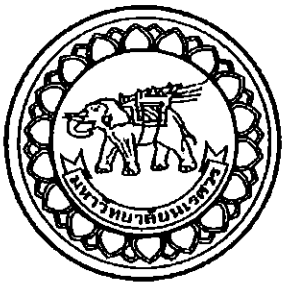


เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

AUTOMATIC COIN EXCHANGED MACHINE

นางสาวสุภัทธีญา มาดี รหัส 52362311

นางสาวอัมรินทร์ ระมาดใจ รหัส 52362403

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ก.ย. 2556
เลขทะเบียน 1038149
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส 836 ก
2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวสุภัทธีญา มาดี	รหัส 52362311
	นางสาวอัมรินทร์ ระมาดใจ	รหัส 52362403
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2555	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....**ที่ปรึกษาโครงงาน**

(ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

.....**กรรมการ**

(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....**กรรมการ**

(อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวสุภัทธิญา	มาดี	รหัส 52362311
	นางสาวอัมรินทร์	ระมาดใจ	รหัส 52362403
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.มุฑิตา	สงฆ์จันทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน มีหลักการทำงานคือแลกธนบัตรให้กลายเป็นเหรียญแบบอัตโนมัติ ธนบัตรที่สามารถแลกได้มี 3 แบบคือ ธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท ซึ่งธนบัตรแต่ละแบบสามารถเลือกเหรียญที่ต้องการจะแลกได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น ซึ่งมีให้เลือก 2 แบบคือ เหรียญ 5 บาทและเหรียญ 10 บาท และมีจอแสดงผลแสดงจำนวนเงินของธนบัตรที่ต้องการแลก จำนวนเงินนั้นจะลดลงเรื่อยๆ ตามจำนวนของเหรียญที่ถูกปล่อยออกมาจนกระทั่งเป็นศูนย์ จากการทดลองเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติสามารถแยกประเภทของธนบัตรได้ถูกต้องทุกครั้งและจำนวนเงินของเหรียญที่ออกมานั้นมีค่าเท่ากับจำนวนเงินของธนบัตรที่ต้องการแลก

Project title	Automatic Coin Exchanged Machine		
Name	Ms. Suphatteeya	Madee	ID. 52362311
	Ms. Ummarin	Ramadjai	ID. 52362403
Project advisor	Ms. Mutita Songjun, Ph.D.		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2012		

Abstract

This project aim to invent the Automatic Coin Exchange Machine. It will use a micro-controller to control the work. The principle of work is exchanging notes into coins automatically. There are three types of banknotes 20, 50 and 100 baht that can be exchanged. Each banknote can be exchanged into only one type of coin; five-baht coin or ten-baht coin. The LCD display shows the amount of the exchange banknotes and it will be gradually reduced until zero while the coins are released from the container. The results of the Automatic Coin Exchange Machine can classify banknotes correctly. Also the amount of coins is equal to the amount of the exchange notes.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเรื่องเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานคือ ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานนี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจนกระทั่งโครงงานเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และอาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช ซึ่งเป็นคณะกรรมการโครงงาน ที่ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำโครงงานและท่านที่มีส่วนร่วมในการทำโครงงานนี้ จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมา ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นางสาวสุภัทธิญา มาดี
นางสาวอัมรินทร์ ระมาดใจ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 งบประมาณที่ใช้ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 4
2.1.1 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 5
2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 6
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม 11
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) 11
2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) 12
2.3 รีเลย์ (Relay) 17
2.3.1 โครงสร้างของรีเลย์ 18
2.3.2 การประยุกต์ใช้งานรีเลย์ 19
2.4 เซ็นเซอร์ (Sensor) 20
2.4.1 ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) 20

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2 พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ (Proximity Sensor) 21

2.4.3 ตัวตรวจจับแบบใช้แสง (Photoelectric Sensor) 21

2.5 สวิตช์ไฟฟ้า (Electrical Switches) 24

2.5.1 สวิตช์แบบกด (Push Button Switch) 25

2.6 จอแสดงผลแบบแอลซีดี (LCD;Liquid Crystal Display) 26

2.6.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของจอแสดงผลแบบแอลซีดี 27

2.6.2 ลักษณะและตำแหน่งของขา LCD โมดูลแต่ละแบบ 27

2.6.3 การควบคุมการแสดงผลของแอลซีดี 29

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 30

3.1 การออกแบบขั้นตอนในการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 30

3.2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 31

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 31

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 32

3.3 การสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 35

3.3.1 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญ 35

3.3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 35

3.4 วงจรที่ใช้ในเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 36

3.4.1 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง 36

3.4.2 วงจรภาคจ่ายไฟ 37

3.4.3 วงจรเซ็นเซอร์ 37

3.5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 38

บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ 40

4.1 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท 42

4.2 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท 44

4.3 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท 46

4.4 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท 48

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท 51

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 52

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 52

5.2 ปัญหาและการแก้ไข 52

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 53

เอกสารอ้างอิง 54

ภาคผนวก ก โปรแกรมเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ 55

ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmel AT89S52 71

ภาคผนวก ค รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข LM324 78

ภาคผนวก ง รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข ULN2003 83

ภาคผนวก จ รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข PC817 87

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของรีเลย์ 92

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 97

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52 10

4.1 แสดงผลการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท 42

4.2 แสดงผลการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท 43

4.3 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท 44

4.4 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท 45

4.5 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท 46

4.6 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท 47

4.7 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทโดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท 48

4.8 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทโดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท 49

4.9 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท 51

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 7

2.2 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52 10

2.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 13

2.4 แสดงการต่อขั้วมอเตอร์เข้ากับแบตเตอรี่แบบตรงขั้ว 14

2.5 แสดงการต่อขั้วมอเตอร์เข้ากับแบตเตอรี่แบบกลับขั้ว 14

2.6 วงจรเสมือนภายในไอซี ULN2003 15

2.7 แสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไอซี ULN2003 15

2.8 แสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยรีเลย์ 16

2.9 การควบคุมมอเตอร์แบบสองทิศทาง 16

2.10 แสดงรูปมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้มอสเฟต 17

2.11 แสดงลักษณะของรีเลย์ 18

2.12 แสดงสัญลักษณ์ของรีเลย์แทนโครงสร้างรีเลย์ 18

2.13 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้รีเลย์ 19

2.14 มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา 19

2.15 มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา 19

2.16 ส่วนประกอบหลักของตัวตรวจจับแบบใช้แสง 21

2.17 ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง 22

2.18 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง 22

2.19 ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ 23

2.20 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ 23

2.21 ตัวตรวจจับใช้แสงแบบจับโดยตรง 23

2.22 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับใช้แสงแบบจับโดยตรง 23

2.23 ขอบเขตการตรวจจับ 24

2.24 หน้าสัมผัสของสวิตช์ปุ่มกด 26

2.25 โครงสร้างภายนอกของสวิตช์ปุ่มกด 26

2.26 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16 หลัก 2 แถว 27

2.27 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x1 27

2.28 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x2 28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x2	28
2.30 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 20x2	28
2.31 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 20x4	28
3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ	30
3.2 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ	31
3.3 ด้านหน้าของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ	31
3.4 ลักษณะส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร	32
3.5 รูปแบบฐานรองแท่งบรรจุเหรียญ	33
3.6 รูปแบบแท่งบรรจุเหรียญ	33
3.7 แผ่นตัดเหรียญ	33
3.8 รูปแบบแผ่นกั้นเหรียญ	34
3.9 ลักษณะการจัดตำแหน่งของชุดปล่อยเหรียญ	34
3.10 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ	35
3.11 ส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร	35
3.12 ส่วนที่เป็นชุดปล่อยเหรียญ	36
3.13 โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ	36
3.14 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์	37
3.15 วงจรภาคจ่ายไฟ	37
3.16 วงจรเซ็นเซอร์แสง	38
3.17 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ	39
4.1 จอแสดงผลแสดงสถานะพร้อมใช้งาน	40
4.2 ธนบัตรที่ใช้ในการแลก	40
4.3 สอดธนบัตรเข้าไปที่ช่องใส่ธนบัตร	41
4.4 จอแสดงผลแสดงคำว่า SELECT COIN 5, 10	41
4.5 กดเลือกเหรียญ	41
4.6 หยิบเหรียญออกจากช่องรับเหรียญ	42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้ถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์แทบทั้งสิ้น ซึ่งไม่สามารถปฏิเสธได้เลยว่าเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้น เทคโนโลยีที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันของเรา มีทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ให้ทั้งประโยชน์อำนวยความสะดวก และให้ความบันเทิง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อความสะดวกสบาย และประหยัดเวลาสำหรับผู้ใช้

ในชีวิตประจำวันของเราเครื่องอำนวยความสะดวกถูกพบเห็นได้โดยทั่วไปเช่น เครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ ตู้กดน้ำ ตู้เติมเงินโทรศัพท์ ตู้ล้างรถ ตู้เกมส์ หรือแม้กระทั่งตู้คาราโอเกะ ทุกอย่างล้วนใช้งานแบบหยอดเหรียญทั้งสิ้น และสิ่งเหล่านี้ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของเรามากขึ้น ยกตัวอย่างนักศึกษาที่อยู่หอพัก บางคนใช้บริการเครื่องอำนวยความสะดวกจำพวกเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ ตู้กดน้ำแบบหยอดเหรียญ ตู้เติมเงินโทรศัพท์แบบหยอดเหรียญ เครื่องอำนวยความสะดวกที่กล่าวมานั้นล้วนแต่เป็นแบบหยอดเหรียญทั้งนั้น และปัญหาที่ตามมาคือเวลาจะใช้บริการมักไม่มีเหรียญหรือมีเหรียญไม่เพียงพอ ทำให้ต้องไปหาที่แลกเหรียญที่แทบจะหาไม่ได้เลย หรือจุดซื้อตั๋วรถไฟฟ้าบีทีเอสที่ต้องใช้เหรียญในการซื้อตั๋ว มีจุดบริการแลกเหรียญโดยมีพนักงานเป็นผู้ให้บริการเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสในเวลาเร่งด่วน ทำให้ต้องใช้เวลานานในการแลกเหรียญ จากปัญหาที่พบเหล่านี้ทำให้ผู้จัดทำมีความสนใจที่จะทำเครื่องแลกธนบัตรเป็นเหรียญ เพื่อที่จะนำไปใช้และเอื้อประโยชน์ให้กับผู้ที่ต้องการ ซึ่งช่วยให้เกิดความสะดวกสบายและประหยัดเวลามากขึ้นด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้จัดทำตัดสินใจทำโครงงานเรื่องเครื่องแลกธนบัตรเป็นเหรียญนี้ขึ้นมา เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของเรา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างเครื่องแลกธนบัตรเป็นเหรียญ โดยใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจวัดขนาดความยาวของธนบัตรที่จะแลก

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถเลือกเหรียญที่จะแลกได้ 2 ประเภท คือ เหรียญ 5 บาทหรือเหรียญ 10 บาท ประเภทใดประเภทหนึ่งเท่านั้น

2. สามารถแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทได้เท่านั้น ถ้าหากไม่ใช่ธนบัตรตามที่กล่าวมา เครื่องจะคืนธนบัตรออกมาอัตโนมัติ

3. สามารถแลกเหรียญได้ 3 ลักษณะดังนี้

3.1 ถ้าป้อนธนบัตรใบละ 20 บาท สามารถแลกเหรียญ 5 บาท ได้ 4 เหรียญหรือเหรียญ 10 บาทได้ 2 เหรียญ

3.2 ถ้าป้อนธนบัตรใบละ 50 บาท สามารถแลกเหรียญ 5 บาท ได้ 10 เหรียญหรือเหรียญ 10 บาทได้ 5 เหรียญ

3.3 ถ้าป้อนธนบัตรใบละ 100 บาท สามารถแลกเหรียญ 5 บาท ได้ 20 เหรียญหรือเหรียญ 10 บาทได้ 10 เหรียญ

4. มีจอแสดงผลแสดงมูลค่าของเงินที่ต้องการแลกและมูลค่าของเงินจะลดลงตามมูลค่าของเหรียญที่จ่ายออกมา

5. ใช้โปรแกรมภาษาซีในการควบคุมการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2555							ปี 2556		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องแลกเหรียญ	←	→								
2. ออกแบบและสร้างเครื่องแลกเหรียญ			←	→						
3. ศึกษาและเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของเครื่องแลกเหรียญ					←	→	→			
4. ทดสอบและแก้ไขการทำงานของเครื่องแลกเหรียญ							←	→		
5. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม									←	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องแลกธนบัตรเป็นเหรียญที่สามารถใช้งานได้จริง

2. สามารถนำความรู้ความสามารถที่ได้จากการทำโครงงานไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์และนำไปพัฒนาเพื่อการค้าเชิงพาณิชย์ได้

3. เข้าใจถึงโปรแกรมภาษาซีและการทำงานของเครื่องแลกธนบัตรเป็นเหรียญ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

1.6 งบประมาณที่ใช้

1. ค่าวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง	2,050	บาท
2. ค่าอุปกรณ์ควบคุม	3,000	บาท
3. ค่าจัดทำรูปเล่ม	1,800	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันแปดร้อยห้าสิบบาทถ้วน)	6,850	บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะรวมหลักการและทฤษฎีขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนแรกจะเป็นการรับธนบัตรเข้ามาและคัดแยกธนบัตรนั้นๆ ส่วนที่สองเป็นการแสดงจำนวนเงิน และส่วนที่สามจะเป็นส่วนที่ปล่อยเหรียญที่ต้องการจะแลกออกมา ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นจะมีระบบควบคุมอีกทีหนึ่ง

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์[1-3] คือ อุปกรณ์ที่สามารถสร้างระบบควบคุมได้ โดยอุปกรณ์นี้มีขนาดเล็ก และเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่มีการรวมเอาฟังก์ชันการทำงานต่างๆไว้ในตัวมันเอง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ภายในที่ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง พอร์ตในการเชื่อมต่อแบบต่างๆ

โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไปประกอบด้วย 5 ส่วนสำคัญคือ

1) หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2) หน่วยความจำ (Memory) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำเก็บโปรแกรมหลัก (program memory) ทำหน้าที่คล้ายๆ กับฮาร์ดดิสก์ในคอมพิวเตอร์ ข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง และหน่วยความจำข้อมูล (data memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลในการทำงานชั่วคราว ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงคล้ายกับหน่วยความจำแรม (Ram) ในคอมพิวเตอร์ทั่วไปแต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นแบบอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3) ส่วนติดต่ออุปกรณ์ภายนอกหรือเรียกว่าพอร์ต (port) มีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ พอร์ตรับสัญญาณ หรือพอร์ตอินพุต (input port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาท์พุต (output port) ส่วนนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก และอุปกรณ์ภายนอกเหล่านั้นนั่นเองที่เป็นสื่อกลางในการติดต่อกับมนุษย์ ยกตัวอย่าง พอร์ตอินพุตใช้ต่อกับสวิตช์เพื่อรับข้อมูลที่ผู้ใช้งานกดป้อนเข้ามา ซึ่งเหมือนกับการใช้คีย์บอร์ดในการป้อนข้อความเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ พอร์ตเอาท์พุตใช้ต่อกับลำโพงเพื่อขับเสียง ต่อกับหลอดไฟเพื่อแสดงผลต่อกับมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุน ต่อกับหน่วยความจำเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หากเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์ พอร์ตเอาท์พุตก็คือส่วนที่ต่อกับเครื่องพิมพ์สำหรับพิมพ์ข้อมูลออกมาและส่วนที่ต่อกับจอมอนิเตอร์เพื่อแสดงภาพ เป็นต้น

4) เส้นทางสัญญาณหรือบัส (bus) การติดต่อแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต จะกระทำบนสายสัญญาณจำนวนมาก เรียกว่า เส้นทางสัญญาณหรือบัส โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (data bus) , บัสแอดเดรส (address bus) และบัสควบคุม (control bus) บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลสำหรับการประมวลผลทั้งหมดขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการประมวลผลของซีพียูและเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นๆ สำหรับในงานทั่วไป ขนาดของบัสข้อมูลคือ 8 บิต และในปัจจุบันมีการพัฒนาไปถึง 16, 32 และ 64 บิตแล้ว บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ซึ่งก็คือการกำหนดค่าแอดเดรส จำนวนสายสัญญาณของบัสแอดเดรส จึงต้องมีจำนวนมาก และถ้ายิ่งมีมากเท่าใด จะเป็นการแสดงถึงความจุของหน่วยความจำ ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นสามารถติดต่อได้

5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำงานทั้งหมดในไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะโดยใช้สัญญาณนาฬิกาหากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะถี่และมีมากตามส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.1.1 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาษาที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์แบ่งได้เช่นเดียวกับการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์คือ ภาษาเครื่อง ภาษาแอสเซมบลี และภาษาซี

ภาษาเครื่อง เป็นภาษาระดับต่ำสุด ประกอบไปด้วยรหัสฐาน 2 คือ 0 กับ 1 เท่านั้น ซึ่งเป็นภาษาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าใจ แต่มนุษย์จะทำความเข้าใจได้ยาก เพราะต้องอาศัยการจดจำรหัสคำสั่งต่างๆ รวมถึงต้องเข้าใจโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย จึงได้มีการคิดค้นสิ่งที่เรียกว่า คอมไพเลอร์ (Compiler) ขึ้นมาเพื่อทำให้มนุษย์สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับสูงที่มนุษย์เข้าใจได้ โดยคอมไพเลอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนภาษาระดับสูงเหล่านั้นกลายเป็นภาษาเครื่องเอง

ภาษาแอสเซมบลี เป็นภาษาที่ใช้รหัสคำสั่งที่เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษมาแทนคำสั่งเลขฐาน 2 ในแบบของภาษาเครื่องทำให้ภาษาแอสเซมบลีกลายเป็นภาษาที่มนุษย์ทำความเข้าได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นแล้ว ยังเป็นภาษาที่ทำให้โปรแกรมทำงานได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีการสั่งงานไปที่ฮาร์ดแวร์โดยตรง ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้พัฒนาโปรแกรมจำเป็นจะต้องเข้าใจโครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างละเอียดด้วย ซึ่งกลายเป็นข้อด้อยของภาษาแอสเซมบลีไป คอมไพเลอร์ที่ทำหน้าที่แปลงภาษาแอสเซมบลีให้เป็นภาษาเครื่องเรียกว่า แอสเซมเบลอร์

ภาษาซี เป็นภาษาระดับสูงที่มีความใกล้เคียงกับภาษามนุษย์ ทำให้ทำความเข้าใจได้ง่าย นอกจากนั้นแล้วการเขียนโปรแกรมภาษาซี ก็ไม่ต้องจำเป็นต้องเข้าใจโครงสร้างภายในของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างละเอียด เพียงแต่เข้าใจการเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้างก็เพียงพอแล้ว ภาษาซี สามารถใช้ในการเข้าถึงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง ทำให้ได้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานได้รวดเร็ว ดังนั้นภาษาซี จึงเป็นที่นิยมแพร่หลายในการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์คอมไพเลอร์ที่ใช้ในการแปลงภาษาซี เป็นภาษาเครื่องมีอยู่มากมาย

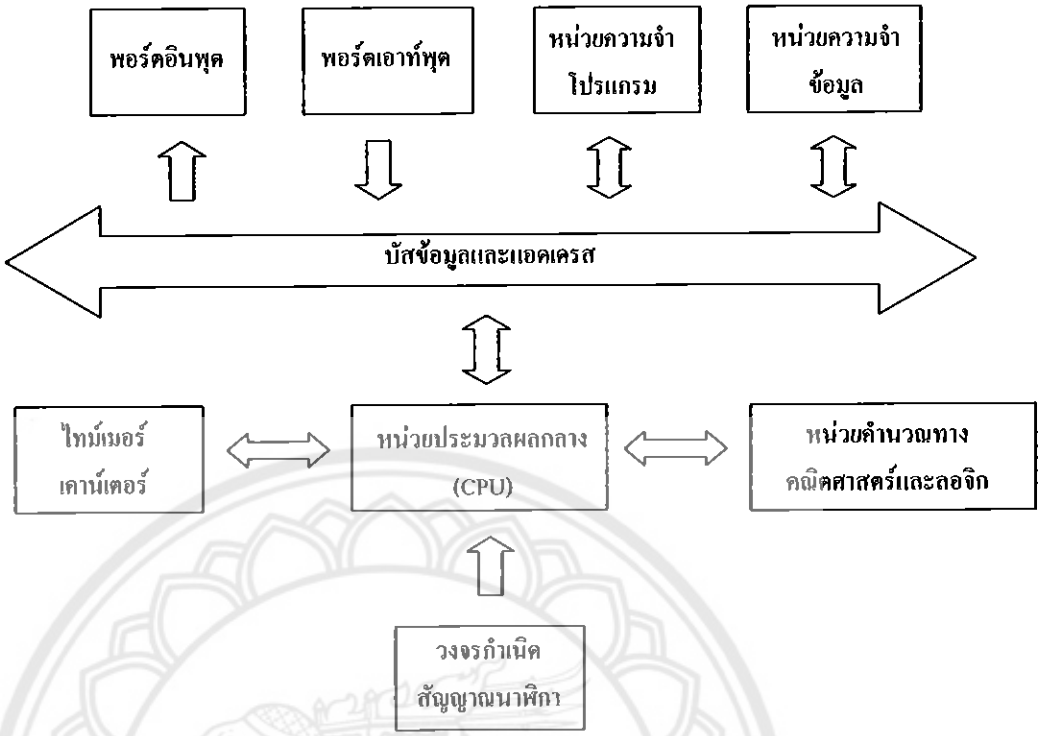
2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สนองความต้องการของผู้ใช้แบบสำเร็จในตัวไอซีตัวเดียว คือ สายสัญญาณอินพุต/เอาท์พุตภายในตัว พอร์ตของอินพุตและเอาท์พุต บัฟเฟอร์ที่เชื่อมต่อกับวงจรภายนอก (interface) และสายสัญญาณควบคุมอื่นๆที่ใช้สำหรับแยกสายสัญญาณข้อมูลกับสายสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ และยังมีชุดคำสั่งพิเศษเพื่อจัดการข้อมูลเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนั้นยังมีวงจรนับเวลาและตั้งเวลาด้วย ข้อสำคัญคือ มีการพัฒนาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำเป็นแบบแฟลช (Flash Memory) ทำให้สามารถโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากวงจร เรียกว่า การโปรแกรมภายในวงจร (In-System Programming) และมีการติดต่อแบบเอสพีไอ (Serial Peripheral Interface) ทำให้การพัฒนาและการแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

