษณะ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

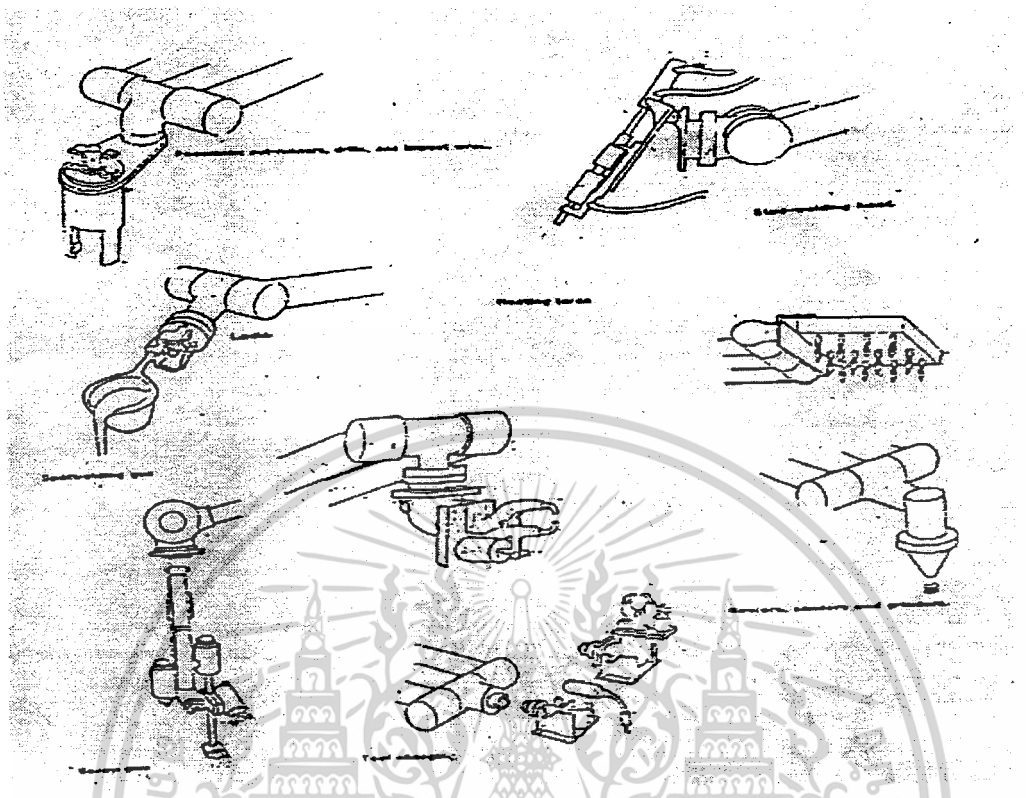
- แบบมือคีบ อาศัยแรงเสียดทานในการจับ ใช้ได้กับงานทุกประเภท แต่หากวัสดุบอบบางต้องมีอุปกรณ์เสริม
- แบบซัคชั่นคัพ (Suction cup) อาศัยคุณสมบัติการทำให้เกิดสภาพสุญญากาศ เป็นตัวดึงชิ้นงาน ใช้ได้กับวัตถุผิวเรียบเท่านั้น
- แบบตะขอ (hook) สำหรับเกี่ยวยกของ เช่น ของที่อยู่ในสายพาน ฯลฯ
- แบบตัก (scoop) สำหรับลำเลียงของที่เป็นของเหลวหรือฝุ่นผง



รูปที่ 1.1 End Effector แบบมือจับ

1.2.2.2 แบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector) เนื่องจากแบบมือจับมีข้อจำกัดใช้ได้เฉพาะงานหยิบจับวัตถุเท่านั้น แต่การใช้งานของหุ่นยนต์มีขอบเขตที่กว้าง จึงมีการออกแบบอุปกรณ์ใช้งาน ที่สามารถติดเข้าไปยังส่วนปลายหรือมือนี้ เพื่อใช้ในการทำงาน โดยอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตาย หรือถอดเปลี่ยนได้ ตัวอย่างของมือที่เป็นอุปกรณ์นี้มีมากมาย เช่น ติดอุปกรณ์เชื่อมเฉพาะจุด ติดอุปกรณ์พ่นสี ติดสว่าน ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 End Effector แบบมือที่เป็นอุปกรณ์

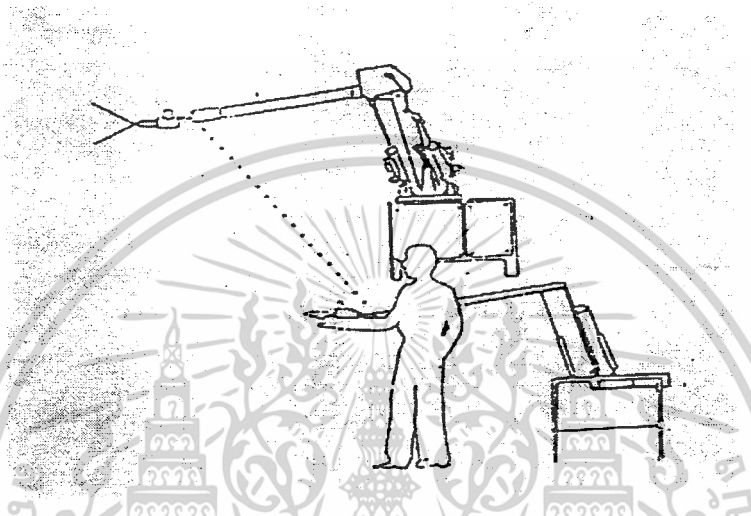
1.2.3 การควบคุมการทำงานหุ่นยนต์ โดยปกติหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมักจะทำงานเชื่อมกับระบบอื่นๆ เช่น ระบบสายพาน(ในการเคลื่อนที่ชิ้นงาน) เครื่องมือต่างๆ (ในการประกอบชิ้นงาน) ฯลฯ ซึ่งหมายความว่า การทำงานของหุ่นยนต์จะต้องมีความสอดคล้องกับระบบข้างเคียงด้วย เพื่อให้งานมีลักษณะต่อเนื่อง ส่วนที่ควบคุมหุ่นยนต์ เรียกว่า workstation controller และส่วนที่ควบคุมระบบทั้งหมด (หุ่นยนต์ ระบบสายพาน ระบบเครื่องมือ) นี้เรียกว่า workstation หรือ work cell

1.2.4 การสั่งงานหุ่นยนต์ การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานตามที่กำหนดนี้ อาจทำได้หลายลักษณะ ดังนี้

1) การสั่งงานแบบแมนวล (Manual) เป็นการสั่งงานที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงาน ให้หุ่นยนต์ทำงานแบบจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยวิธีการจะเป็นการเคลื่อนที่ตามแกนต่างๆ ไปยังตำแหน่งที่ต้อง การโดยการกดปุ่มบังคับ ลักษณะนี้จึงคล้ายกับการเซตอัพ (set up) กล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นแล้วกำหนดค่าไว้ จากนั้นเคลื่อนไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ โดยที่ค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำ แล้วเรียกมาใช้ในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การสั่งงานแบบลีดทรู (Lead through) การสั่งงานแบบนี้จะคล้ายๆกับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง แล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่างๆที่เคลื่อนที่ไป แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดในแง่เทคนิคต่างๆ (เช่น ระบบเกียร์ เฟือง) ดังนั้น จึงมีการคิดค้นอุปกรณ์ซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆได้ ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งเรียกอุปกรณ์นี้ว่า โรบอทซีมูเลเตอร์ (Robot Simulator)



รูปที่ 1.3 โรบอทซีมูเลเตอร์

3) การสั่งงานด้วยโปรแกรม จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและทำงานตามที่กำหนด โดยปัจจุบันได้มีผู้เขียนภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งงานหุ่นยนต์ทำงานมากมายหลายภาษา โดยโปรแกรมจะถูกเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปควบคุมหุ่นยนต์ต่ออีกทีหนึ่ง

1.2.5 การประยุกต์ใช้งาน ในปัจจุบันนี้ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมาใช้มากขึ้น แต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้น การตัดสินใจใช้หุนยนต์ในกระบวนการผลิตจึงต้องพิจารณาเฉพาะงานที่จำเป็น เช่น

- งานที่อันตราย หรืองานที่คนทำไม่สะดวก เช่น บริเวณที่มีกัมมันตรังสี สารพิษ ฯลฯ
- งานที่ต้องทำซ้ำกันบ่อยๆ ซึ่งใช้คนอาจจะผิดพลาดง่าย
- ใช้งานที่ต้องการความสามารถเฉพาะอย่าง เช่น งานยกของหนัก งานที่ละเอียดสูง
- งานที่ต้องทำงานต่อเนื่อง

ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะงานที่ใช้มาก ก็มีอาทิเช่น

- งานหยิบจับชิ้นวัตถุ
- งานเชื่อม
- งานพ่นสี
- งานประกอบชิ้นงาน
- งานตรวจเช็ค (Inspection)
- ใช้ในการวิจัยและพัฒนา

ฯลฯ

ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์ ก็มีมากมายอาทิเช่น

- ความปลอดภัย งานที่อันตรายสามารถใช้หุ่นยนต์ทำได้
- ความสม่ำเสมอ ความแน่นอน
- ใช้พลังงานน้อย เพราะไม่สนใจเรื่องสภาพแวดล้อม
- ประสิทธิภาพงานสูง

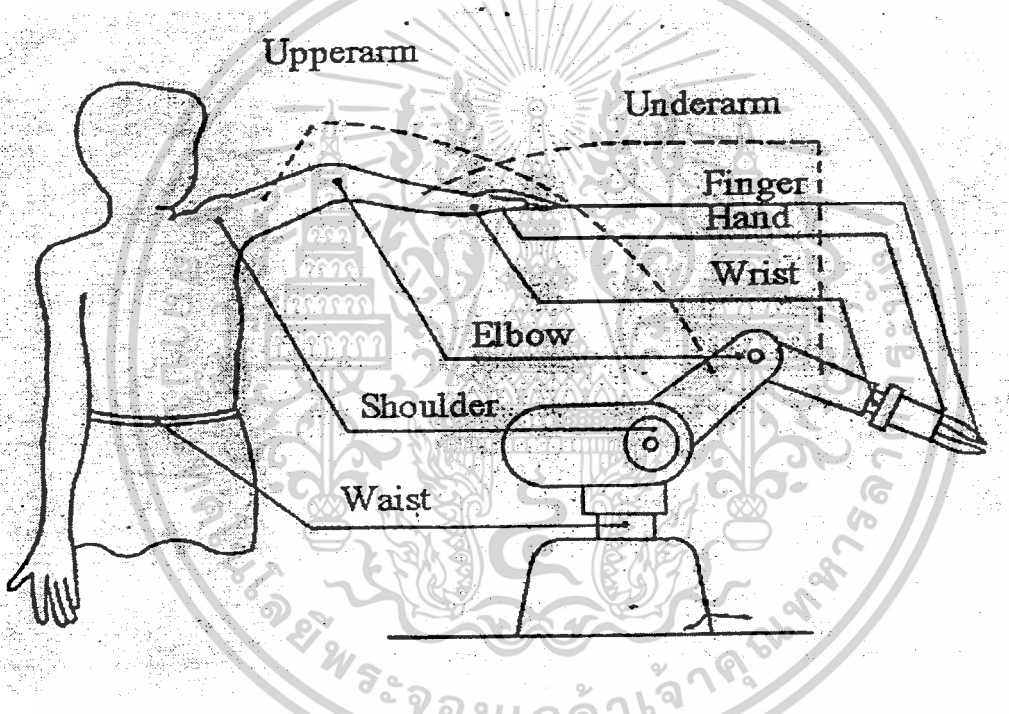
ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แขนกล

การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์ โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเท่านั้น นั่นคือ ช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้นบางคนอาจจะได้ยินคำว่า *แขนกล* ซึ่งก็หมายถึง *หุ่นยนต์อุตสาหกรรม* การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเทียบกับแขนมนุษย์

ประเภทของแขนกล

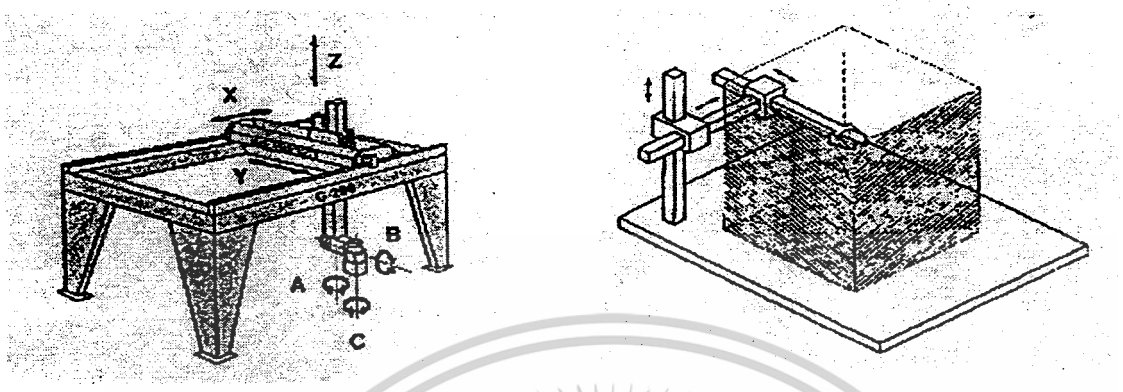
ในปัจจุบันนี้มีการนำหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมาใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของโครงสร้างของหุ่นยนต์ได้ 5 ประเภทคือ

- หุ่นยนต์โครงสร้างคาร์ทีเซียน (Cartesian Robot)
- หุ่นยนต์โครงสร้างไซลินเดอร์ (Cylindrical Robot)
- หุ่นยนต์โครงสร้างทรงกลม (Spherical Robot)
- หุ่นยนต์โครงสร้างแบบสการา (SCARA Robot)
- หุ่นยนต์โครงสร้างที่ข้อต่อเป็นแกนหมุน 6 ข้อต่อ (Articulated Robot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทั้งหมดมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 หุ่นยนต์โครงสร้างคาร์ทีเซียน (Cartesian Robot Manipulator)



รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน

หุ่นยนต์แบบ หุ่นยนต์โครงสร้างคาร์ทีเซียนนี้ประกอบด้วยข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic Joint) จำนวน 3 อันซึ่งแกนของข้อต่อทั้งสามนี้จะตั้งฉากกันตามแนวแกน x, y, z จึงทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีโครงสร้างที่แข็งแรง และสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ เช่น เครนที่ใช้ในอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์หรือเครื่องบิน ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งของจุดปลายของแขนกลนั้นจะคงที่ทุกๆ จุดในพื้นที่การทำงานซึ่งพื้นที่การทำงานนี้มีลักษณะเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยม

ข้อดี

- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
- การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย
- มีส่วนประกอบที่ง่าย
- โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

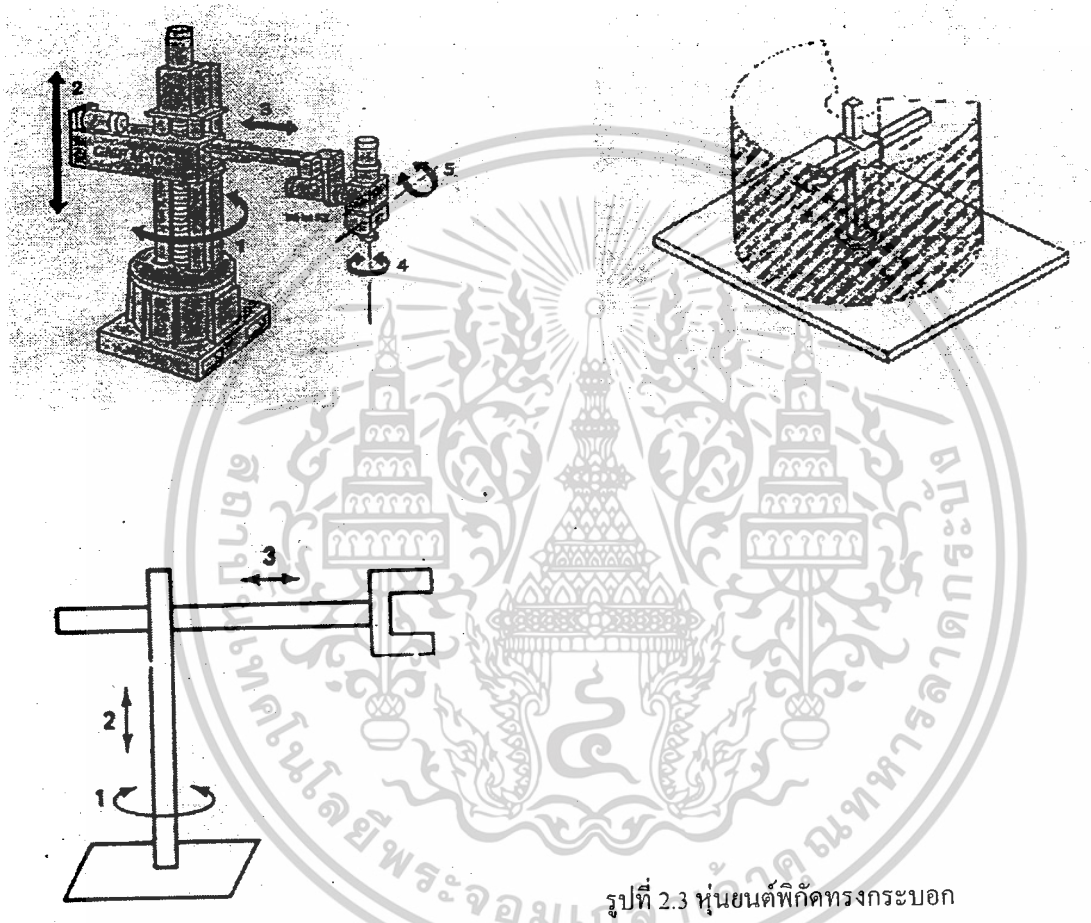
ข้อเสีย

- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงาน จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์
- ไม่สามารถเข้าถึงชิ้นงานจากทิศทางข้างใต้ได้
- แกนการเคลื่อนที่เชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและของเหลวได้ยาก

2.1.2 หุ่นยนต์โครงสร้างไซลินเดอร์ (Cylindrical Robot Manipulator)



รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก

หุ่นยนต์แบบหุ่นยนต์โครงสร้างไซลินเดอร์นี้จะต่างจากหุ่นยนต์โครงสร้างคาร์ทีเซียน ที่ข้อต่อเลื่อนตัวแรกจะเปลี่ยนเป็นข้อต่อแบบหมุน (Revolute Joint) เหมาะกับงานที่ลักษณะของพื้นที่ที่ทำงานอยู่ในระบบพิกัดทรงกระบอก ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งของจุดปลายของแขนกลนั้นจะลดลงเมื่อส่วนที่เคลื่อนที่ที่ในแนวระดับมระยะชักมากขึ้น พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้มีรูปร่างเป็นส่วนของทรงกระบอก

ข้อดี

- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย

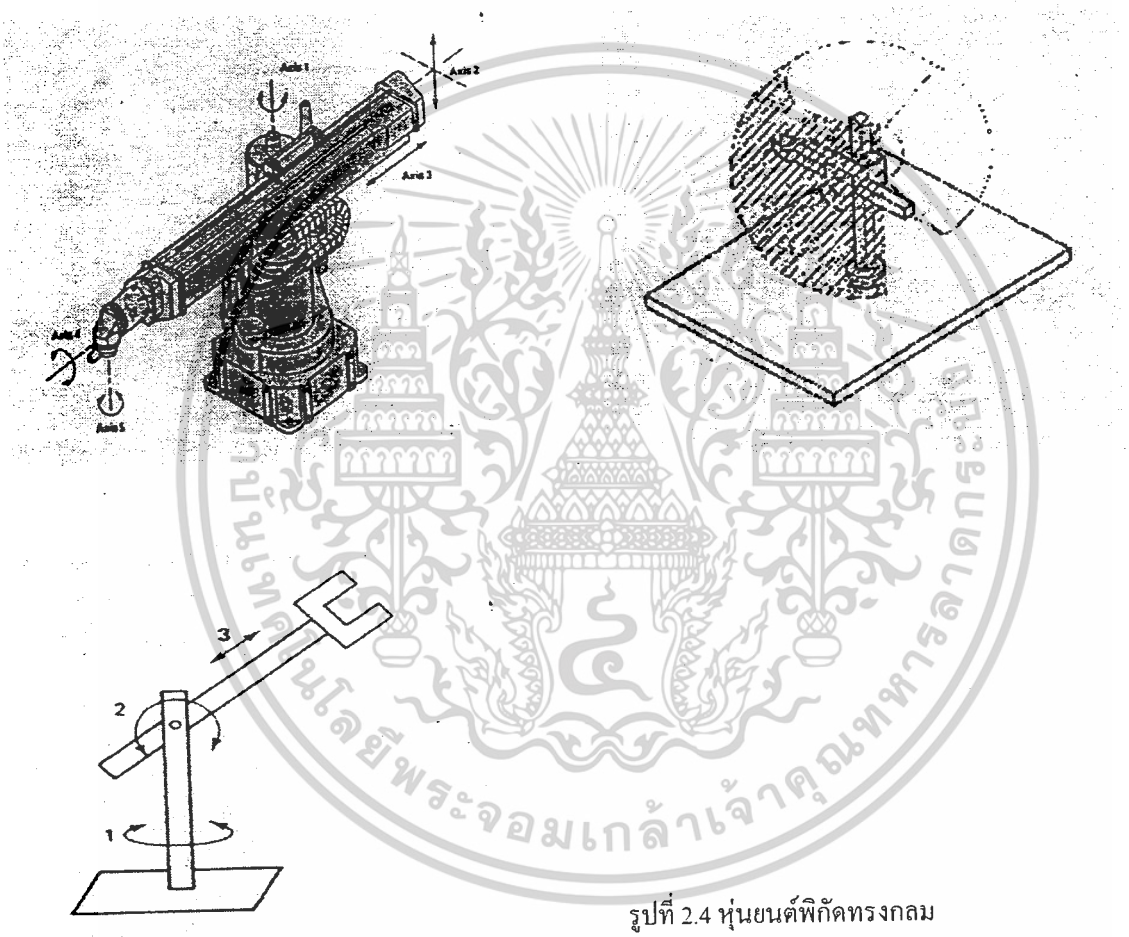
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด ปิดประตู หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นโพรงหรือช่องได้ง่าย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC

ข้อเสีย

- มีพื้นที่การทำงานจำกัด
- แกนการเคลื่อนที่เชิงมุม Seal เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและของเหลวได้ยาก

2.1.3 *หุ่นยนต์โครงสร้างทรงกลม (Spherical Robot Manipulator)*



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม

หุ่นยนต์แบบหุ่นยนต์โครงสร้างทรงกลมนี้จะต่างจากหุ่นยนต์โครงสร้างไซลินเดอร์ ที่ข้อต่อในตำแหน่งที่สองที่เป็นข้อต่อแบบเลื่อนนั้นเปลี่ยนเป็นข้อต่อแบบหมุน เหมาะกับงานที่ลักษณะของพื้นที่ที่ทำงานอยู่ในระบบพิกัดทรงกลมส่วนประกอบของหุ่นยนต์จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าหุ่นยนต์ประเภทหุ่นยนต์โครงสร้างคาร์ทีเซียนและหุ่นยนต์โครงสร้างไซลินเดอร์ ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งของจุดปลายของแขนกลนั้นจะลดลงเมื่อระยะชักในแนวรัศมีเพิ่มมากขึ้น พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้มีรูปร่างเป็นส่วนของทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

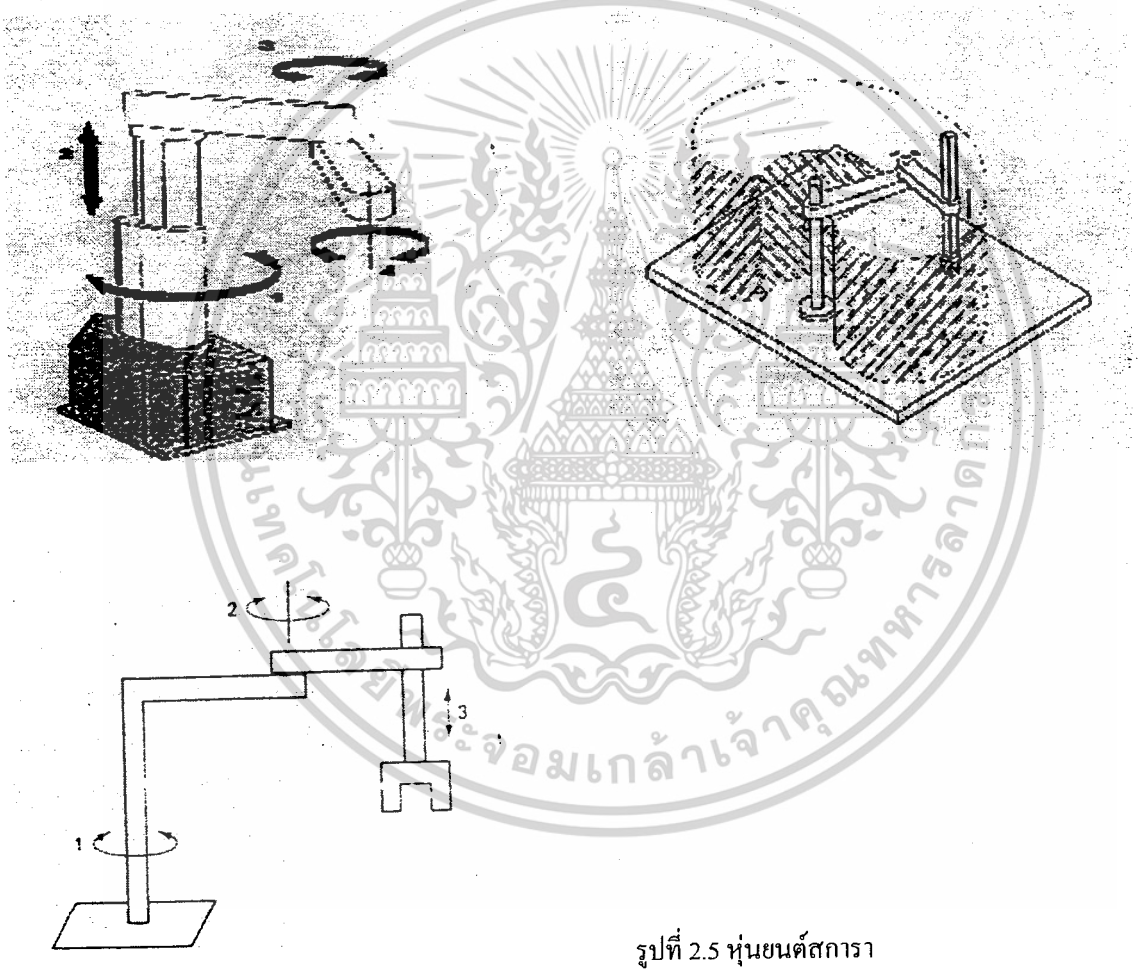
ข้อดี

- มีปริมาตรการทำงานที่มากขึ้น เนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่)
- สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

ข้อเสีย

- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และการควบคุมมีความซับซ้อนมากขึ้น

2.1.4 หุ่นยนต์โครงสร้างแบบสการา (SCARA Robot Manipulator)



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์สการา

หุ่นยนต์แบบ หุ่นยนต์แบบสการา (SCARA Robot) นี้มีชื่อย่อมาจาก Selectively Compliant Assembly Robot Arm จะประกอบด้วยข้อต่อแบบหมุนจำนวน 2 อันและข้อต่อเลื่อนจำนวน 1 อัน การวางตัวของข้อต่อนั้นมีลักษณะคือ แกนของการเคลื่อนที่ของข้อต่อทั้งสามนั้นจะขนานกัน ทำให้ปลายของแขนกลนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระนาบ และข้อต่อแบบเลื่อนที่ติดอยู่กับปลายของแขนกลนี้จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ปลายของแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับระนาบนี้ได้ ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งของจุดปลายของแขนกลนั้นจะลดลงเมื่อระยะของจุดปลายของแขนกลกับแกนหมุนของข้อต่อที่ตำแหน่งฐานเพิ่มมากขึ้น

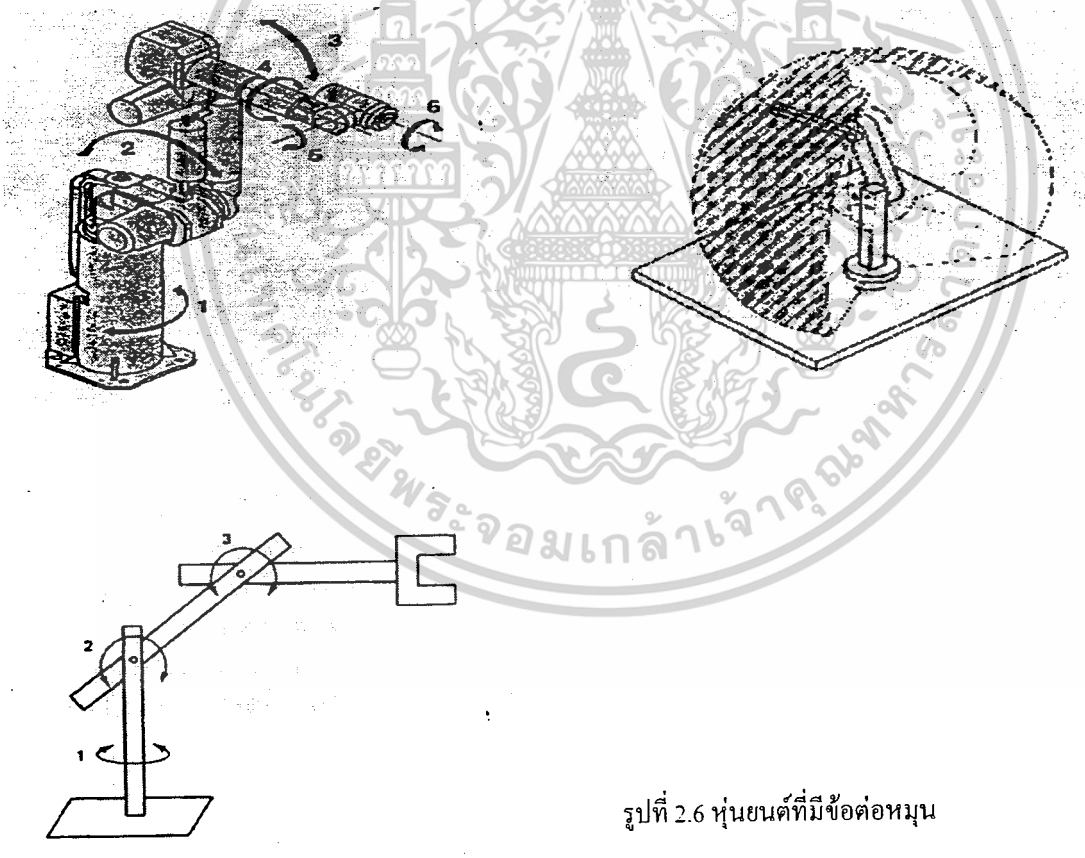
ข้อดี

- สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลง ได้เร็ว
- มีความแม่นยำสูง