2.1.2.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 จะขึ้นอยู่กับเบอร์ของไอซี ซึ่งบางเบอร์มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบรอม บางเบอร์เป็นแบบอีพรอม บางเบอร์มีแรมภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ แต่ก็จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน (EPROM, EEPROM และแฟลช) หน่วยความจำที่เป็นข้อมูล (RAM) ซึ่งรวมอยู่ในวงจรหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนวงจรการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) วงจรรีจิสเตอร์

การควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นกระทำผ่านกระบวนการควบคุมโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อบอกถึงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยลักษณะที่ถูกระบุขึ้นโดยผู้เขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งควบคุมการทำงานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการกำหนดพอร์ตให้เป็นอินพุตและเอาท์พุต และยังสามารถกำหนดหน่วยความจำภายในซึ่งเป็นที่เก็บข้อมูล และเป็นที่พักข้อมูลตามความต้องการ โดยในการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์แต่ละคำสั่ง จะอ้างอิงเวลาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีโครงสร้างการทำงานรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ [1]

2.1.2.2 โครงสร้างหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แยกการจัดการหน่วยความจำออกเป็นสองส่วนอย่างชัดเจน คือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล หน่วยความจำทั้งสองนี้ มีหน้าที่แตกต่างไปจากกัน และใช้วิธีการอ้างแอดเดรสสัญญาณการติดต่อแยกออกจากกัน

1) หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 เป็นบริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่างๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหายโครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรมมีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของหน่วยความจำประเภทต่างๆ เช่น หน่วยความจำแบบรอม (READ ONLY MEMORY) หรือ อีพรอม (ERASABLE PROGRAMABLE READ ONLY MEMORY) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (INTERNAL PROGRAM MEMORY) ซึ่งเป็นหน่วยความจำรอมหรืออีพรอม ที่อยู่ภายในตัวไอซีของไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (EXTERNAL PROGRAM MEMORY) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำโปรแกรมของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ของตระกูล 8051 นี้สามารถ

ขยายให้ใช้งานในหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้นจะต้องทำการควบคุมระดับลอจิกของสัญญาณในขณะนั้นด้วย ขนาดหน่วยความจำโปรแกรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ภายในตระกูล 8051 จะแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานลักษณะต่างๆ

2) หน่วยความจำข้อมูล ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วเป็นหน่วยความจำแรมสามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลได้ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลโปรแกรมไว้เป็นการชั่วคราว ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วหน่วยความจำข้อมูลจัดเป็นหน่วยความจำแรมแบบสแตติกดังนั้นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบก็จะมีผลทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำนี้สูญไป พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทออกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยความจำนั้นตามลักษณะของหน่วยความจำโปรแกรมภายในซึ่งก็เป็นแรมที่อยู่ภายในตัวไอซีในตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์และหน่วยความจำข้อมูลภายนอกซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำแรมมาเพิ่มเติมเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับการนำไอซีอีพรอมมาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง

โดยที่หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ในส่วนที่เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไอซี และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกๆ เบอร์จะมีหน่วยความจำเก็บข้อมูลทั่วๆไปภายในไอซีอย่างน้อยคือ 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของไอซีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไอซี

3) รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รีจิสเตอร์ในกลุ่มนี้จะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลของตัวแอดเดรสเป็นสำคัญโดยค่าที่อยู่ภายในแอดเดรสนี้จะนำไปเป็นค่าของข้อมูลที่ส่งออกไปทางบัสแอดเดรสในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อบอกตำแหน่งที่ต้องการติดต่อ รีจิสเตอร์ที่จัดในกลุ่มนี้ประกอบด้วย รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (GENERAL-PURPUSE REGISTERS) รีจิสเตอร์ในกลุ่มนี้จัดเป็นพื้นที่หน่วยความจำที่ใช้ในการสนับสนุนในการประมวลผลการทำงานจากหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก เพื่อให้สามารถจัดการข้อมูลให้เร็วที่สุด นอกจากนี้โปรแกรมที่ไม่ได้ใช้คำสั่งเหล่านี้ก็ยังใช้เป็นการเก็บข้อมูลตัวแปรภายในโปรแกรม จะเห็นได้ว่าชื่อของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อว่า R0 ถึง R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นในการใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่า ต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ใดๆ ซึ่งการกำหนดเลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ก็ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในแฟลช (PSW) เท่านั้นอย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็มักจะมีการใช้งาน

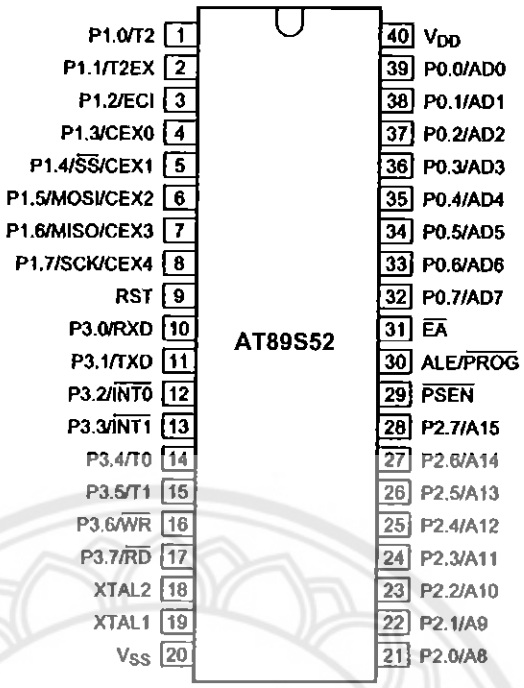
รีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความจำแรม

2.1.2.3 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่น ในแต่ละโครงสร้างอันได้แก่ หน่วยความจำภายใน จำนวนขา จำนวนพอร์ต ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งาน จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ หรือความเหมาะสมของงาน ในโครงสร้างนี้ผู้ดำเนินโครงงานเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52 มีคุณสมบัติดังนี้

1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานแบบ 8 บิต
2) มีแอดเดรสบัสกว้าง 16 บิต
3) รีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 34 ตัว
4) รีจีสเตอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว
5) หน่วยความจำแบบสแตก มีขนาด 128 ไบต์
6) มีหน่วยความจำแรมภายใน 256 ไบต์
7) มีหน่วยความจำแบบแฟลชภายใน 8 กิโลไบต์ โปรแกรมแบบการโปรแกรมภายในวงจร
8) อ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 128 กิโลไบต์ (ข้อมูล 64 กิโลไบต์,โปรแกรม 64 กิโลไบต์)
9) มีแฟล็กเก็บสถานะการทำงาน 4 ตัว
10) มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 3 ตัว
11) มีพอร์ตแบบขนาน 4 พอร์ต
12) มีพอร์ตแบบอนุกรม 1 พอร์ต ทำงานแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
13) มีพอร์ตอินพุต/ เอาท์พุต (I/O port) จำนวน 32 บิต
14) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
15) มีแหล่งเกิดอินเทอร์รัพท์ (interrup) 5 แหล่ง ใน 8051/8031 และ 6 แหล่งใน 8052/8032
16) มีคำสั่งคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (Boolean processor)

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 หมายเลข AT89S52 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ในแบบ 40 ขา ดังรูปที่ 2.2 และมีรายละเอียดการทำงานดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52 [2]

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข AT89S52 [2]

ขา	หน้าที่การทำงาน
V_{DD}	เป็นขาสำหรับต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์
V_{SS}	สำหรับต่อลงกราวด์
XTAL1/XTAL2	ต่อกับตัวผลิตสัญญาณนาฬิกา
RST (Reset)	เป็นขาอินพุตเพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการป้อนสัญญาณลอจิก 1
ALE/PROG (Address Latch Enable)	เป็นขาสัญญาณเอาท์พุตเพื่อแลตช์ค่าแอดเดรสตำแหน่งข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก และเป็นขาสัญญาณเอาท์พุตเพื่อควบคุมการโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
PSEN (Program Store Enable)	เป็นขาสัญญาณสโตรบ เมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ให้ส่งสัญญาณนี้ 2 ครั้งใน 1 พัลส์สัญญาณนาฬิกา
Port 0 (P0.0-P0.7)	เป็นขาอินพุตและเอาท์พุตให้กับอุปกรณ์ภายนอก (นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นขาบัสแอดเดรส (A0-A7) ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก และบัสข้อมูล(D0-D7) เพื่อรับข้อมูลการโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
Port 1 (P1.0-P1.7)	เป็นขาอินพุตและเอาท์พุตต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แบบมีตัวต้านทานพูลอัพภายใน

Port 2 (P2.0-P2.7)	เป็นขาอินพุตและเอาท์พุตต่อจากอุปกรณ์ภายนอก แบบมีตัวต้านทานพูลอัพภายในและเป็นขาบัสแอดเดรส (A8-A15) ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก
P3.0/RXD	รับข้อมูลแบบอนุกรม
P3.1/TXD	ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
P3.2/INT0	อินเทอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3/IMT1	อินเทอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4/T0	ตัวควบคุมเวลาการทำงาน/ตัวช่วยนับ ตัวที่ 1
P3.5/T1	ตัวควบคุมเวลาการทำงาน/ตัวช่วยนับ ตัวที่ 2
P3.6/WR	สัญญาณในการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอก
P3.7/RD	สัญญาณในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม

มอเตอร์ไฟฟ้า[4-7] หมายถึง เป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้งานได้ 2 ประเภทคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่า เอซี มอเตอร์ (AC Motor) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (Single Phase) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น

1) สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split-Phase Motor)

2) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor)

3) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type Motor)

4) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor)

5) เช็ดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole Motor)

1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (AC Two Phase Motor)

1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่า ทรีเฟสมอเตอร์ (Three Phase Motor)

2.2.1.1 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1) ราคาถูกกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน เช่นที่ 2 แรงม้า เอซี = 4,500 บาท ดีซี = 20,000 บาท

2) มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อนและมีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดเท่ากัน

3) การบำรุงรักษาน้อยมากแข็งแรงทนทาน

4) ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟหรือสารเคมีได้

5) มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

6) หาซื้อได้ง่ายเป็นที่นิยม

ข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์มาควบคุม คืออินเวอร์เตอร์ ซึ่งค่อนข้างจะมีราคาสูงมาก

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่า **ดีซี มอเตอร์** (DC Motor) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2.2.2.1 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ

1) การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่าย

2) มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว

3) การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง

4) มีความเที่ยงตรง แม่นยำสูง

ข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ

1) การบำรุงรักษาบ่อยมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน

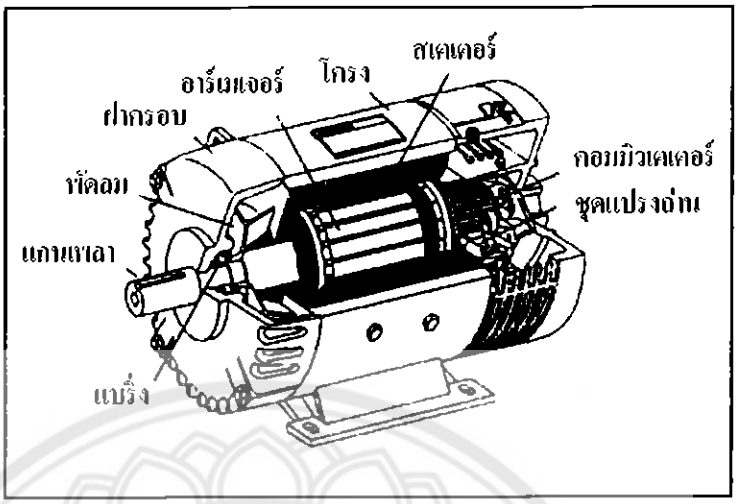
2) ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน

3) มีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ขนาดแรงม้าเท่ากัน

4) หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก

5) ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้

2.2.2.2 ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [6]

1) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Edy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุดแทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเซาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิ่มไฟเบอร์อัดแน่นยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

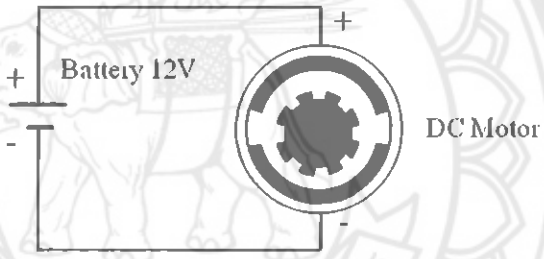
5) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก

แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

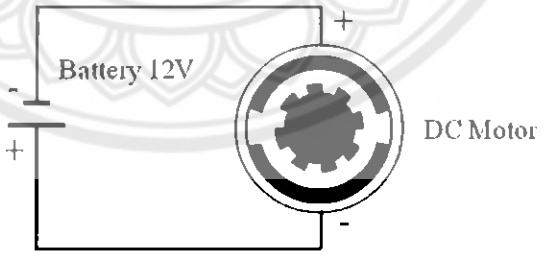
6) แปรงถ่าน (Brush) คือ ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

2.2.2.3 การป้อนไฟให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การป้อนไฟให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถจ่ายไฟได้ทั้งตรงขั้วและกลับขั้วแต่จะทำให้ทิศทางการหมุนนั้นกลับด้านกล่าวคือ เมื่อเราจ่ายไฟตรงขั้วบวกและลบของมอเตอร์จะทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ในทางกลับกันเมื่อเราจ่ายไฟในลักษณะกลับขั้ว โดยขั้วบวกจ่ายไฟลบ และขั้วลบจ่ายไฟบวกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.4 แสดงการต่อขั้วมอเตอร์เข้ากับแบตเตอรี่แบบตรงขั้ว [7]

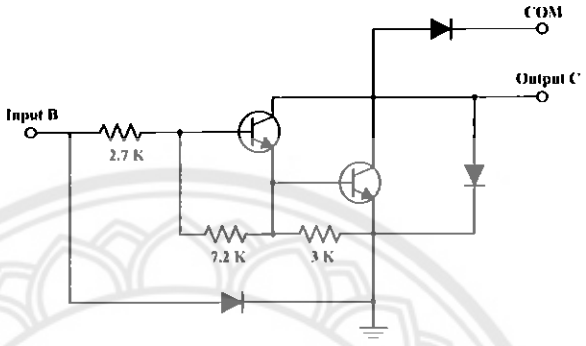


รูปที่ 2.5 แสดงการต่อขั้วมอเตอร์เข้ากับแบตเตอรี่แบบกลับขั้ว [7]

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 2 วิธีคือ

1. การปรับแรงดันไฟที่จ่ายให้กับขั้วของมอเตอร์
2. การปรับความเร็วมอเตอร์ด้วยความกว้างของพัลส์

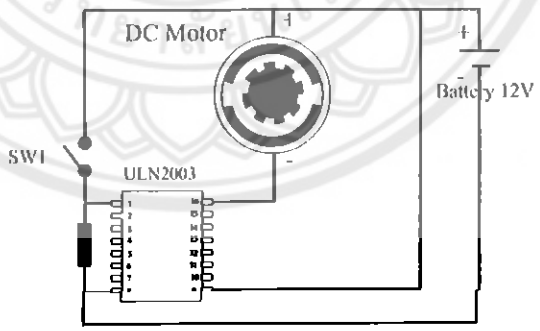
ในการควบคุมความเร็วสามารถเลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่การนำไปใช้งาน และการเลือกใช้อุปกรณ์ เช่น ไอซี ULN2003 เป็นไอซีแรงดันสูงที่ 50 โวลต์ และกระแสสูงที่ 500 มิลลิ-แอมแปร์ ภายในประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น 2 ตัว เพื่อทำให้มีกำลังสูงในการใช้งาน ดังรูปที่ 2.6 ด้านอินพุตมีความต้านทาน 2.7 กิโลโอห์ม เพื่อให้อินพุตสามารถใช้งานร่วมกับไอซีทีทีแอลและซีมอสได้ ด้านเอาท์พุตสามารถนำไปขับรีเลย์ได้โดยตรง



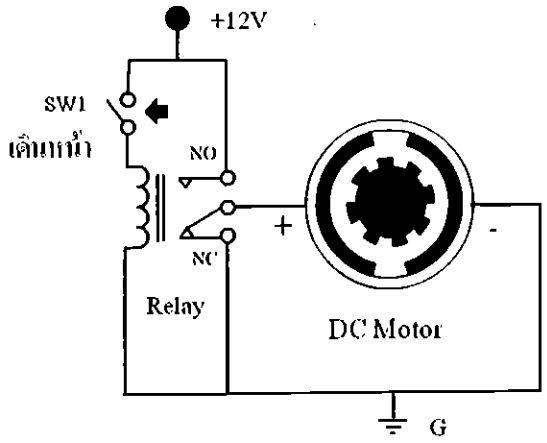
รูปที่ 2.6 วงจรเสมือนภายในไอซี ULN2003 [7]

2.2.2.4 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนทิศทางเดียว

ในการเขียนโปรแกรมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นไม่สามารถนำสัญญาณที่ออกจากขาไมโครคอนโทรลเลอร์ไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรงดังนั้นเราต้องใช้อุปกรณ์ที่มีกำลังสูงมาต่อ หรือทำการขยายสัญญาณให้มากขึ้น เช่น รีเลย์, ไอซี ULN2003, ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต เป็นต้น โดยในที่นี้เราจะยกตัวอย่าง 2 อุปกรณ์ คือรีเลย์ และไอซี ULN2003



รูปที่ 2.7 แสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไอซี ULN2003 [7]



รูปที่ 2.8 แสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยรีเลย์ [7]

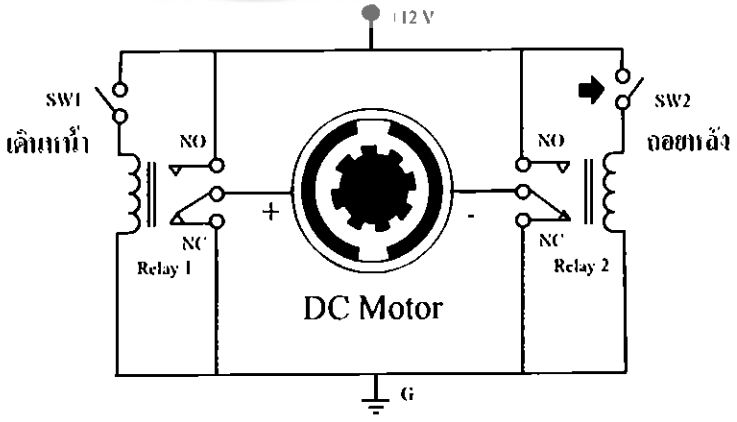
2.2.2.5 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

การที่จะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนได้สองทิศทางนั้นเราต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการกลับขั้วของแหล่งจ่าย ในที่นี้เราจะยกตัวอย่าง 2 แบบ คือ ใช้รีเลย์ในการกลับขั้วมอเตอร์และแบบที่สองใช้ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตในการกลับขั้วมอเตอร์หรือเรียกว่า เอช-บริดจ์ (H – Bridge)

1. ใช้รีเลย์ในการกลับขั้วมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

1.1 เมื่อกดสวิตช์ SW1 ทำให้ Relay1 ทำงาน มีผลให้หน้าสัมผัสของ Relay1 เปลี่ยนจาก NC มาอยู่ที่ NO ไฟบวกไหลผ่านจาก Relay1 ผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลงกราวด์ที่ Relay2 ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้รับแรงดันตรงขั้วหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

1.2 เมื่อกดสวิตช์ SW2 ทำให้ Relay2 ทำงานมีผลให้ หน้าสัมผัสของ Relay2 เปลี่ยนจาก NC มาอยู่ที่ NO ไฟบวกไหลผ่านจาก Relay2 ผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลงกราวด์ที่ Relay1 ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้รับแรงดันกลับขั้วหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

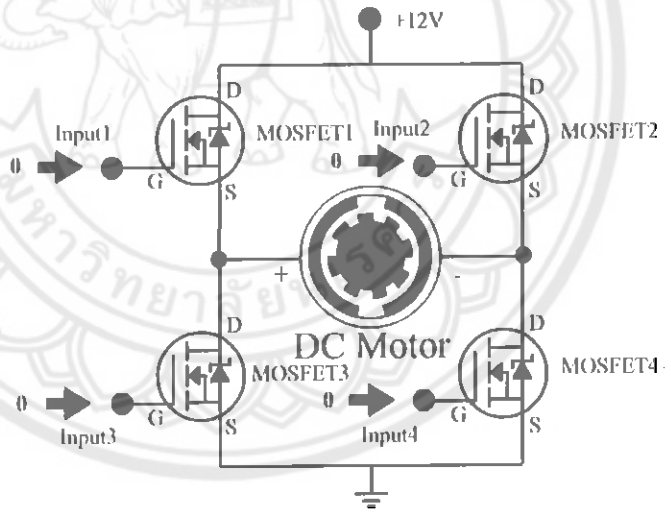


รูปที่ 2.9 การควบคุมมอเตอร์แบบสองทิศทาง [7]

2. ใช้ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตในการกลับขั้วมอเตอร์หรือเรียกว่า เอช-บริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.1 ใช้ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตในการกลับขั้วมอเตอร์แบบหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) ในการจ่ายไฟให้มอสเฟตนั้น ในขั้นตอนแรกเราจ่ายอินพุตทั้งสี่ของมอสเฟต เท่ากับ 0 หมด จะทำให้มอสเฟตไม่ทำงาน มอเตอร์จะได้รับแรงดันไฟ 0 โวลต์ และเมื่อเราให้อินพุตที่ 1 และอินพุตที่ 4 เท่ากับ 1 และอินพุตที่ 2 และ 3 เท่ากับ 0 จะทำให้มอสเฟตตัวที่ 1 และ 4 ทำงาน แรงดันไฟฟ้าก็จะไหลผ่าน มอสเฟต 1 เข้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไปยังมอสเฟต 4 ลงกราวด์ ครบวงจรทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

2.2 ใช้ทรานซิสเตอร์หรือ มอสเฟต ในการกลับขั้วมอเตอร์แบบหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW)ในการจ่ายไฟให้มอสเฟตนั้นในขั้นตอนแรกเราจ่ายอินพุตทั้งสี่ของมอสเฟตเท่ากับ 0 หมด จะทำให้มอสเฟตไม่ทำงาน มอเตอร์จะได้รับแรงดันไฟ 0 โวลต์ และเมื่อเราให้ อินพุตที่ 2 และอินพุตที่ 3เท่ากับ 1 และอินพุตที่ 1 และ 4 เท่ากับ 0 จะทำให้มอสเฟตตัวที่ 2 และ 3 ทำงาน แรงดันไฟฟ้าก็จะไหลผ่านมอสเฟต 2 เข้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไปยังมอสเฟต 3 ลงกราวด์ ครบวงจรทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

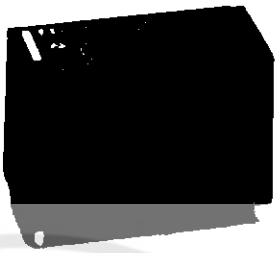


รูปที่ 2.10 แสดงรูปมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้มอสเฟต [7]

2.3 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์[8] คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ ตัด-ต่อวงจร โดยอาศัยหลักการของอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของหน้าสัมผัสรีเลย์มีความหมายในแบบของนักอิเล็กทรอนิกส์ว่า "ตัวถ่ายทอดกำลัง" เพราะเราป้อนกำลังงานไฟฟ้าให้แก่รีเลย์เพียงเล็กน้อย ก็สามารถควบคุมวงจรกำลังงานสูงๆ ที่ต่ออยู่กับหน้าสัมผัส (ซึ่งช่างทั่วไปมักนิยมเรียกว่า คอนแทคต์) ของรีเลย์ได้โดยเมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดรีเลย์ (Coil) จะทำให้เกิด

สนามแม่เหล็กรอบขดลวด ซึ่งอำนาจแม่เหล็กชั่วคราวที่เกิดขึ้นมีค่าเพียงพอที่จะชนะแรงสปริง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่หน้าสัมผัส รีเลย์มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน ในการเลือกใช้งานรีเลย์จะต้องคำนึงถึงชนิดของรีเลย์ อัตรากำลังสูงสุดที่รีเลย์สามารถทนได้ ความถี่ใช้งานและอื่นๆ เพื่อให้สามารถใช้งานรีเลย์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของรีเลย์ [8]

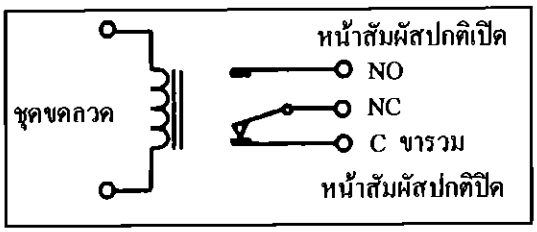
การแบ่งชนิดของรีเลย์ตามชนิดของการควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) จะเป็นรีเลย์ที่มีขนาดเล็กใช้กำลังไฟฟ้าต่างใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนักหรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมนิยมเรียกกันง่ายๆ ว่า "รีเลย์"

2. รีเลย์กำลัง (Power Relay) นิยมเรียกกันว่าคอนแทคเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ซึ่งเป็นรีเลย์ที่มีขนาดใหญ่กว่า รีเลย์ควบคุม นิยมใช้งานกับกำลังไฟฟ้าสูงส่วนใหญ่ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ เช่น การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส เป็นต้น

2.3.1 โครงสร้างของรีเลย์

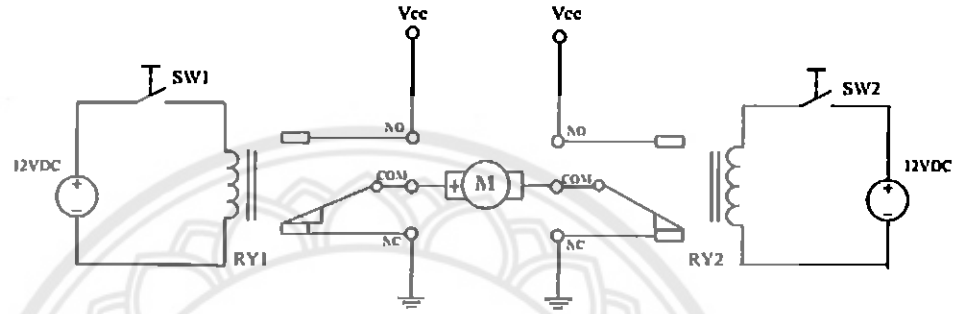
ภายในโครงสร้างของรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวด 1 ชุดและหน้าสัมผัสซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด ซึ่งจะประกอบไปด้วยหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC) ซึ่งในสภาวะปกติขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (C) และ หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (C) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน (ในปริมาณที่เพียงพอ) ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต



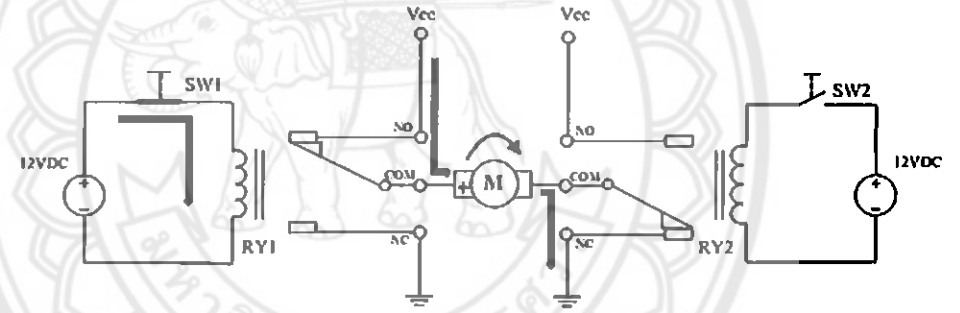
รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของรีเลย์แทนโครงสร้างรีเลย์ [8]

2.3.2 การประยุกต์ใช้งานรีเลย์

ในการนำรีเลย์ไปใช้งานนอกจากใช้เพื่อการเปลี่ยนระบบไฟฟ้าหรือการแยกระหว่างภาคกำลังกับภาคควบคุมของวงจรและสามารถนำประยุกต์ใช้งานต่างๆ อีกมากมายเช่น การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการต่อดัง รูปที่ 2.13 จากวงจรเมื่อไม่มีการกดสวิตช์ทั้งสองตัวรีเลย์ทั้งสองตัวไม่ทำงาน ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งต่ออยู่กับหน้าสัมผัสแบบปกติปิดของรีเลย์ทั้งสองตัวต่อลงกราวด์ มอเตอร์จะหยุดหมุน

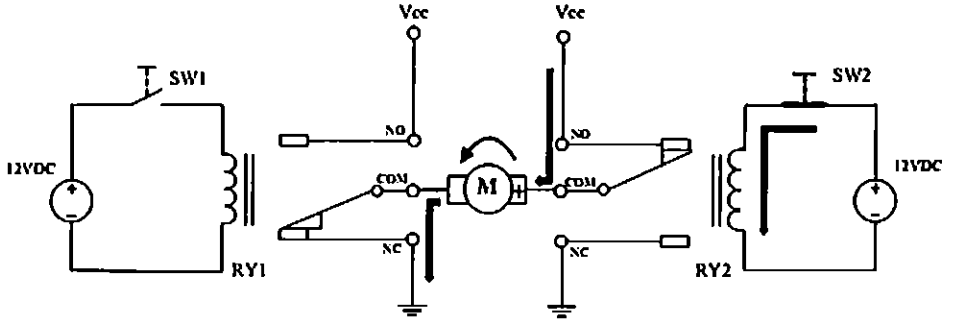


รูปที่ 2.13 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้รีเลย์ [8]



รูปที่ 2.14 มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา [8]

เมื่อทำการกดสวิตช์ตัวที่ 1 (SW1) จะทำให้รีเลย์ตัวที่ 1 (RY1) ทำงาน จึงทำให้จุดร่วม (COM) ต่อกับหน้าสัมผัสแบบปกติเปิดรีเลย์ตัวที่1ทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (VCC) สามารถไหลผ่านมอเตอร์ (M) ไปยังหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (NC) รีเลย์ตัวที่ 2 ลงกราวด์มอเตอร์หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.15 มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา [8]

และเมื่อทำการกดสวิตช์ตัวที่ 2 (SW2) จะทำให้รีเลย์ตัวที่ 2 (RY2) ทำงาน จึงทำให้จุดร่วม (COM) ต่อกับหน้าสัมผัสแบบปกติเปิดรีเลย์ตัวที่ 2ทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (VCC) สามารถไหลผ่านมอเตอร์ (M) ไปยังหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (NC) รีเลย์ตัวที่ 1 ลงกราวด์มอเตอร์หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.15

2.4 เซ็นเซอร์ (Sensor)

เซ็นเซอร์[9] คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณของตัวแปรต่างๆ ที่เราต้องการทราบค่าเช่น อุณหภูมิ การเคลื่อนที่ แสงสว่าง เป็นต้น ในตัวเราเองก็มีเซ็นเซอร์เช่นกันเช่นในดวงตาของเราสามารถรับรู้ความเข้มของแสงได้ หรือกล้ามเนื้อที่รับรู้ถึงน้ำหนักของวัตถุที่เราถืออยู่ได้

ส่วนประกอบของระบบเซ็นเซอร์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนเซ็นเซอร์ ทำหน้าที่รับรู้ปริมาณตัวแปรที่เราต้องการทราบค่า เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ การกระจัด ความชื้น ความดัน เป็นต้น แล้วแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งไปยังภาควงจรปรับแต่งสัญญาณต่อไป

2) วงจรปรับแต่งสัญญาณ สัญญาณจากส่วนเซ็นเซอร์อาจเบาเกินไป ไม่เพียงพอสำหรับส่วนแสดงผลหรือส่งเข้ากระบวนการทางไฟฟ้า หรือมีสัญญาณรบกวนมากจึงต้องมีการปรับแต่งสัญญาณให้ดีขึ้นก่อน

3) อุปกรณ์แสดงผล ทำหน้าที่แสดงค่าที่ได้จากการวัดว่าตัวแปรที่เราต้องการทราบค่าในลักษณะต่างๆ เช่น มิเตอร์แบบเข็ม หลอดแอลอีดี ลำโพง เป็นต้น

เซ็นเซอร์สามารถแบ่งแยกตามลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติที่ได้ดังนี้

2.4.1 ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch)

ลิมิตสวิตช์เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำเช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชน เปิด-ปิดตามจังหวะของการชน

มีหลักการทำงานคือ โดยปกติแบ่งออกเป็น 2ลักษณะคือปกติเปิด (NO) และปกติปิด (NC) จากโครงสร้างภายในตำแหน่งปกติ หน้าสัมผัสจะไม่ต่อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ ตำแหน่งทำงาน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น ลูกสูบเคลื่อนที่ออกมากดลิมิตสวิตช์ ทำให้สภาวะการทำงานเปลี่ยนจากปกติเปิดเป็นปกติปิด มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับจะทำให้ลิมิตสวิตช์ กลับสู่สภาพเดิมจากปกติปิดเป็นปกติเปิดทำให้ตัดวงจรการทำงาน

2.4.2 พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ คือเซ็นเซอร์กลุ่มที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอกโดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังต่อไปนี้คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียงและ สัญญาณลม ส่วนการนำเซ็นเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้นส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ ขนาดและรูปร่าง

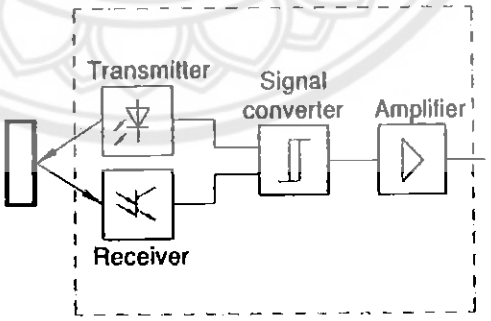
2.4.3 ตัวตรวจจับแบบใช้แสง (Photoelectric Sensor)

ตัวตรวจจับแบบใช้แสง สามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำโดยไม่ต้องสัมผัสทางกายภาพ มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงที่มากระทบกับหน้าตรวจจับ และจะทำงานโดยการส่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงที่ได้รับผ่านตัวตรวจจับแสง การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงนี้ทำให้ตัวตรวจจับทำงานด้วยการตรวจจับการปรากฏหรือการหายไปของวัตถุ ขนาด รูปร่าง การสะท้อนแสง ความโปร่งแสงหรือสีของวัตถุ ตัวตรวจจับแบบใช้แสงสามารถสร้างให้ใช้ตรวจจับได้ในระยะไกล (ถึง 100 เมตร)หรือตรวจจับวัตถุ ขนาดเล็กๆได้ (เล็กกว่า 1 มิลลิเมตร)

2.4.3.1 ส่วนประกอบหลักของตัวตรวจจับแบบใช้แสง

ตัวตรวจจับแบบใช้แสงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

1) ตัวส่งสัญญาณ/ตัวให้แสง (Emitter หรือ transmitter)
2) ตัวรับสัญญาณ/ตัวรับแสง (Receiver)
3) ตัวแปลงสัญญาณ (Signal Converter)
4) ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของตัวตรวจจับแบบใช้แสง [9]

2.4.3.2 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยแสง

เซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยแสงจะทำงานโดยการตรวจจับการปรากฏของวัตถุด้วยการที่วัตถุตัดผ่านลำแสงหรือสะท้อนแสงที่สร้างขึ้นจากเซ็นเซอร์นี้ส่วนประกอบหลักของเซ็นเซอร์นี้จะมีสองส่วนคือ ส่วนที่กำเนิดแสงทรานสมิสชั่นหรือ อิมิตเตอร์ซึ่งอาจจะสร้างแสงในย่านที่ตาเรามองเห็น

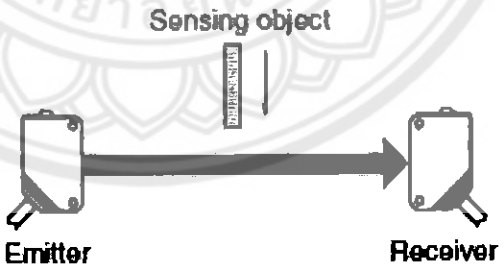
ได้จนถึงบางรุ่นที่ใช้แสงอินฟาเรด ข้อสำคัญก็คือแสงที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นแสงความถี่เดียวเพื่อให้แตกต่างจากแสงที่อยู่รอบๆ ตัวเราจากนั้นแสงจะถูกส่งไปที่ตัวรับแสงซึ่งตัวรับแสงจะทำหน้าที่แยกว่ามีแสงจากแหล่งกำเนิดมาตกกระทบหรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการส่งการทำงานของวงจรเอาท์พุตในเซ็นเซอร์ต่อไป โดยทั่วไปอุปกรณ์ในตัวรับแสงจะเป็นโฟโต้ไดโอดหรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะมีการเปิดหรือปิดวงจรตามที่มีแสงตกกระทบอุปกรณ์นี้สำหรับแสงที่ใช้ในเซ็นเซอร์ประเภทนี้มักจะส่งออกจาก ทรานสมิสชั่นออกเป็นสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ประมาณ 5 และ 30 กิโลเฮิร์ต และแสงที่ใช้มักจะมีความถี่เดียวตามที่บอกไปแล้ว โดยแสงที่ใช้นิยมให้ แอลอีดี เป็นแหล่งกำเนิดแสงและสีของแสงก็จะเป็นตัวกำหนดความถี่หรือความยาวของแสงด้วย

2.4.3.3 ชนิดของตัวตรวจจับแบบใช้แสง

ตัวตรวจจับแบบใช้แสง จะตอบสนองระดับความเข้มของแสงระหว่างผิวที่มีแสง เช่น ระหว่างพื้นผิวของตัวตรวจจับกับพื้นผิวของวัตถุที่กำลังสะท้อนแสงซึ่งแบ่งได้ 3 ชนิด

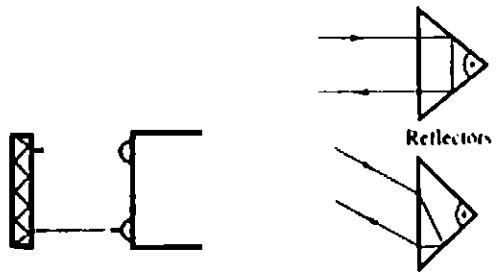
1) ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง (Through-beam optical sensors) ประกอบด้วยตัวให้แสงและตัวรับแสงแยกกันอิสระ การตรวจจับแบบนี้เรียกว่าเป็นแบบตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง

รูปที่ 2.17 ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง [9]

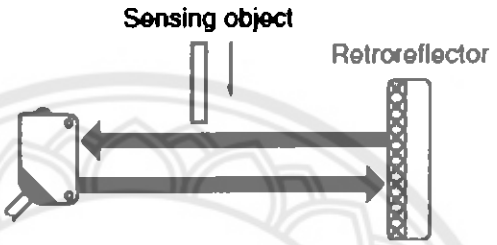


รูปที่ 2.18 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงตรง [9]

2) ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ (Reflex optical sensors) ตัวส่งแสงและตัวรับแสงจะวางอยู่บนตัวเดียวกัน โดยจะอาศัยแผ่นสะท้อนแสงพิเศษเพื่อสะท้อนแสงกลับไปยังแหล่งกำเนิดแสงเดิมอย่างแม่นยำซึ่งแผ่นสะท้อนแบบปกติจะเป็นแบบพื้นสะท้อนสามด้าน การตรวจจับแบบนี้เรียกว่าเป็นแบบตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ



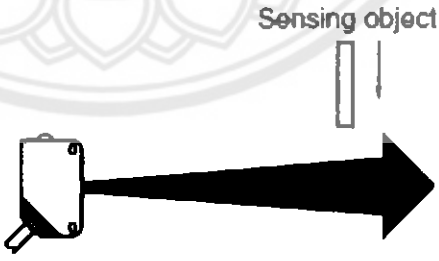
รูปที่ 2.19 ตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ [9]



รูปที่ 2.20 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับแบบใช้แสงชนิดลำแสงสะท้อนกลับ [9]

3) ตัวตรวจจับใช้แสงแบบจับโดยตรง (Direct detection optical sensors) จะสามารถตรวจที่วัตถุได้โดยตรง โดยอาศัยระดับความเข้มของแสงที่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ต้องการการตรวจด้วยตัวตรวจจับเดียวกันโดยอาศัยวัตถุที่ต้องการตรวจจับเป็นตัวสะท้อนแสงกลับมา

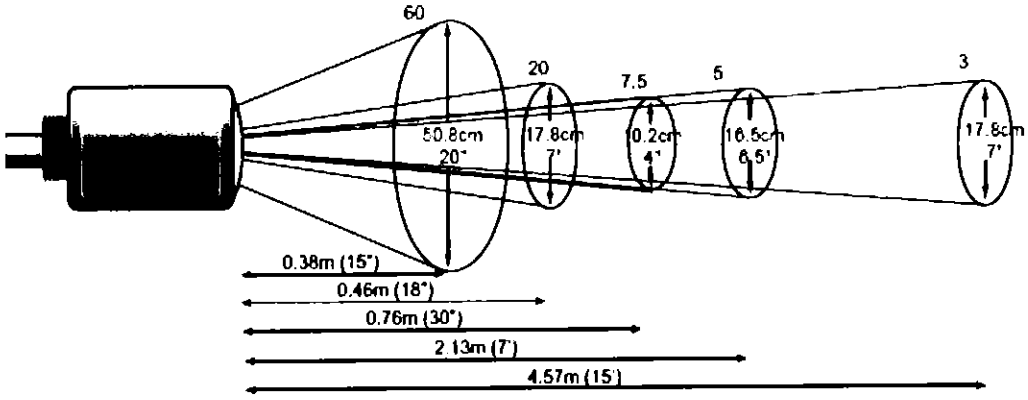
รูปที่ 2.21 ตัวตรวจจับใช้แสงแบบจับโดยตรง [9]