ข้อเสีย

- มีพื้นที่การทำงานที่จำกัด
- ไม่สามารถหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆได้
- สามารถยกน้ำหนัก (payload) ได้ไม่มากนัก

2.1.5 *หุ่นยนต์โครงสร้างที่ข้อต่อเป็นแกนหมุน 6 ข้อต่อ (Articulated Robot Manipulator)*



รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์ที่มีข้อต่อหมุน

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะประกอบด้วยข้อต่อแบบหมุนจำนวน 3 อัน โดยที่แกนของข้อต่อที่ตำแหน่งฐานนั้นจะตั้งฉากกับแกนของข้อต่ออีก 2 อันซึ่งแกนหมุนของข้อต่อทั้งสองอันนี้จะขนานกัน เนื่องจากโครงสร้างของหุ่นยนต์ประเภทนี้คล้ายกับแขนของมนุษย์คือข้อต่อตำแหน่งที่สองนั้นทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายกับส่วนที่เป็นไหล่ และข้อต่อตำแหน่งที่สามนั้นจะทำหน้าที่คล้ายกับส่วนที่เป็นข้อศอก พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้มีรูปร่างเป็นส่วนของทรงกลม

ข้อดี

- มีความยืดหยุ่นสูงสามารถเข้าไปถึงยังจุดต่างๆได้ เนื่องจากทุกแกนเคลื่อนที่ในลักษณะของการหมุน
- บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือน้ำได้ง่าย
- พื้นที่การทำงานมาก
- สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านล่างและด้านบนได้
- เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน

ข้อเสีย

- การเคลื่อนที่และการควบคุม มีความซับซ้อนมากขึ้น
- ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ทำได้ยาก
- โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำลดลง

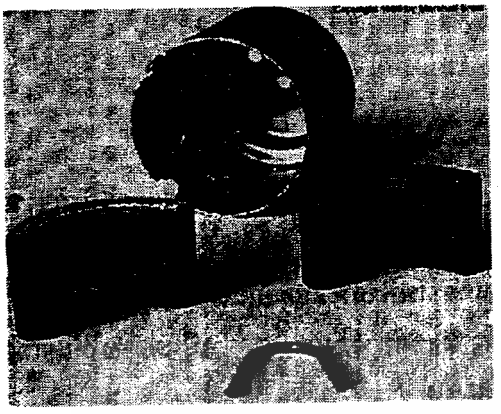
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

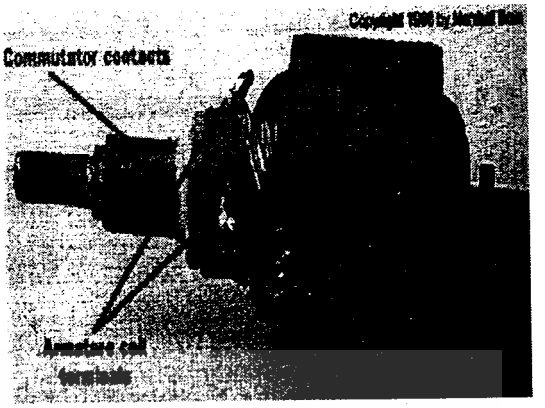
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยพื้นฐานจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ชุดขดลวด (Filed Winding) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะพันอยู่บนโครงหรือสเตเตอร์ของมอเตอร์ (Frame or Stator) และชุดขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะพันอยู่บนโรเตอร์ (Rotor) โดยที่ขดลวดทั้งสองชุดจะถูกป้อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ชุดขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่ออยู่กับตัวคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งติดอยู่ที่ตัวโรเตอร์ หน้าที่ของตัวคอมมิวเตเตอร์จะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเพื่อให้กระแสอาเมเจอร์ไหลผ่านแปลงถ่าน (Brush) เพียงทิศทางเดียวไม่ว่าตัวโรเตอร์จะหมุนที่ความเร็วเท่าใดก็ตาม

2.2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

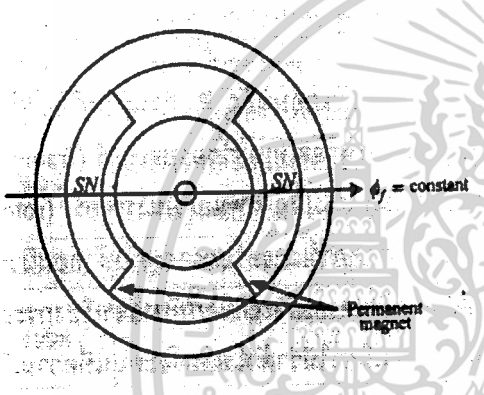
สำหรับวงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสเตเตอร์ จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Filed Flux) ไม่ว่าจะเป็นกรณีใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

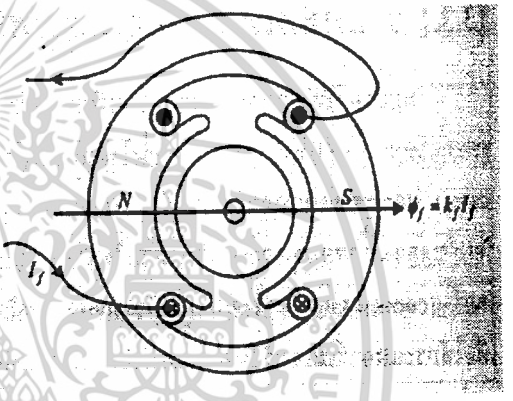




รูปที่ 2.7 สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

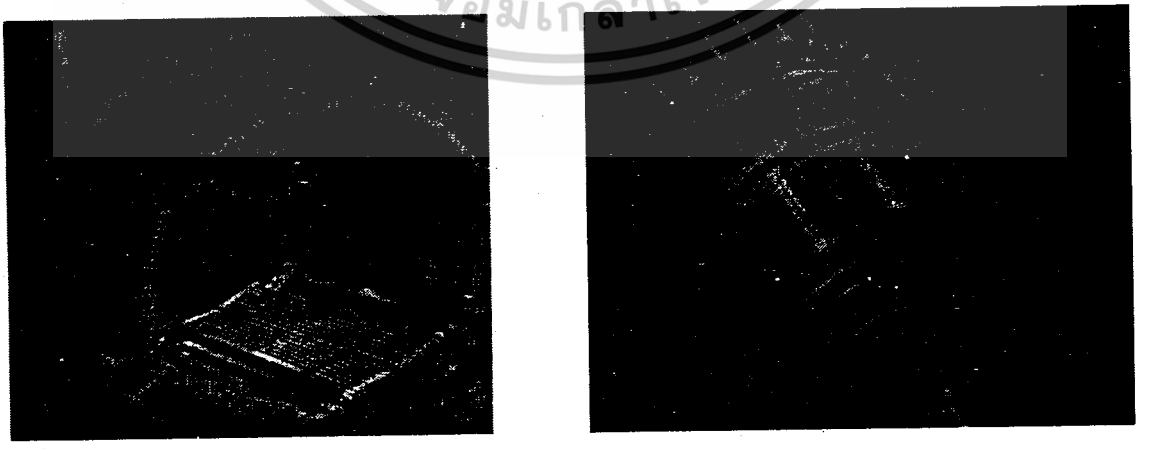


รูปที่ 2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม

ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรจะคงที่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากขดลวดสนาม (Filed Winding) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่กระแสสนาม (Filed Current) จะเป็นตัวควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้ากำหนดให้สเตเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไม่เกิดการอิ่มตัวจะได้

$$\phi_f = \kappa_f I_f$$

โดยที่ ϕ_f หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็ก

κ_f หมายถึง ค่าคงที่เส้นแรงแม่เหล็ก

I_f หมายถึง กระแสสนาม

สำหรับโรเตอร์ จะมีขดลวดพันรอบตัวโรเตอร์ดังกล่าวซึ่งจะเรียกขดลวดดังกล่าวว่า ขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านทางขดลวดอาร์เมเจอร์ ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าจะกลายเป็นสเตเตอร์แทนและด้วยความแตกต่างดังกล่าว เป็นผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถใช้กับงานที่ต้องการกำลังสูงๆ ได้ แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดจากความสัมพันธ์ คือ

$$T_{em} = \kappa_t . \phi_f . i_a$$

โดยที่

T_{em} หมายถึง แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

κ_t หมายถึง ค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ϕ_f หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็ก

i_a หมายถึง กระแสอาร์เมเจอร์

ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back-emf) ในส่วนของอาร์เมเจอร์จะเกิดจากการหมุนตัวนำของอาร์เมเจอร์ด้วยความเร็ว ω_m ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กดังสมการ

$$e_a = \kappa_e . \phi_f . \omega_m$$

โดยที่

e_a หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ

κ_e หมายถึง ค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ϕ_f หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็ก

ω_m หมายถึง ความเร็วตัวนำของอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติจะมีการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าป้อนที่ขั้วของอาร์เมเจอร์ โดยค่ากระแสอาร์เมเจอร์สามารถหาได้จากค่าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ และค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังสมการ และรูปที่ 2.11

$$v_t = e_a + R_a.i_a + L_a\,(di_a/dt)$$

โดยที่

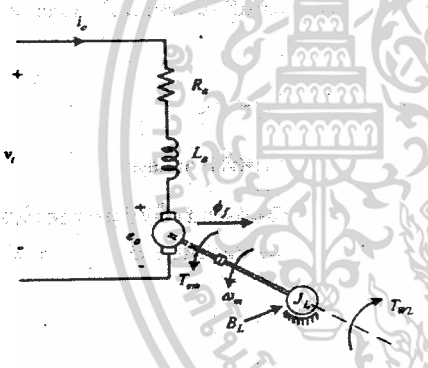
v_t หมายถึง แรงดันไฟฟ้าป้อนที่ขั้วของอาร์เมเจอร์

e_a หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ

R_a หมายถึง ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

i_a หมายถึง กระแสอาร์เมเจอร์

L_a หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์ กับแรงบิดที่โหลดต้องการจะเท่ากับ

$$T_{Em} = J\,(d\omega_m/dt) + B.\,\omega_m + T_{WL}\,(t)$$

โดยที่

T_{cm} หมายถึง แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

J หมายถึง ผลรวมวงจรสมมูลของแรงเฉื่อย (Total Equivalent Inertia) ของโหลด

B หมายถึง ผลรวมวงจรสมมูลของการแกว่ง (Total Equivalent Damping) ของโหลด

T_{WL} หมายถึง วงจรสมมูลของแรงบิดที่โหลดต้องการในการทำงาน

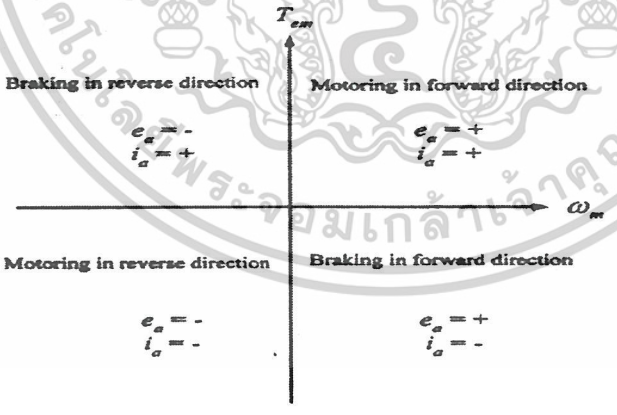
ω_m หมายถึง ความเร็วตัวนำของอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถทำงานเป็นมอเตอร์หรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงก็ได้ แต่โดยทั่วไปไม่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่อย่างไรก็ดีในขณะที่ทำการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะเกิดสภาวะเสมือนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในขณะที่ความเร็วเริ่มลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณากรณีที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขณะเบรก โดยกำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่และมอเตอร์กำลังขับโหลดที่ความเร็วเท่ากับ ω_m และเพื่อที่จะลดความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าลงโดยทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า v_t มีค่าต่ำกว่าค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a ดังรูปที่ จะเป็นผลทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ i_a ไหลกลับทิศทาง ค่าแรงบิด T_{em} ก็กลับทิศทางเช่นกัน นอกจากนั้นพลังงานจลน์ที่เกิดากแรงเฉื่อยของโหลดก็จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวหมายถึงมอเตอร์ไฟฟ้าได้ทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานจะถูกส่งผ่านไปยังแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า v_t หรือกระจายให้อยู่ในรูปความร้อนด้วยการใช้ตัวต้านทาน

ขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำการเบรก ขั้วของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a จะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะทิศทางในการหมุนยังคงไม่เปลี่ยนแปลงและเมื่อความเร็วของโรเตอร์ลดลง เป็นผลทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a มีค่าลดลง (สมมุติให้เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_f มีค่าคงที่) จนกระทั่งโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหยุดหมุนและขั้วของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ก็จะมีผลทำให้ทิศทางการหมุนของตัวโรเตอร์เปลี่ยนแปลงเช่นกันดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถทำงานได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และเมื่อทำการเบรก แรงบิดของตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถกลับทิศทางได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบสำหรับย่านการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

61813
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

ถ้าพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์เมเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบที่ไม่มีแปรงถ่างซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดที่มีแปลงถ่าน ยกเว้นวิธีการคอมมิวเตชั่น (Commutation) กระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีการเชิงกล

2.2.3 พื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบคอนโทรลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยบล็อกที่สำคัญ 4 บล็อก คือ

1. ตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนประกอบของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณคอนโทรลไปบังคับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโหลดคอนโทรลเลอร์ที่ให้สัญญาณคอนโทรลเป็นสัญญาณอนาลอก เราเรียกว่า อนาลอกคอนโทรลเลอร์ ส่วนคอนโทรลเลอร์ที่ให้สัญญาณคอนโทรลเป็นสัญญาณดิจิตอล เราเรียกว่า ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์

2. วงจรไดรเวอร์หรือพาวเวอร์แอมปลิไฟเออร์ เป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่างตัวคอนโทรล เลอร์กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโหลดมีหน้าที่ปรับรูปแบบและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโหลด วงจรไดรเวอร์ส่วนใหญ่ ได้แก่ พาวเวอร์แอมปลิไฟเออร์ซึ่งอาจแบ่งย่อยออกเป็นลิเนียร์พาวเวอร์แอมปลิไฟเออร์และพัลซ์วิดโมดูเลชั่นแอมปลิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์หรือเอนโค้ดเดอร์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ตัวรับรู้หรือดีเทคสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการโดยไม่มีผลของการโหลดดิ้ง (Loading) สัญญาณที่ดีเทคได้นี้จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงทำให้ได้สัญญาณเออร์เรอร์ ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

- *อนาลอกทรานสดิวเซอร์* คือ สิ่งประดิษฐ์เปลี่ยนพลังงานรูปแบบหนึ่งให้เป็นสัญญาณอนาลอก ได้แก่ พวกทาโคเจนเนอเรเตอร์ โพเทนทิโอมิเตอร์และซิงโคร เป็นต้น
- *ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์* เป็นสิ่งประดิษฐ์เปลี่ยนพลังงานรูปแบบหนึ่งให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ได้แก่ พวกอินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์รีโซลเวอร์ แมกนิติคพิคอัพ เป็นต้น

4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโหลด คือ ระบบที่ถูกคอนโทรลหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง) หรืออะไรก็ตามที่ให้ตัวแปร มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในที่นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรที่มีคุณสมบัติการทำงานสูง มีอาร์เมเจอร์อินดัคแต้นซ์และแรงเฉื่อยของโรเตอร์ต่ำ

2.2.4 ลักษณะการควบคุมของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ระบบการคอนโทรลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจำแนกลักษณะการคอนโทรลออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบอนาลอกคอนโทรล และ ระบบดิจิตอลคอนโทรล ในโครงงานนี้ใช้ลักษณะการควบคุมแบบดิจิตอล จึงขออธิบายแต่ระบบดิจิตอลคอนโทรล

ระบบดิจิตอลคอนโทรล คือ ระบบที่คอนโทรลลูฟฟีดแบ็คทรานดิวเซอร์เป็นดิจิตอลทรานดิวเซอร์ซึ่งสามารถวัดค่าไดนามิกวาริเอเบิ้ลออกเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือในรูปของสัญญาณเอนโค้ดดิ้งของไบนารี่ คือ สัญญาณเอาท์พุตของดิจิตอลทรานดิวเซอร์จะเป็นโค้ดไบนารี่ป้อนกลับไปยังตัวดิจิตอลคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมให้คุณสมบัติการทำงานของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ

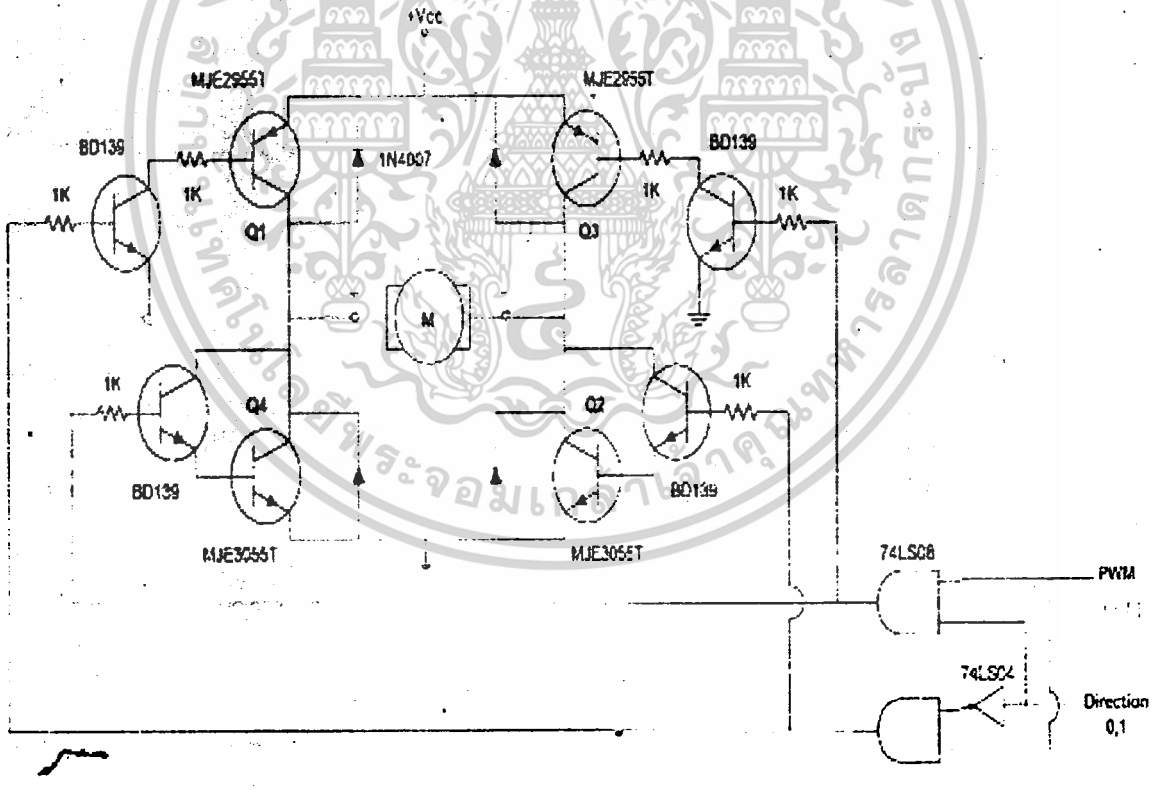
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมของระบบดิจิตอลดีซีมอเตอร์คอนโทรล มีดังนี้

- เครื่องจักร NC
- หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม
- อินครีเม้นท์เทปเร็คคอร์ทเดอร์
- เครื่องอ่านและปรุเทป
- เครื่องอ่านและปรุการ์ด
- ระบบขับเคลื่อนเทปในเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง วงจรขับมอเตอร์และควบคุมทิศทางมอเตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มเฟสเดียว (Single Phase Full-Bridge Inverters) ประกอบด้วย ทรานดิวเซอร์ MJE2955T 2 ตัว เมื่อทรานซิสเตอร์ Q1, Q2 ON ในเวลาเดียวกันด้วยสัญญาณพัลส์และทิศทางจะทำให้เกิดแรงดันอินพุท Vcc ตกคร่อมมอเตอร์ ถ้าทรานซิสเตอร์ Q3, Q4 On ในเวลาเดียวกันแรงดันจะตกคร่อมมอเตอร์จะกลับขั้วเป็น –Vcc ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศตรงกันข้ามกับในกรณีที่ทรานซิสเตอร์ Q1, Q2 ON

สัญญาณควบคุมทิศทางจากคอมพิวเตอร์ จะส่งผ่านมายังแอนด์เกท 74LS08 ทำให้เกิดเป็นสัญญาณควบคุมการสวิทส์โดยการ ON Q1. Q2 ในเวลาเดียวกันหรือ ON Q3, Q4 ในเวลาเดียวกัน โดยส่งลอจิก 0 ออกมาจะทำให้ Q1, Q2 ON ในเวลาเดียวกัน ถ้าส่งลอจิก 1 ออกมาจะทำให้ Q3, Q4 ON ในเวลาเดียวกัน ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางกันส่วนไดโอดป้อนกลับ 1N4007 นั้น (Feedback Diode) ต่อเพื่อลดการกระชากของกระแส ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ สำหรับความเร็วในการหมุนมอเตอร์จะควบคุมโดยสัญญาณพัลส์ PWM ที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ ถ้าพัลส์มีช่วง ON มาก (Duty Cycle มาก) มอเตอร์จะหมุนเร็ว ถ้าพัลส์มีช่วง ON น้อย (Duty Cycle น้อย) มอเตอร์จะหมุนช้าลง

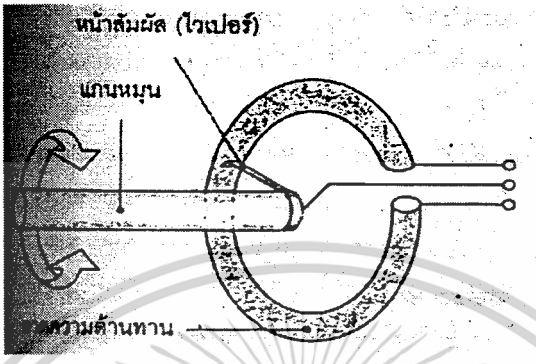


รูปที่ 2.13 วงจรขับมอเตอร์แบบบริดจ์เต็มเฟสเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

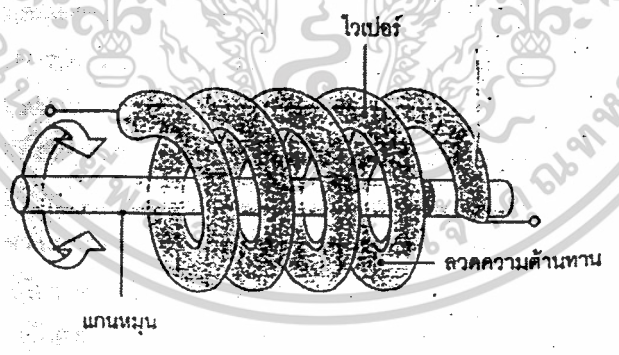
2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดระยะการขจัดและการเคลื่อนที่

2.3.1 โพเทนทิโอมิเตอร์แบบโรตารี่ (Rotary Potentiometer) คือ โพเทนทิโอมิเตอร์แบบที่นำมาใช้วัดระยะขจัดเชิงมุมซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โพเทนทิโอมิเตอร์แบบโรตารี่

โดยโพเทนทิโอมิเตอร์แบบนี้จะมีลวดความต้านทานขึนรูปเป็นวงกลมหนึ่งรอบ และมีหน้าสัมผัส หรือไวเปอร์เลื่อนไปโดยแกนหมุนตามส่วนของลวดความต้านทาน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดระยะขจัดเชิงมุม ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต ของวงจรที่ได้จึงแปรผันตรงกับระยะขจัดเชิงมุม และทั่วไปก็จะแสดงผลโดยใช้โวลท์มิเตอร์ปรับแต่งให้อ่านค่าออกมาในหน่วยของระยะขจัดเชิงมุม แต่ด้วยโครงสร้างของโพเทนทิโอมิเตอร์ชนิดนี้ จึงทำให้การตรวจวัดระยะขจัดเชิงมุมสามารถทำได้ไม่เกินหนึ่งวงรอบ หรือ 2 piเรเดียน (360 องศา)



รูปที่ 2.15 เฮลิคอลโพเทนทิโอมิเตอร์

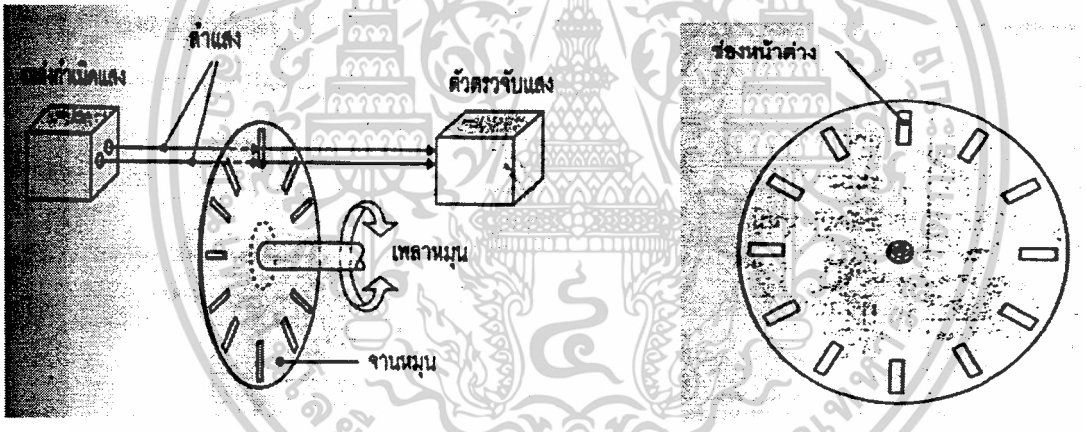
รูปที่2.15 แสดงโพเทนทิโอมิเตอร์แบบโรตารี่อีกชนิหนึ่งคือ เฮลิคอลโพเทนทิโอมิเตอร์ (Helical Potentiometer) ลักษณะเด่นของเฮลิคอลโพเทนทิโอมิเตอร์คือลวดความต้านทานมีการขึ้นรูปลักษณะขดเป็นวงก้นหอย และไวเปอร์สามารถเลื่อนไปตามแกนหมุนได้มากกว่าหนึ่งรอบทำให้สามารถตรวจวัดระยะขจัดเชิงมุมได้มากกว่าหนึ่งรอบเช่นกันโดยทั่วไปสามารถทำการวัดได้ถึง 30 รอบ โดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ (Optical Encoder) คือ เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดระยะขจัดที่ให้ระยะขจัดเชิงเส้นหรือระยะขจัดเชิงมุม มีค่าแปรผันไปตามการส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดของแสง (Source) จนถึงตัวตรวจจับแสง (Detector) โดยให้เอาต์พุตออกมาในรูปสัญญาณดิจิตอล และเนื่องจากสัญญาณออกที่ได้จากออปติคอลเอ็นโค้ดเดอร์นี้ เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตอล จึงทำให้เซนเซอร์แบบนี้มีประโยชน์ และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์และระบบดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มากมาย

ออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ สามารถแบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ

1) อินคริเมนทอลเอ็นโค้ดเดอร์ (Incremental Encoder) คือ ออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดของแกนหมุนที่เกิดขึ้น จากนั้นสัญญาณเอาต์ช่วงถัดไปจถูกตรวจวัดและทำการแปลงให้อยู่ในรูปของระยะขจัดเชิงมุมที่เกิดขึ้นของเพลาหมุน รูปทั่วไปของอินคริเมนทอลเอ็นโค้ดเดอร์แบบจานหมุนแสดงดังรูปที่ 2.16

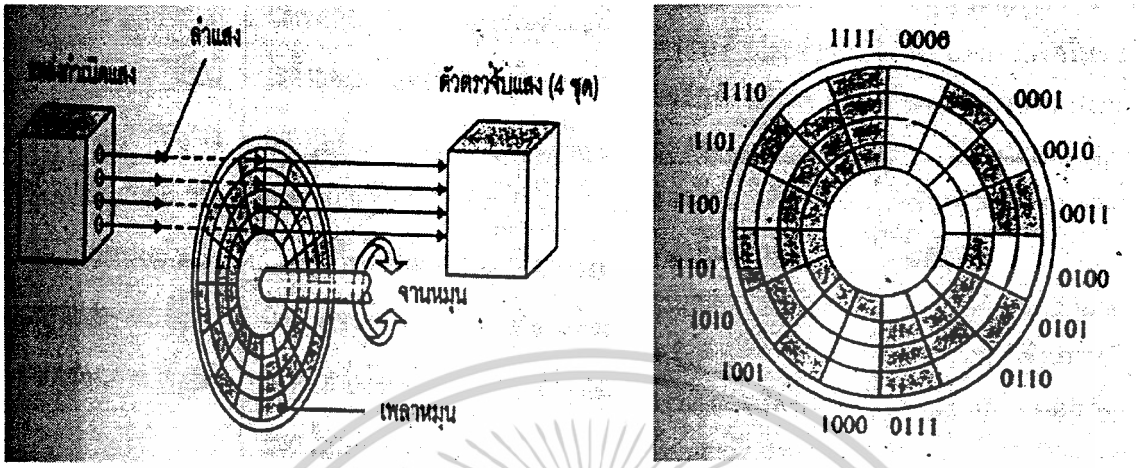


รูปที่ 2.16 อินคริเมนทอลเอ็นโค้ดเดอร์แบบจาน

ซึ่งประกอบด้วยแผ่นจานหมุนที่ยึดติดอยู่กับเพลาหมุนที่ต้องการจะตรวจวัดระยะขจัด โดยมีหลอด LED (Light Emitting Diode) สองหลอดทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง แผ่นจานหมุนจะถูกเจาะให้เป็นร่อง หรือในที่นี้เรียกว่า ช่องหน้าต่าง (Window) เพื่อทำให้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสามารถผ่านไปได้ และส่วนที่เหลือก็จะทึบแสง เพื่อกั้นไม่ให้แสงผ่านไปได้ ตัวตรวจจับแสงเป็นส่วนทำหน้าที่ตรวจจับลำแสงที่ผ่านมาจากช่องหน้าต่างเพื่อสร้างเป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรต่อไป

2) แอ็บโซลูตเอ็นโค้ดเดอร์ (Absolute Encoder) จะเป็นออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดเชิงมุมทั้งหมดของเพลาหมุนที่เกิดขึ้น โดยการเริ่มนับจากตำแหน่งศูนย์ ซึ่งมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

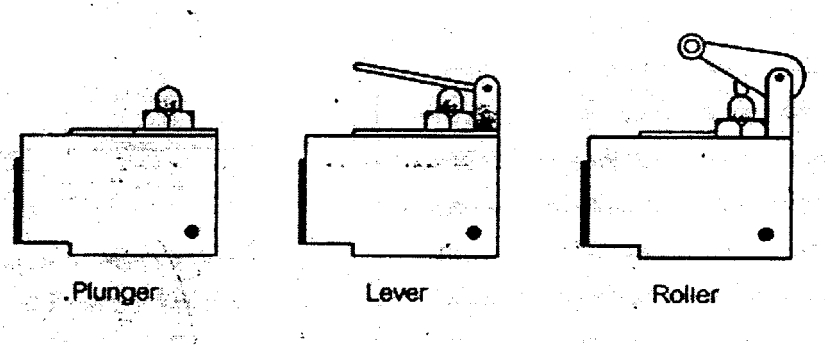


รูปที่ 2.17 แอบโซลูทเอ็นโค้ดเดอร์แบบจานหมุน

โดยมีหลอด LED จำนวน 4 หลอด ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงส่งผ่านลำแสงผ่านจานหมุนไปยังตัวตรวจจับแสงที่ติดตั้งทางด้านขวามือเอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคล้ายกับอินคริเมนทอลเอ็นโค้ดเดอร์ แต่ส่วนที่แตกต่างกันคือ แอ็บโซลูตเอ็นโค้ดเดอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของเลขฐานสอง หรือ ไบนารี่ (Binary Code) กล่าวคือหากลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมีตำแหน่งตรงกับช่องหน้าต่างและสามารถผ่านจานหมุนไปยังตัวตรวจจับแสงแล้ว ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวจับมีสภาวะเป็น "high" หรือมีลอจิกเท่ากับ "1" แต่ในทางกลับกัน หากลำแสงมีตำแหน่งตรงกับส่วนทึบแสงบนจานหมุน ซึ่งปิดกั้นแสงไม่ให้พุ่งไปยังตัวตรวจจับแสงทำให้สภาวะเช่นนี้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับแสงมีสภาวะเป็น "Low" หรือมีสภาวะเป็น "0" ดังนั้นเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่มนรูปเลขฐานสอง ช่องหน้าต่างบนแผ่นจานหมุนจึงต้องเจาะให้เป็นไปตามลำดับของเลขฐานสอง จาก 0 ถึง 2n โดยที่ n คือ จำนวนช่องแทรค (track) บนจานหมุน จากคุณสมบัติของออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ทำให้การประยุกต์ส่วนใหญ่ ถูกใช้ไปในลักษณะของการควบคุมเชิงเลข (numerical control) เช่น ระบบควบคุมเครื่องจักรกลเชิงเลข,ระบบควบคุมเครื่องกัด-เครื่องไสด้วยคอมพิวเตอร์ รวมไปถึง ระบบการควบคุมตำแหน่ง และระบบโรโบติก (Robotic)

2.3.3 ไมโครสวิตซ์ (Microswitch) คือ สวิตซ์ขนาดเล็ก การทำงานอาศัยการเคลื่อนที่ขนาดเล็กมากๆ ของหน้าสัมผัสทำให้สวิตซ์ประเภทนี้มีความไวในการทำงานมาก และเหมาะกับงานที่มีการสัมผัสงานโดยตรง รูปแบบต่างๆของไมโครสวิตซ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.18

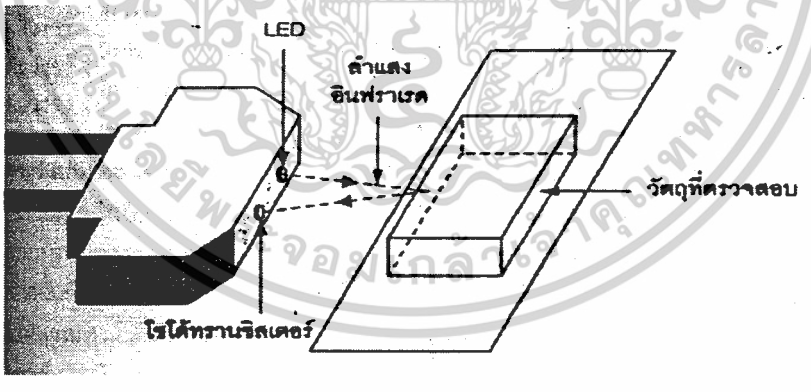
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ไมโครสวิตซ์

ซึ่งมีรูปแบบของหน้าสัมผัสแตกต่างกันไปตามลักษณะของการนำไปประยุกต์ใช้งาน ปกติหน้าสัมผัสของไมโครสวิตซ์เป็นไปทั้งหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally close) หรือแบบปกติเปิด (normally open) ขึ้นกับจุดประสงค์ของการใช้งานว่าต้องการให้สวิตซ์ทำหน้าที่ในการตัดหรือต่อวงจรทำงาน เช่น สวิตซ์หยุดการทำงานของเครื่องจักร หรือ แจ้งเตือนด้วยเสียง ทดสอบขนาด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามคุณสมบัติข้อกำหนดหรือไม่

2.3.4 ออพติคัลเซนเซอร์ (Optical sensor) เป็นเซนเซอร์ทำงานด้วยหลักการของแสง มีส่วนประกอบหลักสำคัญ คือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) และตัวตรวจจับแสง (light detector) หลักการพื้นฐานแสดง ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ออพติคัลเซนเซอร์

ในทีนี้ LED ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (phototransistor) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำงานเปลี่ยนแปลงตามแสงที่ตกกระทบตัวมัน ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแสง ลำแสงที่ใช้เป็นตัวกลาง นิยมใช้ลำแสงสีแดง(visible red light) หรือแสงอินฟราเรด(infrared light) โดยแหล่งกำเนิดสีแดงจะทำการติดตั้งและบำรุงรักษาง่ายในขณะที่แสงอินฟาเรดมีผลการรบกวนสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นน้อยกว่า

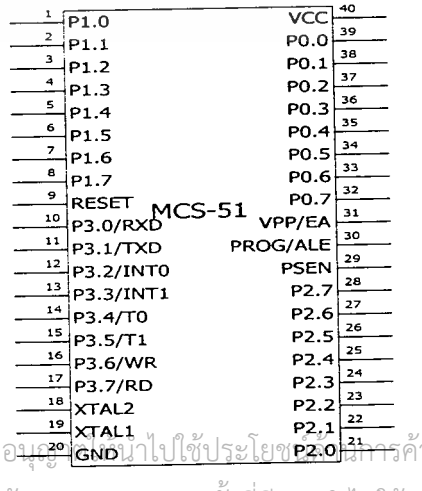
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็นแบบแฟลช สามารถลบเขียนใหม่ได้ถึงหมื่นครั้ง มีความจุสูงถึง 64 Kbytes สามารถเขียนหรือโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่หรือที่เรียกว่า การโปรแกรม ในวงจร หรือในระบบ (ISP: In-system programming) ทำให้การพัฒนาหรือปรับปรุงแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวก มากขึ้น
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว ทำให้ไม่ต้องใช้หน่วยความจำจากภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
- ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต เป็นแบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมฟูลดูเพล็กซ์ สามารถรับและส่งข้อมูลไปพร้อมๆกันได้
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, 1 และ 2)
- มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท
- กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ
- สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 Kbytes
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์

3.2 ตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 3.1 แสดงขาไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vcc ขา 40 ใช้สำหรับไฟเลี้ยง +5V

GND ขา 20 เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

พอร์ต 0 (P0.0-0.7) ขา 39-32 มีทั้งหมด 8 บิต แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งทำงานเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนค่าข้อมูล"1" ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขานั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและข้อมูล

พอร์ต 1 (P1.0-1.7) ขา1-8 ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต สำหรับการใช้งานทั่วไป และเป็นขาสัญญาณของไทเมอร์ 2 และขาสัญญาณของโมดูล PCA

พอร์ต 2 (P2.0-2.7) ขา 21-28 ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต สำหรับการใช้งานทั่วไป และใช้ต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) เมื่อติดต่อด้วย

พอร์ต 3 (P3.0-3.7) ขา 10-17 ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต สำหรับการใช้งานทั่วไป และใช้งานเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

RxD (P3.0: ขา10) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

TxD (P3.1: ขา11) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

INT0 (P3.2: ขา12) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0

INT1 (P3.3: ขา13) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1

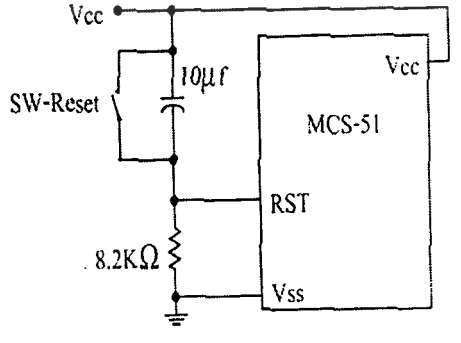
T0 (P3.4: ขา14) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0

T1 (P3.5: ขา15) ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1

WR (P3.6: ขา16) ใช้เป็นขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำภายนอก

RD (P3.7: ขา17) ใช้เป็นขาสัญญาณ ควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก

RST (reset) ขา 9 ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการป้อนสัญญาณลอจิก "1" อย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.2 วงจรรีเซตการทำงานของ MCS-51

การรีเซต (Reset) ใช้เพื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบโดยจะทำให้โปรแกรมเคาน์เตอร์เป็น 0000H เงื่อนไขการรีเซตคือต้องให้ลอจิก "1" ที่ขา 9 (RST) เป็นอย่างน้อยเป็นเวลา2รอบแมชชีนไซเคิล โดยใช้วงจร RC time constant เวลาของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการรีเซต ขึ้นอยู่กับ R และ C ที่ใช้ โดยทั่วไป R ประมาน 1K-10K C ประมาณ 1uF-10uF ดังรูป 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALE (Address Latch Enable) ขา 30 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการแลตซ์ สัญญาณที่ออกมาจากพอร์ต 0 ในกรณีที่ใช้เป็นแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยจะแอกทีฟ 2 ครั้งในทุกๆแมชชีนไซเคิล *ในที่นี้ไม่ใช้*

PSEN (Program Store Enable) ขา 29 ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งทุกๆแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าติดต่อ กับหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ขา 31 ใช้ในการเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

"0" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

"1" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

นอกจากนี้ยังใช้เป็นขาอินพุตรับแรงดัน +5V สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายใน *ในที่นี้ใช้ต่อกับแรงดัน +5V*

XTAL1 ขา 19 เป็นอินพุตรับสัญญาณจากคริสตอลภายนอกเข้าสู่วงจรออสซิสเลเตอร์ภายใน

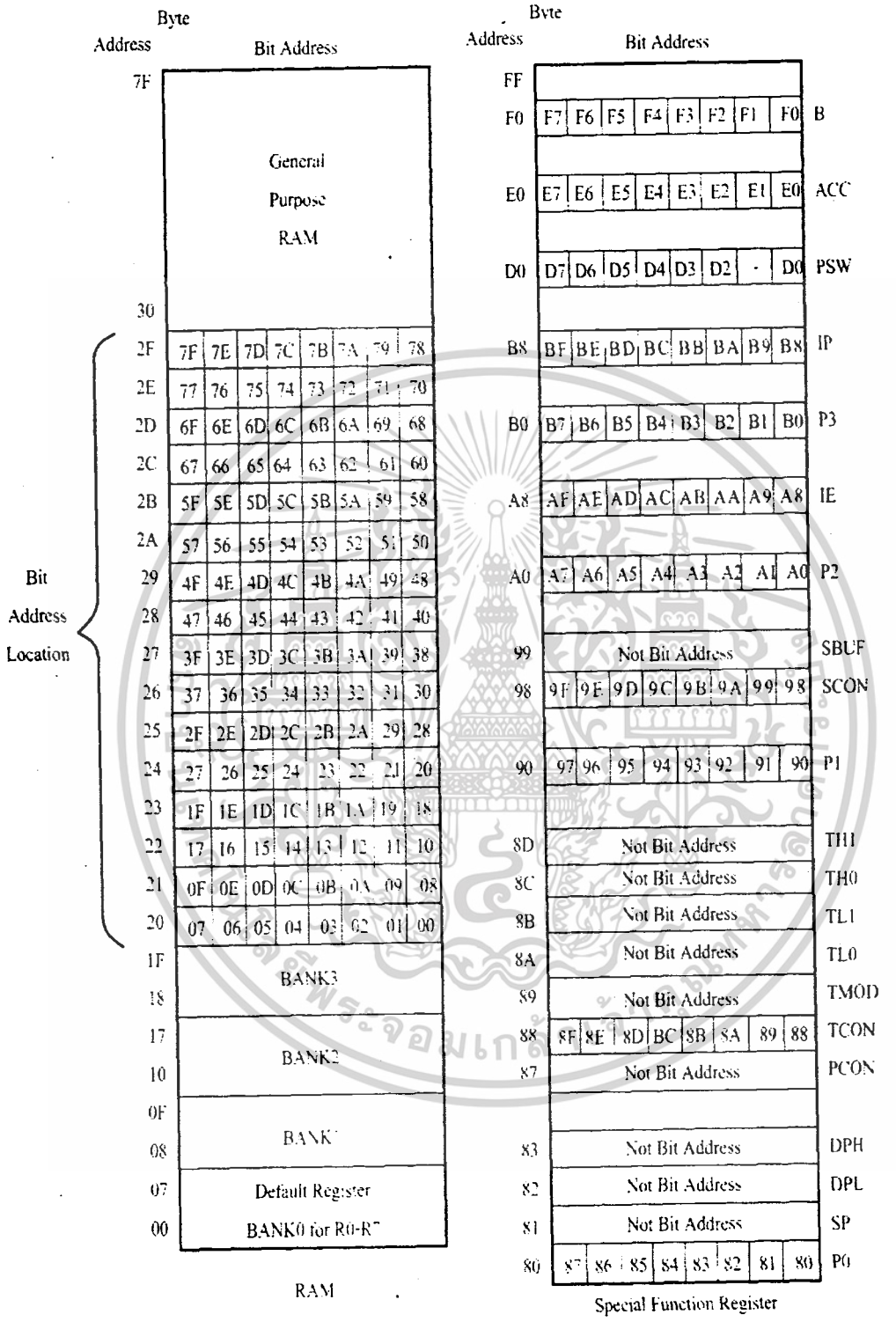
XTAL2 ขา 18 เป็นเอาต์พุตสัญญาณวงจรออสซิสเลเตอร์ภายใน โดยปกติ ขานี้และขา XTAL 1 ต่อเข้ากับคริสตอลและตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ *ในที่นี้ใช้ค่า X-TAL 11.0592 MHz และ C 20 pF*

3.3 หน่วยความจำ MCS-51

3.3.1 หน่วยความจำเก็บโปรแกรม (Program memory) MCS-51 สามารถมีได้สูงสุด 64 Kbytes ซึ่งอาจอยู่ภายนอกทั้งหมด 64 Kbytes หรือ ภายในรวมกับภายนอก 64 Kbytes *ในที่นี้ 89V51RD2* ใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในทั้งหมด 64 Kbytes เลย โดยปกติหน่วยความจำโปรแกรมเริ่มต้นที่ 0000H อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอกจะต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเพื่อใช้ในการอินเตอร์รัปต์บางประเภท

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2	กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งหน่วยความจำของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory) แบ่งหน่วยความจำข้อมูลภายในและภายนอก ซึ่งหน่วยความจำข้อมูลภายนอกสามารถติดต่อได้ถึง 64 Kbytes ส่วนหน่วยความจำภายในโดยทั่วไปมี 256 Bytes แบ่งเป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป 128 bytes และส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานในหน้าที่พิเศษ (SFR:special function register) 128 bytes

1) *หน่วยความจำแรมภายใน* มีค่าตำแหน่ง 00H ถึง FFH รวมเป็น 128 bytes ซึ่งเป็นพื้นฐานที่ทุกเบอร์ในตระกูล MCS-51 มีเหมือนกันแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามรูปที่ 3.3

1. รีจิสเตอร์แบงค์ มีจำนวน 32 bytes ตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแยกออกเป็น 4 Bank Bankละ 8 bytes การใช้งานในส่วนนี้ จะเลือกค่าแบงค์ที่ใช้ที่รีจิสเตอร์ PSW โดยจะเลือกใช้ได้แบงค์เดียวเท่านั้น

2. หน่วยความจำที่อ้างอิงตำแหน่งแบบบิต มีจำนวน 16 bytes ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H-2FH สามารถอ้างข้อมูลได้ทั้งแบบไบต์และแบบบิต

3. หน่วยความจำแรมที่ใช้งานทั่วไป มีจำนวน 80 ไบต์ ส่วนที่นอกเหนือตั้งแต่ตำแหน่ง 30H-7FH ซึ่งต้องอ้างอิงแบบไบต์เท่านั้น

2) *รีจิสเตอร์ใช้งานในหน้าที่พิเศษ* (Special Function Register: SFR)

1. รีจิสเตอร์ P1-P3 จะเป็นรีจิสเตอร์ที่เชื่อมต่อกับพอร์ต P1-P3 ถ้ารีจิสเตอร์นี้มีค่าใดพอร์ตก็จะมีค่านั้น อ้างอิงได้ทั้งแบบบิตและแบบไบต์

2. รีจิสเตอร์ ACC เป็นรีจิสเตอรที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ลอจิก และใช้ในการโอนถ่ายข้อมูลต่างๆ สามารถอ้างอิงแบบบิตและไบต์ได้

3. รีจิสเตอร์ B เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปและเป็นรีจิสเตอร์ที่ทำการคูณ หารร่วมกับรีจิสเตอร์ A

4. รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word) เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงสถานะของรีจิสเตอร์ A ว่าเป็นอย่างไร แบ่งเป็น

CY (Carry Flag) จะถูกเซตเป็น "1" เมื่อมีการบวกรีจิสเตอร์ A กับค่าใดค่าหนึ่งแล้วเกินค่า FFH

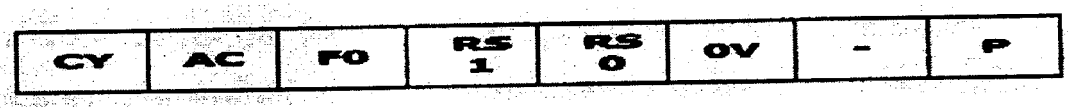
AC (Auxiliary Carry Flag) จะเซตเมื่อมีการทดเลขจากบิตที่ 3ไปยังบิตที่ 4 ของรีจิสเตอร์ A ในการบวกเลขแบบ BCD

RS1, RS0 ทำหน้าที่เลือกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 จะให้ใช้แบงค์ตัวใด 00,01,10,11 เป็นแบงค์ 0, 1, 2 และ 3

OV (Over Flow Flag) ใช้ตรวจสอบความถูกตองของผลลัพธ์ ภายหลังการบวกหรือลบเลขแบบคิดเครื่องหมาย เป็นตัวบอกให้ทราบว่าผลลัพธ์ที่ได้ผิดไปจากตัวเลขฐาน 2 ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P (Parity Bit) บิตนี้จะเป็น "1" เมื่อจำนวนบิตที่เป็นหนึ่งในรีจิสเตอร์ A มีค่าเป็นคี่ (Odd parity) และจะเป็น "0" เมื่อจำนวนบิตหนึ่งในรีจิสเตอร์ A เป็นคู่ (Even Parity)



รูปที่ 3.4 บิทต่างๆของรีจิสเตอร์ A

5. รีจิสเตอร์ DPTR (Data Pointer) มีขนาด 16 บิต เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ชี้ address ของหน่วยความจำภายนอก ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ DPH, DPL ขนาด 8 บิต โดย DPH เป็นรีจิสเตอร์ไบต์สูงอยู่ที่ตำแหน่ง 83H และ DPL เป็นรีจิสเตอร์ไบต์ต่ำอยู่ตำแหน่ง 82H

6. รีจิสเตอร์ SP (Stack Pointer) เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน เมื่อมีการกระโดดไปทำโปรแกรมย่อย

7. รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer: SBUF) ใช้เก็บค่าข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้ามาจากการสื่อสารแบบอนุกรม

8. รีจิสเตอร์ไทเมอร์ (Timer register) ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (counter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา, จับเวลาหรือนับพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 Bit แบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์ต่ำ TL และรีจิสเตอร์ไบต์สูง TH

9.รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตรารับส่งข้อมูลของการสื่อสารแบบอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน

10.รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

11. รีจิสเตอร์ TCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

12.รีจิสเตอร์ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลักษณะการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

13.รีจิสเตอร์ IE เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเทอร์รัปต์โดยเป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลหรือใช้สำหรับการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเทอร์รัปต์

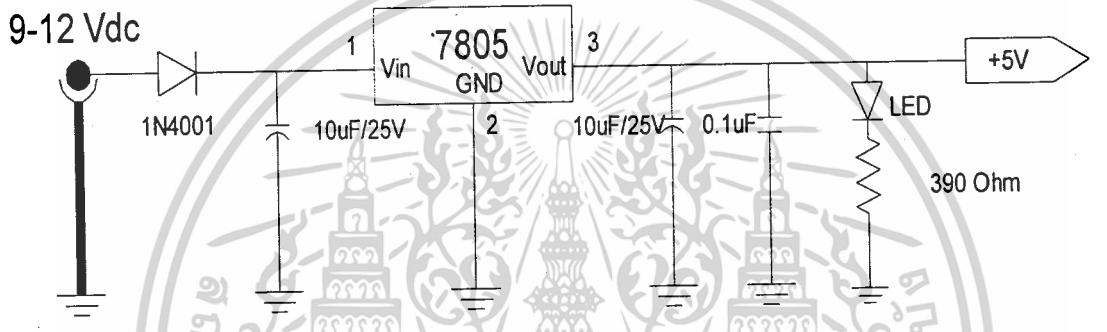
14. รีจิสเตอร์ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์เพื่อให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเทอร์รัปต์ใดก่อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

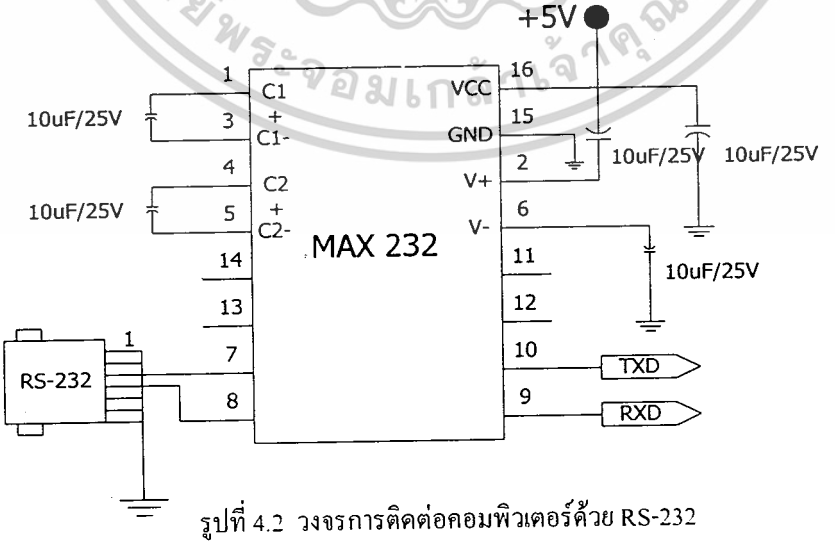
4.1 การต่อเชื่อมอุปกรณ์พื้นฐานภายนอกกับ MCS-51 89V51RD

4.1.1 แหล่งจ่ายไฟ ใช้ IC regulator 7805 ซึ่งให้แรงดันเอาต์พุต 5 Vdc ที่มาจากหม้อแปลง 9-12 Vdc



รูปที่ 4.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟให้ MCS-51

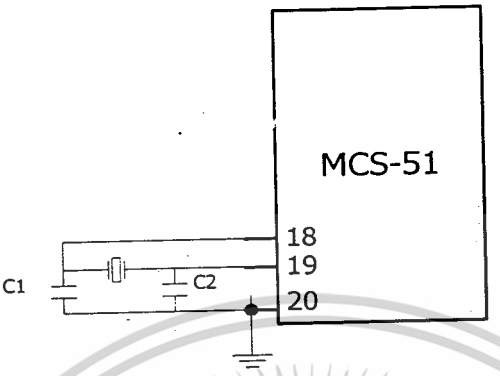
4.1.2 คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการดาวน์โหลดโปรแกรมและติดต่อรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ จะใช้การเชื่อมต่อแบบ RS-232 โดยใช้ IC MAX232 ต่อเข้ากับขา RxD และ TxD ของ MSC-51 โดยมีรูปแบบการต่อดังนี้



รูปที่ 4.2 วงจรการติดต่อคอมพิวเตอร์ด้วย RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สัญญาณนาฬิกา เป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของระบบ เนื่องจาก MCS-51 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่แล้ว (On-chip oscillator) จึงง่ายต่อการใช้งานเพียงต่อคริสตอลเข้าที่ขา18และ 19 ดังรูปที่ 4.3



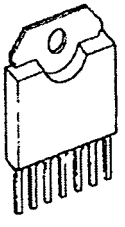
รูปที่ 4.3 วงจรสัญญาณนาฬิกาให้ MCS-51

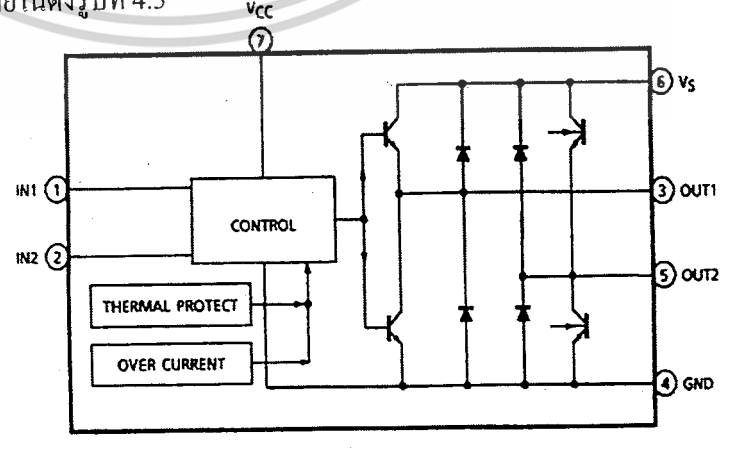
4.1.4. การเชื่อมต่อกับสวิตช์ต่างๆ การเช็คค่าการกดของ MCS-51 จะใช้วิธีทำให้บิตที่จะเช็คเป็น "1" ก่อนแล้วจึงเช็คการกดจากสภาวะ"0"

รูปที่ 4.4 การเชื่อมต่อกับสวิตช์

4.2 วงจรขับมอเตอร์

ใช้ IC สำเร็จรูป Full-Bridge Driver (H-Switch) เบอร์ TA7257P ของบริษัท TOSHIBA ซึ่งที่เลือกใช้เบอร์นี้เพราะว่าสั่งงานด้วย Logic "0" และ "1" (5VกับOV) ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสั่งงานให้มอเตอร์หมุนได้ 2 ทิศทางในการเชื่อมต่อสัญญาณเพียง 2 เส้นต่อมอเตอร์ 1 ตัว TA7257P มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 4.5


HSIP7-P-2.54



รูปที่ 4.5 ไอซีเบอร์ TA7257P

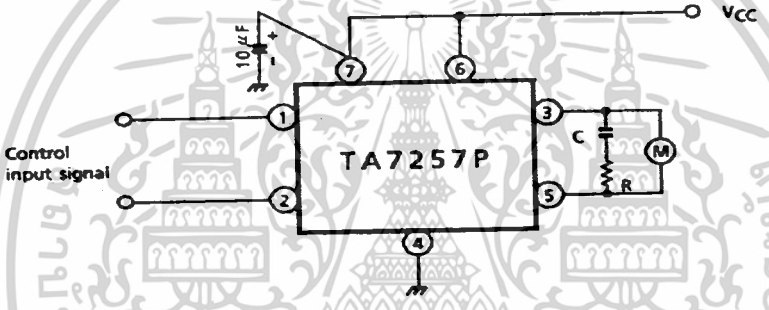
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่งงาน ทำได้โดยป้อน Logic จากขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าขา IN 1, 2 ซึ่ง TA7257P 1 ตัว จะใช้ 2 บิตในการสั่งงานมอเตอร์ 1 ตัว ทำงานได้ 4 โหมด ดังตาราง 4.1

IN1	IN2	Out1	Out2	Mode
1	1	L	L	Brake
0	1	L	H	CW/CCW
1	0	H	L	CCW /CW
0	0	High impedance		Stop

ตารางที่ 4.1 แสดงอินพุตและเอาท์พุตของไอซี TA7257P

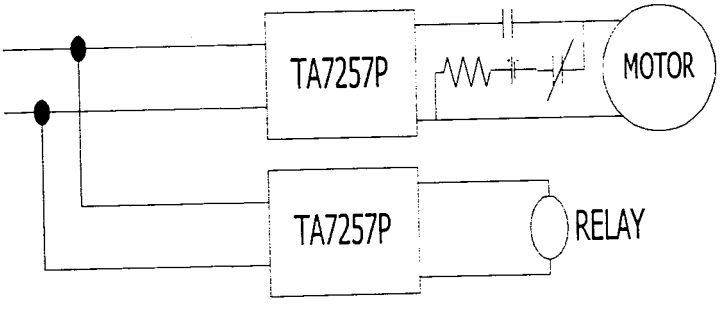
ส่วนการเชื่อมต่อต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การต่อใช้งานไอซีเบอร์ TA7257P

4.3 วงจรเบรค

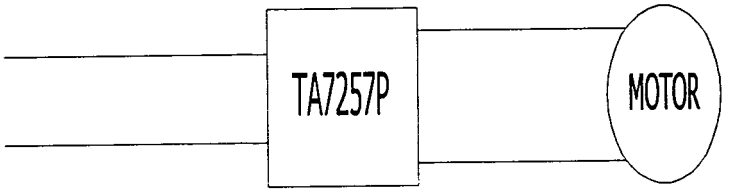
เมื่อมอเตอร์ (Motor 2, 3) หยุดไม่มีการสั่งงาน เนื่องจากระบบเมคคานิคที่ใช้ในการรักษาสถานะหยุดนิ่งของโครงสร้างแขนกลนี้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้แขนท่อน Upper arm และ Forearm จะไหลลงเองอันเนื่องจากน้ำหนักของแขนเองและน้ำหนักของชิ้นงานที่จับ จึงต้องออกแบบทางไฟฟ้าเพื่อชดเชยน้ำหนักเหล่านั้น โดยอาศัยการป้อนแรงดันเพื่อให้มอเตอร์หมุนทวนในด้านที่ทำให้แขนท่อนนั้นเคลื่อนที่ขึ้น แต่เนื่องจากการต่อต้องไปต่อร่วมกับ Output1, 2 ของ TA7257P ซึ่งจ่ายไฟ+12Vสลับกัน ทำให้มีปัญหาเรื่องกระแสไฟไหลผ่านแหล่งจ่ายแรงดันย้อนกลับ เกิดการช็อตกันของsupply จึงต้องมีการนำ Relay เข้าช่วยเพื่อให้