รูปที่ 2.22 ลักษณะการตรวจจับของตัวตรวจจับใช้แสงแบบจับโดยตรง [9]

2.4.3.4 ขอบเขตการตรวจจับ

ขอบเขตการตรวจจับ ตัวตรวจจับแบบใช้แสงที่ใช้สำหรับตรวจจับระยะไกล พื้นที่หรือขอบเขตการตรวจจับค่อนข้างแคบ ในขณะที่มีพื้นที่หรือขอบเขตการตรวจจับกว้างกว่าถ้าใช้ตรวจจับระยะใกล้



รูปที่ 2.23 ขอบเขตการตรวจจับ [9]

2.4.3.5 ข้อดี-ข้อด้อยของตัวตรวจจับแบบใช้แสง

ตัวตรวจจับแบบใช้แสงข้อดีคือสามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกประเภท มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน มีระยะการตรวจจับที่ไกลที่สุดในบรรดาเซ็นเซอร์ที่กล่าวมาและมีเวลาในการตอบสนองดีที่สุดจึงเหมาะที่จะใช้ตรวจจับที่มีความถี่ในการตรวจจับสูงเช่นใช้ในการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม ข้อด้อยของเซ็นเซอร์นี้คือต้องระวังเรื่องความสะอาดของเลนส์ของเซ็นเซอร์มีข้อจำกัดในการตรวจสอบวัตถุโปรงใสและวัตถุที่มีสีแตกต่างกันมากเพราะการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงในแต่ละสีจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นอาจมีความยุ่งยากในการตรวจสอบวัตถุที่มีหลากหลายสี

2.5 สวิตช์ไฟฟ้า (Electrical Switches)

สวิตช์ไฟฟ้า[10] เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง ถือว่าเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่พบการใช้งานได้บ่อย หน้าที่ของสวิตช์คือ สวิตช์ไฟฟ้าใช้ในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้หลักการที่สวิตช์เปิดหรือปิดหน้าสัมผัสซึ่งคล้ายกับสะพานที่เชื่อมให้กระแสสามารถไหลได้ในวงจรไฟฟ้า หน้าสัมผัสปิด (Closed Contact) คือหน้าสัมผัสเชื่อมต่อกันทำให้กระแสไหลผ่านได้ ส่วนหน้าสัมผัสเปิด (Open Contact) คือหน้าสัมผัสแยกออกจากกันทำให้กระแสไม่สามารถไหลผ่านได้ สวิตช์ไฟฟ้ามีหลายชนิด ได้แก่

1) สวิตช์แบบเลื่อน (Slide Switch) เป็นสวิตช์ที่ต้องเลื่อนก้านสวิตช์ไปมา ก้านสวิตช์ยื่นยาวออกมาจากตัวสวิตช์เล็กน้อย การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยผลักเลื่อนสวิตช์ขึ้นบนหรือลงล่าง การเลื่อนสวิตช์ขึ้นบนเป็นการต่อ (ON) การเลื่อนสวิตช์ลงล่างเป็นการตัด (OFF)

2) สวิตช์แบบกระดก (Rocker Switch) เป็นสวิตช์ที่มีปุ่มกระดกยื่นออกมาจากตัวสวิตช์เล็กน้อย การควบคุมตัดต่อสวิตช์เล็กน้อย การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยกดผลักขึ้นบนหรือล่าง กดผลักด้านบนจะเป็นการต่อ กดผลักด้านล่างจะเป็นการตัด

3) สวิตช์แบบก้านยาว (Toggle Switch) เป็นสวิตช์ที่เวลาใช้งานต้องโยกก้านสวิตช์ไปมา โดยมีก้านสวิตช์โยกยื่นยาวออกมาจากตัวสวิตช์ การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยโยกก้านสวิตช์ให้ขึ้นบนหรือลงล่าง ในการโยกก้านสวิตช์ขึ้นมักจะเป็นการต่อ และโยกก้านสวิตช์ลงมักจะเป็นการตัด

4) สวิตช์แบบหมุน (Rotary Switch) หรือเรียกว่าสวิตช์แบบเลือกค่า (Selector Switch) เป็นสวิตช์ที่ต้องหมุนก้านสวิตช์ไปโดยรอบเป็นวงกลม สามารถเลือกตำแหน่งการตัดต่อได้หลายตำแหน่ง มีหน้าสัมผัสสวิตช์ให้เลือกต่อมากหลายตำแหน่ง เช่น 2, 3, 4 หรือ 5 ตำแหน่ง เป็นต้น

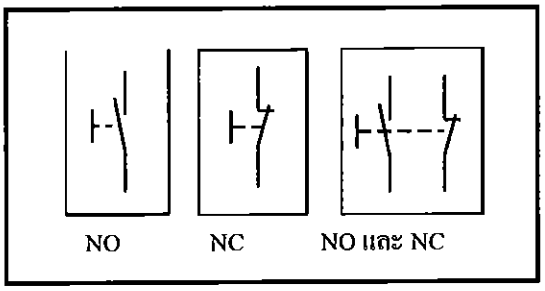
5) สวิตช์แบบไมโคร (Microswitch) คือสวิตช์แบบกดชนิดกดติดปล่อยดับนั่นเอง แต่เป็นสวิตช์ที่สามารถใช้แรงจำนวนน้อยๆ กดปุ่มสวิตช์ได้ ก้านสวิตช์แบบไมโครสวิตช์มีด้วยกันหลายแบบ อาจเป็นปุ่มกดเฉยๆ หรืออาจมีก้านแบบโยกได้มากดปุ่มสวิตช์อีกทีหนึ่ง การควบคุมตัดต่อสวิตช์ทำได้โดยกดปุ่มสวิตช์หรือกดก้านคันโยกเป็นการต่อ และเมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มหรือก้านคันโยกเป็นการตัด

6) สวิตช์แบบดิพ (DIP Switch) คำว่าดิพ มาจากคำเต็มว่าดูอัลอินไลน์แพกเกจ (Dual Inline Package) เป็นสวิตช์ขนาดเล็กใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นในรูปชิป (Chip) ที่มีขนาดเล็กๆ หรือใช้งานกับไอซี (IC = Integrated Circuit) ลักษณะสวิตช์สามารถตัดหรือต่อวงจรได้ การควบคุมตัดต่อสวิตช์แบบดิพจะต้องใช้ปลายปากกาหรือปลายดินสอในการปรับเลื่อนสวิตช์ สวิตช์แบบดิพมักถูกติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board) ใช้กับกระแสไม่เกิน 30 มิลลิ-แอมแปร์ ที่แรงดัน 30 โวลต์

7) สวิตช์แบบกด (Push Button Switch) เป็นสวิตช์ที่เวลาใช้งานต้องกดปุ่มสวิตช์ลงไป การควบคุมตัดต่อสวิตช์ต้องกดปุ่มที่อยู่ส่วนกลางสวิตช์ กดปุ่มสวิตช์หนึ่งครั้งสวิตช์ต่อและเมื่อกดปุ่มสวิตช์อีกหนึ่งครั้งสวิตช์ตัด การทำงานเป็นเช่นนี้ตลอดเวลา แต่สวิตช์แบบกดบางแบบอาจเป็นชนิดกดติดปล่อยดับ (Momentary) คือขณะกดปุ่มสวิตช์เป็นการต่อ เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มสวิตช์เป็นการตัดทันที

2.5.1 สวิตช์แบบกด (Push Button Switch)

อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสอยู่ภายในการเปิดปิดหน้าสัมผัส ได้โดยใช้มือกดใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิน(Start) เรียกว่าสวิตช์ปกติเปิด (Normally Open) หรือที่เรียกว่า เอ็นโอ (N.O.) สวิตช์ปุ่มกดหยุดการทำงาน (Stop) เรียกว่าสวิตช์ปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็นซี (N.C.)



รูปที่ 2.24 หน้าสัมผัสของสวิตช์ปุ่มกด [10]

2.5.1.1. โครงสร้างภายนอกของสวิตช์ปุ่มกด

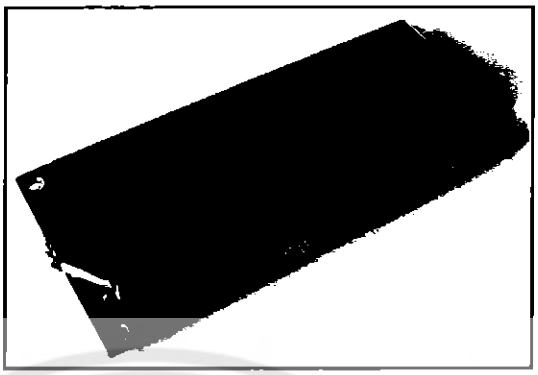
1) ปุ่มกดทำด้วยพลาสติก อาจเป็นสีเขียว แดง หรือเหลืองขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน
2) แหวนล็อค
3) ยางรอง
4) ชุดกลไกลหน้าสัมผัส

รูปที่ 2.25 โครงสร้างภายนอกของสวิตช์ปุ่มกด [10]

2.6 จอแสดงผลแบบแอลซีดี (LCD;Liquid Crystal Display)

จอแสดงผลแบบแอลซีดี[11] จัดเป็นจอแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งจอแสดงผลแบบแอลซีดีนี้มีทั้งแบบที่แสดงผลเป็นอักขระเพียงอย่างเดียว (Character LCD) และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์อื่นๆ ตามความต้องการได้ (Graphic LCD) โดยจอแสดงผลแบบแอลซีดีที่เราพบเห็นกันโดยทั่วๆ ไปในชีวิตประจำวันนี้อาจมีอยู่หลายแบบ บางชนิดก็เป็นแบบที่มีการสั่งผลิตขึ้นเฉพาะงานโดยมีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะ เช่น จอแสดงผลแบบแอลซีดีที่นำไปใช้ในนาฬิกาข้อมือแบบดิจิตอล เครื่องเล่นเกม เครื่องคิดเลข หรือหน้าปัดวิทยุแบบต่างๆ เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงที่มีวางจำหน่ายกันทั่วๆ ไปที่สามารถซื้อหามาใช้งานกันได้ง่าย โดยที่พบเห็นกันทั่วไปได้แก่ขนาด 16 ตัวอักษรไปจนถึง 40 ตัวอักษร และมีจำนวนบรรทัดตั้งแต่ 1 บรรทัดไปจนถึง 4 บรรทัด (หรืออาจมากกว่านั้น) โดยจอแสดงผลแบบแอลซีดีเหล่านี้อาจมีหลายผู้ผลิต แต่ส่วนมากแล้วจะมีโครงสร้าง

การทำงานและชุดคำสั่งที่เหมือนกันเกือบทุกประการ อาจมีแตกต่างกันบ้างในเรื่องของความเร็วในการอ่าน/เขียน (Access Time)



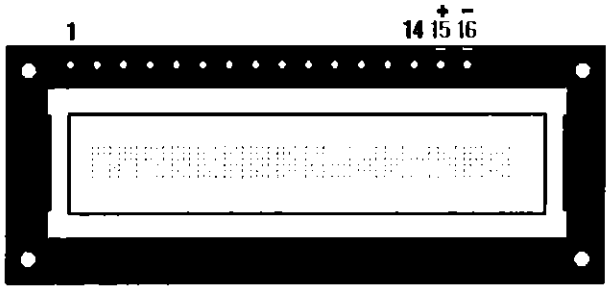
รูปที่ 2.26 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16 หลัก 2 แถว [11]

2.6.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของจอแสดงผลแบบแอลซีดี

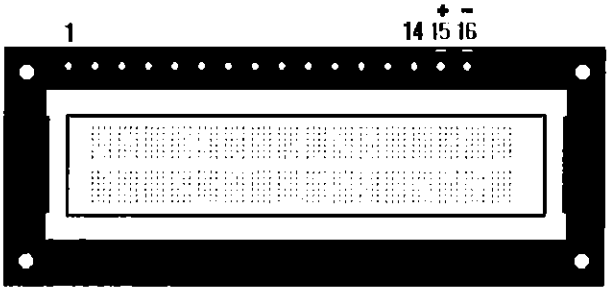
โดยปกติโครงสร้างของแอลซีดีจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าชนิดใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ระหว่างตัวนำไฟฟ้าใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบและผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบแมกเนติกโดยแอลซีดีสามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

- แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) ซึ่งจะใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของแอลซีดี ซึ่งแอลซีดีประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ๆ มีแสงสว่างเพียงพอ
- แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) โดยแอลซีดีแบบนี้จะวางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอเพื่อทำให้การอ่านค่าแสดงผลทำได้ชัดเจน
- แบบส่งผ่าน/สะท้อน (Transflective Mode) แอลซีดีแบบนี้จะเป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผลแอลซีดีทั้ง 2 แบบมารวมกัน

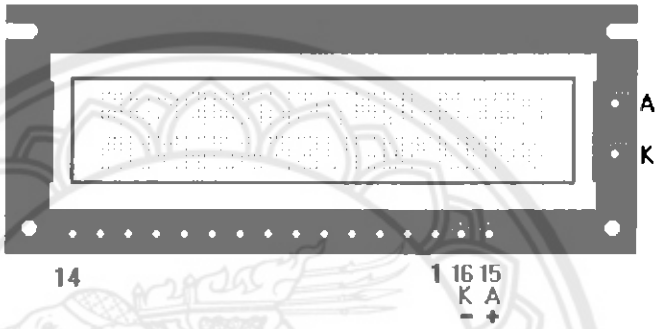
2.6.2 ลักษณะและตำแหน่งของขา LCD โมดูลแต่ละแบบ



รูปที่ 2.27 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x1 [11]

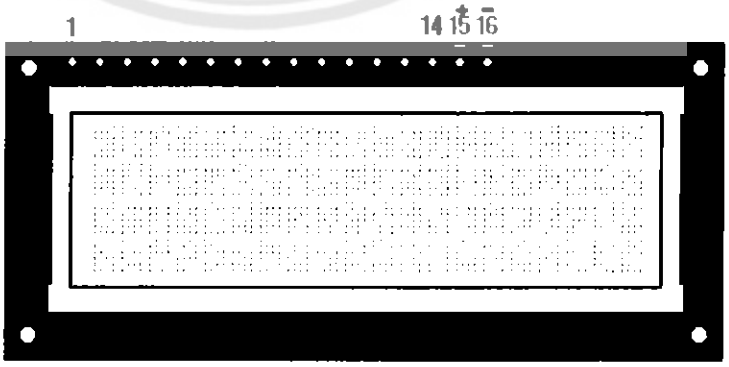


รูปที่ 2.28 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x2 [11]



รูปที่ 2.29 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16x2 [11]

รูปที่ 2.30 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 20x2 [11]



รูปที่ 2.31 ลักษณะของจอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 20x4 [11]

2.6.3 การควบคุมการแสดงผลของแอลซีดี

ผู้ใช้งานไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงให้กับแอลซีดีค้างไว้ตลอดเวลาเพื่อให้แอลซีดีแสดงผลตามที่ต้องการได้เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นและจะทำให้อายุการใช้งานแอลซีดีสั้นลง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องป้อนสัญญาณสลับระหว่างปิดกับเปิด (SCAN) ด้วยความถี่ไม่น้อยกว่า 30 เฮิร์ต เพื่อไม่ให้หน้าจอกระพริบ แอลซีดีโดยทั่วไปจะเป็นแบบที่มีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวอยู่แล้ว ผู้ใช้งานเพียงส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของแอลซีดีให้กับส่วนควบคุมว่าต้องการใช้ทำงานอย่างไร สัญญาณในการเชื่อมต่อระหว่างแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้

ขาที่ 1 GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับแอลซีดี

ขาที่ 2 VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ต้องป้อนให้กับแอลซีดีมีขนาด +5 โวลต์

ขาที่ 3 VO เป็นขาสำหรับปรับความสว่างของหน้าจอแอลซีดี

ขาที่ 4 RS ใช้สำหรับบอกให้แอลซีดีคอนโทรลเลอร์ทราบว่าโค้ดที่ส่งให้ทางขาข้อมูลเป็นคำสั่งหรือข้อมูล

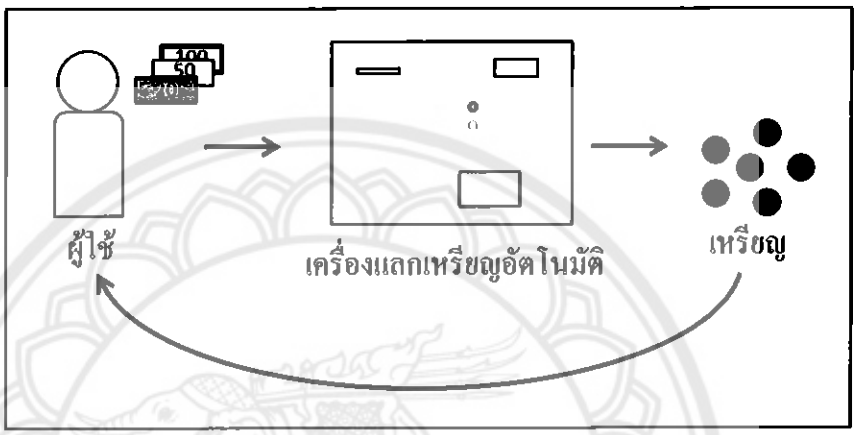
ขาที่ 5 R/W ใช้สำหรับกำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับแอลซีดีคอนโทรลเลอร์

ขาที่ 6 E เป็นขาอีนาเบิลเพื่อกำหนดการทำงานให้กับแอลซีดีคอนโทรลเลอร์

ขาที่ 7-14 DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณข้อมูลใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับแอลซีดีคอนโทรลเลอร์

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

ในบทนี้จะเป็นการบอกถึงการออกแบบขั้นตอนต่างๆ ในการสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติรวมไปถึงบอกอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำ



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ

3.1 การออกแบบขั้นตอนในการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

1. ตรวจสอบประเภทของธนบัตร เมื่อสอดธนบัตรเข้าไปในช่องใส่ธนบัตรจะผ่านเซ็นเซอร์ที่คอยตรวจวัดความยาวของธนบัตร เมื่อมีธนบัตรผ่านเซ็นเซอร์จะทำให้มอเตอร์ทำงานโดยการดึงธนบัตรเข้ามาในเครื่อง เพื่อตรวจสอบมูลค่าของธนบัตรว่าเป็นธนบัตรใบละ 20, 50 หรือ 100 บาท

2. จอแสดงผลจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่ตรวจสอบได้

3. กดปุ่มเลือกเหรียญที่ต้องการแลกเพียง 1 ประเภท ซึ่งมีให้เลือก 2 ประเภท นั่นคือเหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาท

3.1 เมื่อกดปุ่มเลือกเหรียญ 5 มอเตอร์เหรียญ 5 จะทำงานทำให้เหรียญ 5 ถูกจ่ายออกมาตามจำนวนเงินที่ต้องการแลก โดยมีเซ็นเซอร์เป็นตัวนับจำนวนเหรียญที่ถูกจ่ายออกมา

3.2 เมื่อกดปุ่มเลือกเหรียญ 10 มอเตอร์เหรียญ 10 จะทำงานทำให้เหรียญ 10 ถูกจ่ายออกมาตามจำนวนเงินที่ต้องการแลก โดยมีเซ็นเซอร์เป็นตัวนับจำนวนเหรียญที่ถูกจ่ายออกมา

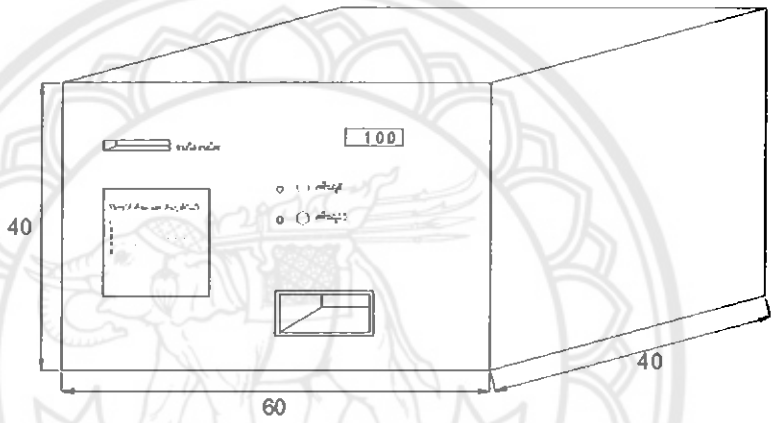
4. ขณะที่เหรียญถูกจ่ายออกมานั้น จำนวนเงินที่จอแสดงผลจะลดลงตามมูลค่าของเหรียญที่ถูกจ่ายออกมาจนกระทั่งเหลือศูนย์