รูปที่ 4.7 วงจรการเบรคมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เมื่อมีการสั่งงานมอเตอร์ทำงาน → ไม่มีการจ่ายไฟย้อนให้มอเตอร์



รูปที่ 4.8 การทำงานของรีเลย์เมื่อมอเตอร์ทำงาน

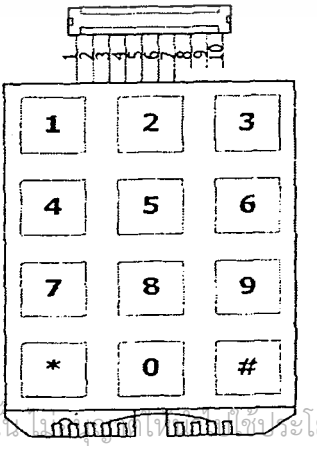
2) เมื่อหยุดสั่งงานมอเตอร์ (ปกติแขนท่อนนั้นจะไหลลงจากน้ำหนัก) → มีการจ่ายไฟย้อนให้มอเตอร์ (เพื่อชดเชยน้ำหนัก)

รูปที่ 4.9 การทำงานของรีเลย์เมื่อมอเตอร์ไม่ทำงาน

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันย้อนกลับพอเหมาะที่ทำให้แขนกลในสภาวะไม่มีโหลด (ไม่ได้จับหรือยกชิ้นงาน) คือ ประมาณ 2 V และในกรณีที่มีโหลด ค่าแรงดันย้อนกลับจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของโหลด

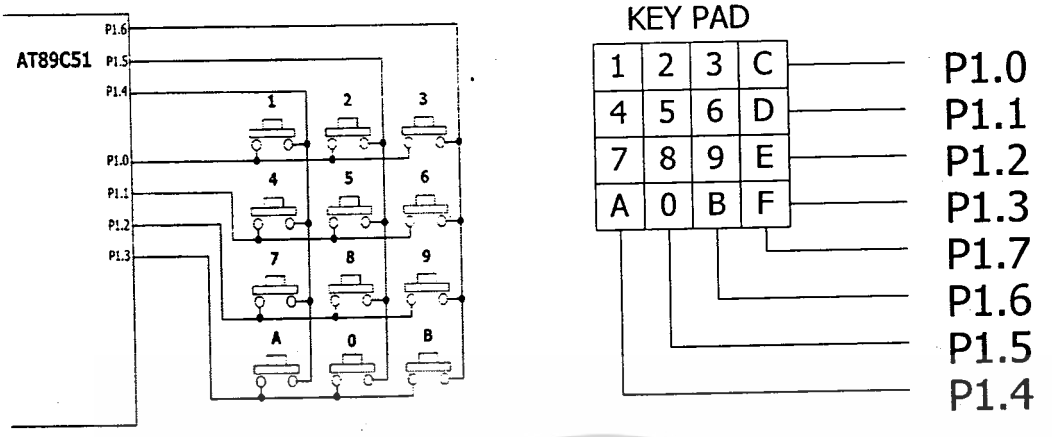
4.4 Key-Pad

เป็นเมตริกซ์สวิตซ์ขนาด 3*4 ทำให้ได้ 12 อินพุต โดยอาศัยการสแกนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 7 เส้น สามารถนำประยุกต์ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 6 ตัวให้เคลื่อนที่ ตามเข็มนาฬิกา และ ทวนเข็มนาฬิกาได้พอดี ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 คีย์เมตริกซ์สวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

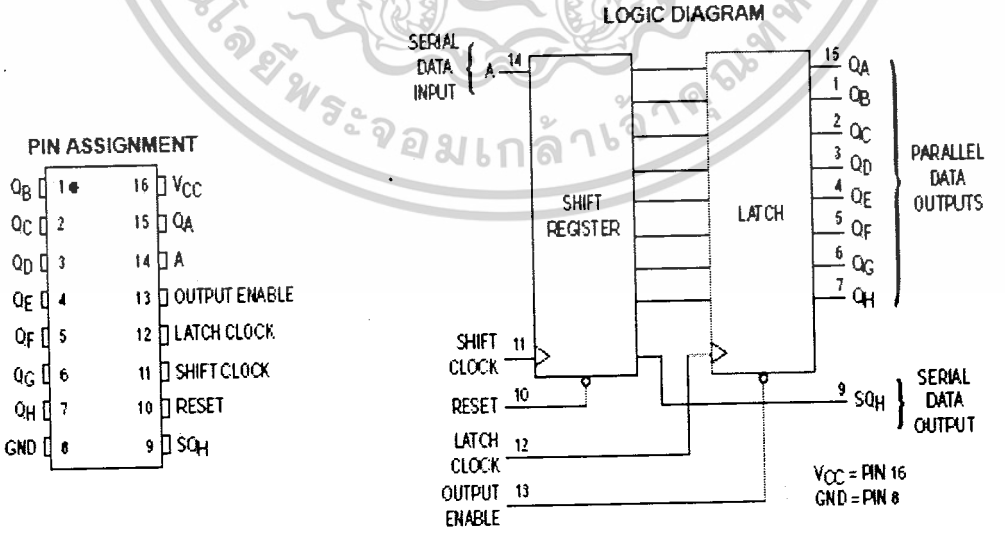


รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่อเมตริกซ์สวิตซ์กับ MSC-51

รูปที่ 4.11 (ขวา)มีการเพิ่มปุ่มการทำงานอีก 4 ปุ่มโดยอาศัยหลักการสแกน เพียงเพิ่มสายสัญญาณ 1 เส้น (P1.7) แต่ได้ปุ่มกดเพิ่มมาอีก 4 ปุ่ม

4.5 8-Bit Serial-Input/Serial or Parallel-Output Shift Register with Latched 3-State Outputs

74HC595 เป็นไอซีรับสัญญาณอินพุตแบบอนุกรม แต่สัญญาณเอาต์พุตออกเป็นแบบขนานหรืออนุกรมตามลักษณะที่นำไปใช้งานต่อ ในโปรเจคนี้ใช้ไอซีนี้ในการลดจำนวนพอร์ตที่ใช้ในการสั่งงานมอเตอร์ทั้ง 6 ตัวให้ลดจำนวนลง จากเดิมใช้ 12 สายสัญญาณในการสั่งงานให้เหลือสายสัญญาณสั่งงานเพียง 3 เส้น โดยมีรายละเอียดการใช้งานดังนี้



รูปที่ 4.12 ไอซี 74HC595

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 74HC595 ประกอบด้วยขาสัญญาณควบคุม 4 ขา

ขา A (Serial Data Input: *Si*) : เป็นขารับสัญญาณข้อมูล

ขา Shift Clock (*CLK*) : เป็นขารับสัญญาณนาฬิกา ที่จะถูกส่งเข้ามาพร้อมกับข้อมูลแต่ละบิท

ขา Latch Clock (*LT*) : เป็นขาควบคุมการนำข้อมูลเอาต์พุตจาก Shift Register เข้าไปยังวงจร Latch

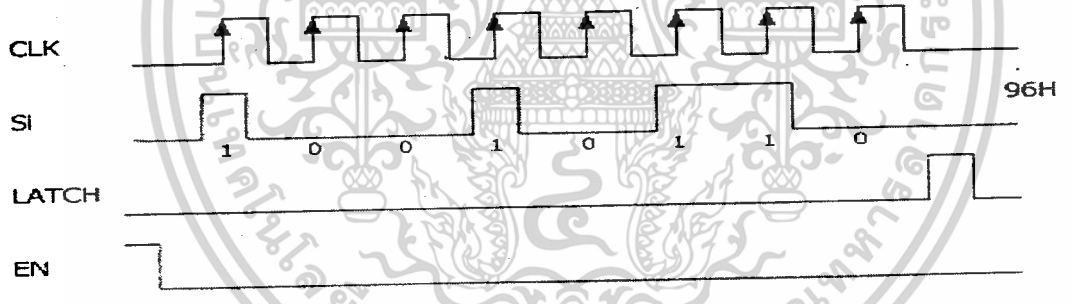
ขา Output Enable (*EN*) : เป็นขาควบคุมการนำข้อมูลเอาต์พุตจากวงจร Latch ไปยัง Output ของ 74HC595 (ต่อลงกราวด์

หลักการทำงาน

1) ทำการ Enable ป้อนลอจิก "0" เข้าที่ขา *EN*

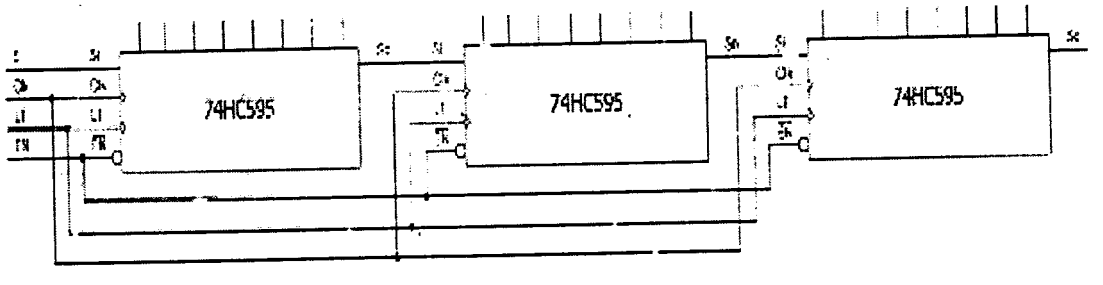
2) ส่งข้อมูลอินพุต (*Si*) จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าขา A ทีละบิทพร้อมทั้งสัญญาณนาฬิกา *CLK* จนครบจำนวนที่ต้องการ

3) ส่งสัญญาณนาฬิกา *LT* ออกไปก็จะได้เอาต์พุตออกมาที่ 74HC595 ตามไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การสั่งงานผ่านไอซี 74HC595

เนื่องจาก 74HC595 เป็น Shift Register จึงสามารถต่ออนุกรมกันไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 4.14



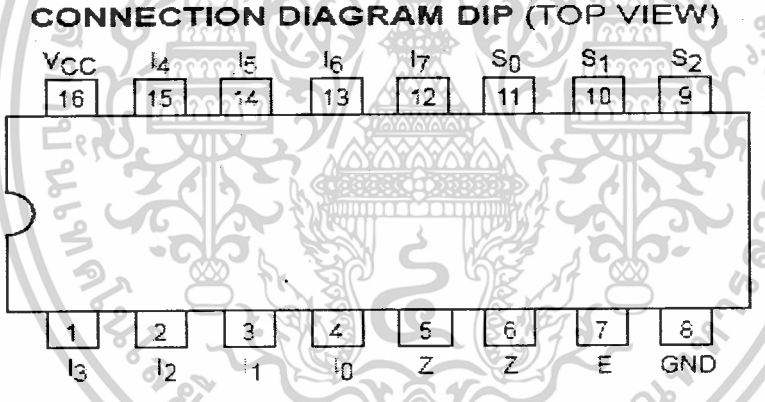
รูปที่ 4.14 การนำไอซี 74HC595 ต่ออนุกรมเพื่อส่งข้อมูลมากกว่า 8 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ขา *CLK, LT, EN* ของไอซีทุกตัวจะต่อพ่วงกันทุกตัว แต่ขาสัญญาณ *Si* จะไม่ต่อพ่วงกับไอซีตัวอื่น แต่จะต่อจากขา *SQH* ของตัวก่อนหน้า ทำให้สามารถส่งสัญญาณอนุกรมต่อไปได้เรื่อยๆ เช่น เมื่อต้องการส่งข้อมูล *Si* 24 บิทออกมาพร้อมกัน เริ่มแรกให้ส่งสัญญาณข้อมูลพร้อมทั้งสัญ ญาณนาฬิกา *CLK* ออกมาทีละบิทจนครบ 24 บิท แล้วจึงส่งสัญญาณ *Latch* เพื่อให้ข้อมูลทั้ง 24 บิท ออกจาก Register พร้อมกัน

4.6 DATA SELECTORS/MULTIPLEXERS

74LS151 เป็นไอซีที่ใช้สลับช่องสัญญาณอินพุต โดยในโปรเจคนี้นำมาสลับอินพุตจาก เอ็นโค้ดดอร์และลิมิตสวิตช์ เพื่อลดจำนวนพอร์ตที่ใช้งานลง จากเดิมเอ็นโค้ดเดอร์ 6 ตัวใช้สายสัญญาณอินพุต 6 เส้นให้เหลือใช้สายสัญญาณเพียง 4 เส้น แบ่งเป็น สายสัญญาณอินพุต 1 เส้นและสัญญาณเลือกเอ็นโค้ดเดอร์อีก 3 เส้น ส่วนลิมิตสวิตช์ก็เช่นเดียวกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.15 ไอซี 74LS151

จากรูปที่ 4.15 74LS151 ประกอบด้วยขาสัญญาณ

ขา	*I0 – I7*	:	เป็นขารับสัญญาณอินพุต
ขา	*S0 – S3*	:	เป็นขาเลือกช่องสัญญาณอินพุต
ขา	*Z*	:	เป็นขาเอาต์พุตที่ได้หลังการเลือกช่องสัญญาณ
ขา	*Z*	:	เป็นขาเอาต์พุตเหมือน *Z* แต่กลับลอจิกกัน

วิธีการเลือกช่องสัญญาณทำได้โดยการป้อนลอจิกเข้าขา *S0 – S3* จะได้ช่องสัญญาณ *I0 – I7* ดังตาราง 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRUTH TABLE

E	S_2	S_1	S_0	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	Z	Z
H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	L	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	L	H	X	L	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	H	X	H	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	L	X	X	L	X	X	X	X	X	H	L
L	L	H	L	X	X	H	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	H	X	X	X	L	X	X	X	X	H	L
L	L	H	H	X	X	X	H	X	X	X	X	L	H
L	H	L	L	X	X	X	X	L	X	X	X	H	L
L	H	L	L	X	X	X	X	H	X	X	X	L	H
L	H	L	H	X	X	X	X	X	L	X	X	H	L
L	H	L	H	X	X	X	X	X	H	X	X	L	H
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	L	X	H	L
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	H	X	L	H
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H	L
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	H	L	H

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอินพุตและเอาท์พุตของไอซี 74LS151

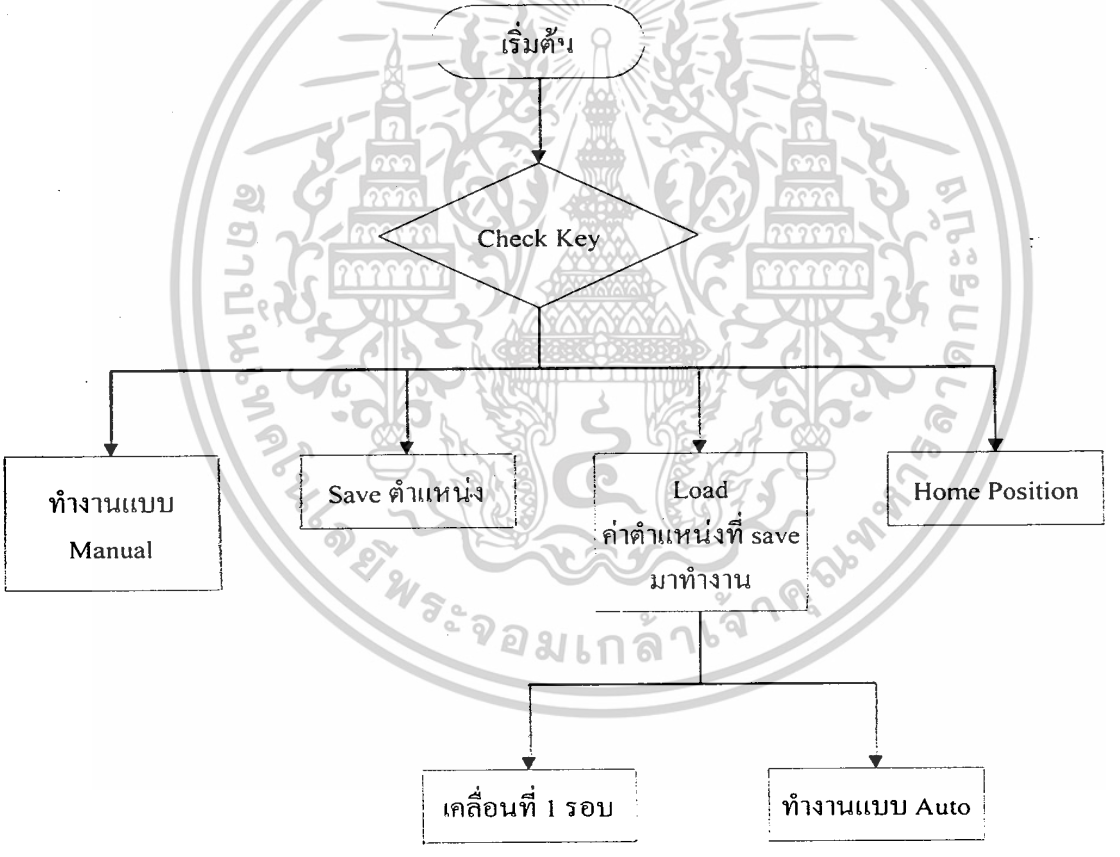
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงงานนี้เป็นการสร้างส่วนควบคุมให้กับแขนกล Scorbot ER V plus ซึ่งเป็นโครงสร้างแขนกลสำเร็จรูป โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รุ่น *P89V51RD2* เป็นส่วนประมวลผลและสั่งงานมอเตอร์บนแขนกล ให้สามารถทำงานตามที่ต้องการ ทั้งแบบสั่งงานโดยตรง และแบบทำงานแบบอัตโนมัติ

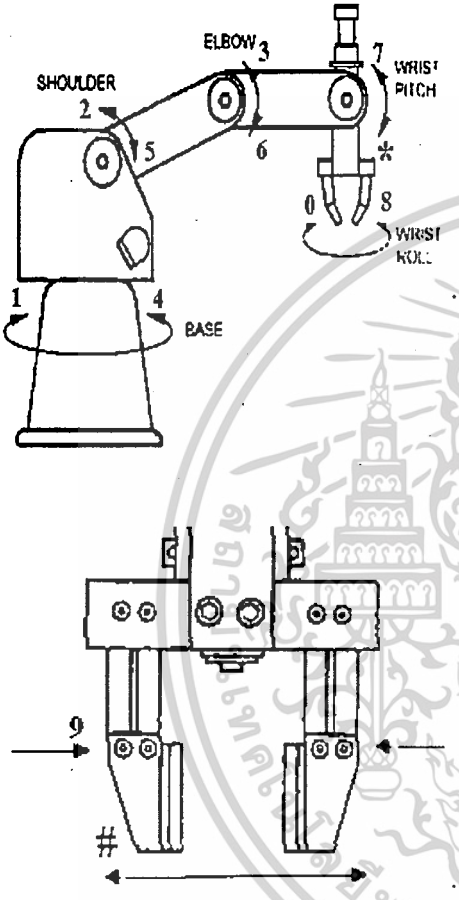


รูปที่ 5.1 Flow Chart แสดงการทำงานโดยรวม

จาก Flow Chart ดังรูปที่ 5.1 การทำงานข้างบน จะเห็นได้ว่า โหมดการทำงานแบ่งเป็น 4 โหมดการทำงาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Manual mode ซึ่งผู้ใช้สามารถบังคับให้แขนกลเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งทำงานต่างๆได้ ผ่านทาง Key pad โดยแต่ละปุ่มจะควบคุมการทำงานต่อ 1 ทิศทางของมอเตอร์แต่ละตัว มอเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว เป็น 12 ปุ่ม โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5.2 การทำงานแบบ Manual

Motor 1

กด "1" Body CW

กด "4" Body CCW

Motor 2

กด "2" Upper arm Up

กด "5" Upper arm Uown

Motor 3

กด "3" Fore arm Up

กด "6" Fore arm Down

Motor 4

กด "7" Gripper Up

กด "*" Gripper Down

Motor 5

กด "8" Gripper CW

กด "0" Gripper CCW

Motor 6

กด "9" Gripper จับชิ้นงาน

กด "#" Gripper ปล่อยชิ้นงาน

2. Save Mode เป็นการ save ค่าการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ไปยังตำแหน่งที่เราต้องการ โดยก่อนที่เราจะเข้าสู่โหมด save เราต้องสั่งงานให้มอเตอร์เคลื่อนที่แบบ manual ก่อนทาง Key pad แล้วจึงกด save เช่น กดปุ่ม 1 (มอเตอร์ 1 หมุนตามเข็ม ทำให้ส่วน body หมุนตามเข็มด้วย) ค้างไว้จนถึงตำแหน่งที่ต้องการ แล้วจึงปล่อยปุ่ม 1 แล้วจึงกด save ทำเช่นนี้กับการเคลื่อนที่ของตำแหน่งอื่นเรื่อยไปจนถึงตำแหน่งปลายสุดท้ายที่ต้องการ โดยตำแหน่งแรกในการ save ต้องเริ่มเคลื่อนที่จาก Home position ทุกครั้ง

หมายเหตุ โครงงานนี้สามารถ save ตำแหน่งได้มากที่สุด 25 ตำแหน่ง เมื่อเราทำการ save จนถึงตำแหน่งที่ 25 ไฟแสดงสถานะการทำงานจะกระพริบแจ้งเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. *Load Mode* เป็นการโหลดค่าที่ทำการ save ใน Save Mode ออกมาสั่งงานให้ทำงานแทนการกดสั่งจาก key pad โดยต้องเริ่มการทำงานทุกครั้งจาก Home position ทำให้ในโหมดนี้แขนต้องวิ่งกลับ Home ก่อนทุกครั้งแล้วจึงทำงานตามที่ save ไว้ การทำงานในโหมดนี้แบ่งแยกย่อยออกเป็น แบบโหลดแล้วทำงานเพียงรอบเดียว และทำงานแบบอัตโนมัติที่จะทำงานตามที่ save ไว้ต่อเนื่องหลายรอบไปเรื่อยๆ โดยมีสวิตซ์ในการเลือกการทำงาน

4. *Home* เป็นโหมดที่ไม่ว่าแขนกลจะอยู่ตำแหน่งไหนก็ตามเมื่อกดปุ่มนี้จะเข้าสู่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง (Home Position) และเป็นตำแหน่งอ้างอิงให้กับการ load และ save

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การแสดงผล ควรมีส่วนแสดงผลที่แสดงให้เห็นค่าต่างๆระหว่างการทำงาน เพื่อสามารถตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นได้ ซึ่งโครงงานนี้ใช้หลอด LED 8 หลอด ซึ่งไม่สะดวกในการอ่านค่า จึงควรมีส่วนแสดงผลที่อ่านค่าง่าย เช่น ตัวเลขดิจิตอล (7-segment), LCD ฯลฯ
2. ระบบป้องกัน การสั่งงานที่จะทำให้แขนกลทำงานนอกพื้นที่การทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิด error
3. ปรับปรุงส่วนอินเตอร์เฟสกับผู้ใช้ให้สามารถใช้งานได้หลากหลาย สะดวกสบายมากขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์,โรบอทซีมูเลเตอร์ ฯลฯ
4. ส่วนของการ save ค่าต่างๆ น่าจะมีการ save ไปยังหน่วยความจำภายนอกแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง ซึ่งจะง่ายต่อการใช้งานและยังสามารถเก็บค่าจำนวนตำแหน่งการ save ได้มากกว่าอีกด้วย

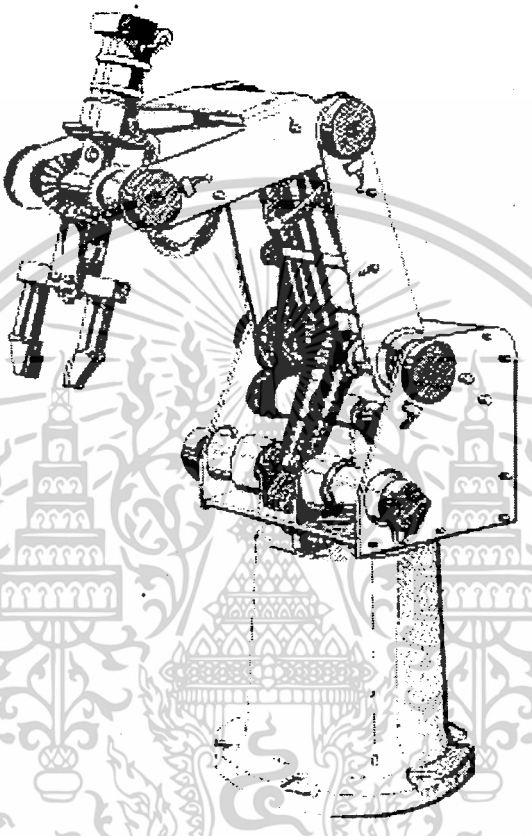
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

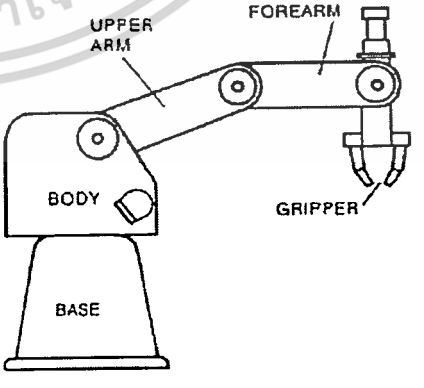
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแขนกล SCORBOT-ER V plus.

โครงสร้างแขนกลที่ใช้เป็นของบริษัท ESHED ROBOTEC Ltd. รุ่น *SCORBOT-ER V plus.* มีโครงสร้าง ดังรูป



ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก คือ



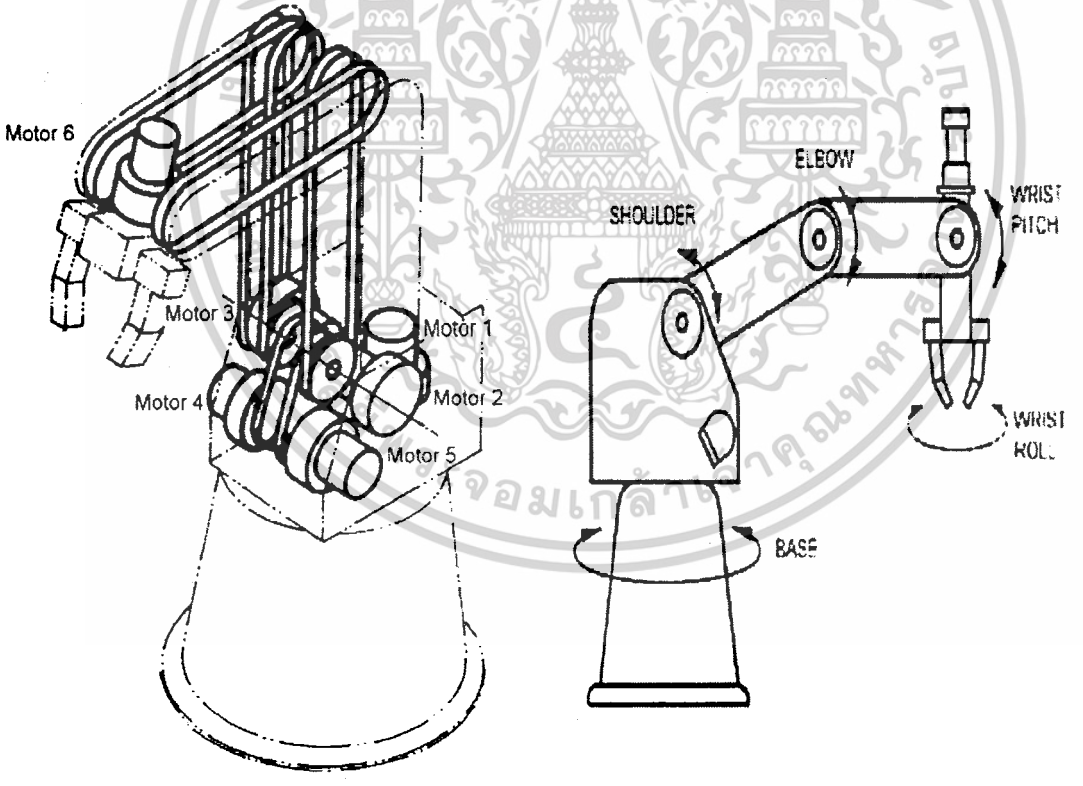
1) Base
2) Body
3) Upper arm
4) Forearm
5) Gripper
6) มอเตอร์ 12VDC 6 ตัว
7) Encoder 6 ตัว
8) Micro switch 5 ตัว
9) ส่วนส่งผ่านการเคลื่อนที่ เช่น เฟือง สายพานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางการเคลื่อนที่ของโครงสร้างแขนกลแต่ละ Links และตำแหน่งมอเตอร์

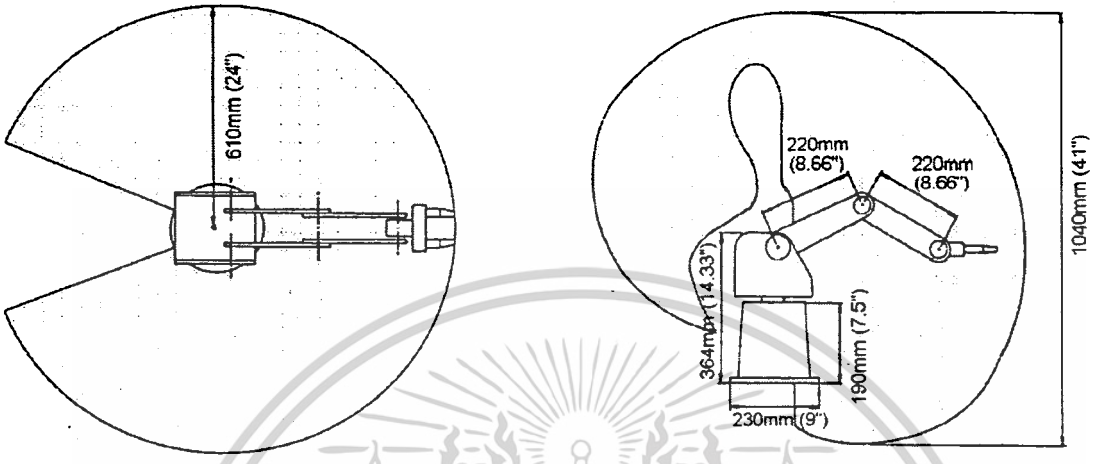
Axis No.	Joint Name	Motion	Motor No.
1	Base	Rotates the body.	1
2	Shoulder	Raises and lowers the uppers arm.	2
3	Elbow	Raises and lowers the forearm.	3
4	Wrist Pitch	Raises and lowers the end effector (gripper)	4+5
5	Wrist Roll	Rotates the end effector (gripper)	4+5