3.2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

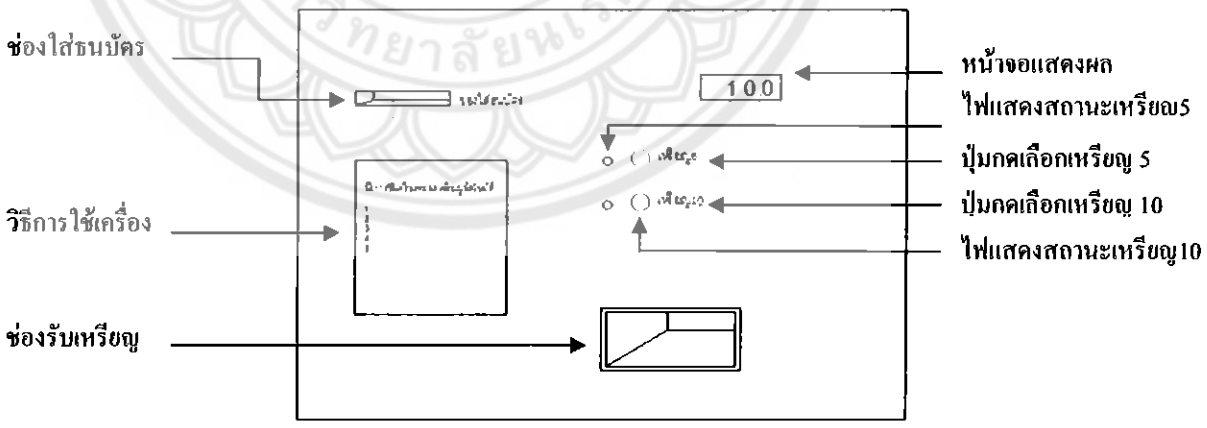
การออกแบบเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติได้มีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นโครงสร้างภายนอกและส่วนที่เป็นโครงสร้างภายใน

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรง โดยเน้นใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทานและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย ซึ่งเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัตินี้มีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร และความสูง 40 เซนติเมตร ซึ่งจะใช้แผ่นอะคริลิค หนา 3 มิลลิเมตรในการสร้าง



รูปที่ 3.2 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ



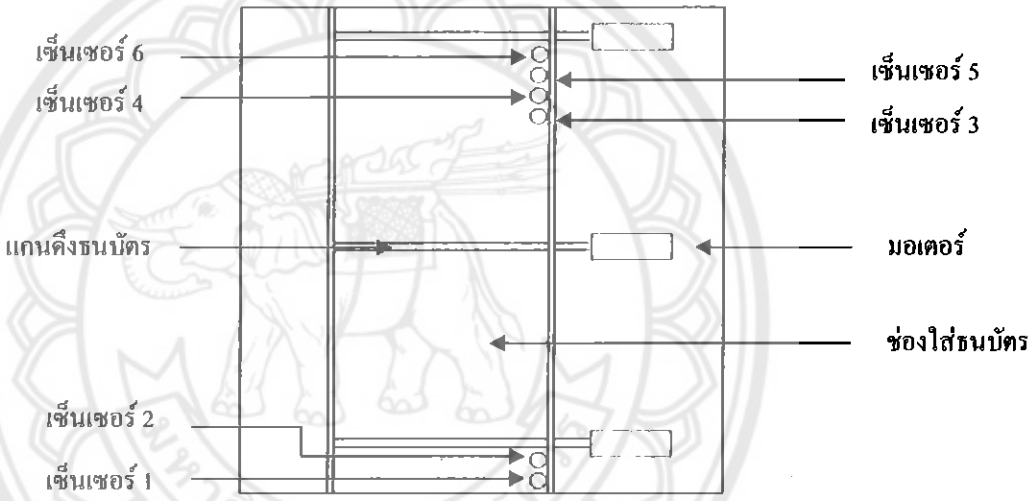
รูปที่ 3.3 ด้านหน้าของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติจะต้องออกแบบให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานและโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร กับส่วนที่เป็นชุดปล่อยเหรียญ

3.2.2.1 ส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร

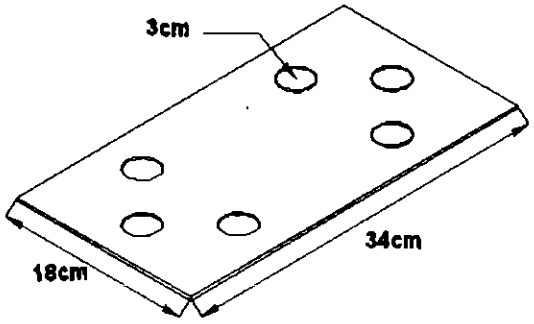
การออกแบบส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร มีการออกแบบให้มีขนาดเหมาะสมกับพื้นที่ภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ซึ่งมีฐานรองรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 3 ตัว เซ็นเซอร์อินฟาเรดจำนวน 6 ตัว และแกนดึงธนบัตรจำนวน 6 แกน ส่วนช่องสำหรับใส่ธนบัตรมีการออกแบบให้มีขนาดความกว้างเท่ากับความกว้างของธนบัตรพอดี



รูปที่ 3.4 ลักษณะส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร

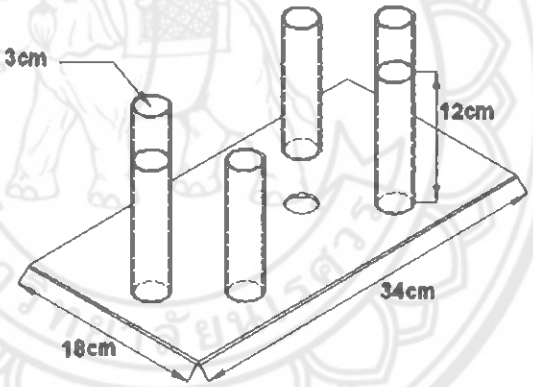
ในส่วนของเซ็นเซอร์ตรวจสอบธนบัตรจะถูกติดตั้งทั้งหมด 6 ตัว โดยเซ็นเซอร์ 1 และ2 จะทำหน้าที่ตรวจจับธนบัตรเพื่อให้มอเตอร์ดึงธนบัตรเข้ามาในเครื่อง ซึ่งเมื่อเซ็นเซอร์ 3 ติดจะตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20 บาท ถ้าเซ็นเซอร์ 3 และ 4 ติดจะตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 50 บาท และถ้าเซ็นเซอร์ 3, 4 และ 5 ติดจะตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 100 บาท เมื่อตรวจสอบได้แล้วว่าเป็นธนบัตรประเภทไหนไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้ทำงานในส่วนถัดไป แต่ถ้าเซ็นเซอร์ 3, 4, 5 และ 6 ติดพร้อมกันทั้งหมดจะตรวจสอบได้ว่าธนบัตรมีความยาวเกินธนบัตรใบละ 100 บาท มอเตอร์ก็จะคืนธนบัตรออกมา เช่นเดียวกับกรณีที่เซ็นเซอร์ 3, 4, 5 และ6 ไม่ติดทั้งหมดก็จะตรวจสอบได้ว่าธนบัตรมีความยาวสั้นกว่าธนบัตรใบละ 20 บาท มอเตอร์ก็จะคืนธนบัตรออกมาเช่นกัน

3.2.2.2 ส่วนที่เป็นชุดปล่อยเหรียญ



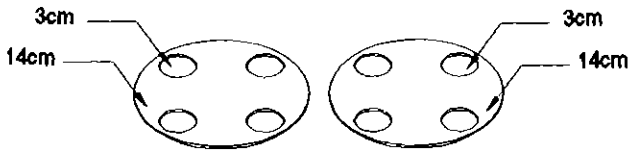
รูปที่ 3.5 รูปแบบฐานรองแท่งบรรจุเหรียญ

ฐานรองแท่งบรรจุเหรียญถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 34 เซนติเมตร ความยาว 18 เซนติเมตร ใช้แผ่นอะคริลิคหนา 3 มิลลิเมตรและเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 6 รู ดังรูปที่ 3.5



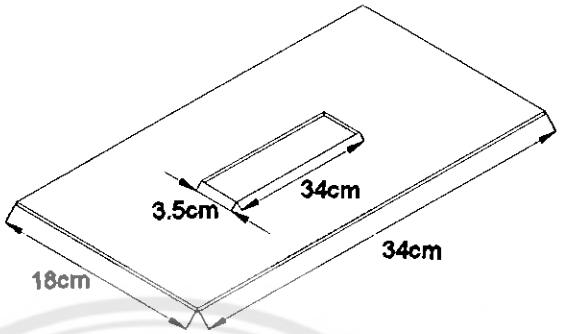
รูปที่ 3.6 รูปแบบแท่งบรรจุเหรียญ

วัสดุที่นำมาใช้ในการทำแท่งบรรจุเหรียญคือท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 เซนติเมตร ตัดเป็นท่อนๆ ละ 12 เซนติเมตร จำนวน 6 แท่ง เพื่อนำไปประกอบติดกับฐานรองแท่งบรรจุเหรียญดังรูปที่ 3.6



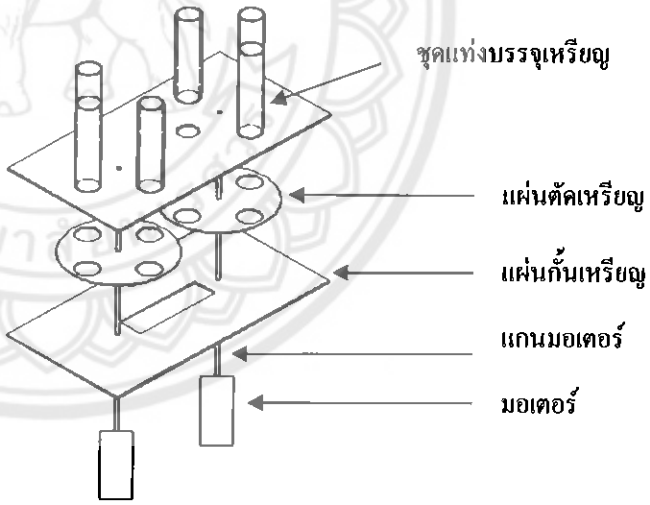
รูปที่ 3.7 แผ่นตัดเหรียญ

แผ่นตัดเหรียญทำจากแผ่นอะคริลิคหนา 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 4 รู ซึ่งแผ่นตัดเหรียญนี้จะใช้ทั้งหมดจำนวน 2 แผ่น ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 รูปแบบแผ่นกั้นเหรียญ

แผ่นกั้นเหรียญถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 34 เซนติเมตร ความยาว 18 เซนติเมตร และเจาะรูตรงกลางขนาดความกว้าง 12 เซนติเมตร ความยาว 3.5 เซนติเมตร เพื่อให้เหรียญถูกจ่ายผ่านทางช่องนี้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 ลักษณะการจัดตำแหน่งของชุดปล่อยเหรียญ

ในส่วนของชุดปล่อยเหรียญจะประกอบไปด้วยแผ่นอะคริลิค 3 แผ่น ด้านบนจะเป็นชุดแท่งบรรจุเหรียญซึ่งออกแบบให้มี 2 ชุด เพื่อใช้บรรจุเหรียญ 5 บาทและเหรียญ 10 บาท โดยแต่ละแท่งต้องมีขนาดพอดีกับเหรียญ ส่วนตรงกลางเป็นแผ่นตัดเหรียญ 2 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นถูกยึดติดกับแกนมอเตอร์เพื่อใช้ตัดเหรียญ เมื่อมอเตอร์หมุนจะทำให้แผ่นตัดเหรียญหมุนพาให้เหรียญไปตกผ่านแผ่นอะคริลิคด้านล่างที่ถูกเจาะรูตรงกลางเพื่อให้เหรียญไหลไปยังส่วนของช่องรับเหรียญต่อไป

3.3 การสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

การสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติถูกสร้างให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ คือ แผ่นอะคริลิคขนาดความหนา 2 และ 3 มิลลิเมตร กระดาษและท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร นำมาตัดและประกอบให้ได้ตามที่ออกแบบไว้เป็นส่วนๆ

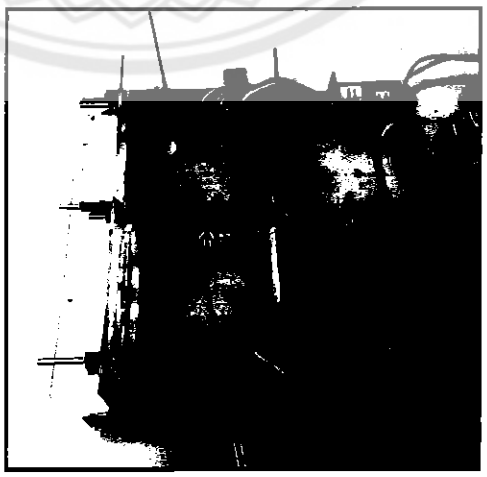
3.3.1 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญ

โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ถูกสร้างด้วยแผ่นอะคริลิคขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร นำมาตัดและประกอบตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.10

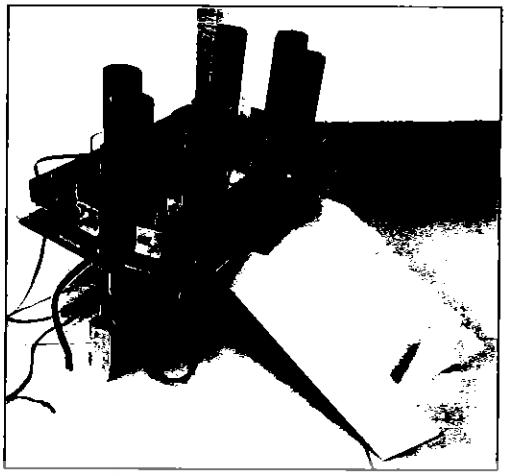
รูปที่ 3.10 โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

3.3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

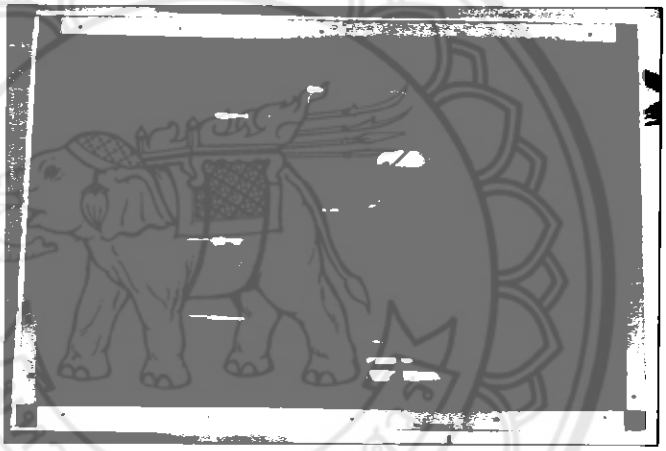
โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตรกับส่วนที่เป็นชุดปล่อยเหรียญ



รูปที่ 3.11 ส่วนที่รับและตรวจสอบธนบัตร



รูปที่ 3.12 ส่วนที่เป็นชุดปล่อยเหรียญ



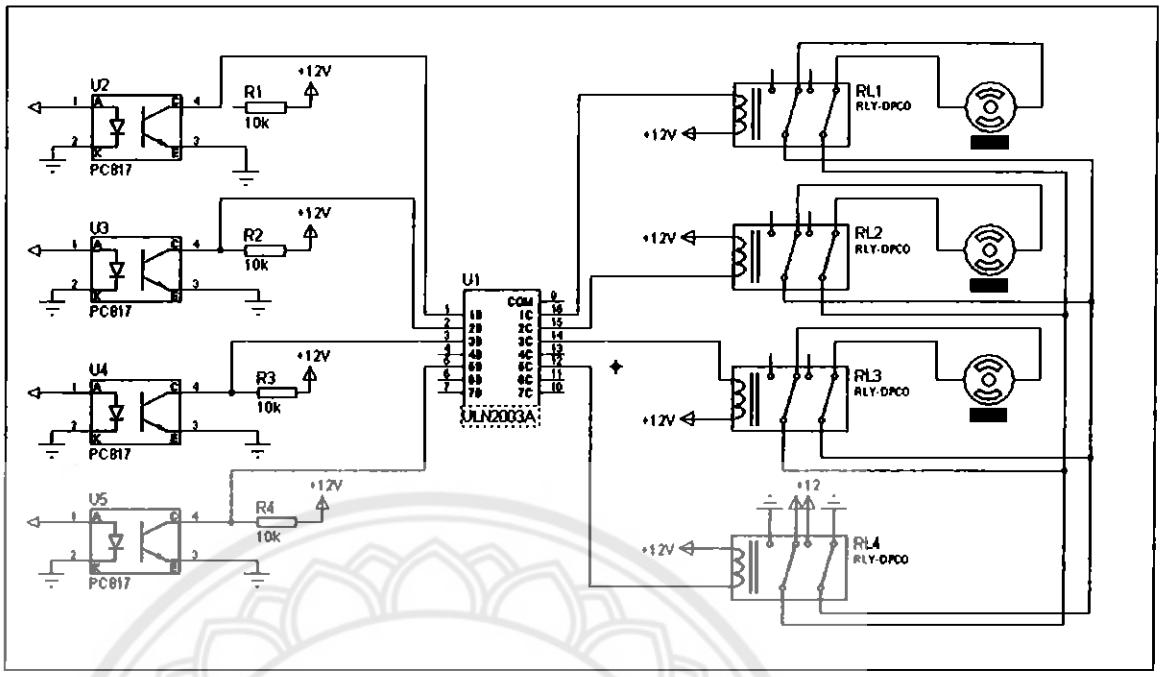
รูปที่ 3.13 โครงสร้างภายในของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

3.4 วงจรที่ใช้ในเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

วงจรที่ใช้ในการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติแบ่งออกเป็น วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์ และวงจรเซ็นเซอร์ โดยวงจรที่ใช้งานทั้งหมดมีดังนี้

3.4.1 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์

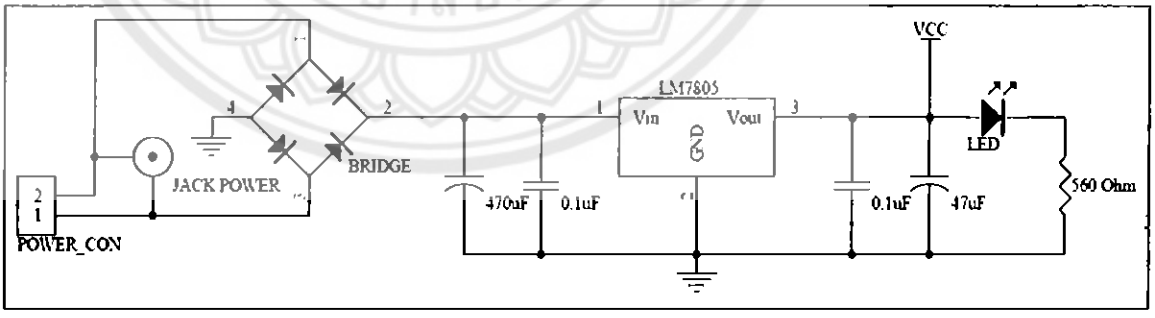
มอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในที่นี้จะใช้รีเลย์ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปควบคุมมอเตอร์แบบกลับทางหมุนได้ โดยใช้ไอซี ULN2003 เป็นตัวขับรีเลย์ และเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยไอซีออปโต้คัปเปอร์เบอร์ PC817 เป็นตัวรับลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อไปสั่งงานรีเลย์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์

3.4.2 วงจรภาคจ่ายไฟ

ในวงจรภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์(IC regulator) หมายเลข LM78L05 ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าจาก 9-12 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟคงที่ 5 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมแปร์ เป็นภาคจ่ายไฟเลี้ยงให้กับแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับมอเตอร์โดยลักษณะการต่อวงจรเป็นดังรูปที่ 3.15

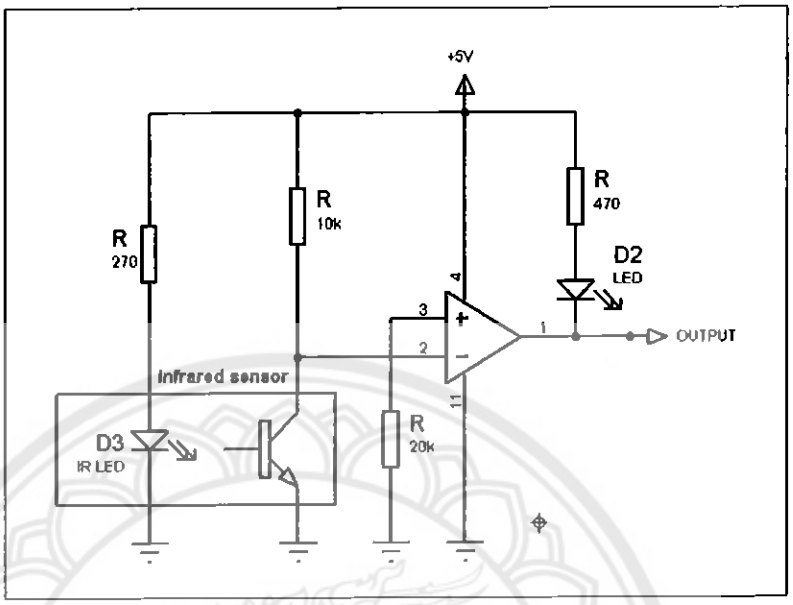


รูปที่ 3.15 วงจรภาคจ่ายไฟ

3.4.3 วงจรเซ็นเซอร์

หลักการทำงานของวงจรเซ็นเซอร์คือโดยปกติจะต้องมีตัวกระทำให้เกิดการปิด-เปิดแสงโดยส่งแสงอินฟาเรดที่มองไม่เห็นและมีตัวรับเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่รับแสงอินฟาเรดนี้

ส่งผ่านไอซีออปแอมป์เบอร์ LM324 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้สูงขึ้น แต่ถ้ามีวัตถุมาบังแสง ก็จะไม่มีแสงที่ตัวรับทำให้ไอซี LM324 ขับหลอดแอลอีดีเป็นระดับต่างๆ ดังรูป 3.16

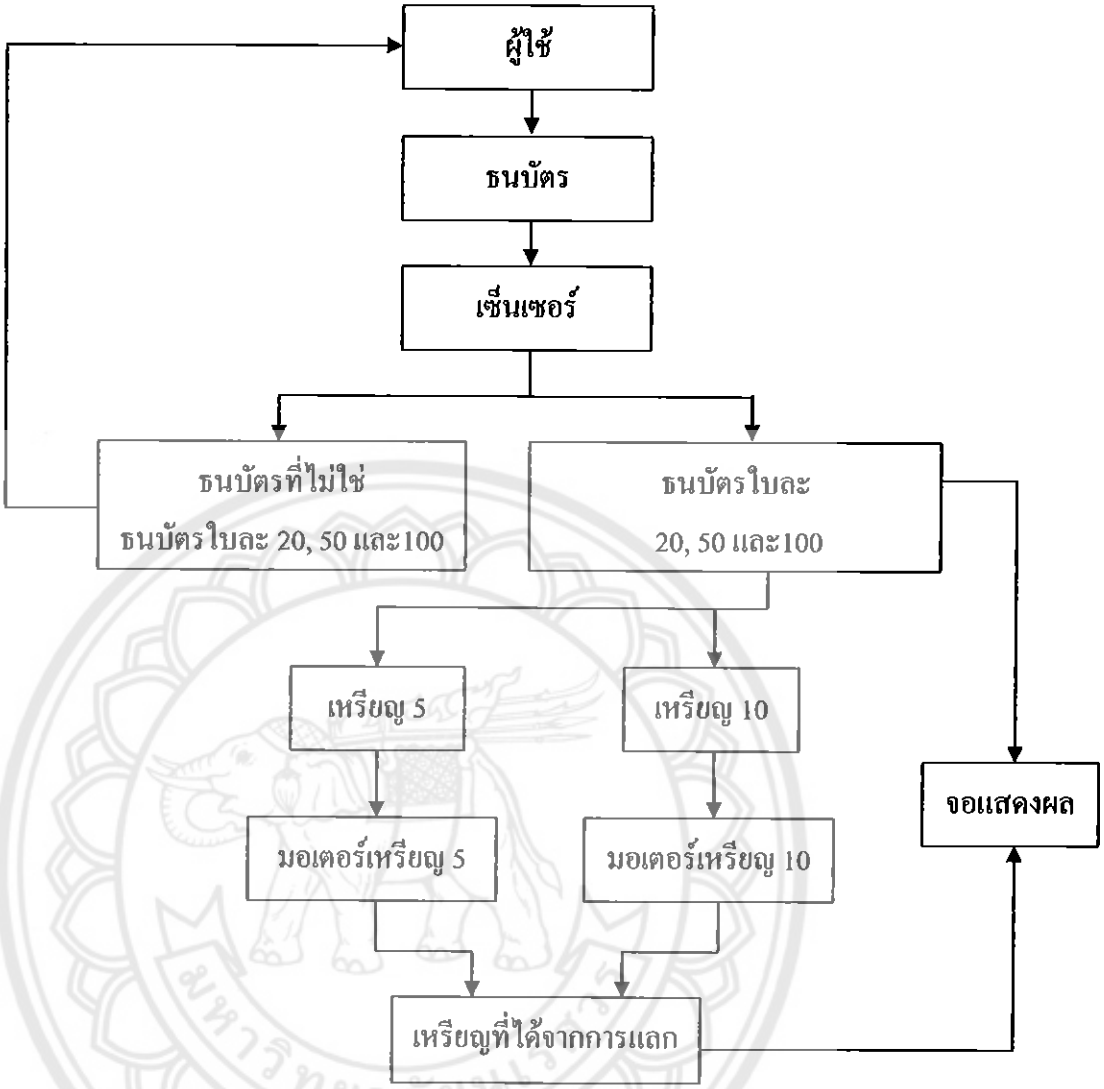


รูปที่ 3.16 วงจรเซ็นเซอร์แสง

3.5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

เมื่อสอดธนบัตรเข้าไปที่ช่องใส่ธนบัตร มอเตอร์จะดึงธนบัตรเข้ามาเพื่อให้ชุดเซ็นเซอร์ตรวจสอบประเภทของธนบัตร โดยตรวจวัดจากความยาวของธนบัตร ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20, 50 หรือ 100 บาท ที่จอแสดงผลจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่ใส่เข้าไป จากนั้นทำการเลือกประเภทของเหรียญที่ต้องการแลกเพียง 1 ประเภท จะทำให้มอเตอร์เหรียญ 5 หรือเหรียญ 10 ทำงานโดยปล่อยเหรียญออกมาตามจำนวนมูลค่าของธนบัตรที่ใส่เข้าไป ในขณะเดียวกันนั้นจำนวนเงินที่จอแสดงผลก็จะลดลงตามมูลค่าของเหรียญที่ถูกจ่ายออกมาจนกระทั่งเหลือศูนย์

แต่ในกรณีที่ธนบัตรที่ใส่เข้าไปมีความยาวน้อยกว่าธนบัตรใบละ 20 บาท หรือมีความยาวมากกว่าธนบัตรใบละ 100 บาท มอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศเพื่อคืนธนบัตรออกมาโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

บทที่ 4

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์

หลังจากศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานและลงมือสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติแล้ว ในบทนี้จะเป็นการทดลองการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติสามารถแลกธนบัตรได้ 3 ประเภทคือ 20, 50 และ 100 บาท ซึ่งมีเหรียญให้แลกได้คือเหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาทเลือกได้ประเภทใดประเภทหนึ่งเท่านั้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น

- การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท
- การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท
- การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท
- การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท
- การทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เมื่อหน้าจอแสดงคำว่า INSERT BANKNOTE หมายถึงเครื่องพร้อมใช้งาน

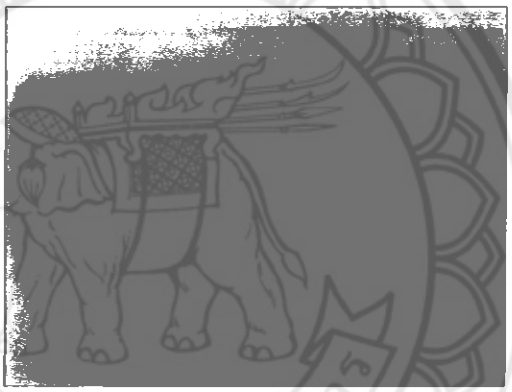
รูปที่ 4.1 จอแสดงผลแสดงสถานะพร้อมใช้งาน

2. สอดธนบัตรเข้าไปที่ช่องใส่ธนบัตร

รูปที่ 4.2 ธนบัตรที่ใช้ในการแลก

รูปที่ 4.3 สอดธนบัตรเข้าไปที่ช่องใส่ธนบัตร

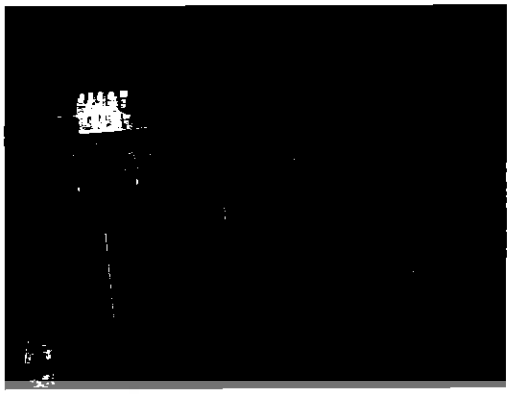
3. เมื่อหน้าจอแสดงผลแสดงมูลค่าของธนบัตร พร้อมกับแสดงคำว่า SELECT COIN 5, 10 ให้กดเลือกเหรียญที่ต้องการแลก



รูปที่ 4.4 จอแสดงผลแสดงคำว่า SELECT COIN 5, 10

รูปที่ 4.5 กดเลือกเหรียญ

4. หยิบเหรียญออกจากช่องรับเหรียญ



รูปที่ 4.6 หยิบเหรียญออกจากช่องรับเหรียญ

4.1 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท

การทดลองนี้เป็นการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยการใช้ธนบัตรใบเดิมแลกซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์แยกประเภทของธนบัตร

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	100%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20 บาท
   - เครื่องหมาย ✕ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20 บาท
2. จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 4 เหรียญ มีมูลค่า 20 บาท
   - เครื่องหมาย ✕ หมายถึงไม่ได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 4 เหรียญ

3. การแสดงผลที่จอแสดงผล

- เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 20 บาทและลดลงทีละ 5 จนกระทั่งเหลือศูนย์
- เครื่องหมาย ✕ หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 5 บาท ก็จะได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 4 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 20 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	100%

<u>หมายเหตุ</u>

1. การแยกประเภทของธนบัตร

- เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20 บาท
- เครื่องหมาย ✕ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 20 บาท

2. จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก

- เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 2 เหรียญ มีมูลค่า 20 บาท
- เครื่องหมาย ✕ หมายถึงไม่ได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 2 เหรียญ

3. การแสดงผลที่จอแสดงผล

- เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 20 บาทและลดลงทีละ 10 จนกระทั่งเหลือศูนย์
- เครื่องหมาย ✕ หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 10 บาท ก็จะได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 2 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 20 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

4.2 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท

การทดลองนี้เป็นการทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยการใช้ธนบัตรใบเดิมแลกซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์แยกประเภทของธนบัตร

ตารางที่ 4.3 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	×
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	80%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 50 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 50 บาท
2. จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 10 เหรียญ มีมูลค่า 50 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงไม่ได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 10 เหรียญ
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 50 บาทและลดลงทีละ 5 จนกระทั่งเหลือศูนย์
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 5 บาท ก็จะได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 10 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 50 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง ที่จอแสดงผลมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	100%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 50 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 50 บาท
2. จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 5 เหรียญ มีมูลค่า 50 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงไม่ได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 5 เหรียญ
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 50 บาทและลดลงทีละ 10 จนกระทั่งเหลือศูนย์
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 50 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 10 บาท ก็จะได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 5 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 50 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

4.3 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท

การทดลองนี้เป็นการทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยการใช้ธนบัตรใบเดิมแลกซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์แยกประเภทของธนบัตร

ตารางที่ 4.5 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	ธนบัตรติด	×	×
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	80%	80%	80%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 100 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 100 บาท
2. จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 20 เหรียญ มีมูลค่า 100 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงไม่ได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 20 เหรียญ
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 100 บาทและลดลงทีละ 5 จนกระทั่งเหลือศูนย์
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 5 บาท ก็จะได้เหรียญ 5 บาทจำนวน 20 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 100 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากธนบัตรเกิดการติดขัดขณะที่มอเตอร์ดึงธนบัตรเข้าไปในเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.6 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท

ครั้งที่	ลักษณะการทดลอง		
	การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	100%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 100 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นธนบัตรใบละ 100 บาท
2. จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 10 เหรียญ มีมูลค่า 100 บาท
   - เครื่องหมาย × หมายถึงไม่ได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 10 เหรียญ
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงิน 100 บาทและลดลงทีละ 10 จนกระทั่งเหลือศูนย์
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 100 บาท โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและจะแสดงมูลค่าของธนบัตรที่จอแสดงผล เมื่อกดเลือกเหรียญ 10 บาท ก็จะได้เหรียญ 10 บาทจำนวน 10 เหรียญซึ่งมีมูลค่า 100 บาทตรงตามจำนวนเงินที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

4.4 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท

การทดลองนี้เป็นการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท โดยการใช้ธนบัตรใบเดิมแลกซ้ำสลับกัน เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์แยกประเภทของธนบัตร

ตารางที่ 4.7 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทโดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท

รอบที่	ประเภทของธนบัตร	ลักษณะการทดลอง		
		การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	20	✓	×	✓
	50	✓	×	✓
	100	✓	×	✓
2	20	✓	×	✓
	100	✓	×	✓
	50	✓	×	✓
3	50	✓	×	✓
	20	✓	×	✓
	100	✓	✓	✓
4	50	✓	✓	✓
	100	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
5	100	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓
6	100	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
ทั้งหมด 18 ครั้ง ค่าเฉลี่ยเป็น		100%	55.56%	100%

หมายเหตุ

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจแยกประเภทได้ถูกต้อง
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจแยกประเภทไม่ถูกต้อง
2. จำนวนเหรียญ 5 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 5 บาทครบตามจำนวนมูลค่าของธนบัตร
   - เครื่องหมาย × หมายถึงได้เหรียญ 5 บาทไม่ครบตามจำนวนมูลค่าของธนบัตร
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงินถูกต้องตามมูลค่าของธนบัตร
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทสลับกันดังตารางที่ 4.4.1 โดยเลือกแลกเหรียญ 5 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร ในขั้นตอนที่เซ็นเซอร์ทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและที่จอแสดงผลแสดงมูลค่าของธนบัตรได้ถูกต้องทุกครั้ง แต่ในช่วงแรกมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในส่วนของชุดปล่อยเหรียญสาเหตุเกิดจากจำนวนเหรียญในแท่งบรรจุเหรียญมีมากเกินไปทำให้มีน้ำหนักมากเกินที่มอเตอร์จะหมุนแผ่นตัดเหรียญได้ เมื่อทำการแลกไปเรื่อยๆ เหรียญเริ่มมีจำนวนน้อยลงจึงทำให้ได้เหรียญ 5 บาทตรงตามจำนวนเงินของธนบัตรที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 18 ครั้งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้ 55.56 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ 45.44 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทโดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท

รอบที่	ประเภทของธนบัตร	ลักษณะการทดลอง		
		การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
1	20	✓	×	✓
	50	✓	×	✓
	100	✓	×	✓
2	20	✓	✓	✓
	100	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓
3	50	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓

รอบที่	ประเภทของธนบัตร	ลักษณะการทดลอง		
		การแยกประเภทของธนบัตร	จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก	การแสดงผลที่จอแสดงผล
3	100	✓	✓	✓
4	50	✓	✓	✓
	100	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
5	100	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓
6	100	✓	✓	✓
	50	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓
ทั้งหมด 18 ครั้ง ค่าเฉลี่ยเป็น		100%	83.33%	100%

<u>หมายเหตุ</u>

1. การแยกประเภทของธนบัตร
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจแยกประเภทได้ถูกต้อง
   - เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญตรวจแยกประเภทไม่ถูกต้อง
2. จำนวนเหรียญ 10 ที่ได้จากการแลก
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงได้เหรียญ 10 บาทครบตามจำนวนมูลค่าของธนบัตร
   - เครื่องหมาย × หมายถึงได้เหรียญ 10 บาทไม่ครบตามจำนวนมูลค่าของธนบัตร
3. การแสดงผลที่จอแสดงผล
   - เครื่องหมาย ✓ หมายถึงที่จอแสดงจำนวนเงินถูกต้องตามมูลค่าของธนบัตร
   - เครื่องหมาย × หมายถึงจอแสดงผลทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาทสลับกันดังตารางที่ 4.4.2 โดยเลือกแลกเหรียญ 10 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร ในขั้นตอนที่เซ็นเซอร์ทำการตรวจสอบประเภทของธนบัตรและที่จอแสดงผลแสดงมูลค่าของธนบัตรได้ถูกต้องทุกครั้ง แต่ในช่วงแรกมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในส่วนของชุดปล่อยเหรียญสาเหตุเกิดจากจำนวนเหรียญในแท่งบรรจุเหรียญมีมากเกินไปทำให้มีน้ำหนักมากเกินที่มอเตอร์จะหมุนแผ่นตัดเหรียญได้ เมื่อทำการแลกไปเรื่อยๆ เหรียญเริ่มมีจำนวนน้อยลงจึงทำให้ได้เหรียญ 10 บาทตรงตามจำนวนเงินของธนบัตร

ที่ทำการแลก จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 18 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 83.33 เปอร์เซ็นต์และผิดพลาด 16.67 เปอร์เซ็นต์

4.5 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท

การทดลองนี้เป็นการทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท โดยการใช้ธนบัตรใบเดิมแลกซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์แยกประเภทของธนบัตร

ตารางที่ 4.9 การทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท

ประเภทของธนบัตร	ครั้งที่				
	1	2	3	4	5
500	✓	✓	✓	✓	✓
1000	✓	✓	✓	✓	✓
ค่าเฉลี่ย	100%	100%	100%	100%	100%

หมายเหตุ

- เครื่องหมาย ✓ หมายถึงเครื่องแลกเหรียญคืนธนบัตรออกมาโดยอัตโนมัติ
- เครื่องหมาย × หมายถึงเครื่องแลกเหรียญทำงานผิดพลาด

จากการทดลองแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาท เมื่อทำการสอดธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตร เซ็นเซอร์จะทำการตรวจวัดความยาวของธนบัตรเพื่อแยกประเภทของธนบัตร จากนั้นมอเตอร์จะหมุนกลับทิศเพื่อคืนธนบัตรออกมา เพราะธนบัตรที่สอดเข้าไปมีความยาวเกินกว่าธนบัตรใบละ 100 บาทหรือสั้นกว่าธนบัตรใบละ 20 บาท จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 10 ครั้งผลออกมาถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ออกแบบ ทดสอบ และทำการปรับปรุงชิ้นงานขึ้นเป็นเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติโดยใช้ระยะเวลาดำเนินโครงงาน 2 ภาคการศึกษาทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงงาน พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

จากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติสามารถทำงานตามโปรแกรมได้จริงคือแลกธนบัตรแล้วได้เหรียญออกมาตรงตามมูลค่าของธนบัตรที่แลกดังนี้

1. แลกธนบัตรใบละ 20 บาท ได้เหรียญ 5 และ 10 บาท จำนวน 4 และ 2 เหรียญตามลำดับ
2. แลกธนบัตรใบละ 50 บาท ได้เหรียญ 5 และ 10 บาท จำนวน 10 และ 5 เหรียญตามลำดับ
3. แลกธนบัตรใบละ 100 บาท ได้เหรียญ 5 และ 10 บาท จำนวน 20 และ 10 เหรียญตามลำดับ
4. ถ้าทำการแลกธนบัตรที่มีความยาวเกินกว่าธนบัตรใบละ 100 บาทหรือธนบัตรที่มีความยาวสั้นกว่าธนบัตรใบละ 20 บาท เครื่องจะคืนธนบัตรออกมาโดยอัตโนมัติ

จากที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 76 ครั้ง คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังนี้

- แลกธนบัตรใบละ 20 บาท ทั้งหมด 22 ครั้ง ผิดพลาด 4 ครั้ง คิดเป็น 5.26 เปอร์เซ็นต์
- แลกธนบัตรใบละ 50 บาท ทั้งหมด 22 ครั้ง ผิดพลาด 5 ครั้ง คิดเป็น 6.58 เปอร์เซ็นต์
- แลกธนบัตรใบละ 100 บาท ทั้งหมด 22 ครั้ง ผิดพลาด 4 ครั้ง คิดเป็น 5.26 เปอร์เซ็นต์
- แลกธนบัตรที่นอกเหนือจากธนบัตรใบละ 20, 50 และ 100 บาท ทั้งหมด 10 ครั้ง ผิดพลาด 0 ครั้ง คิดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์
- คิดรวมทั้งหมด 76 ครั้ง ผิดพลาดทั้งหมด 13 ครั้ง คิดเป็น 17.11 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปัญหาและการแก้ไข

1. ขนาดโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติมีขนาดใหญ่เกินไป
2. ธนบัตรเกิดการติดขัดขณะที่เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติมีการดึงธนบัตรเข้าที่ช่องใส่ธนบัตรเนื่องจากใส่ธนบัตรไม่ตรงกับช่องใส่ธนบัตรหรือธนบัตรที่นำมาแลกนั้นไม่เรียบพอ
3. ที่จอแสดงผลมีการทำงานผิดพลาด อาจจะเกิดจากการเสียบสายไม่แน่นหรือมีการลัดวงจรระหว่างสาย

4. แท่งบรรจุเหรียญมีขนาดใหญ่กว่าเหรียญเกินไป ทำให้ขณะที่แผ่นตัดเหรียญหมุนเหรียญที่เหลืออยู่ในแท่งบรรจุเกิดการพลิก จึงทำการแก้ไขโดยการนำกระดาษมาบุภายในแท่งบรรจุเพื่อให้แท่งบรรจุมีขนาดที่พอดีกับเหรียญ พอที่จะให้เหรียญตกลงมาได้

5. เหรียญ 5 บาทที่จะนำมาใช้ในเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัตินี้จะต้องมีขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรเท่านั้น ถ้าเหรียญมีความหนาน้อยกว่า 2 มิลลิเมตรจะต้องทำแผ่นตัดเหรียญใหม่ให้มีขนาดเท่ากับความหนาของเหรียญ

6. เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจแยกประเภทของธนบัตรมีการตรวจสอบผิดพลาดเนื่องจากติดตั้งเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง แก้ไขโดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ให้แน่นและอยู่ในตำแหน่งที่พอดีกับขนาดความยาวของธนบัตรแต่ละประเภท

7. ถ้าใส่เหรียญในแท่งบรรจุเหรียญมากเกินไปจะยิ่งทำให้มีน้ำหนักมากขึ้นส่งผลให้แผ่นตัดเหรียญไม่หมุนพาให้เหรียญตกลงไปได้ แก้ไขโดยการใส่เหรียญในแท่งบรรจุเหรียญให้น้อยลง

8. แกนที่ยึดระหว่างมอเตอร์กับชุดปล่อยเหรียญจะคลายออกเมื่อมอเตอร์หมุนเป็นเวลานานๆ แก้ไขโดยไขสกรูที่ยึดแกนให้แน่น หรือเปลี่ยนจากแกนเกลียวเป็นเพลา

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากปัญหาที่พบในการทำเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติส่งผลให้ศักยภาพการทำงานของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติน้อยลง จึงต้องมีการศึกษาแนวทางวิธีในการแก้ไขปัญหาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อการพัฒนาของเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการพัฒนาในลักษณะดังต่อไปนี้

1. พัฒนาโดยการเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบธนบัตรปลอมได้

2. พัฒนาโดยการเพิ่มแท่งบรรจุเหรียญให้มีมากขึ้น เพื่อเพิ่มจำนวนเหรียญให้เพียงพอต่อความต้องการ

3. พัฒนาโดยการเพิ่มความสามารถในการเลือกเหรียญที่ต้องการได้มากกว่า 1 ประเภท และสามารถเลือกได้ว่าต้องการเหรียญประเภทใดและจำนวนเท่าไร

4. พัฒนาโดยการเพิ่มความสามารถในการแลกเหรียญ 1 บาทและเหรียญ 2 บาทได้

5. ควรพัฒนาชุดคืนธนบัตรให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

6. พัฒนาโดยการเพิ่มความสามารถในการแลกธนบัตรใบละ 500 และ 1000 บาทได้

เอกสารอ้างอิง

[1] อุดม รานอก. **ภาษา C สำหรับงานควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ไอซีดีฯ, 2548.