นอกจากนั้นยังมี Motor No. 6 ใช้ในการหนีบจับวัตถุของ Gripper

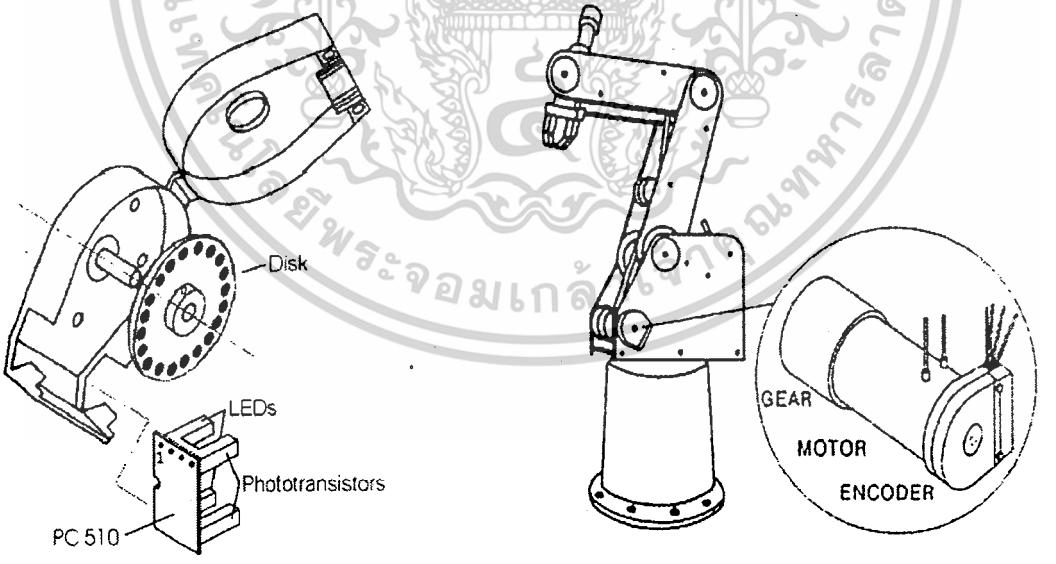


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตพื้นที่การทำงาน (การเคลื่อนที่ของแขน) สามารถแสดง ได้ดังรูป



Encoder และ สายไฟเชื่อมต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อสายไฟจากมอเตอร์ออกภายนอก (แสดงสีสายไฟ)

SCORBOT-ER Vplus Wiring								
	Robot Arm Signal				Lead to Molex 12-pin Connector		Lead to D50 Connector	
Axis	Motor	Encoder	Pad #	Microsw.	Color	Pin#	Color	Pin #
1	+ –						white gray/green	50 17
2	+ –						white white/green	49 16
3	+ –						white orange/brown	48 15
4	+ –						white orange/green	47 14
5	+ –						white orange/gray	46 13
Gripper	+ –				gray yellow	8 7	white orange/blue	45 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อสายไฟจากเอ็นโค้ดเดอร์ออกภายนอก (แสดงสีสายไฟ)

SCORBOT-ER Vplus Wiring								
	Robot Arm Signal				Lead to Molex 12-pin Connector		Lead to D50 Connector	
Axis	Motor	Encoder	Pad #	Microsw.	Color	Pin#	Color	Pin #
1		GND	1				white	33*
		P_1	3				white/gray	5
		V_{LED}	2				yellow	11
		P_0	4				brown	2
2		GND	1				white	32*
		P_1	3				white/orange	21
		V_{LED}	2				yellow	27
		P_0	4				gray	1
3		GND	1				white	31*
		P_1	3				brown/blue	4
		V_{LED}	2				yellow	10
		P_0	4				green	36
4		GND	1				white	30*
		P_1	3				green/brown	20
		V_{LED}	2				yellow	26
		P_0	4				orange	35
5		GND	1				white	29*
		P_1	3				green/blue	3
		V_{LED}	2				yellow	9
		P_0	4				blue	18
Gripper		GND	1		black	12	white	28*
		P_1	3		green	11	gray/blue	19
		V_{LED}	2		yellow	10	white	25
		P_0	4		brown	9	white/blue	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อสายไฟจากลิมิตสวิตซ์ออกภายนอก (แสดงสีสายไฟ)

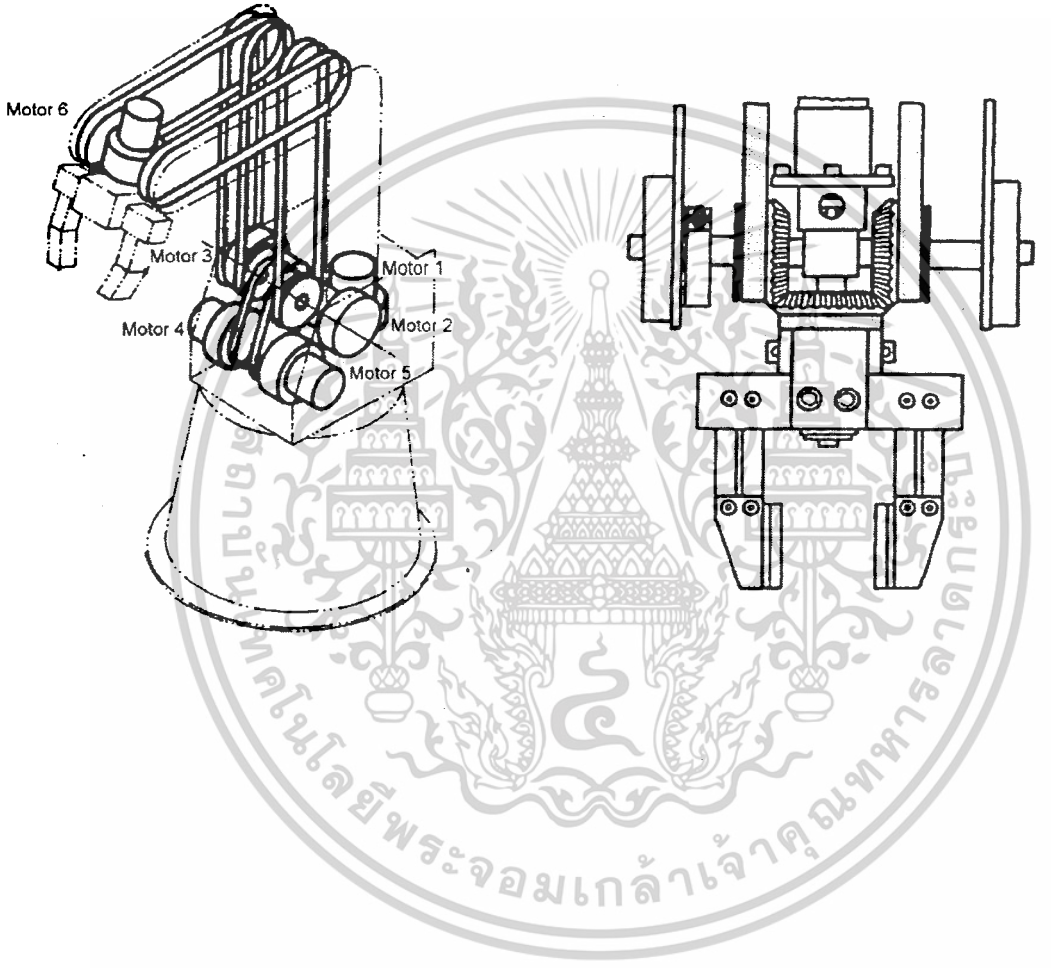
SCORBOT-ER Vplus Wiring								
	Robot Arm Signal				Lead to Molex 12-pin Connector		Lead to D50 Connector	
Axis	Motor	Encoder	Pad #	Microsw.	Color	Pin#	Color	Pin #
1				GND			white	33*
				MS			brown	23
2				GND			white	32*
				MS			gray	7
3				GND	white	1	white	31*
				MS	white	2	orange	24
4				GND	blue	3	white	30*
				MS	blue	4	green	8
5				GND	orange	5	white	29*
				MS	orange	6	blue	6
Gripper				*no connection*			white	28*
							brown/gray	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ ของ Gripper

1) ขึ้นลง (Wrist Pitch) ทำได้โดยขับมอเตอร์4,5 ให้หมุนไปทางเดียวกัน

2) หมุน (Wrist Roll) ทำได้โดยขับมอเตอร์4,5 ให้หมุนสวนทางกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

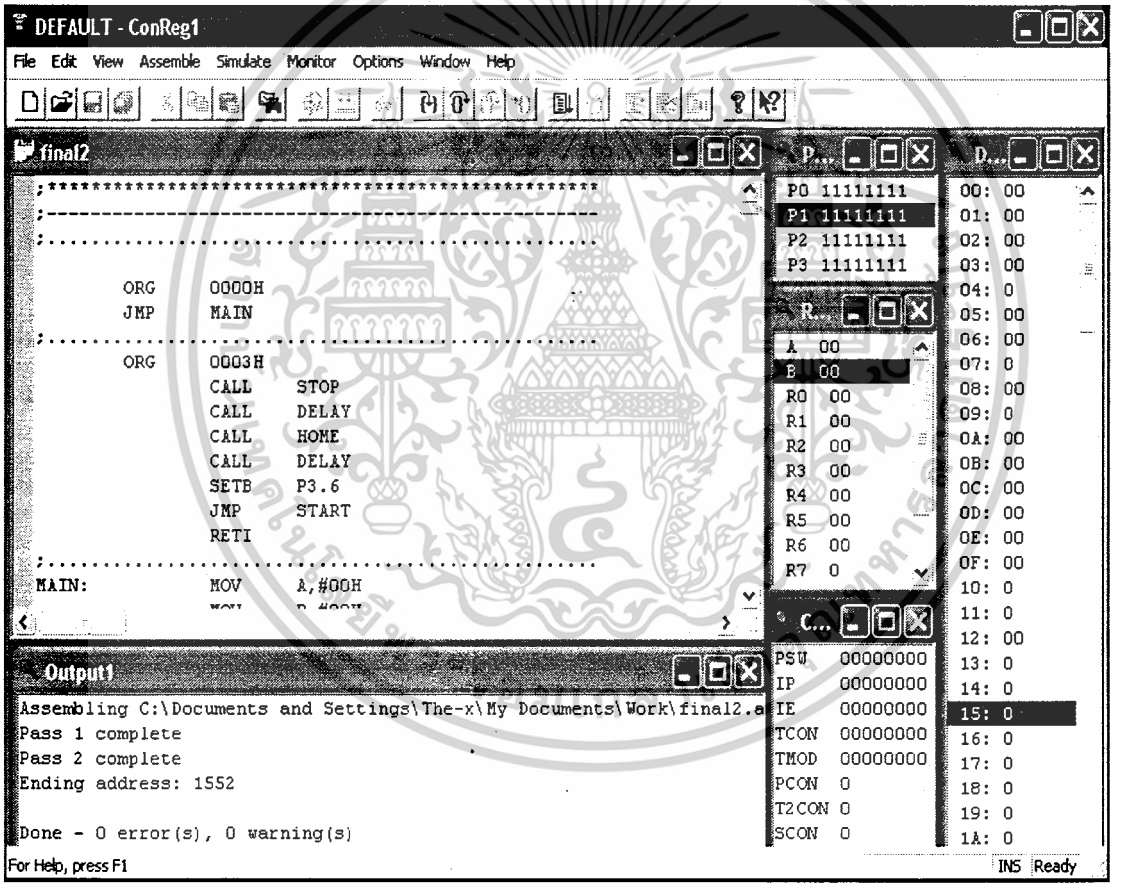
ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Software ที่ใช้ในการพัฒนา

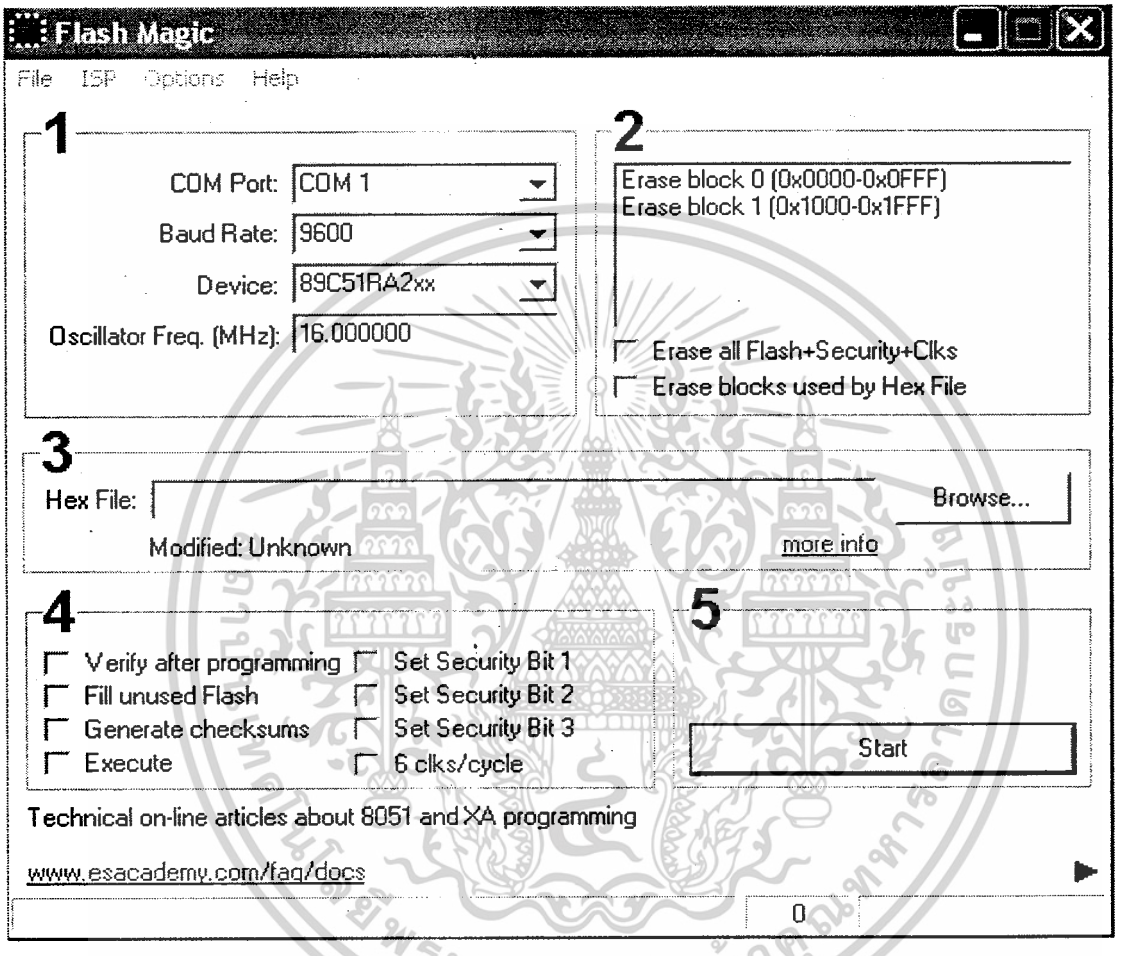
1. โปรแกรม 8051 IDE เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ทั้ง Editor, Compiler และ Simulator รวมกัน

- Editor ใช้ในการพิมพ์เขียน โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี
- Compiler ใช้ในการแปลง Text file ที่เราเขียนขึ้นให้อยู่ในรูป Hex file เพื่อที่จะส่งให้เครื่อง Program
- Simulator ใช้ในการจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไม่จำเป็นต้องมี Hardware



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. *Flash Magic* เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่นำ Hex file ที่ได้จาก compiler โปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ลงไมโครคอนโทรลเลอร์



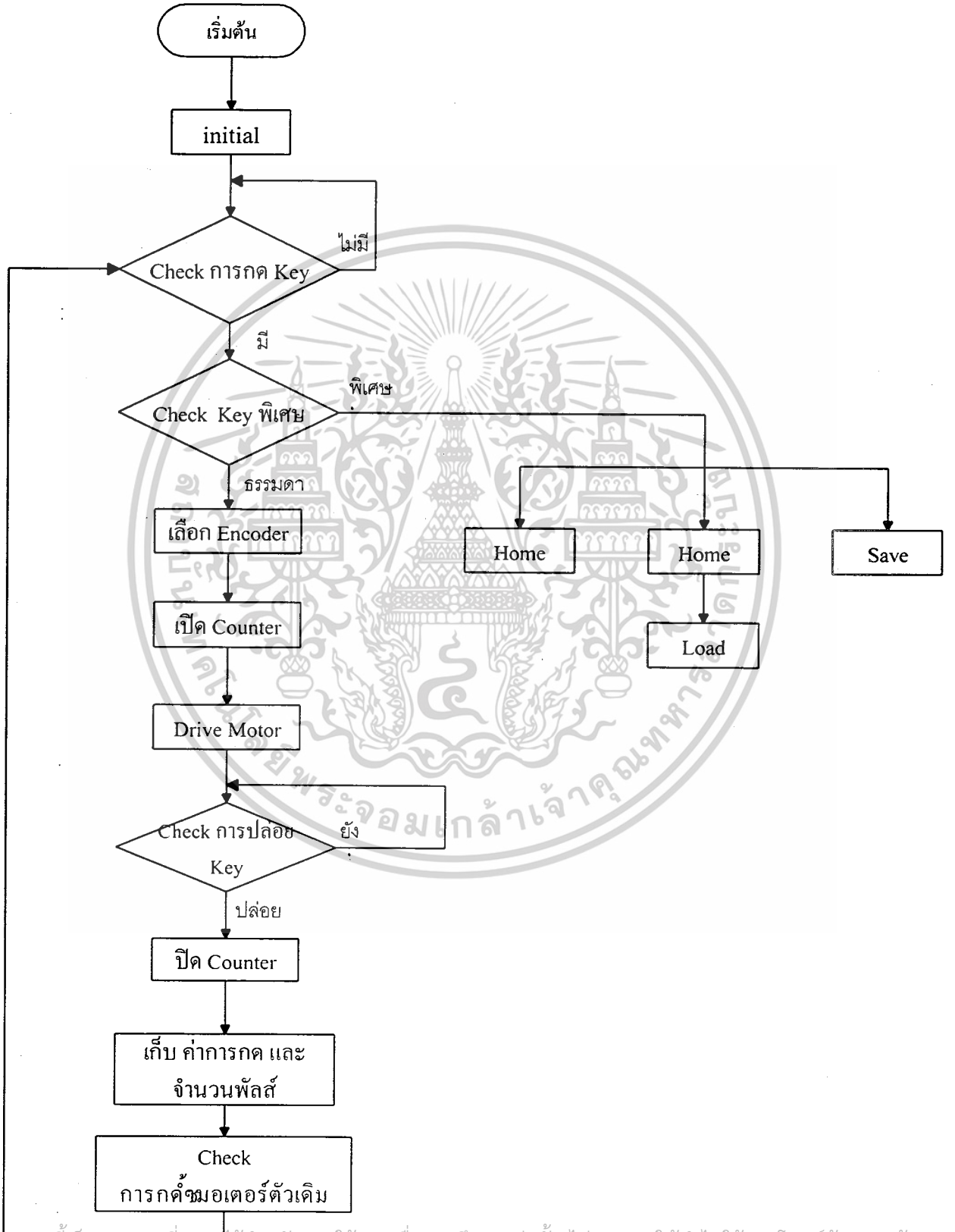
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

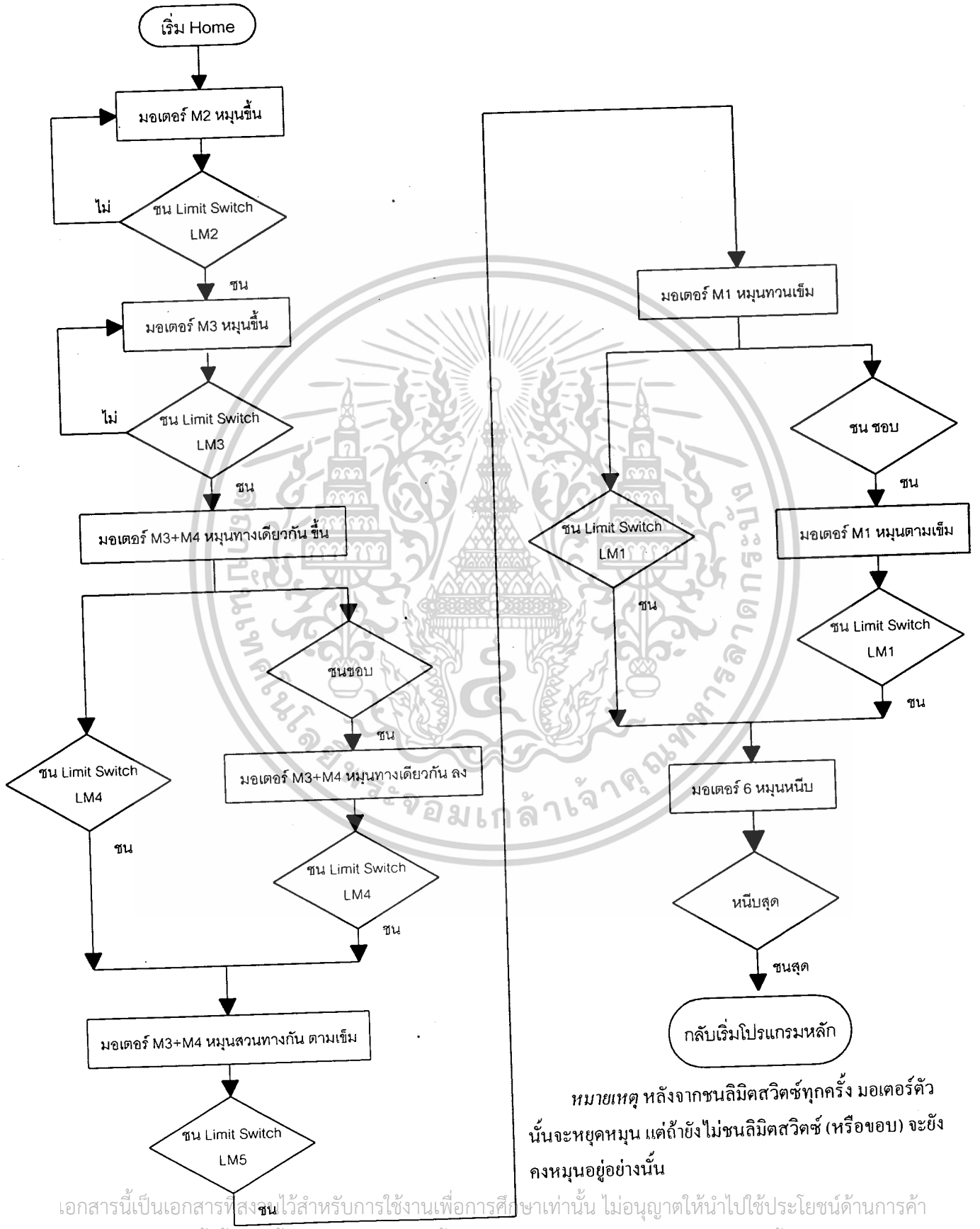
Flow Chart

Main Program



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

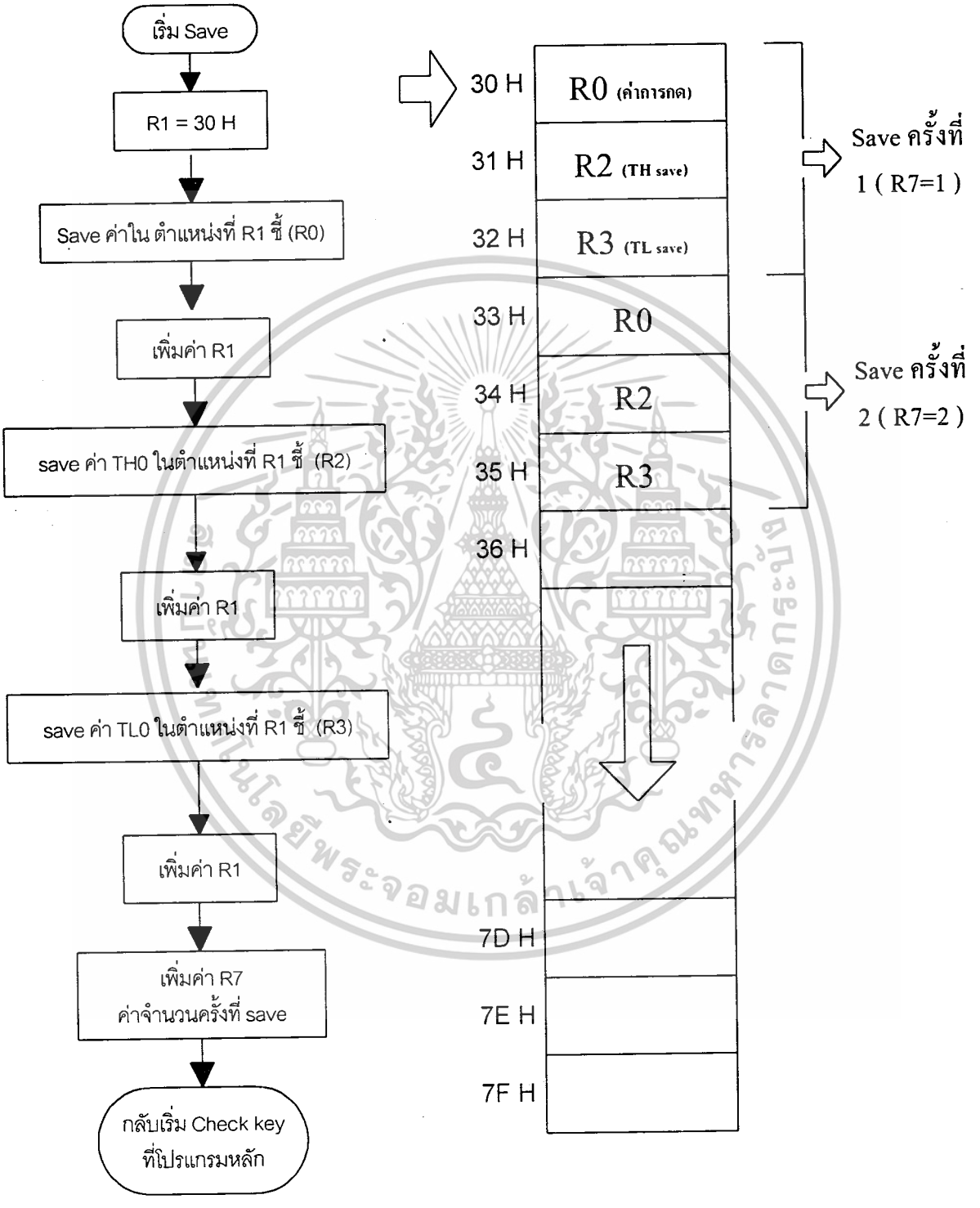
โปรแกรมย่อย HOME



หมายเหตุ หลังจากชนลิมิตสวิตซ์ทุกครั้ง มอเตอร์ตัวนั้นจะหยุดหมุน แต่ถ้ายังไม่ชนลิมิตสวิตซ์ (หรือขอบ) จะยังคงหมุนอยู่อย่างนั้น

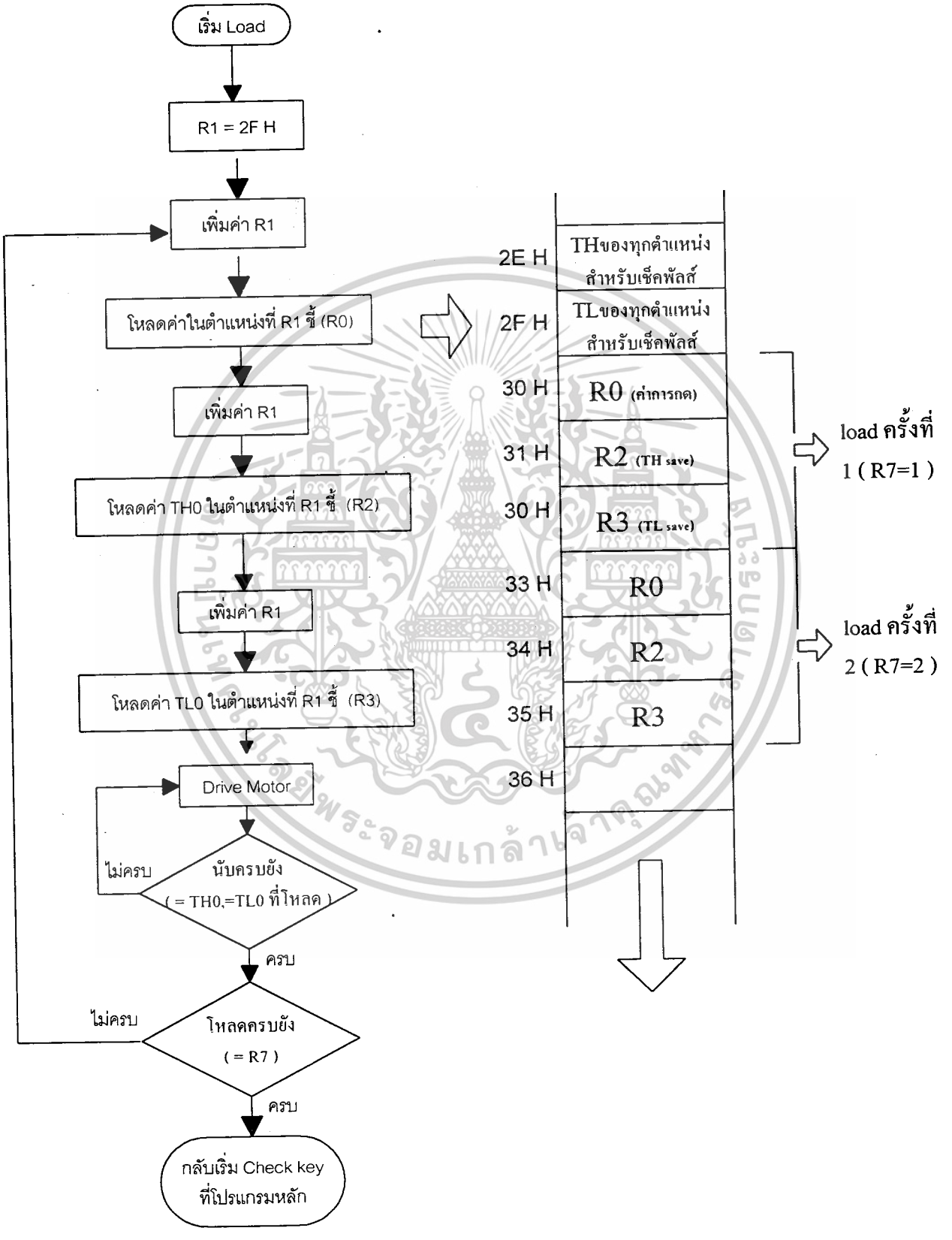
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อย Save



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อย Load



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในการเก็บค่าต่างๆ

R0	:	เก็บค่าการกด ไว้ใช้ Save
RJ	:	ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำที่ใช้ในการ Save และ Load ค่าที่มอเตอร์เคลื่อนที่
R2	:	เก็บค่า TH0 ไว้ใช้ในการ Save
R3	:	เก็บค่า TL0 ไว้ใช้ในการ Save
R4, R5, R6	:	ใช้ร่วมเช็ค การกดซ้ำมอเตอร์ตัวเดิม
R7	:	ใช้ในการเก็บจำนวนตำแหน่งที่ Save

ตำแหน่งหน่วยความจำที่ใช้

2FH	:	เก็บค่า TH0 ที่ใช้นับ
2EH	:	เก็บค่า TL0 ที่ใช้นับ
30H – 7FH	:	เก็บค่าที่ใช้ในการ save, load ชุดละ 3 ไบต์

Port ที่ใช้

P0.0, P0.1, P0.2	:	ใช้เลือกช่องสัญญาณในการติดต่อกับ Limit Switch
P0.0, P0.1, P0.2	:	ใช้เลือกช่องสัญญาณในการติดต่อกับ Encoder
P0.6, P0.7, P3.3	:	ส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับมอเตอร์ TA7257P
P1.0 - P1.7	:	เป็นส่วนสัญญาณอินพุทจาก Key Pad
P2.0 – P2.7	:	เป็นส่วนเอาต์พุทแสดงผลแบบ LED
P3.2	:	สัญญาณอินเทอร์รัปต์
P3.4	:	สัญญาณอินพุทจาก Encoder
P3.5	:	สัญญาณอินพุทจาก Limit Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                FINAL
;***************************************************
;---------------------------------------------------
;...................................................