[2] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C พร้อมโครงงาน.** กรุงเทพฯ: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552.

[3] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **เรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้เริ่มต้น.** กรุงเทพฯ: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2554.

[4] ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ. **ไฟฟ้า ชุดที่ 6.** กรุงเทพฯ: แอมแอนด์อี, 2546.

[5] Adisak chinawong. มอเตอร์กระแสตรง. สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.technicnan.ac.th

[6] ปิยะวุฒิ เถื่อนสมบัติ. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.kmitl.ac.th

[7] จิรวัฒน์ นนตระอุดร. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2555, จาก www.sptc.ac.th

[8] สำนักงานส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต. **รีเลย์.** สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2555, จาก www.vrdp.net/picture/research

[9] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์และการใช้งาน.** กรุงเทพฯ: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552.

[10] บุญธรรม ภัทราจารุกุล. **วัสดุช่างอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2553

[11] กฤษฎา ใจเย็น. **จอ LCD 16x2.** สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2555, จาก www.thaimicro-tron.com

[12] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **การออกแบบลายวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรม Eagle.** กรุงเทพฯ: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2549.

[13] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **ออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรด้วย Proteus.** กรุงเทพฯ: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552.

ภาคผนวก ก
โปรแกรมเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

```
#include<reg51.h>
#include<stdio.h>
sbit E=P3^6; //enable
sbit RS=P3^7; //registor select
sbit detect_bank=P3^4;
sbit sen5=P3^5;
sbit sen1=P1^0;
sbit sen2=P1^1;
sbit sen3=P1^2;
sbit sen4=P1^3;
sbit select5=P3^0;
sbit select10=P3^1;
sbit motor10=P0^0;
sbit motor5=P0^2;
sbit motorbank=P0^4;
sbit en2=P0^7;
sbit end10=P1^6;
sbit end5=P1^5;
sbit detectmotor10=P1^4;
sbit detectmotor5=P1^7;
char status=0;
int count;
int bath5=0,bath10=0;
int totalmoney=0,show=0;
int xx,x,outcoin=0,roundmotor=0;
unsigned char full5=0,full10=0,sta=0;//end5=1,end10=1,end1=1,

unsigned char in,buffer[5];
void delay(unsigned int  count)
{
   for( count = count ; count >0 ; count--);
}
```

```
void clock (void)// clock ??? lcd
{       E=1;
        delay(500);
        E=0;
        delay(500);
        RS=1;
}
void write (unsigned char a)    //?????? lcd
{       RS=1;
        P2=a;
        clock();
}
void inilcd(void)       //initial lcd
{       delay(20000);
        RS=0;
        P2=0x38;//4bit
        clock();
        RS=0;
        P2=0x01;
        clock();
        RS=0;
        P2=0x0c;
        clock();
        RS=0;
        P2=0x06;
        clock();
}
void  showcointolcd(void)
{       RS=0;
        P2=0x80;
        clock();
        write('M'); //80
```

```
        write('O');//81
        write('N');
        write('E');
        write('Y');
        write('=');
xx=totalmoney;
        write(((xx)/100)+0x30);
        write(((xx%100)/10)+0x30);
        write(((xx%10))+0x30);
        write(' '); //8A
        write(' ');//8B
        write(' ');//8C
        write(' ');//8D
        write(' ');//8E
        write(' '); //8F
        write(' ');//90
        write('=');//90
        write(' ');//91
        write(' ');//92
        write(' ');//93
                RS=0;
                P2=0xc0;
                clock();
                write(' ');//c0
                write(' ');//c1
                write(' ');//c2
                write(' ');//c3
                write(' ');//c4
                write(' ');//c5
                write(' ');//c6
                write(' ');//c7
                write(' ');//c8
```

```
                write(' ');//c9
                write(' ');//ca
                write(' ');//cb
                write(' ');//cc
                write(' ');//cd
                write(' ');//cE
                write(' ');//cf
                write(' ');//d0
                write(' ');//d1
                write(' ');//d2
}
void invalue(void)
{               count=0;
                RS=0;
                P2=0x91;
                clock();
                count=0;
    if(select5==0)
        {       sta=0;status=0;
                if(end5==0)//read sensor end 5 bath if 0  have 1 not have
                { { status=5;sta=0;outcoin=totalmoney/5;}}// have coin}
    else
                { sta=1;}//no have coin 1 to ok change
        }
        if(select10==0)
        {
                sta=0;status=0;
     if(end10==0)
                { sta=0;status=10;outcoin=totalmoney/10;}// have coin
    else
                { sta=sta+1;}//no have coin  2 to ok change
```

```
if(sta>=1) //not have coin
{ //show to lcd and clear status all to begin
        RS=0;
        P2=0xc0;
        clock();
        if(select10==0)
        {write('N');//c0
        write('O');//c1
        write(' ');//c2
        write('1');//c3
        write('0');//c4
        write(' ');//c5
        write('C');//c6
        write('O');//c7
        write('I');//c8
        write('N');//c9
        write(' ');//cA
        write(' ');//cB
        write(' ');//cC
        write(' ');//CD
        write(' ');//CE
        write(' ');//CF
         }
if(select5==0)
        {write('N');//c0
        write('O');//c1
        write(' ');//c2
        write('5');//c3
        write(' ');//c4
        write('C');//c5
        write('O');//c6
        write('I');//c7
```

```
            write('N');//c8
            write(' ');//c9
            write(' ');//cA
            write(' ');//cB
            write(' ');//cC
            write(' ');//CD
            write(' ');//CE
            write(' ');//CF
             }
}
if(status==5)
     {                    status=0;
                          RS=0;
                          P2=0xc0;
                          clock();
                          write('C');//c0
                          write('O');//c1
                          write('I');//c2
                          write('N');//c3
                          write(' ');//c4
                          write('5');//cB
                          write('B');//cC
                          write('A');//cD
                          write('T');//cE
                          write('H');//c3
                          write(' ');//c3
                          write('O');//c3
                          write('U');//c5
                          write('T');//c6
                          write('T');//c7
                          write('I');//c8
                          write('N');//c9
```

```
        write('G');//cA
        write(' ');//cb
        write(' ');//cc
        write(' ');//cd
        write(' ');//ce
        write(' ');//cf
    for(x=0;x<outcoin;x++)//loop for out coin
    {       do{ motor5=0; }
            while(detectmotor5==0);
                                motor5=1;
                                totalmoney=totalmoney-5;
                                showcointolcd();
                                RS=0;
                                P2=0xc0;
                                clock();
                                write('C');//c0
                                write('O');//c1
                                write('I');//c2
                                write('N');//c3
                                write(' ');//c4
                                write('5');//c5
                                write('B');//c6
                                write('A');//c7
                                write('T');//c8
                                write('H');//c9
                                write('=');//ca
                            xx=x+1;
                                write(((xx)/100)+0x30); //cb
                                write(((xx%100)/10)+0x30); //cc
                                write(((xx%10))+0x30); //cd
                                write(' ');//ce
                                write(' ');//cf
```

```
                    }
  }
      //motor 5bath active
  else
if(status==10)
  {                 status=0;
                    RS=0;
                    P2=0xc0;
                    clock();
                    write('C');//c0
                    write('O');//c1
                    write('I');//c2
                    write('N');//c3
                    write('1');//c4
                    write('0');//cB
                    write('B');//cC
                    write('A');//cD
                    write('T');//cE
                    write('H');//c3
                    write(' ');//c3
                    write('O');//c3
                    write('U');//c5
                    write('T');//c6
                    write('T');//c7
                    write('I');//c8
                    write('N');//c9
                    write('G');//cA
                    write(' ');//cb
                    write(' ');//cc
                    write(' ');//cd
                    write(' ');//ce
                    write(' ');//cf
```

```
for(x=0;x<outcoin;x++)//loop for out coin
                    {   do{ motor10=0;}
                        while(detectmotor10==0);
                                                    motor10=1;
                                                    totalmoney=totalmoney-10;
                                                    showcointolcd();
                                                    RS=0;
                                                    P2=0xc0;
                                                    clock();
                                                    write('C');//c0
                                                    write('O');//c1
                                                    write('I');//c2
                                                    write('N');//c3
                                                    write(' ');//c4
                                                    write('1');//c5
                                                    write('0');//d3
                                                    write('B');//c6
                                                    write('A');//c7
                                                    write('T');//c8
                                                    write('H');//c9
                                                    write('=');//ca
                                                xx=x+1;
                                                    write(((xx)/100)+0x30); //cb
                                                    write(((xx%100)/10)+0x30);//cc
                                                    write(((xx%10))+0x30);   //cd
                                                    write(' ');//ce
                                                    write(' ');//cf
                                }

            }           //motor 10bath active
status=0;outcoin=0;
}
```

```
void back_bank(void)
{  motorbank=0;
   en2=0;
   totalmoney=0;
    while(detect_bank);  //back
    while(!detect_bank); //back until out bank
    motorbank=1;
        en2=1;
        status=55;
}
void pass_bank(void)
{
//detect coin before keep bank to box
//check money out
      sta=0;
                if(end5==0)//read sensor end 5 bath if 0  have 1 not have
                { sta=0;}// have coin
      else
                { sta=1;}//no have coin 1 to ok change
      if(end10==0)
                { sta=0;}// have coin
      else
                { sta=sta+1;}//no have coin  2 or 1   to ok change
//   sta=1;
         show=totalmoney; //
         if(sta==2) //not enage or end coin no have coin nothave 5 and 10
         { //show to lcd and clear status all to begin
                RS=0;
                P2=0xc0;
                clock();
                write(' ');//c0
                write(' ');//c1
```

```
                write(' ');//c2
                write(' ');//c3
                write('N');//c4
                write('O');//c5
                write(' ');//c6
                write('C');//c7
                write('O');//c8
                write('I');//c9
                write('N');//ca
                write(' ');//cb
                write(' ');//cc
                write(' ');//cd
                write(' ');//ce
                write(' ');//cd
        status=0;outcoin=0;
        back_bank();
        }
        else          //to keep MONEY TO box
                {
        motorbank=0;
                while(sen4);  //to keep box
                while(!sen4); //until out bank to box
        delay(30000);delay(30000);delay(30000);
        motorbank=1;  //end motorbank
                }
                status=55;
        }


void main(void)
{
```

```
inilcd();
//TMOD=0X02;TH1=0XFD;SCON=0X52;TR1=1;
delay(30000);delay(30000);delay(30000);
st:
//first recive coin
//show total money to lcd
        showcointolcd();
        RS=0;
        P2=0xc0;
        clock();
        write('I');//c0
        write('N');//c1
        write('S');//c2
        write('E');//c3
        write('R');//c4
        write('T');//c5
        write(' ');//d3
        write('B');//c6
        write('A');//c7
        write('N');//c8
        write('K');//c9
        write('N');//ca
        write('O');//cb
        write('T');//cc
        write('E');//cd
        write(' ');//ce
        write(' ');//cf

 if((detect_bank==0)&&(sen5==0) )//bank commin
{
                                                RS=0;
                                                P2=0xc0;
```

```
                                        clock();
                                        write('B');//c0
                                        write('A');//c1
                                        write('N');//c2
                                        write('K');//c3
                                        write(' ');//c4
                                        write('C');//c5
                                        write('O');//d3
                                        write('M');//c6
                                        write('M');//c7
                                        write('I');//c8
                                        write('N');//c9
                                        write(' ');//ca
                                        write('S');//cb
                                        write('T');//cc
                                        write('A');//cd
                                        write('1');//ce
                                        write(' ');//cf
  motorbank=0;
do{
  if((detect_bank==1)&&(sen5==1) )
  {     motorbank=1;  //delay(1000); //read again

                        if((detect_bank==1)&&(sen5==1) )
                {                       RS=0;
                                                P2=0xc0;
                                                clock();
                                                //write('B');//c0
                                                //write('A');//c1
                                                //write('N');//c2
                                                //write('K');//c3
                                                //write(' ');//c4
```

```
                                                    //write('C');//c5
                                                    //write('O');//d3
                                                    //write('M');//c6
                                                    //write('M');//c7
                                                    //write('I');//c8
                                                    //write('N');//c9
                                                    //write(' ');//ca
                                                    //write('S');//cb
                                                     write('T');//cc
                                                     write('A');//cd
                                                     write('2');//ce
                                                     write(' ');//cf
if((sen1==0)&&(sen2==1)&&(sen3==1)&&(sen4==1)) //bank20
   {        totalmoney=20;       showcointolcd();
            pass_bank();

   }
else
    if((sen1==0)&&(sen2==0)&&(sen3==1)&&(sen4==1)) //bank50
   {        totalmoney=50;       showcointolcd();
            pass_bank();
    }
else
   if((sen1==0)&&(sen2==0)&&(sen3==0)&&(sen4==1)) //bank100
    {           totalmoney=100;   showcointolcd();
                pass_bank();
    }

else  //not bank to back roll feedback
 {
        totalmoney=0;   showcointolcd();
        back_bank();
```

```
 } } } }
while(status!=55);  //time out
 motorbank=1;
do{
                    showcointolcd(); //show money
                    //check sensor end coin5 or coin10
                    RS=0;
                    P2=0xc0;
                    clock();
                    write('S');//c0
                    write('E');//c1
                    write('L');//c2
                    write('E');//c3
                    write('C');//c4
                    write('T');//c5
                    write(' ');//c6
                    write('C');//c7
                    write('O');//c8
                    write('I');//c9
                    write('N');//ca
                    write(' ');//cb
                    write('5');//cc
                    write(',');//cd
                    write('1');//cE
                    write('0');//cf
                    invalue();
  }
while(totalmoney>0);} goto st;}
```

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmel AT89S52

Features

- Compatible with MCS®-51 Products
- 8K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
  - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash

AT89S52

1. Description

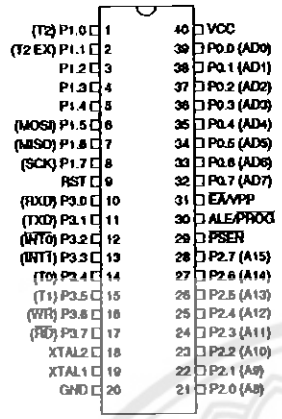
The AT89S52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 8K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S52 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

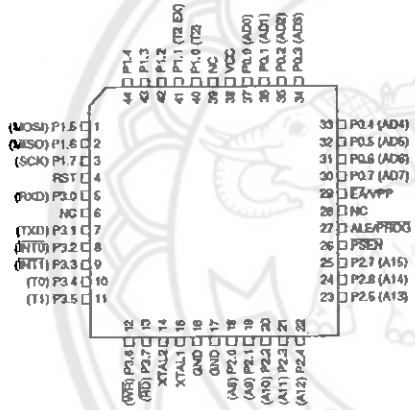
1919D–MICRO–5/06

2. Pin Configurations

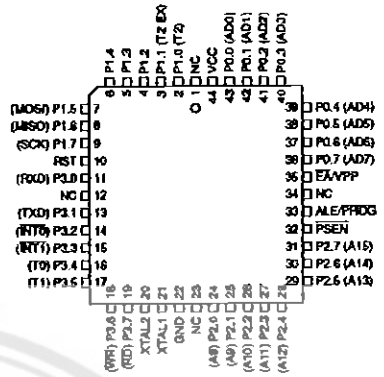
2.1 40-lead PDIP



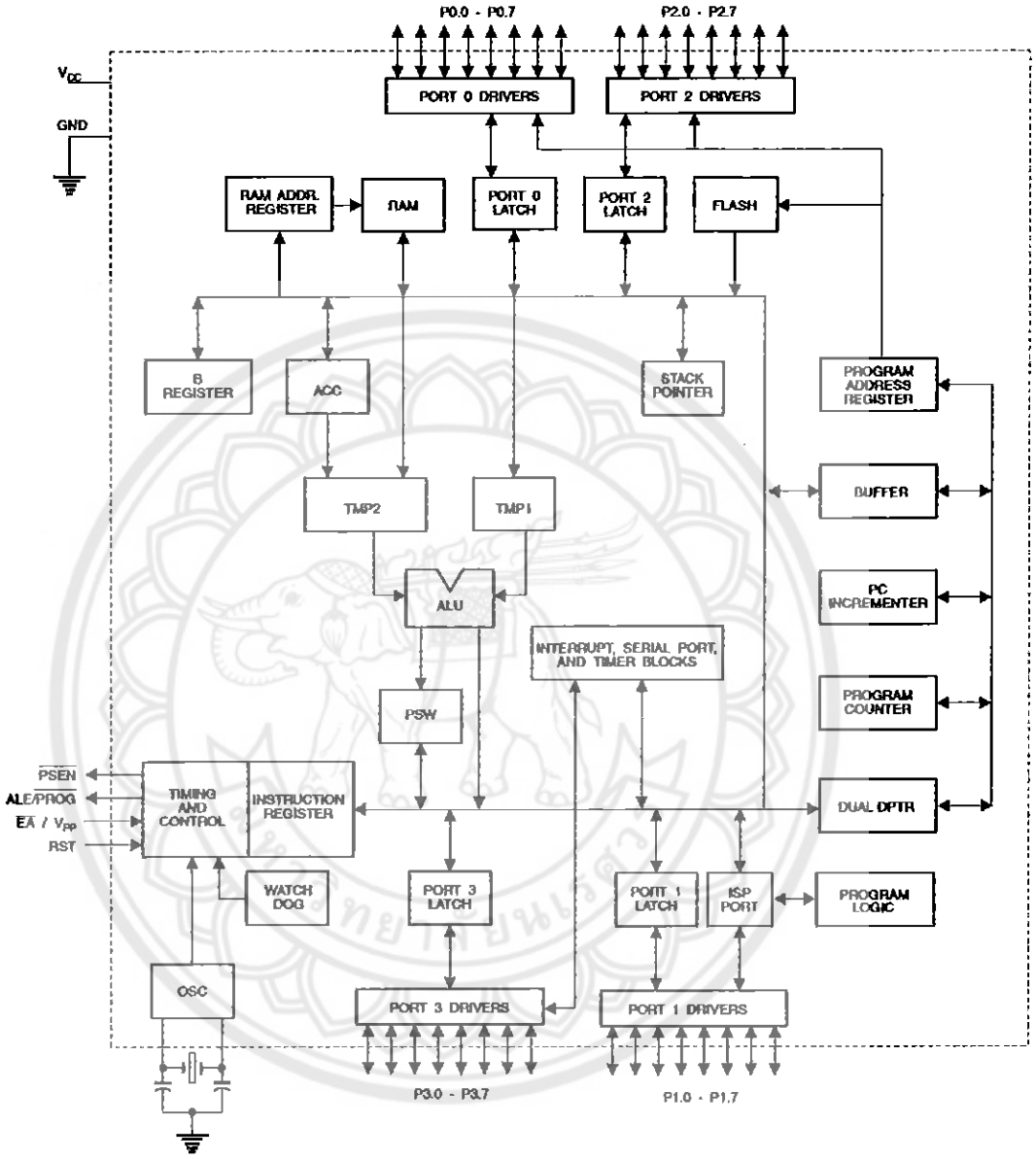
2.2 44-lead TQFP



2.3 44-lead PLCC



3. Block Diagram



4. Pin Description

4.1 VCC

Supply voltage.

4.2 GND

Ground.