        ORG     0000H
        JMP     MAIN
;...................................................
        ORG     0003H
                CALL    STOP
                CALL    DELAY
                CALL    HOME
                CALL    DELAY
                SETB    P3.6
                JMP     START
                RETI
;...................................................
MAIN:           MOV     A,#00H
                MOV     B,#00H
                CALL    SERIAL
                MOV     P2,#00H
                MOV     R0,#00H
                MOV     R1,#30H
                MOV     R2,#00H
                MOV     R3,#00H
                MOV     R4,#00H
                MOV     R5,#00H
                MOV     R6,#00H
                MOV     R7,#080
EARSE:          MOV     @R1,#00H
                INC     R1
                DJNZ    R7,EARSE
                MOV     R1,#30H
                MOV     R7,#00H
                MOV     IE,#10000001B
                SETB    IT0
START:          CALL    SCAN_KEY
                CJNE    A,#0FFH,KEY_PRESS
                JMP     START
KEY_PRESS:      CALL    CHECK_KEY
                MOV     R0,A
                CALL    SELECT_ENCODER
                CALL    OPEN_COUNTER
                MOV     A,R0
                CALL    DRIVE_MOTOR
                CALL    DELAY
                CALL    KEY_OFF
                CALL    DELAY
                CALL    STOP
                CLR     TR0
                MOV     R2,TH0
                MOV     R3,TL0
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
                CALL    CHECK_LASTKEY
                MOV     R4,00H
                MOV     R5,02H
                MOV     R6,03H
                JMP     START
;.....................................................
;-----------------------------------------------------
SCAN_KEY:       MOV     A,#0FFH
                MOV     P1,#0FFH
                CLR     P1.4
KEY_1:          JB      P1.0,KEY_4
                MOV     A,#01H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_4:          JB      P1.1,KEY_7
                MOV     A,#04H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_7:          JB      P1.2,KEY_A
                MOV     A,#07H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_A:          JB      P1.3,KEY_ROW1
                MOV     A,#0AH
                JMP     EXIT_KEY
KEY_ROW1:       SETB    P1.4
                CLR     P1.5
KEY_2:          JB      P1.0,KEY_5
                MOV     A,#02H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_5:          JB      P1.1,KEY_8
                MOV     A,#05H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_8:          JB      P1.2,KEY_0
                MOV     A,#08H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_0:          JB      P1.3,KEY_ROW2
                MOV     A,#10H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_ROW2:       SETB    P1.5
                CLR     P1.6
KEY_3:          JB      P1.0,KEY_6
                MOV     A,#03H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_6:          JB      P1.1,KEY_9
                MOV     A,#06H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_9:          JB      P1.2,KEY_B
                MOV     A,#09H
                JMP     EXIT_KEY
KEY_B:          JB      P1.3,KEY_ROW3
                MOV     A,#0BH
KEY_ROW3:       SETB    P1.6
                CLR     P1.7
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
KEY_C:          JB      P1.0,KEY_D
                MOV     A,#0CH
                JMP     EXIT_KEY
KEY_D:          JB      P1.1,KEY_E
                MOV     A,#0DH
                JMP     EXIT_KEY
KEY_E:          JB      P1.2,KEY_F
                MOV     A,#0EH
                JMP     EXIT_KEY
KEY_F:          JB      P1.3,KEY_ROW4
                MOV     A,#0FH
KEY_ROW4:       JMP     EXIT_KEY
EXIT_KEY:       RET
;-----------------------------------------------
CHECK_KEY:      CJNE    A,#0CH,CHECK_KEY2
                CALL    DELAY
                CALL    KEY_OFF
                CALL    DELAY
                CLR     P3.6
                CALL    HOME
                SETB    P3.6
                MOV     R4,#00H
                JMP     START
CHECK_KEY2:     CJNE    A,#0DH,CHECK_KEY3
                CALL    DELAY
                CALL    KEY_OFF
                CALL    DELAY
                CLR     P3.6
                SETB    P3.7
AUTO:           CALL    HOME
                CALL    DELAY
                CALL    LOAD_SAVE
                JNB     P3.7,AUTO
                MOV     R4,#00H
                SETB    P3.6
                JMP     START
CHECK_KEY3:     CJNE    A,#0EH,CHECK_KEY4
                CALL    DELAY
                CALL    KEY_OFF
                CALL    DELAY
                CALL    HOME
                MOV     R4,#00H
                JMP     START
CHECK_KEY4:     CJNE    A,#0FH,CHECK_KEY5
                CALL    DELAY
                CALL    KEY_OFF
                CALL    DELAY
                CALL    SAVE
                MOV     R4,#00H
                JMP     START
CHECK_KEY5:     RET
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------
SELECT_ENCODER: CJNE    A,#01H,MOTOR1_EN
                CLR     P0.5
                CLR     P0.4
                CLR     P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR1_EN:      CJNE    A,#04H,MOTOR2_EN1
                CLR     P0.5
                CLR     P0.4
                CLR     P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR2_EN1:     CJNE    A,#02H,MOTOR2_EN2
                CLR     P0.5
                CLR     P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR2_EN2:     CJNE    A,#05H,MOTOR3_EN1
                CLR     P0.5
                CLR     P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR3_EN1:     CJNE    A,#03H,MOTOR3_EN2
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                CLR     P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR3_EN2:     CJNE    A,#06H,MOTOR4_5_EN1
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                CLR     P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR4_5_EN1:   CJNE    A,#07H,MOTOR4_5_EN2
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR4_5_EN2:   CJNE    A,#0AH,MOTOR4_5_EN3
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR4_5_EN3:   CJNE    A,#08H,MOTOR4_5_EN4
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR4_5_EN4:   CJNE    A,#10H,MOTOR6_EN1
                CLR     P0.5
                SETB    P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                FINAL
MOTOR6_EN1:     CJNE    A,#0BH,MOTOR6_EN2
                SETB    P0.5
                CLR     P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
MOTOR6_EN2:     CJNE    A,#09H,ENCODER_END
                SETB    P0.5
                CLR     P0.4
                SETB    P0.3
                JMP     ENCODER_END
ENCODER_END:    RET
;-------------------------------------------------
OPEN_COUNTER:   MOV     TMOD,#00000101B
                MOV     TH0,#00H
                MOV     TL0,#00H
                SETB    EA
                SETB    ET0
                CLR     TR0
                SETB    TR0
                RET
;-------------------------------------------------
DRIVE_MOTOR:
MOTOR1_CW:      CJNE    A,#01H,MOTOR1_CCW
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B.,#00000010B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR1_CCW:     CJNE    A,#04H,MOTOR2_CW
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000001B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR2_CW:      CJNE    A,#02H,MOTOR2_CCW
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00001000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR2_CCW:     CJNE    A,#05H,MOTOR3_CW
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000100B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR3_CW:      CJNE    A.,#03H,MOTOR3_CCW
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00100000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR3_CCW:     CJNE    A,#06H,MOTOR4_5_UP
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00010000B
                CALL    SERIAL
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                FINAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR4_5_UP:    CJNE    A,#07H,MOTOR4_5_DOWN
                MOV     A,#00000001B
                MOV     B,#01000000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR4_5_DOWN:  CJNE    A,#0AH,MOTOR4_5_CW
                MOV     A,#00000010B
                MOV     B,#10000000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR4_5_CW:    CJNE    A,#08H,MOTOR4_5_CCW
                MOV     A,#00000001B
                MOV     B,#10000000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR4_5_CCW:   CJNE    A,#10H,MOTOR6_CW
                MOV     A,#00000010B
                MOV     B,#01000000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR6_CW:      CJNE    A,#0BH,MOTOR6_CCW
                MOV     A,#00001000B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
                JMP     DRIVE_END
MOTOR6_CCW:     CJNE    A,#09H,DRIVE_END
                MOV     A,#00000100B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
DRIVE_END:      RET
;-------------------------------------------------------
SERIAL:         CLR     P3.3
                CLR     P0.7
                CLR     P0.6
                CALL    SHIFT_DATA
                SETB    P0.6
                CLR     P0.6
                RET
;-------------------------------------------------------
SHIFT_DATA:     PUSH    04H
                PUSH    05H
                MOV     R4,#02H
SHIFT_LOOP:     MOV     R5,#08H
SHIFT_LOOP2:    RLC     A
                MOV     P3.3,C
                SETB    P0.7
                NOP
                CLR     P0.7
                DJNZ    R5,SHIFT_LOOP2
                MOV     A,B
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
                DJNZ    R4,SHIFT_LOOP
                POP     05H
                POP     04H
                RET
;-----------------------------------------------

KEY_OFF:        MOV     P1,#00001111B
                JNB     P1.0,KEY_OFF
                JNB     P1.1,KEY_OFF
                JNB     P1.2,KEY_OFF
                JNB     P1.3,KEY_OFF
                RET
;-----------------------------------------------
STOP:           MOV     A,#00H
                MOV     B,#00H
                CALL    SERIAL
                RET
;-----------------------------------------------
CHECK_LASTKEY:  CJNE    R0,#01H,CHECK_R0_4
                CJNE    R4,#01H,CHECK_R4_4
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R4_4:     CJNE    R4,#04H,CHECK_R0_4
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_4:     CJNE    R0,#04H,CHECK_R0_2
                CJNE    R4,#04H,CHECK_R4_1
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_1: CJNE    R4,#01H,CHECK_R0_2
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_2:     CJNE    R0,#02H,CHECK_R0_5
                CJNE    R4,#02H,CHECK_R4_5
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_5: CJNE    R4,#05H,CHECK_R0_5
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_5:     CJNE    R0,#05H,CHECK_R0_3
                CJNE    R4,#05H,CHECK_R4_2
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_2: CJNE    R4,#02H,CHECK_R0_3
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_3:     CJNE    R0,#03H,CHECK_R0_6
                CJNE    R4,#03H,CHECK_R4_6
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_6: CJNE    R4,#06H,CHECK_R0_6
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_6:     CJNE    R0,#06H,CHECK_R0_7
                CJNE    R4,#06H,CHECK_R4_3
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_3: CJNE    R4,#03H,CHECK_R0_7
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_7:     CJNE    R0,#07H,CHECK_R0_A
                CJNE    R4,#07H,CHECK_R4_A
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_A: CJNE    R4,#0AH,CHECK_R0_A
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_A:     CJNE    R0,#0AH,CHECK_R0_8
                CJNE    R4,#0AH,CHECK_R4_7
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_7: CJNE    R4,#07H,CHECK_R0_8
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_8:     CJNE    R0,#08H,CHECK_R0_10
                CJNE    R4,#08H,CHECK_R4_10
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
   CHECK_R4_10: CJNE    R4,#10H,CHECK_R0_10
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_10:    CJNE    R0,#10H,CHECK_R0_9
                CJNE    R4,#10H,CHECK_R4_8
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_8: CJNE    R4,#08H,CHECK_R0_9
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_9:     CJNE    R0,#09H,CHECK_R0_B
                CJNE    R4,#09H,CHECK_R4_B
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_B: CJNE    R4,#0BH,CHECK_R0_B
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
CHECK_R0_B:     CJNE    R0,#0BH,END_CHECK
                CJNE    R4,#0BH,CHECK_R4_9
                CALL    ADD_PULSE
                JMP     END_CHECK
    CHECK_R4_9: CJNE    R4,#09H,END_CHECK
                CALL    SUB_PULSE
                JMP     END_CHECK
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
END_CHECK:      RET
;-----------------------------------------------------
ADD_PULSE:      MOV     A,R6
                ADD     A,R3
                MOV     R3,A
                MOV     A,R5
                ADDC    A,R2
                MOV     R2,A
                RET
;-----------------------------------------------------
SUB_PULSE:      MOV     A,R2
                CLR     C
                SUBB    A,R5
                CJNE    A,#00H,MORE_LESS
                MOV     A,R3
                CLR     C
                SUBB    A,R6
                JNB     PSW.7,LESS_LB
                MOV     A,R6
                CLR     C
                SUBB    A,R3
                MOV     R3,A
                MOV     R2,#00H
                MOV     R0,04H
                JMP     END_SUB
LESS_LB:        MOV     R3,A
                MOV     R2,#00H
                JMP     END_SUB
MORE_LESS:      MOV     A,R2
                CLR     C
                SUBB    A,R5
                JNB     PSW.7,LESS_HB
                MOV     A,R6
                CLR     C
                SUBB    A,R3
                MOV     R3,A
                MOV     A,R5
                SUBB    A,R2
                MOV     R2,A
                MOV     R0,04H
                JMP     END_SUB
LESS_HB:        MOV     A,R3
                CLR     C
                SUBB    A,R6
                MOV     R3,A
                MOV     A,R2
                SUBB    A,R5
                MOV     R2,A
END_SUB:        RET
;-----------------------------------------------------
HOME:           PUSH    ACC
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    FINAL
          MOV       A,#00000000B
          MOV       B,#00001000B
          CALL      SERIAL
          CLR       P0.2
          CLR       P0.1
          SETB      P0.0
          JB        P3.5,$
          JB        P3.5,$
          MOV       A,#00000000B
          MOV       B,#00000000B
          CALL      SERIAL
          CALL      DELAY
          MOV       A,#00000000B
          MOV       B,#00100000B
          CALL      SERIAL
          CLR       P0.2
          SETB      P0.1
          CLR       P0.0
          JB        P3.5,$
          JB        P3.5,$
          MOV       A,#00000000B
          MOV       B,#00000000B
          CALL      SERIAL
          CALL      DELAY
MAIN_M45: MOV       A,#00000001B
          MOV       B,#01000000B
          CALL      SERIAL
          CLR       P0.2
          SETB      P0.1
          SETB      P0.0
          CLR       P0.5
          SETB      P0.4
          SETB      P0.3
RE_HOME_M45: JNB    P3.5,END_HOME_M45
          CALL      GATE_HOME
          MOV       A,TL0
          CJNE      A,#00H,RE_HOME_M45
          MOV       A,#00000010B
          MOV       B,#10000000B
          CALL      SERIAL
RE_HOME_M54: CALL   GATE_HOME
          MOV       A,TL0
          CJNE      A,#00H,RE_HOME_M54
          JMP       MAIN_M45
END_HOME_M45: MOV   A,#00000000B
          MOV       B,#00000000B
          CALL      SERIAL
          CALL      DELAY
          MOV       A,#00000001B
          MOV       B,#10000000B
          CALL      SERIAL
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
                SETB    P0.2
                CLR     P0.1
                CLR     P0.0
                JB      P3.5,$
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
                CALL    DELAY
MAIN_M1:        MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000010B
                CALL    SERIAL
                CLR     P0.5
                CLR     P0.4
                CLR     P0.3
                CLR     P0.2
                CLR     P0.1
                CLR     P0.0
RE_HOME_M1:     JNB     P3.5,END_HOME_M1
                CALL    GATE_HOME
                MOV     A,TL0
                CJNE    A,#00H,RE_HOME_M1
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000001B
                CALL    SERIAL
                JB      P3.5,$
END_HOME_M1:    MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
                CALL    DELAY
RE_HOME_M6:     MOV     A,#00000100B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
                SETB    P0.5
                CLR     P0.4
                SETB    P0.3
                CALL    GATE_HOME
                MOV     A,TL0
                CJNE    A,#00H,RE_HOME_M6
                MOV     A,#00000000B
                MOV     B,#00000000B
                CALL    SERIAL
                CALL    DELAY
                POP     ACC
                RET
;-----------------------------------------------------
GATE_HOME:      PUSH    06H
                PUSH    05H
                MOV     TMOD,#00000101B
                MOV     TH0,#00H
                MOV     TL0,#00H
                SETB    EA
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB    ET0
                CLR     TR0
                SETB    TR0
                MOV     R5,#10
DELAY1:         MOV     R6,#0E6H
DELAY2:         NOP
                DJNZ    R6,DELAY2
                DJNZ    R5,DELAY1
                CLR     TR0
                POP     05H
                POP     06H
                RET
;-----------------------------------------------
SAVE:           PUSH    05H
                CLR     P3.6
                MOV     @R1,00H
                INC     R1
                MOV     @R1,02H
                INC     R1
                MOV     @R1,03H
                INC     R1
                INC     R7
                CALL    DISPLAY_SAVE
                SETB    P3.6
                CJNE    R7,#0FH,LESS_15
                MOV     R5,#05H
EQUL_15:        CLR     P3.6
                CALL    WAIT
                SETB    P3.6
                CALL    WAIT
                DJNZ    R5,EQUL_15
LESS_15:        POP     05H
                RET
;-----------------------------------------------
LOAD_SAVE:      PUSH    ACC
                PUSH    01H
                PUSH    04H
                PUSH    05H
                MOV     R4,07H
                MOV     R1,#02FH
RE_LOAD:        INC     R1
                MOV     A,@R1
                CALL    SELECT_ENCODER
                CALL    OPEN_COUNTER
                MOV     A,@R1
                CALL    DRIVE_MOTOR
                INC     R1
                MOV     2EH,@R1
                INC     R1
                MOV     2FH,@R1
LOOP:           MOV     A,TL0
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        FINAL
                MOV     P2,TL0
                CJNE    A,2FH,LOOP
                MOV     A,TH0
                CJNE    A,2EH,LOOP
                CALL    STOP
                CLR     TR0
                CALL    WAIT
                CJNE    R4,#01H,LESS_R07
                MOV     R5,#02H
EQUL_R07:       SETB    P3.6
                CALL    WAIT
                CLR     P3.6
                CALL    WAIT
                DJNZ    R5,EQUL_R07
LESS_R07:       DJNZ    R4,RE_LOAD
                POP     05H
                POP     04H
                POP     01H
                POP     ACC
                RET
;-------------------------------------------------------
DISPLAY_SAVE:   DEC     R1
                DEC     R1
                DEC     R1
                MOV     P2,R7
                CALL    WAIT
                MOV     P2,@R1
                CALL    WAIT
                INC     R1
                MOV     P2,@R1
                CALL    WAIT
                INC     R1
                MOV     P2,@R1
                INC     R1
                CALL    WAIT
                RET
;-------------------------------------------------------
DELAY:          PUSH    05H
                MOV     R5,#0FFH
                DJNZ    R5,$
                POP     05H
                RET
;-------------------------------------------------------
WAIT:           PUSH    04H
                PUSH    05H
                PUSH    06H
                MOV     R4,#03H
WAIT2:          MOV     R5,#0FFH
WAIT3:          MOV     R6,#0FFH
                DJNZ    R6,$
                DJNZ    R5,WAIT3
```

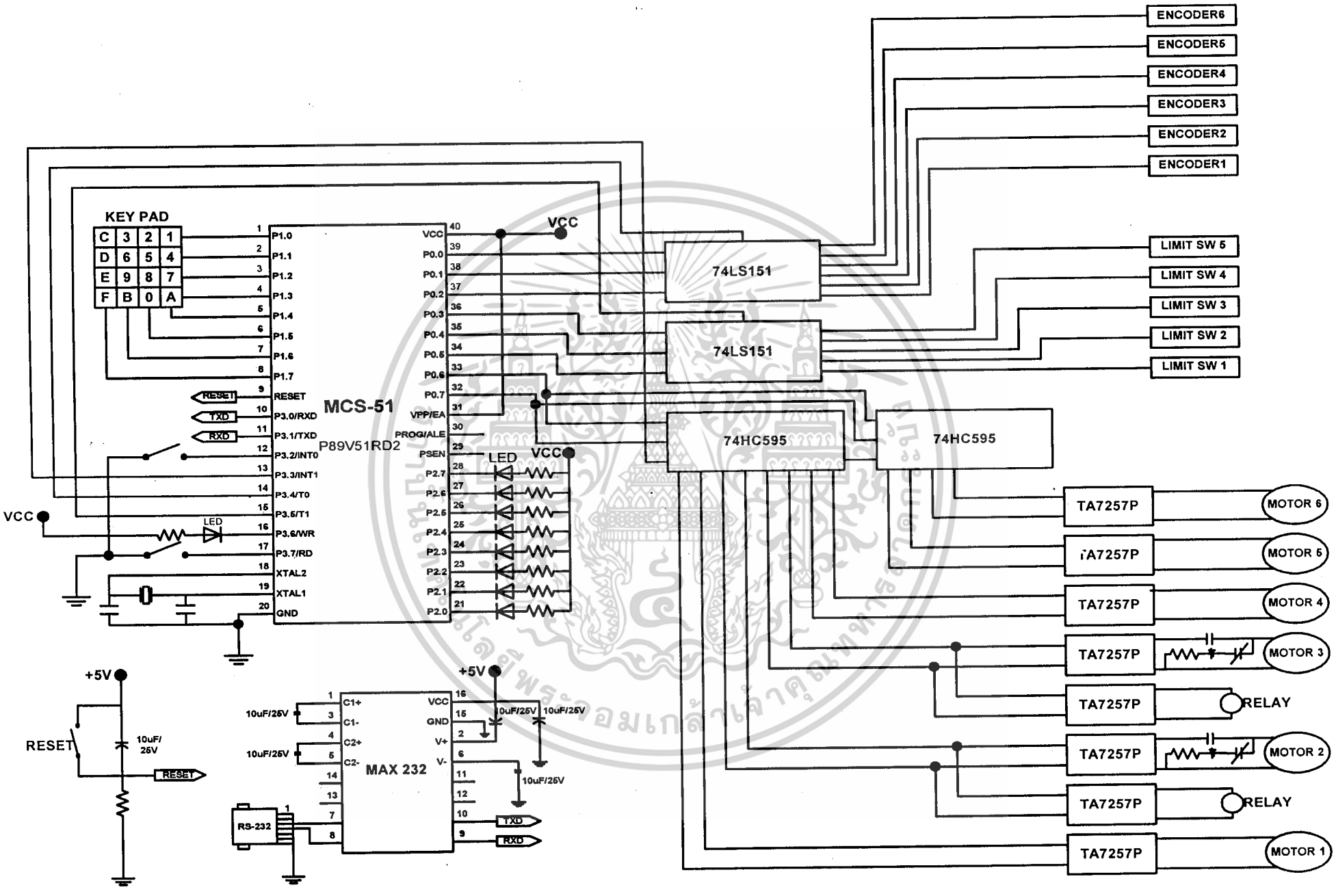

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

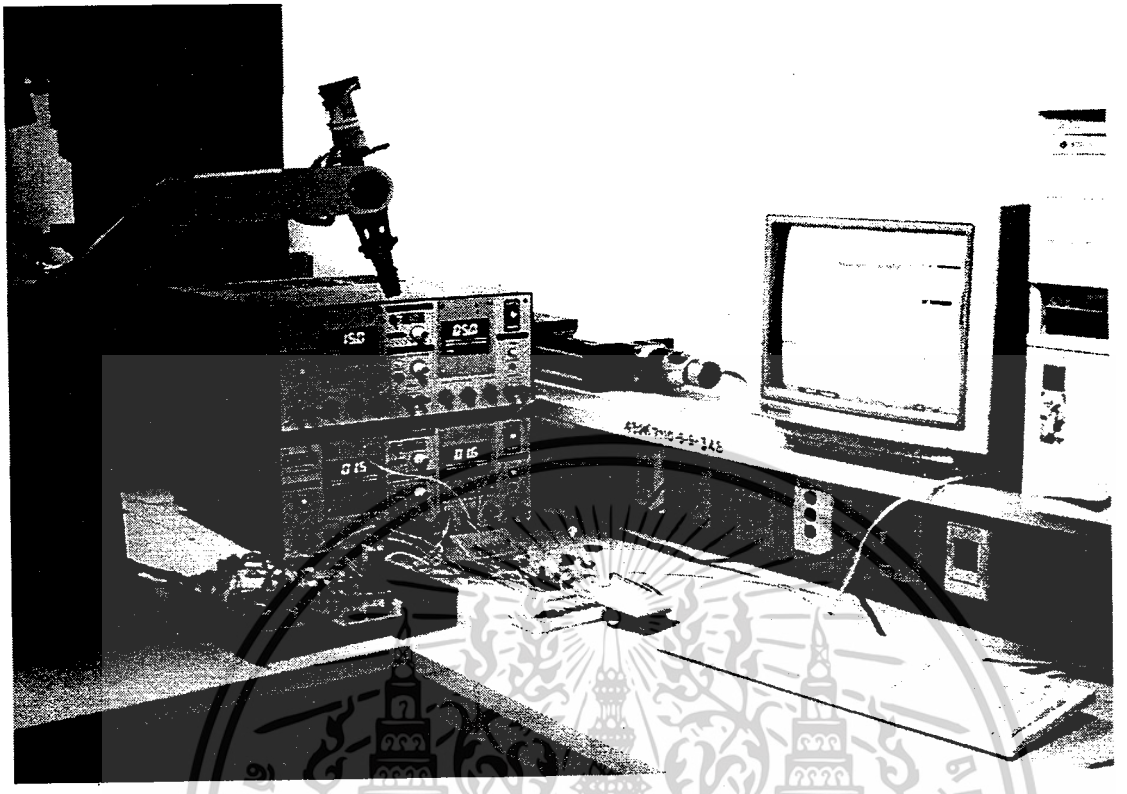
```
                        FINAL
                DJNZ    R4,WAIT2
                POP     06H
                POP     05H
                POP     04H
                RET
;-----------------------------------------------------

END
;.....................................................
;-----------------------------------------------------
;*****************************************************
```

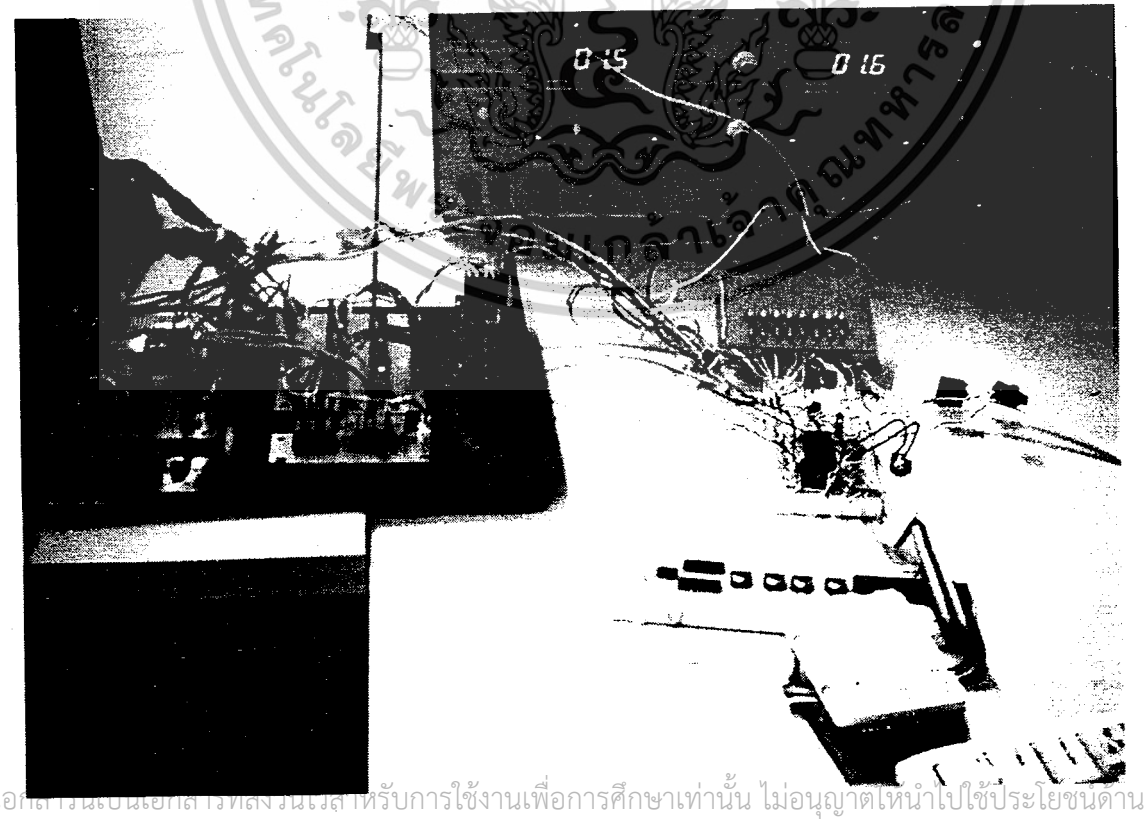
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

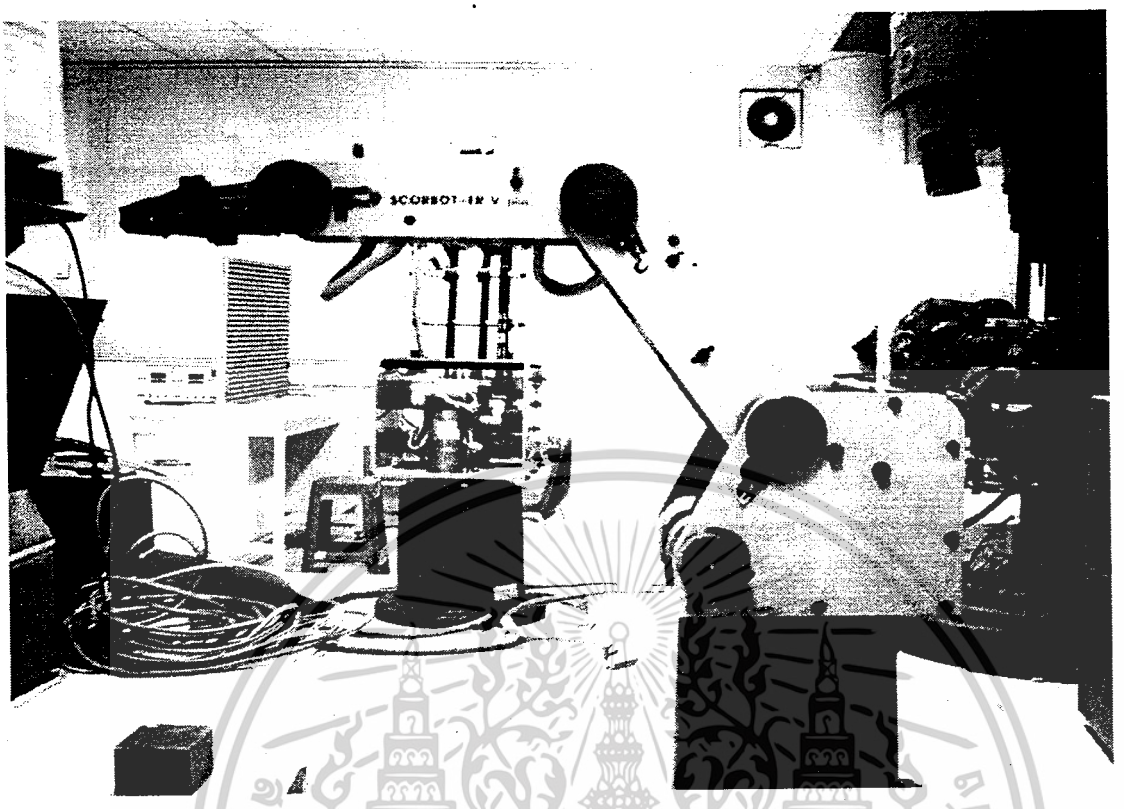
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

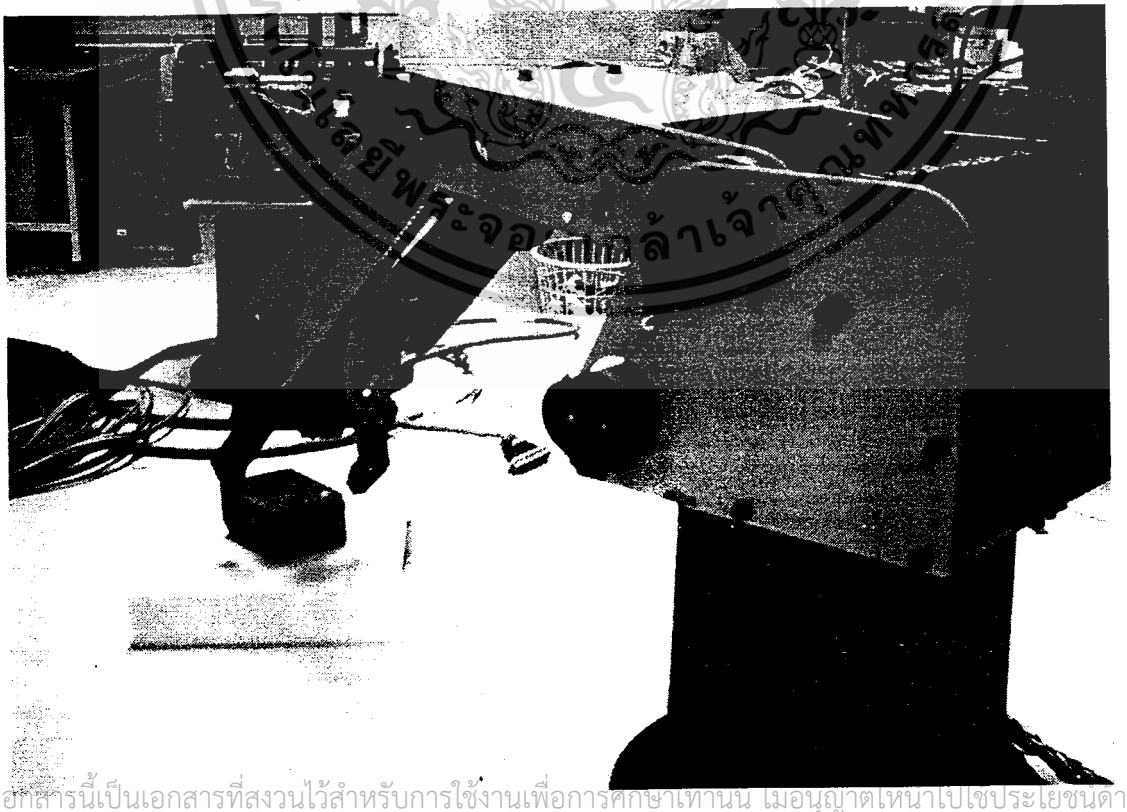

KEY PAD
C 3 2 1
D 6 5 4
E 9 8 7
F B 0 A
MCS-51
P89V51RD2
P1.0
P1.1
P1.2
P1.3
P1.4
P1.5
P1.6
P1.7
RESET
P3.0/RXD
P3.1/TXD
P3.2/INT0
P3.3/INT1
P3.4/T0
P3.5/T1
P3.6/WR
P3.7/RD
XTAL2
XTAL1
GND
VCC
P0.0
P0.1
P0.2
P0.3
P0.4
P0.5
P0.6
P0.7
VPP/EA
PROG/ALE
PSEN
P2.7
P2.6
P2.5
P2.4
P2.3
P2.2
P2.1
P2.0
LED
74LS151
74LS151
74HC595
74HC595
ENCODER6
ENCODER5
ENCODER4
ENCODER3
ENCODER2
ENCODER1
LIMIT SW 5
LIMIT SW 4
LIMIT SW 3
LIMIT SW 2
LIMIT SW 1
TA7257P
TA7257P
TA7257P
TA7257P
TA7257P
TA7257P
TA7257P
MOTOR 6
MOTOR 5
MOTOR 4
MOTOR 3
RELAY
MOTOR 2
RELAY
MOTOR 1
+5V
RESET
10uF/
25V
RESET
+5V
MAX 232
C1+
C1-
C2+
C2-
VCC
GND
V+
V-
10uF/25V
10uF/25V
10uF/25V
10uF/25V
10uF/25V
RS-232
TXD
RXD



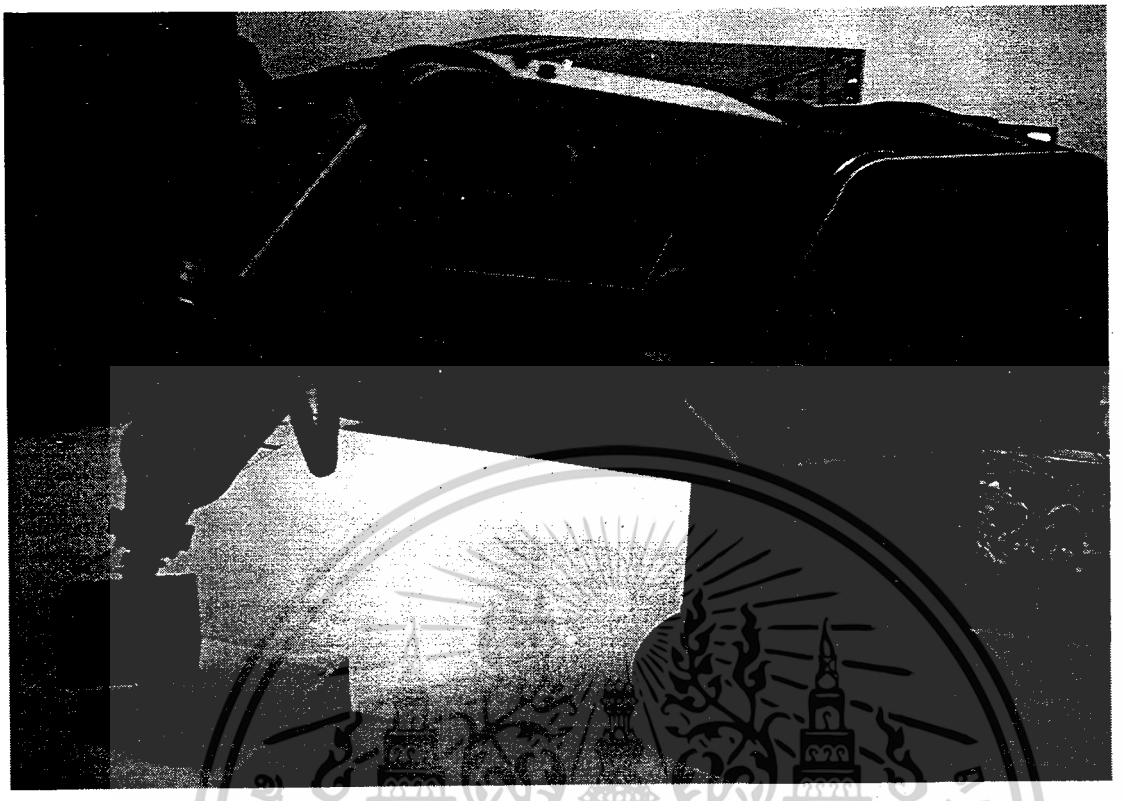


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC74HC595A

8-Bit Serial-Input/Serial or Parallel-Output Shift Register with Latched 3-State Outputs

High–Performance Silicon–Gate CMOS

ON Semiconductor

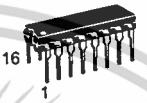
http://onsemi.com

The MC74HC595A consists of an 8–bit shift register and an 8–bit D–type latch with three–state parallel outputs. The shift register accepts serial data and provides a serial output. The shift register also provides parallel data to the 8–bit latch. The shift register and latch have independent clock inputs. This device also has an asynchronous reset for the shift register.

The HC595A directly interfaces with the SPI serial data port on CMOS MPUs and MCUs.

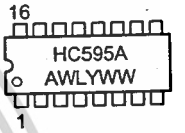
- Output Drive Capability: 15 LSTTL Loads
- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS, and TTL
- Operating Voltage Range: 2.0 to 6.0 V
- Low Input Current: 1.0 μA
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Chip Complexity: 328 FETs or 82 Equivalent Gates
- Improvements over HC595
  - — Improved Propagation Delays
  - — 50% Lower Quiescent Power
  - — Improved Input Noise and Latchup Immunity

MARKING DIAGRAMS



PDIP–16
N SUFFIX
CASE 648

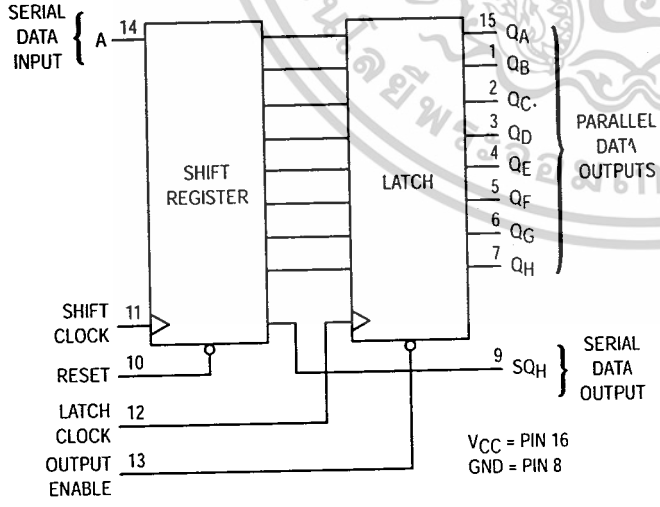
SO–16
D SUFFIX
CASE 751B



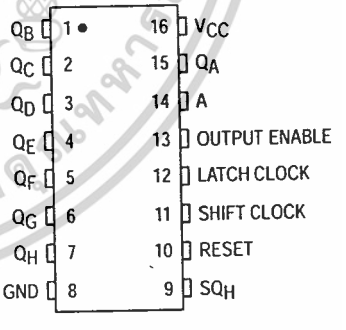
TSSOP–16
DT SUFFIX
CASE 948F

A = Assembly Location
WL = Wafer Lot
YY = Year
WW = Work Week

LOGIC DIAGRAM



PIN ASSIGNMENT



ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MC74HC595AN	PDIP–16	2000 / Box
MC74HC595AD	SOIC–16	48 / Rail
MC74HC595ADR2	SOIC–16	2500 / Reel
MC74HC595ADT	TSSOP–16	96 / Rail
MC74HC595ADTR2	TSSOP–16	2500 / Reel

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2000

Publication Order Number:
MC74HC595A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	– 0.5 to + 7.0	V
V_{in}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	– 0.5 to V_{CC} + 0.5	V
V_{out}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	– 0.5 to V_{CC} + 0.5	V
I_{in}	DC Input Current, per Pin	± 20	mA
I_{out}	DC Output Current, per Pin	± 35	mA
I_{CC}	DC Supply Current, V_{CC} and GND Pins	± 75	mA
P_D	Power Dissipation in Still Air, Plastic DIP†	750	mW
	SOIC Package†	500	
	TSSOP Package†	450	
T_{stg}	Storage Temperature	– 65 to + 150	°C
T_L	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds (Plastic DIP, SOIC or TSSOP Package)	260	°C

*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

†Derating — Plastic DIP: – 10 mW/°C from 65° to 125°C
SOIC Package: – 7 mW/°C from 65° to 125°C
TSSOP Package: – 6.1 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2 of the ON Semiconductor High–Speed CMOS Data Book (DL129/D).

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high–impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range GND ≤ (V_{in} or V_{out}) ≤ V_{CC}.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or V_{CC}). Unused outputs must be left open.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
V_{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	2.0	6.0	V
V_{in}, V_{out}	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	V_{CC}	V
T_A	Operating Temperature, All Package Types	– 55	+ 125	°C
t_r, t_f	Input Rise and Fall Time (Figure 1) V_{CC} = 2.0 V	0	1000	ns
	V_{CC} = 4.5 V	0	500	
	V_{CC} = 6.0 V	0	400	

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{CC} V	Guaranteed Limit – 55 to 25°C	Guaranteed Limit ≤ 85°C	Guaranteed Limit ≤ 125°C	Unit
V_{IH}	Minimum High–Level Input Voltage	V_{out} = 0.1 V or V_{CC} – 0.1 V, $\|I_{out}\|$ ≤ 20 μA	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			3.0	2.1	2.1	2.1	
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V_{IL}	Maximum Low–Level Input Voltage	V_{out} = 0.1 V or V_{CC} – 0.1 V, $\|I_{out}\|$ ≤ 20 μA	2.0	0.5	0.5	0.5	V
			3.0	0.9	0.9	0.9	
			4.5	1.35	1.35	1.35	
			6.0	1.8	1.8	1.8	
V_{OH}	Minimum High–Level Output Voltage, Q_A – Q_H	V_{in} = V_{IH} or V_{IL}, $\|I_{out}\|$ ≤ 20 μA	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
			6.0	5.9	5.9	5.9	
		V_{in} = V_{IH} or V_{IL}, $\|I_{out}\|$ ≤ 2.4 mA	3.0	2.48	2.34	2.2	
		$\|I_{out}\|$ ≤ 6.0 mA	4.5	3.98	3.84	3.7	
		$\|I_{out}\|$ ≤ 7.8 mA	6.0	5.48	5.34	5.2	
V_{OL}	Maximum Low–Level Output Voltage, Q_A – Q_H	V_{in} = V_{IH} or V_{IL}, $\|I_{out}\|$ ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
			6.0	0.1	0.1	0.1	
		V_{in} = V_{IH} or V_{IL}, $\|I_{out}\|$ ≤ 2.4 mA	3.0	0.26	0.33	0.4	
		$\|I_{out}\|$ ≤ 6.0 mA	4.5	0.26	0.33	0.4	
		$\|I_{out}\|$ ≤ 7.8 mA	6.0	0.26	0.33	0.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
				– 55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V_{OH}	Minimum High–Level Output Voltage, SQ_H	$V_{in} = V_{IH}$ or V_{IL} $\|I_{out}\| \le 20$ μA	2.0 4.5 6.0	1.9 4.4 5.9	1.9 4.4 5.9	1.9 4.4 5.9	V
		$V_{in} = V_{IH}$ or V_{IL} $\|I_{out}\| \le 2.4$ mA $\|I_{out}\| \le 4.0$ mA $\|I_{out}\| \le 5.2$ mA	3.0 4.5 6.0	2.98 3.98 5.48	2.34 3.84 5.34	2.2 3.7 5.2	
V_{OL}	Maximum Low–Level Output Voltage, SQ_H	$V_{in} = V_{IH}$ or V_{IL} $\|I_{out}\| \le 20$ μA	2.0 4.5 6.0	0.1 0.1 0.1	0.1 0.1 0.1	0.1 0.1 0.1	V
		$V_{in} = V_{IH}$ or V_{IL} $\|I_{out}\| \le 2.4$ mA $\|I_{out}\| \le 4.0$ mA $\|I_{out}\| \le 5.2$ mA	3.0 4.5 6.0	0.26 0.26 0.26	0.33 0.33 0.33	0.4 0.4 0.4	
I_{in}	Maximum Input Leakage Current	$V_{in} = V_{CC}$ or GND	6.0	± 0.1	± 1.0	± 1.0	μA
I_{OZ}	Maximum Three–State Leakage Current, $Q_A - Q_H$	Output in High–Impedance State $V_{in} = V_{IL}$ or V_{IH} $V_{out} = V_{CC}$ or GND	6.0	± 0.5	± 5.0	± 10	μA
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	$V_{in} = V_{CC}$ or GND $I_{out} = 0$ μA	6.0	4.0	40	160	μA

NOTE: Information on typical parametric values can be found in Chapter 2 of the ON Semiconductor High–Speed CMOS Data Book (DL129/D).

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($C_L = 50$ pF, Input $t_r = t_f = 6.0$ ns)

Symbol	Parameter	V_{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
			– 55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
f_{max}	Maximum Clock Frequency (50% Duty Cycle) (Figures 1 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	6.0 15 30 35	4.8 10 24 28	4.0 8.0 20 24	MHz
t_{PLH}, t_{PHL}	Maximum Propagation Delay, Shift Clock to SQ_H (Figures 1 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	140 100 28 24	175 125 35 30	210 150 42 36	ns
t_{PHL}	Maximum Propagation Delay, Reset to SQ_H (Figures 2 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	145 100 29 25	180 125 36 31	220 150 44 38	ns
t_{PLH}, t_{PHL}	Maximum Propagation Delay, Latch Clock to $Q_A - Q_H$ (Figures 3 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	140 100 28 24	175 125 35 30	210 150 42 36	ns
t_{PLZ}, t_{PHZ}	Maximum Propagation Delay, Output Enable to $Q_A - Q_H$ (Figures 4 and 8)	2.0 3.0 4.5 6.0	150 100 30 26	190 125 38 33	225 150 45 38	ns
t_{PZL}, t_{PZH}	Maximum Propagation Delay, Output Enable to $Q_A - Q_H$ (Figures 4 and 8)	2.0 3.0 4.5 6.0	135 90 27 23	170 110 34 29	205 130 41 35	ns
t_{TLH}, t_{THL}	Maximum Output Transition Time, $Q_A - Q_H$ (Figures 3 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	60 23 12 10	75 27 15 13	90 31 18 15	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, Input $t_r = t_f$ = 6.0 ns)

Symbol	Parameter	V_{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
			– 55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
t_{TLH}, t_{THL}	Maximum Output Transition Time, SQ_H (Figures 1 and 7)	2.0 3.0 4.5 6.0	75 27 15 13	95 32 19 16	110 36 22 19	ns
C_{in}	Maximum Input Capacitance	—	10	10	10	pF
C_{out}	Maximum Three–State Output Capacitance (Output in High–Impedance State), $Q_A - Q_H$	—	15	15	15	pF

NOTE: For propagation delays with loads other than 50 pF, and information on typical parametric values, see Chapter 2 of the ON Semiconductor High–Speed CMOS Data Book (DL129/D).

		Typical @ 25°C, V_{CC} = 5.0 V	
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Per Package)*	300	pF

* Used to determine the no–load dynamic power consumption: $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$. For load considerations, see Chapter 2 of the ON Semiconductor High–Speed CMOS Data Book (DL129/D).

TIMING REQUIREMENTS (Input $t_r = t_f$ = 6.0 ns)

Symbol	Parameter	V_{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
			25°C to – 55°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
t_{su}	Minimum Setup Time, Serial Data Input A to Shift Clock (Figure 5)	2.0 3.0 4.5 6.0	50 40 10 9.0	65 50 13 11	75 60 15 13	ns
t_{su}	Minimum Setup Time, Shift Clock to Latch Clock (Figure 6)	2.0 3.0 4.5 6.0	75 60 15 13	95 70 19 16	110 80 22 19	ns
t_h	Minimum Hold Time, Shift Clock to Serial Data Input A (Figure 5)	2.0 3.0 4.5 6.0	5.0 5.0 5.0 5.0	5.0 5.0 5.0 5.0	5.0 5.0 5.0 5.0	ns
t_{rec}	Minimum Recovery Time, Reset Inactive to Shift Clock (Figure 2)	2.0 3.0 4.5 6.0	50 40 10 9.0	65 50 13 11	75 60 15 13	ns
t_w	Minimum Pulse Width, Reset (Figure 2)	2.0 3.0 4.5 6.0	60 45 12 10	75 60 15 13	90 70 18 15	ns
t_w	Minimum Pulse Width, Shift Clock (Figure 1)	2.0 3.0 4.5 6.0	50 40 10 9.0	65 50 13 11	75 60 15 13	ns
t_w	Minimum Pulse Width, Latch Clock (Figure 6)	2.0 3.0 4.5 6.0	50 40 10 9.0	65 50 13 11	75 60 15 13	ns
t_r, t_f	Maximum Input Rise and Fall Times (Figure 1)	2.0 3.0 4.5 6.0	1000 800 500 400	1000 800 500 400	1000 800 500 400	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION TABLE

Operation	Inputs					Resulting Function			
	Reset	Serial Input A	Shift Clock	Latch Clock	Output Enable	Shift Register Contents	Latch Register Contents	Serial Output SQ_H	Parallel Outputs $Q_A - Q_H$
Reset shift register	L	X	X	L, H, ↓	L	L	U	L	U
Shift data into shift register	H	D	↑	L, H, ↓	L	D SR_A; SR_N SR_{N+1}	U	SR_G SR_H	U
Shift register remains unchanged	H	X	L, H, ↓	L, H, ↓	L	U	U	U	U
Transfer shift register contents to latch register	H	X	L, H, ↓	↑	L	U	SR_N LR_N	U	SR_N
Latch register remains unchanged	X	X	X	L, H, ↓	L	*	U	*	U
Enable parallel outputs	X	X	X	X	L	*	**	*	Enabled
Force outputs into high impedance state	X	X	X	X	H	*	**	*	Z

SR = shift register contents
LR = latch register contents
D = data (L, H) logic level
U = remains unchanged
↑ = Low–to–High
↓ = High–to–Low
* = depends on Reset and Shift Clock inputs
** = depends on Latch Clock input

PIN DESCRIPTIONS

INPUTS

A (Pin 14)

Serial Data Input. The data on this pin is shifted into the 8–bit serial shift register.

CONTROL INPUTS

Shift Clock (Pin 11)

Shift Register Clock Input. A low– to–high transition on this input causes the data at the Serial Input pin to be shifted into the 8–bit shift register.

Reset (Pin 10)

Active–low, Asynchronous, Shift Register Reset Input. A low on this pin resets the shift register portion of this device only. The 8–bit latch is not affected.

Latch Clock (Pin 12)

Storage Latch Clock Input. A low–to–high transition on this input latches the shift register data.

Output Enable (Pin 13)

Active–low Output Enable. A low on this input allows the data from the latches to be presented at the outputs. A high on this input forces the outputs (Q_A–Q_H) into the high–impedance state. The serial output is not affected by this control unit.

OUTPUTS

$Q_A - Q_H$ (Pins 15, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Noninverted, 3–state, latch outputs.

SQ_H (Pin 9)

Noninverted, Serial Data Output. This is the output of the eighth stage of the 8–bit shift register. This output does not have three–state capability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING WAVEFORMS

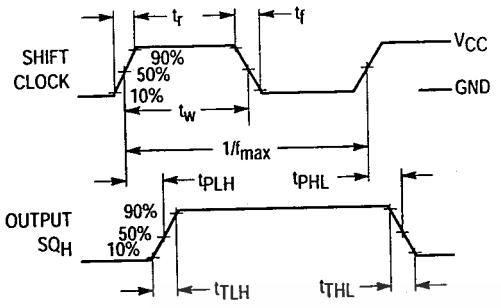


Figure 1.

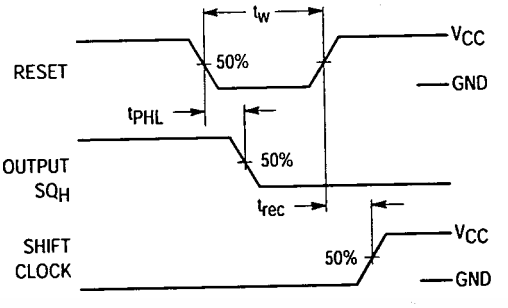


Figure 2.

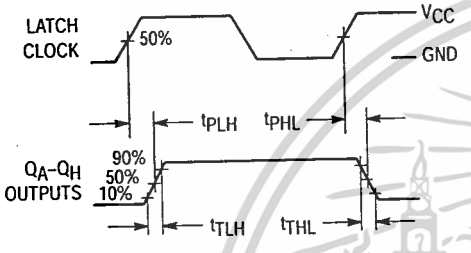


Figure 3.

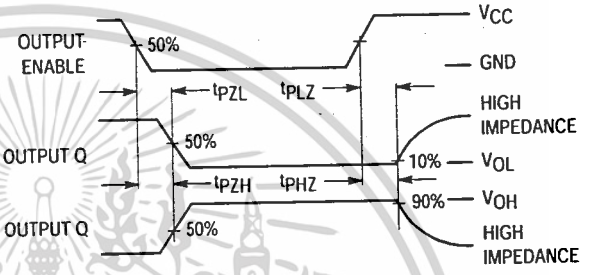


Figure 4.

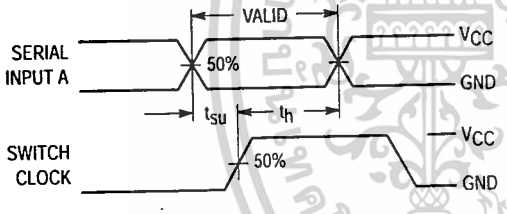


Figure 5.

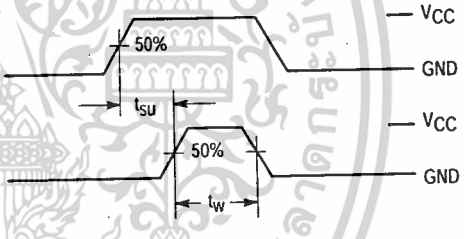
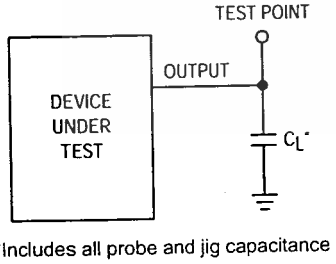


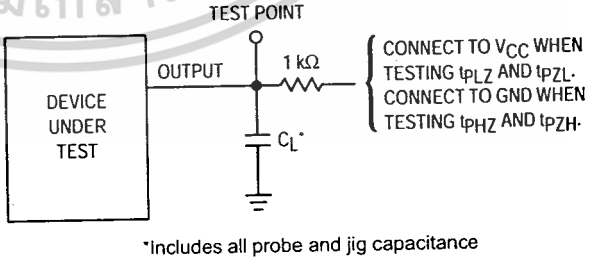
Figure 6.

TEST CIRCUITS



*Includes all probe and jig capacitance

Figure 7.

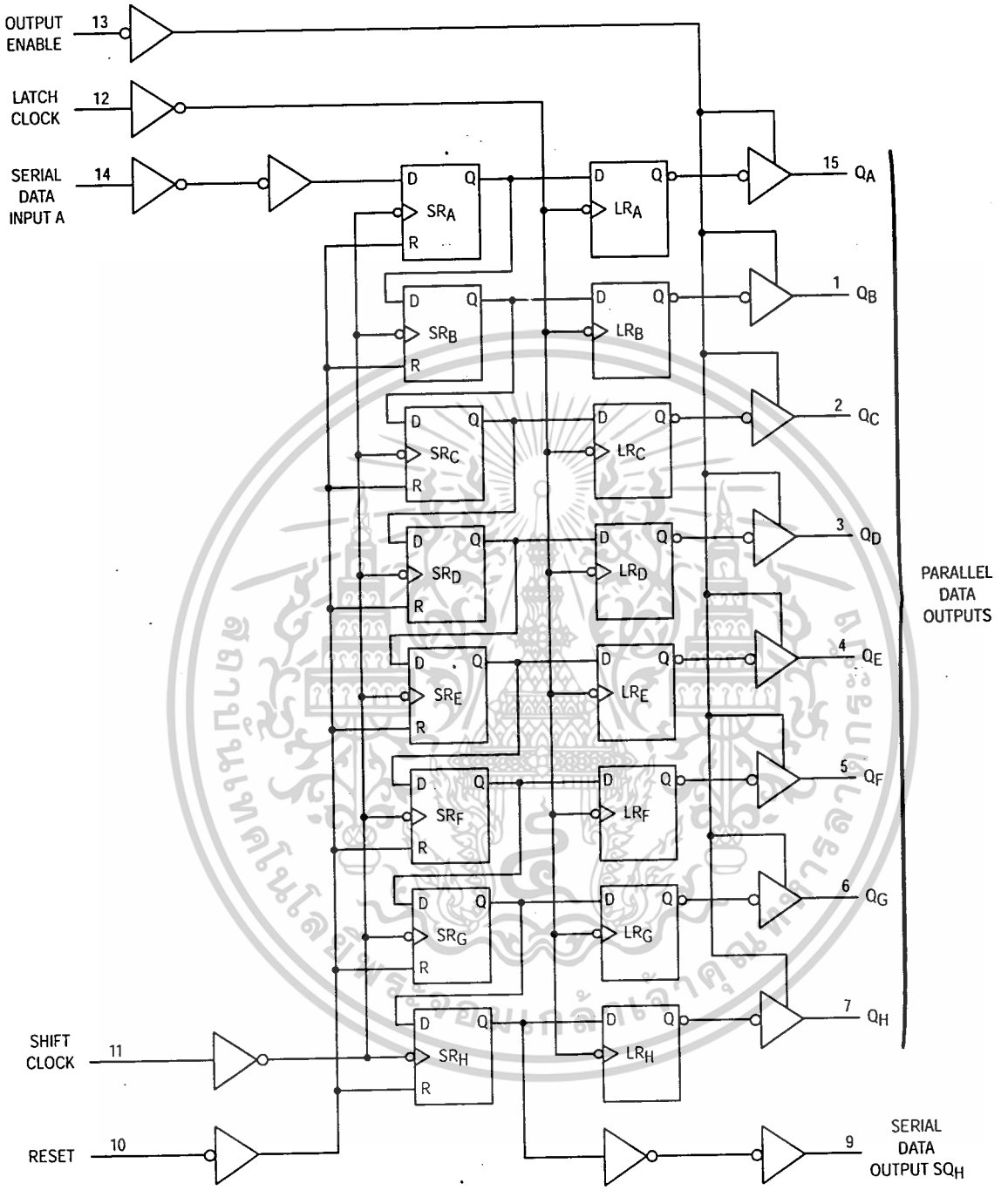


*Includes all probe and jig capacitance

Figure 8.

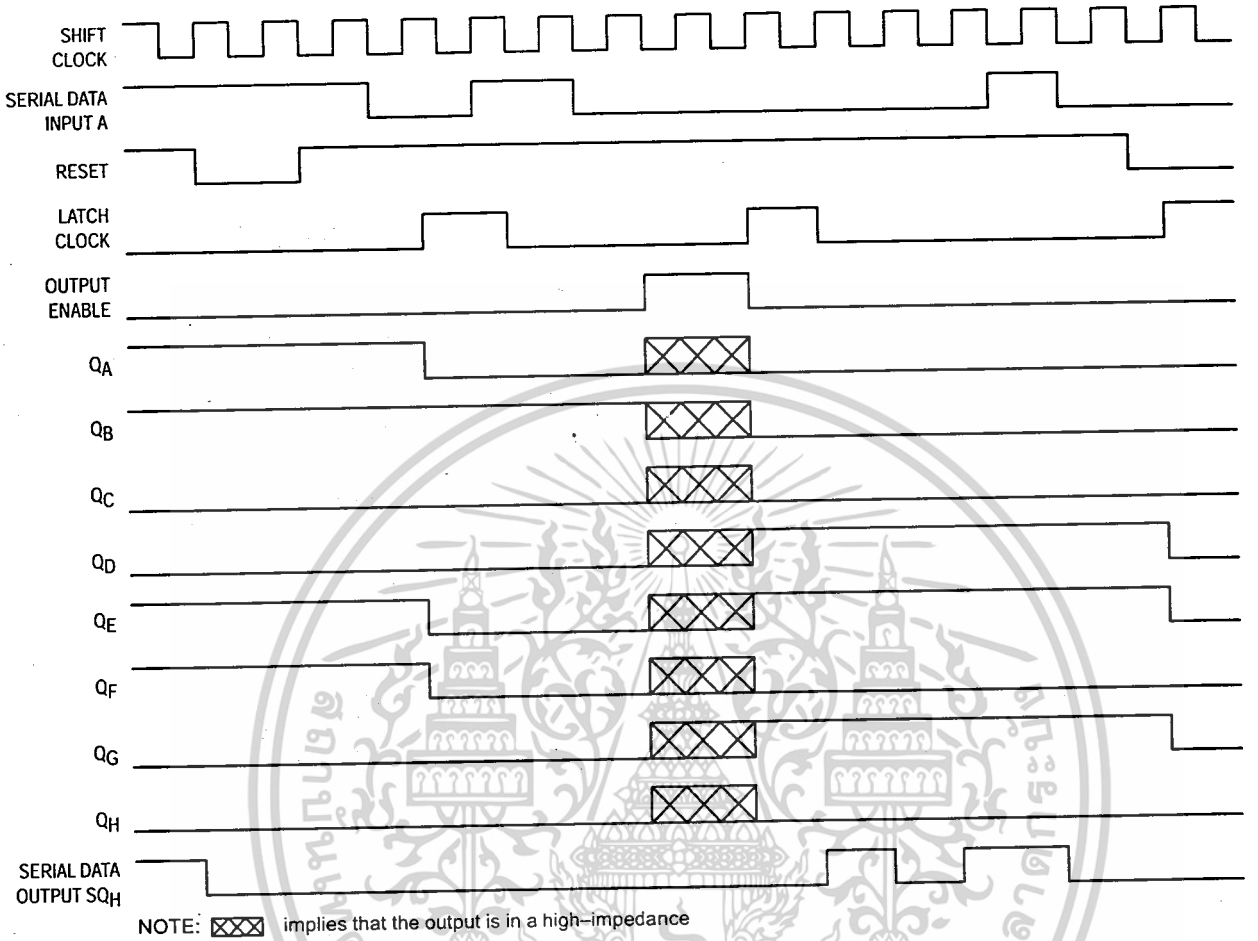
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPANDED LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING DIAGRAM

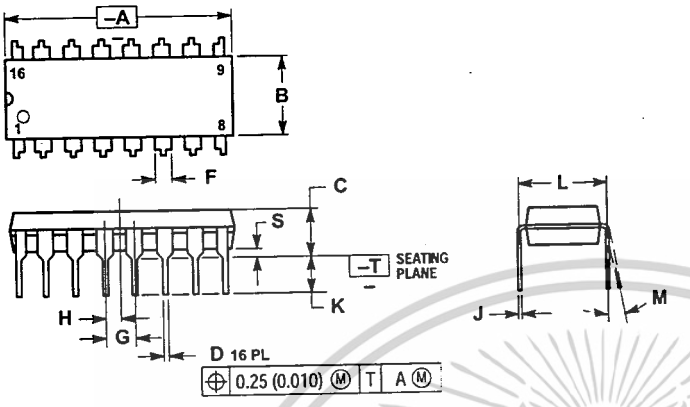


NOTE: ⊠ implies that the output is in a high–impedance state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

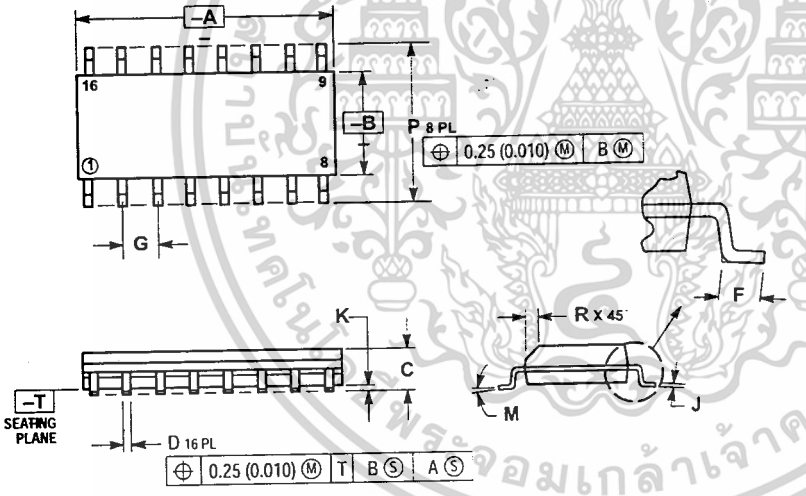
PDIP–16
N SUFFIX
CASE 648–08
ISSUE R



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

SOIC–16
D SUFFIX
CASE 751B–05
ISSUE J



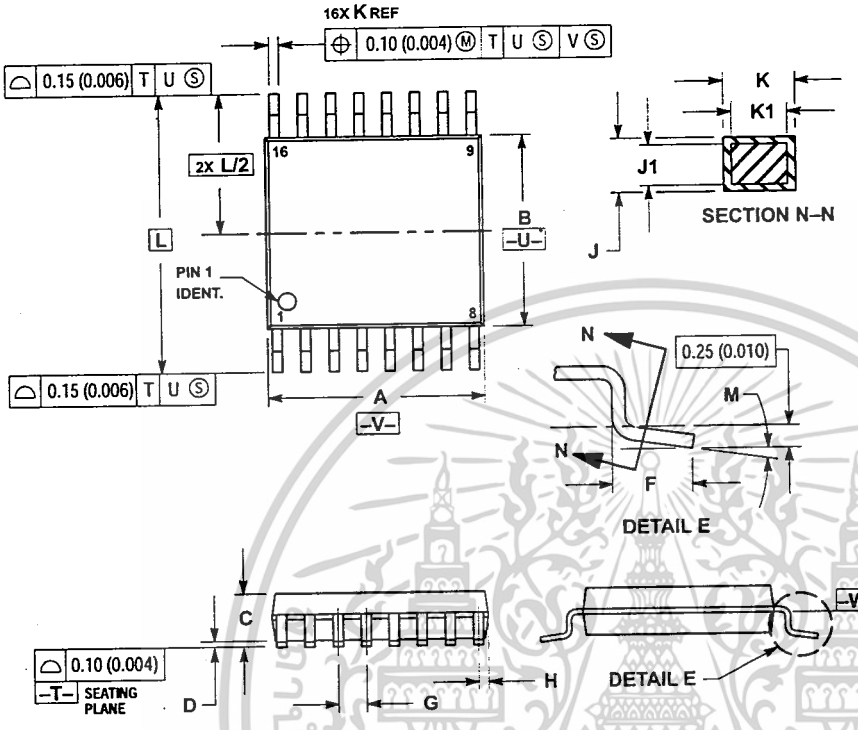
NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

TSSOP–16
DT SUFFIX
CASE 948F–01
ISSUE O



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH. PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25 (0.010) PER SIDE.
5. DIMENSION K DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.08 (0.003) TOTAL IN EXCESS OF THE K DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
6. TERMINAL NUMBERS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY.
7. DIMENSION A AND B ARE TO BE DETERMINED AT DATUM PLANE –W–.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.90	5.10	0.193	0.200
B	4.30	4.50	0.169	0.177
C	—	1.20	—	0.047
D	0.05	0.15	0.002	0.006
F	0.50	0.75	0.020	0.030
G	0.65 BSC		0.026 BSC	
H	0.18	0.28	0.007	0.011
J	0.09	0.20	0.004	0.008
J1	0.09	0.16	0.004	0.006
K	0.19	0.30	0.007	0.012
K1	0.19	0.25	0.007	0.010
L	6.40 BSC		0.252 BSC	
M	0°	8°	0°	8°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON Semiconductor and ON are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

NORTH AMERICA Literature Fulfillment:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303–675–2175 or 800–344–3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303–675–2176 or 800–344–3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com
Fax Response Line: 303–675–2167 or 800–344–3810 Toll Free USA/Canada

N. American Technical Support: 800–282–9855 Toll Free USA/Canada

EUROPE: LDC for ON Semiconductor – European Support
German Phone: (+1) 303–308–7140 (M–F 1:00pm to 5:00pm Munich Time)
Email: ONlit–german@hibbertco.com
French Phone: (+1) 303–308–7141 (M–F 1:00pm to 5:00pm Toulouse Time)
Email: ONlit–french@hibbertco.com
English Phone: (+1) 303–308–7142 (M–F 12:00pm to 5:00pm UK Time)
Email: ONlit@hibbertco.com

EUROPEAN TOLL–FREE ACCESS*: 00–800–4422–3781
*Available from Germany, France, Italy, England, Ireland

CENTRAL/SOUTH AMERICA:
Spanish Phone: 303–308–7143 (Mon–Fri 8:00am to 5:00pm MST)
Email: ONlit–spanish@hibbertco.com

ASIA/PACIFIC: LDC for ON Semiconductor – Asia Support
Phone: 303–675–2121 (Tue–Fri 9:00am to 1:00pm, Hong Kong Time)
Toll Free from Hong Kong & Singapore:
001–800–4422–3781
Email: ONlit–asia@hibbertco.com

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
4–32–1 Nishi–Gotanda, Shinagawa–ku, Tokyo, Japan 141–8549
Phone: 81–3–5740–2745
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: http://onsemi.com

For additional information, please contact your local
Sales Representative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

SN54/74LS151

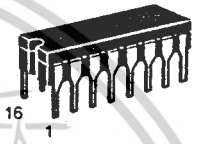
8-INPUT MULTIPLEXER

8-INPUT MULTIPLEXER

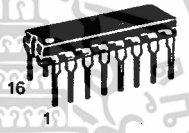
LOW POWER SCHOTTKY

The TTL/MSI SN54/74LS151 is a high speed 8-input Digital Multiplexer. It provides, in one package, the ability to select one bit of data from up to eight sources. The LS151 can be used as a universal function generator to generate any logic function of four variables. Both assertion and negation outputs are provided.

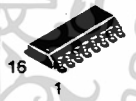
- Schottky Process for High Speed
- Multifunction Capability
- On-Chip Select Logic Decoding
- Fully Buffered Complementary Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

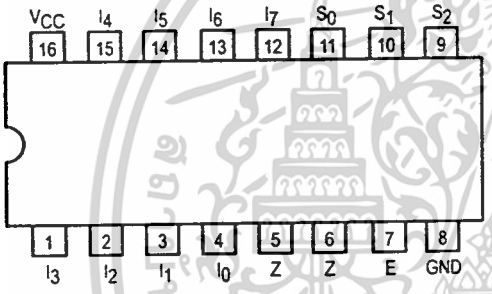


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ	Ceramic
SN74LSXXXN	Plastic
SN74LSXXXD	SOIC

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)

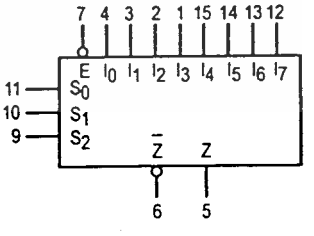


PIN NAMES

		LOADING (Note a) HIGH	LOW
S_0-S_2	Select Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E	Enable (Active LOW) Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
I_0-I_7	Multiplexer Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
Z	Multiplexer Output (Note b)	10 U.L.	5 (2.5) U.L.
$\overline{Z}$	Complementary Multiplexer Output (Note b)	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:
a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 µA HIGH/1.6 mA LOW.
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

LOGIC SYMBOL

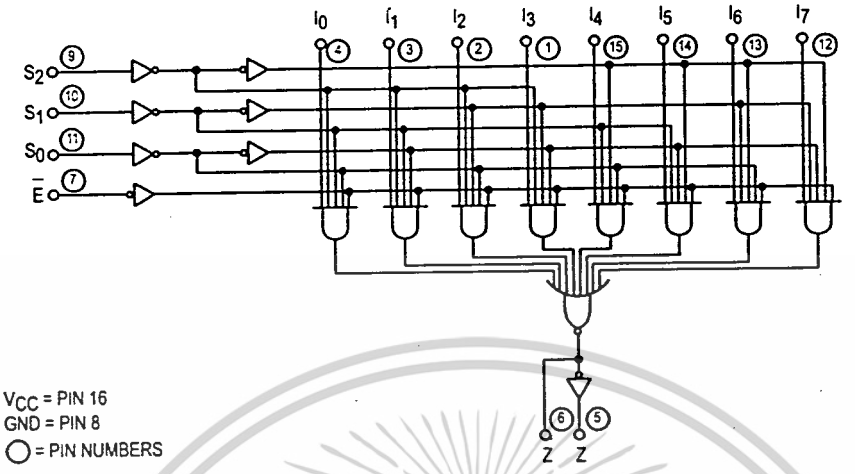


V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS151

LOGIC DIAGRAM



V_{CC} = PIN 16
GND = PIN 8
◯ = PIN NUMBERS

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS151 is a logical implementation of a single pole, 8-position switch with the switch position controlled by the state of three Select inputs, S_0, S_1, S_2. Both assertion and negation outputs are provided. The Enable input (E) is active LOW. When it is not activated, the negation output is HIGH and the assertion output is LOW regardless of all other inputs. The logic function provided at the output is:

$$Z = \bar{E} \cdot (I_0 \cdot \bar{S}_0 \cdot \bar{S}_1 \cdot \bar{S}_2 + I_1 \cdot S_0 \cdot \bar{S}_1 \cdot \bar{S}_2 + I_2 \cdot \bar{S}_0 \cdot S_1 \cdot \bar{S}_2 + I_3 \cdot S_0 \cdot S_1 \cdot \bar{S}_2 + I_4 \cdot \bar{S}_0 \cdot \bar{S}_1 \cdot S_2 + I_5 \cdot S_0 \cdot \bar{S}_1 \cdot S_2 + I_6 \cdot \bar{S}_0 \cdot S_1 \cdot S_2 + I_7 \cdot S_0 \cdot S_1 \cdot S_2).$$

The LS151 provides the ability, in one package, to select from eight sources of data or control information. By proper manipulation of the inputs, the LS151 can provide any logic function of four variables and its negation.

TRUTH TABLE

$\bar{E}$	S_2	S_1	S_0	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	Z	$\bar{Z}$
H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	L	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	L	H	X	L	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	H	X	H	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	L	X	X	L	X	X	X	X	X	H	L
L	L	H	L	X	X	H	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	H	X	X	X	L	X	X	X	X	H	L
L	L	H	H	X	X	X	H	X	X	X	X	L	H
L	H	L	L	X	X	X	X	L	X	X	X	H	L
L	H	L	L	X	X	X	X	H	X	X	X	L	H
L	H	L	H	X	X	X	X	X	L	X	X	H	L
L	H	L	H	X	X	X	X	X	H	X	X	L	H
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	L	X	H	L
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	H	X	L	H
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H	L
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	H	L	H

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	−55 0	25 25	125 70	°C
I_{OH}	Output Current — High	54, 74			−0.4	mA
I_{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions	
V_{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V_{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage			−0.65	−1.5	V	V_{CC} = MIN, I_{IN} = −18 mA	
V_{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX, V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA	V_{CC} = V_{CC} MIN, V_{IN} = V_{IL} or V_{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I_{OL} = 8.0 mA	
I_{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 7.0 V	
I_{IL}	Input LOW Current				−0.4	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 0.4 V	
I_{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		−20		−100	mA	V_{CC} = MAX	
I_{CC}	Power Supply Current				10	mA	V_{CC} = MAX	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Select to Output Z		27 18	43 30	ns	V_{CC} = 5.0 V C_L = 15 pF
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Select to Output Z		14 20	23 32	ns	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Enable to Output Z		26 20	42 32	ns	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Enable to Output Z		15 18	24 30	ns	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Data to Output Z		20 16	32 26	ns	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Data to Output Z		13 12	21 20	ns	

AC WAVEFORMS

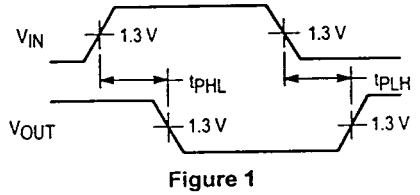


Figure 1

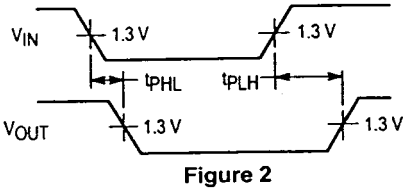


Figure 2

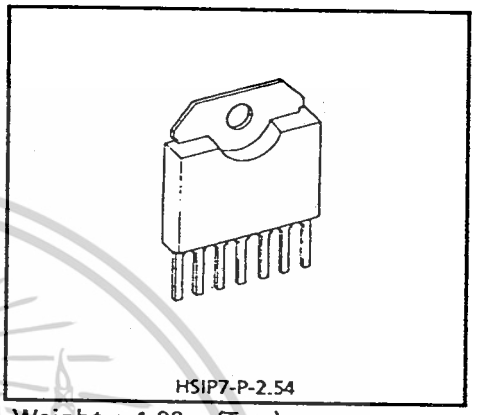
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA BIPOLAR LINEAR INTEGRATED CIRCUIT SILICON MONOLITHIC

TA7257P

BRIDGE DRIVER

The TA7257P is a Full Bridge Driver for blashed DC Motor Rotation control.
Forward Rotation, Reverse Rotation, Stop and Braking operations are available.
It's designed for Loading and Reel Motor driver for VTR and Tape Deck, and any other consumer and industrial applications.
TA7257P have Operation Supply Voltage terminal and Motor Driving Supply Voltage terminal independently therefore Servo control operation is applicable.



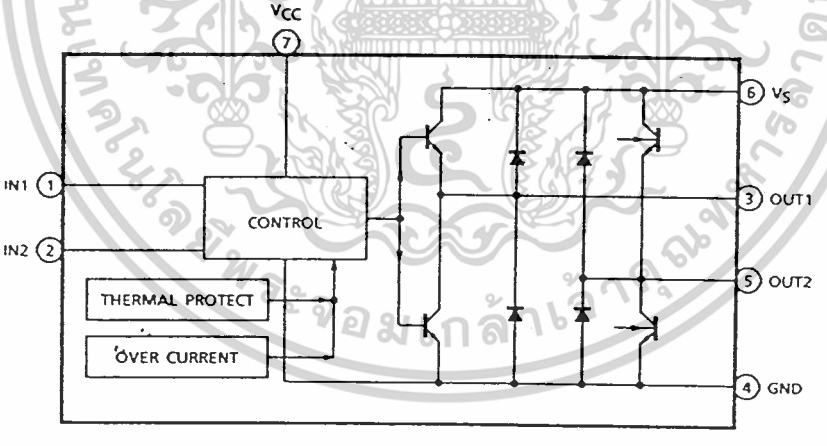
HSIP7-P-2.54

Weight : 1.88 g (Typ.)

FEATURES

- Output Current Up to 1.5 A (AVE.), and 4.5 A (PEAK).
- 4 Function Modes (CW, CCW, STOP and Brake) are Controlled by 2 Logic Signals Fed Into 2 Input Terminals.
- Build in Over Current Protector and Thermal Shut Down Circuit.
- Operating Voltage Range : $V_{CC\,(opr.)}$ = 6~18 V, $V_{S\,(opr.)}$ = 0~18 V

BLOCK DIAGRAM



980910EBA1

- 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 the foreign exchange and foreign trade 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

PIN FUNCTION

PIN No.	SYMBOL	FUNCTIONAL DESCRIPTION
1	IN1	Input terminal
2	IN2	Input terminal
3	OUT1	Output terminal
4	GND	GND terminal
5	OUT2	Output terminal
6	V_S	Supply voltage terminal for Motor drive
7	V_{CC}	Supply voltage terminal for Logic

FUNCTION

IN1	IN2	OUT1	OUT2	MODE
1	1	L	L	Brake
0	1	L	H	CW / CCW
1	0	H	L	CCW / CW
0	0			Stop

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

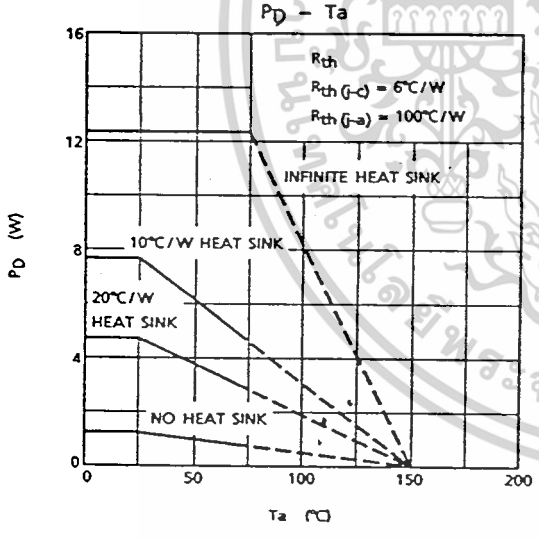
CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Peak Supply Voltage	Peak	V_{CC} (MAX.)	25	V
	Operate	V_{CC} (opr.)	18	
Output Current	PEAK	I_O (PEAK)	4.5	A
	AVE.	I_O (AVE.)	1.5	
Power Dissipation		P_D	12.5 (Note)	W
Operating Temperature		T_{opr}	−30~75	°C
Storage Temperature		T_{stg}	−55~150	°C

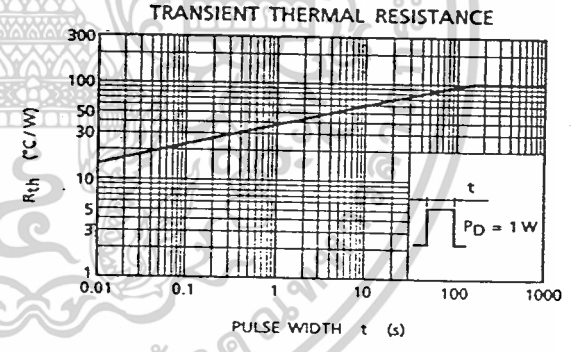
(Note) Tc = 75°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply Current		I_{CC1}	—	V_{CC} = 18 V Output OFF stop mode	—	6.5	13	mA
		I_{CC2}		V_{CC} = 18 V Output OFF CW/CCW mode	—	10	20	
Saturation Voltage	Upper	$V_{S1}U$	—	V_{CC} = 18 V, I_O = 0.1 A	—	0.7	1.0	V
	Lower	$V_{S1}L$			—	0.6	0.9	
	Upper	$V_{S2}U$		V_{CC} = 18 V, I_O = 1.1 A	—	1.0	1.4	
	Lower	$V_{S2}L$			—	0.9	1.3	
Output Transistor Leakage Current	Upper	I_L U	—	V_S = 18 V	—	—	100	μA
	Lower	I_L L			—	—	100	
Input Voltage 1, 2		V_{IN} (H)	—	T_j = 25°C, pin ① and pin ②	3.0	—	—	V
		V_{IN} (L)			—	—	0.8	
Diode Forward Voltage		V_F U	—	I_F = 1.0 A	—	2.0	—	V
		V_F L			—	1.25	—	
Limiting Current		I_{SC}	—	—	—	3.5	—	A
Input Current		I_{IN}	—	—	—	1	10	μA





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION NOTE

(1) Input circuit

Input circuit is shown in Fig.1. It's a "Low active" type voltage comparator that's one input connect to Input terminal (pin ①, or ②) and the other to built-in temperature compensated voltage reference (V_{TH} = 1.4 V Typ.)
If a voltage above $V_{IN\,(H)}$ fed into the Input Terminal that means "Logic 1" and less than $V_{IN\,(L)}$ or connect to GND means "Logic 0".

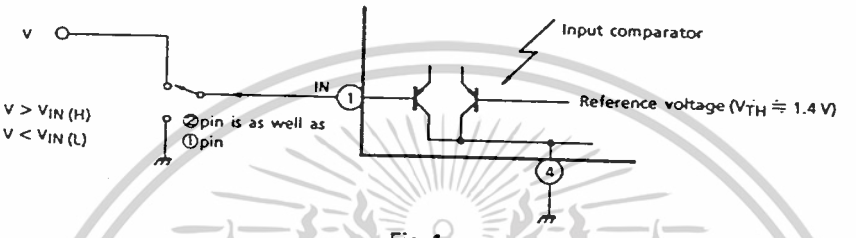


Fig.1

(2) Basic application circuit

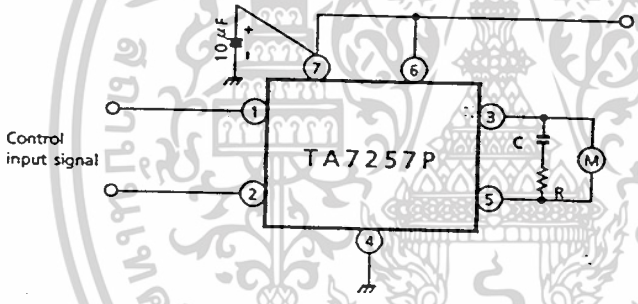


Fig.2

(Note 1) Fig.2 shows the basic application circuit.
Optimum values of the C, R depend on the inherent constant of a motor and parasitic C, R values around the circuit.
Normally, recommended to use 0.1 μF and 33 Ω.

(Note 2) Utmost care is necessary in the design of the output line, V_S, V_{CC} and GND line since IC may be destroyed due to short-circuit between outputs, air contamination fault, or fault by improper grounding.

(Note 3) Be careful when switching the input because rush current may occur.
When switching, stop mode should be entered or current limitation resister R should be inserted.

(Note 4) The IC functions cannot be guaranteed when turning power on of off.
Before using the IC for application, check that there are no problems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Additional diode

i) If the braking operation is so loose, connect a additional diode between each output to GND, (See Fig.3)

ii) If the back electromotive pulse generated in output coil is so strong.
Internally connected back electromotive suppression diode may be damaged by this pulse.
In such a case connect a additional diode between each output to V_{CC}. (See Fig.4)

iii) In case of mounted on radiators, do not use silicon rubber.

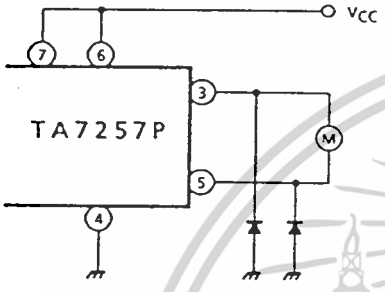


Fig.3

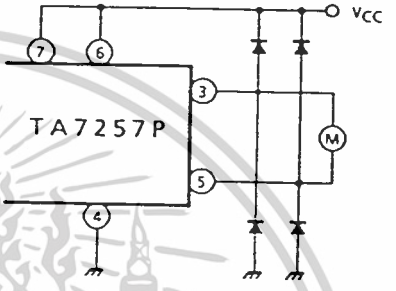
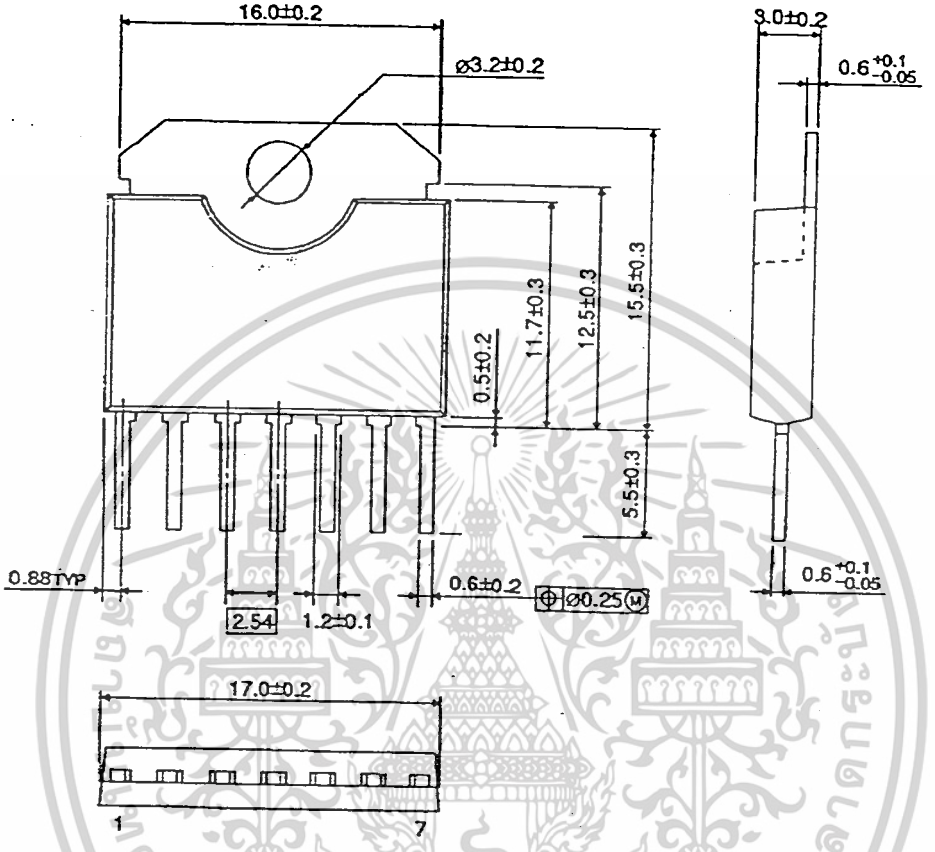


Fig.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DRAWING
HSIP7-P-2.54

Unit : mm



Weight : 1.88 g (Typ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Eshed Robotics (1982) Ltd.," **Scorbot ER V-plus User,s manual"**
2. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, **"เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 Flash Microcontroller",**กรุงเทพ : อินโนเวทีฟ เอ็กเพอร์ริเมนท์
3. รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน, **"อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics".** กรุงเทพ : วีเจพริ้นตริ้ง
4. ผศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, "เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์". กรุงเทพ : เอ็ม แอนด์ อี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือในการทำงานต่างๆ มาโดยตลอด

อาจารย์ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดความรู้ สั่งสอนและให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ มาจนถึงทุกวันนี้

พี่สโตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

พี่แป๊ะ SELC ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับ MCS-51

เพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆด้าน

ส่วนดีของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่
ผู้มีพระคุณ มีคุณธรรม ผู้กระทำประโยชน์แก่สวนรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้