4.3 Port 0

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

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

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

4.4 Port 1

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

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

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

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

4.5 Port 2

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

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

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

4.6 Port 3

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

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S52, as shown in the following table.

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

4.7 RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives high for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

4.8 ALE/$\overline{PROG}$

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

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

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

4.9 $\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable ($\overline{\text{PSEN}}$) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S52 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

4.10 $\overline{\text{EA}}$/VPP

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

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

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

4.11 XTAL1

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

4.12 XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข LM324

LM124
LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- **WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz**
- **INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND**
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max. (for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE : SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V

N
DIP14
(Plastic Package)

D
SO14
(Plastic Micropackage)

P
TSSOP14
(Thin Shrink Small Outline Package)

DESCRIPTION

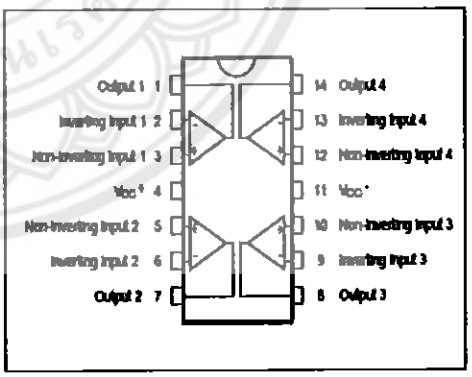
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODE

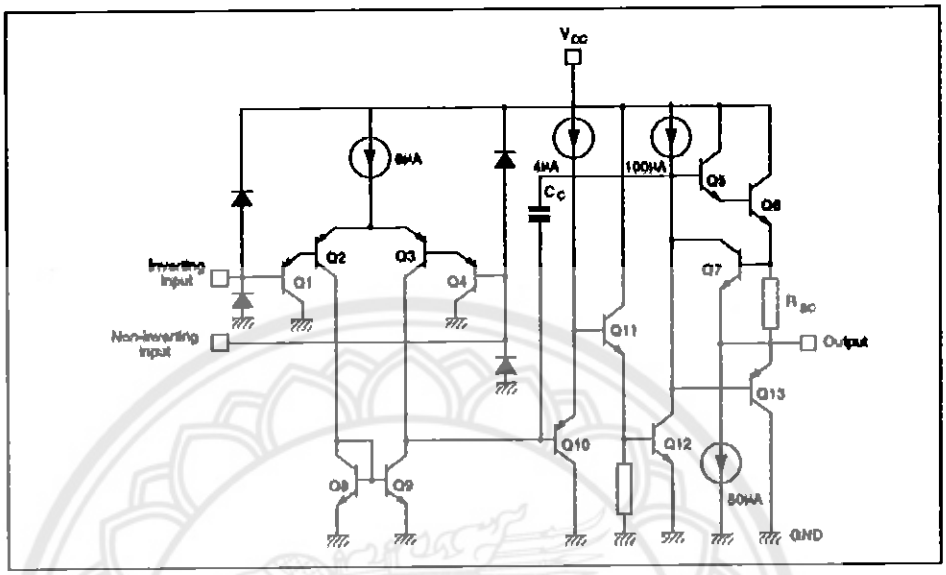
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•
Example : LM224N				

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape &Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±16 or 32			V
V_i	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage [1]	+32			V
P_{tot}	Power Dissipation N Suffix	500	500	500	mW
	Power Dissipation D Suffix		400	400	mW
	Output Short-circuit Duration [2]	Infinite			
I_{in}	Input Current [3]	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of V_{CC}^+ or V_{CC}^-.
2. Short-circuits from the output to VCC can cause excessive heating if V_{CC} > 15V. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC}. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC}^+ = +5V, V_{CC}^- = Ground, V_o = 1.4V, T_{amb} = +25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage - note 1) T_{amb} = +25°C LM324 $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ LM324		2	5 7 7 9	mV
I_{io}	Input Offset Current T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		2	30 100	nA
I_{ib}	Input Bias Current - note 2) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		20	150 300	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain V_{CC}^+ = +15V, R_L = 2kΩ, V_o = 1.4V to 11.4V T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$) V_{CC}^+ = 5V to 30V T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load T_{amb} = +25°C V_{CC} = +5V V_{CC} = +30V $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ V_{CC} = +5V V_{CC} = +30V		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range V_{CC} = +30V - note 3) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	0 0		V_{CC} -1.5 V_{CC} -2	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	70 60	80		dB
I_{source}	Output Current Source (V_{id} = +1V) V_{CC} = +15V, V_o = +2V	20	40	70	mA
I_{sink}	Output Sink Current (V_{id} = -1V) V_{CC} = +15V, V_o = +2V V_{CC} = +15V, V_o = +0.2V	10 12	20 50		mA µA
V_{OH}	High Level Output Voltage V_{CC} = +30V T_{amb} = +25°C R_L = 2kΩ $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ T_{amb} = +25°C R_L = 10kΩ $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ V_{CC} = +5V, R_L = 2kΩ T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	26 26 27 27 3.5 3	27 28		V

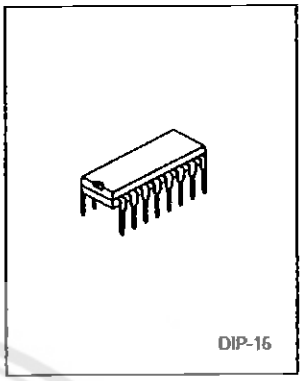
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{OL}	Low Level Output Voltage (R_L = 10kΩ) T_{amb} = +25°C $T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate V_{CC} = 15V, V_i = 0.5 to 3V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity Gain		0.4		V/µs
GBP	Gain Bandwidth Product V_{CC} = 30V, f =100kHz,V_{in} = 10mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2kΩ, V_o = $2V_{pp}$, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage f = 1kHz, R_s = 100Ω, V_{CC} = 30V		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		7	30	µV/°C
DI_{io}	Input Offset Current Drift		10	200	pA/°C
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation - note 4) 1kHz ≤ f ≤ 20kHZ		120		dB

1. V_o = 1.4V, R_s = 0Ω, 5V < V_{CC}^+ < 30V, 0 < V_{in} < V_{CC}^+ - 1.5V
2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V_{CC}^+ - 1.5V, but either or both inputs can go to +32V without damage.
4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

ภาคผนวก ง

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข ULN2003

HIGH VOLTAGE AND HIGH CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY



DESCRIPTION

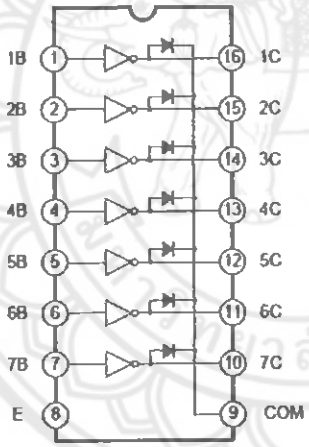
The ULN2003 is a monolithic high voltage and high current Darlington transistor arrays. It consists of seven NPN darlington pairs that features high-voltage outputs with common-cathode clamp diode for switching inductive loads. The collector-current rating of a single darlington pair is 500mA. The darlington pairs may be parrileled for higher current capability. Applications include relay drivers,hammer drivers, lampdrivers,display drivers(LED gas discharge),line drivers, and logic buffers.

The ULN2003 has a 2.7kΩ series base resistor for each darlington pair for operation directly with TTL or 5V CMOS devices.

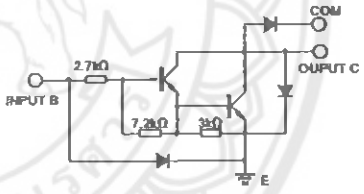
FEATURES

* 500mA rated collector current(Single output)
* High-voltage outputs: 50V
* Inputs compatibale with various types of logic.
* Relay driver application

LOGIC DIAGRAM



SCHEMATIC(EACH DARLINGTON PAIR)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(Ta=25℃)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE}	50	V
Input Voltage	V_I	30	A
Peak Collector Current	I_O	500	mA
Total Emitter-terminal	I_{OK}	500	mA
Power Dissipation	Pd	950 Tamb=25°C 495 Tamb<85°C	mW mW
Operating Temperature	Topr	-20~ +85	℃
Storage Temperature	Tstg	-65 ~ +150	℃

Note: All volatge values are with repect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS(Ta=25°C,unless otherwise specified)

Characteristic	Test Figure	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
On-state Input Voltage	6	$V_{I(ON)}$	V_{CE}=2V,Ic=200mA			2.4	V
			V_{CE}=2V,Ic=250mA			2.7	
			V_{CE}=2V,Ic=300mA			3	
Collector-Emitter Saturation Voltage	5	$V_{CE(SAT)}$	I_I=250μA,Ic=100mA		0.9	1.1	V
			I_I=350μA,Ic=200mA		1	1.3	
			I_I=500μA,Ic=350mA		1.2	1.6	
Collector Cutoff Current	1	I_{CEX}	V_{CE}=50V,I_I=0			50	μA
	2		V_{CE}=50V,I_I=0,Ta=70°C			100	
Clamp Forward Voltage	8	V_F	IF=350mA		1.7	2	V
Off-state Input Current	3	$I_{I(OFF)}$	V_{CE}=50V,IC=500mA, Ta=70°C	50	65		μA
Input Current	4	I_I	V_I=3.85V		0.95	1.35	mA
Clamp Reverse Current	7	I_R	V_R=50V			50	μA
			V_R=50V, Ta=70°C			100	
Input Capacitance	–	CI	V_I=0,f=1MHz		15	25	pF
Propagation delay time, low-to-high-level output	9	t_{PLH}			0.25	1	μs
Propagation delay time, high-to-low-level output	9	t_{PHL}			0.25	1	μs
High-level output Voltage after switching	10	V_{OH}	Vs=50V,Io=300mA	Vs-20			mV

TEST CIRCUITS

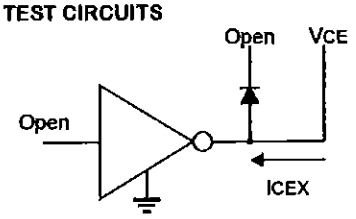


Figure 1 ICEX Test Circuit

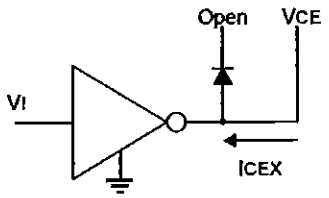


Figure 2 ICEX Test Circuit

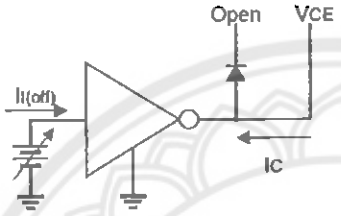


Figure 3 II(off) Test Circuit

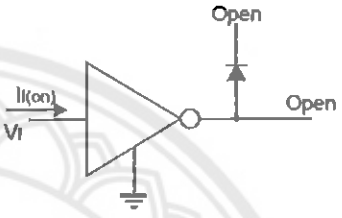
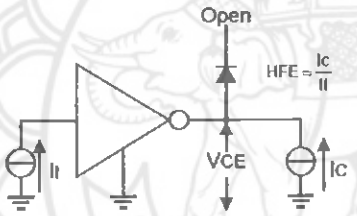


Figure 4 II(on) Test Circuit



Note: II is fixed for measuring VCE(sat),variable for measuring HFE.

Figure 5 HFE,VCE(sat) Test Circuit

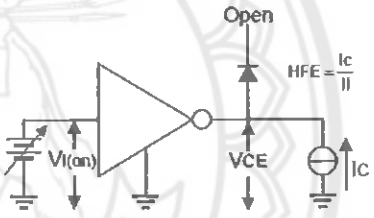


Figure 6 VI(on) Test Circuit

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข PC817

PC817XJ0000F Series

*4-channel package type is also available.
(model No. PC847XJ0000F Series)

DIP 4pin General Purpose Photocoupler

■ Description

PC817XJ0000F Series contains an IRED optically coupled to a phototransistor.

It is packaged in a 4pin DIP, available in wide-lead spacing option and SMT gullwing lead-form option.

Input-output isolation voltage(rms) is 5.0kV.

Collector-emitter voltage is 80V and CTR is 50% to 600% at input current of 5mA.

■ Features

1. 4pin DIP package
2. Double transfer mold package (Ideal for Flow Soldering)
3. High collector-emitter voltage (V_{CEO}:80V)
4. Current transfer ratio (CTR : MIN. 50% at I_F=5 mA, V_{CE}=5V)
5. Several CTR ranks available
6. High isolation voltage between input and output ($V_{iso(rms)}$: 5.0 kV)
7. Lead-free and RoHS directive compliant

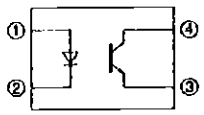
■ Agency approvals/Compliance

1. Recognized by UL1577 (Double protection isolation), file No. E64380 (as model No. PC817)
2. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

■ Applications

1. I/O isolation for MCUs (Micro Controller Units)
2. Noise suppression in switching circuits
3. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Internal Connection Diagram

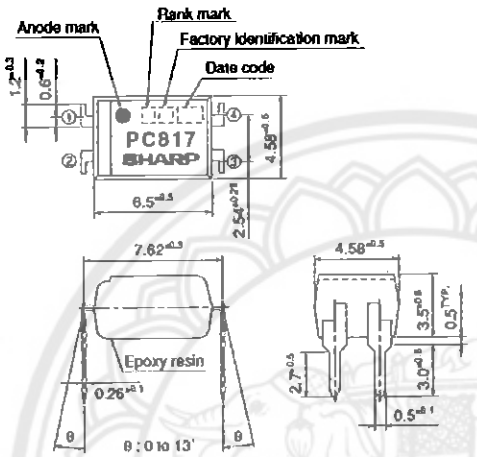


① Anode
② Cathode
③ Emitter
④ Collector

■ Outline Dimensions

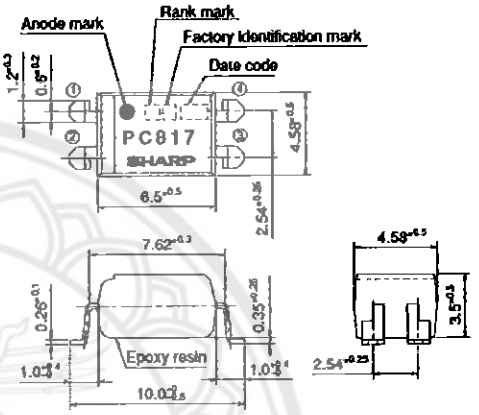
(Unit : mm)

1. Through-Hole [ex. PC817XJ0000F]



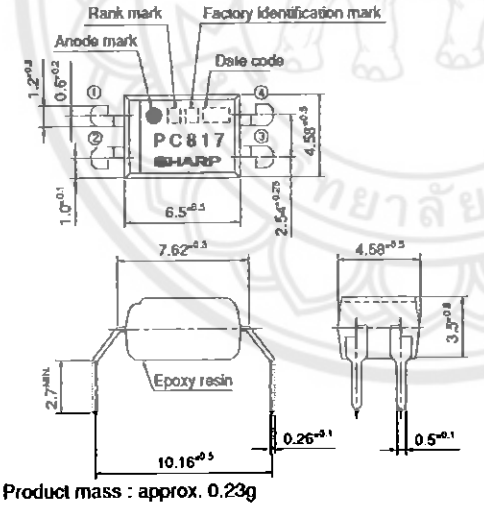
Product mass : approx. 0.23g

2. SMT Gullwing Lead-Form [ex. PC817XIJ000F]



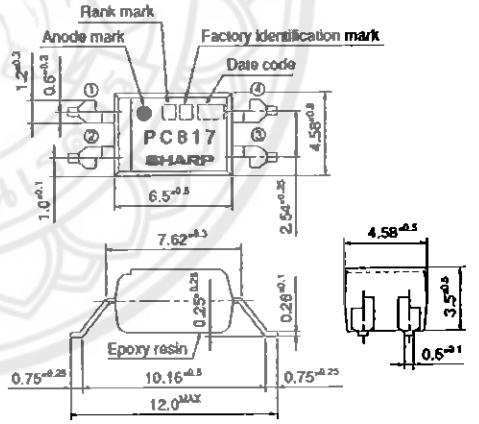
Product mass : approx. 0.22g

3. Wide Through-Hole Lead-Form [ex. PC817XFJ000F]



Product mass : approx. 0.23g

4. Wide SMT Gullwing Lead-Form [ex. PC817XFPJ00F]



Product mass : approx. 0.22g

Date code (2 digit)

1st digit				2nd digit	
Year of production				Month of production	
A.D.	Mark	A.D	Mark	Month	Mark
1990	A	2002	P	January	1
1991	B	2003	R	February	2
1992	C	2004	S	March	3
1993	D	2005	T	April	4
1994	E	2006	U	May	5
1995	F	2007	V	June	6
1996	H	2008	W	July	7
1997	J	2009	X	August	8
1998	K	2010	A	September	9
1999	L	2011	B	October	O
2000	M	2012	C	November	N
2001	N	⋮	⋮	December	D

repeats in a 20 year cycle

Factory identification mark and Plating material

Factory identification Mark	Country of origin	Plating material
no mark	Japan	SnCu (Cu : TYP. 2%)
■		
◢	Indonesia	SnBi (Bi : TYP. 2%)
◥	China	SnCu (Cu : TYP. 2%)*

* Up to Date code "T4" (April 2005), SnBi (Bi : TYP. 2%).
** This factory marking is for identification purpose only.
Please contact the local SHARP sales representative to see the actural status of the production.

■ Absolute Maximum Ratings

(T_a=25°C)

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1 Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	80	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
*2 Isolation voltage		$V_{iso(rms)}$	5.0	kV
Operating temperature		T_{opr}	−30 to +100	°C
Storage temperature		T_{stg}	−55 to +125	°C
*3 Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width≤100μs, Duty ratio : 0.001
*2 40 to 60% RH, AC for 1minute, f=60Hz
*3 For 10s

■ Electro-optical Characteristics

(T_a=25°C)

	Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage		V_F	I_F=20mA	–	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage		V_{FM}	I_{FM}=0.5A	–	–	3.0	V
	Reverse current		I_R	V_R=4V	–	–	10	μA
	Terminal capacitance		C_t	V=0, f=1kHz	–	30	250	pF
Output	Collector dark current		I_{CEO}	V_{CE}=50V, I_F=0	–	–	100	nA
	Collector-emitter breakdown voltage		BV_{CEO}	I_C=0.1mA, I_F=0	80	–	–	V
	Emitter-collector breakdown voltage		BV_{ECO}	I_E=10μA, I_F=0	6	–	–	V
Transfer characteristics	Collector current		I_C	I_F=5mA, V_{CE}=5V	2.5	–	30.0	mA
	Collector-emitter saturation voltage		$V_{CE(sat)}$	I_F=20mA, I_C=1mA	–	0.1	0.2	V
	Isolation resistance		R_{ISO}	DC500V, 40 to 60%RH	5×10^{10}	1×10^{11}	–	Ω
	Floating capacitance		C_f	V=0, f=1MHz	–	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency		f_c	V_{CE}=5V, I_C=2mA, R_L=100Ω, −3dB	–	80	–	kHz
	Response time	Rise time	t_r	V_{CE}=2V, I_C=2mA, R_L=100Ω	–	4	18	μs
		Fall time	t_f		–	3	18	μs

ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดของรีเลย์

FUJITSU FUJITSU TAKAMISAWA COMPONENT CATALOG

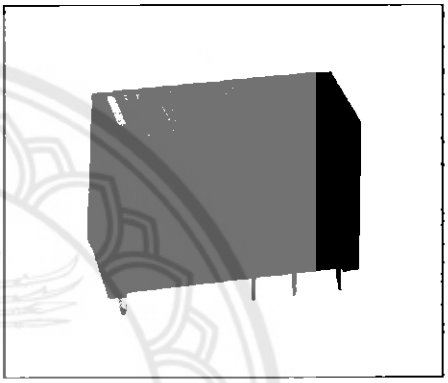
POWER RELAY

2 POLES—5 A LOW PROFILE TYPE

FTR-F1 SERIES

■ FEATURES

- Low profile power relay (height 16.5 mm) employing unique construction
  DPST/DPDT 5 A, TV-3 rating available
- Higher Isolation by employing reinforced insulation construction
  Insulation distance: 8 mm (between coil and contact)
  Dielectric strength: 5 kV (between coil and contact)
  Surge strength: 10 kV (between coil and contact)
- Plastic sealed relay
- Pin configuration compatible to VB/FBR620
- UL, CSA, VDE, SEMKO, BSI recognized
- Conforms to FIMKO, IMQ, DEMKO (under approval)
- Environmentally friendly cadmium free contact type is available



■ ORDERING INFORMATION

[Example] FTR-F1 (a) A (b) A (c) 005 (d) V (e) – ** (f)

(a)	Series Name	FTR-F1: FTR-F1 Series
(b)	Contact Arrangement	A : 2 form A (DPST-NO) C : 2 form C (DPDT)
(c)	Coil Type	A : Standard type (0.53 W) D : High sensitive type (0.4W)
(d)	Nominal Voltage	005 : 5 VDC 012: 12 VDC 006 : 6 VDC 024: 24 VDC 009 : 9 VDC 048: 48 VDC
(e)	Contact Material/TV Type	V : Gold plate silver alloy (standard type) T : Gold plate silver alloy (TV-3 rating type, only standard make type)
(f)	Custom Designation	To be assigned custom specification

Ordering Code: FTR-F1AA005V **Actual Marking:** F1AA005V

■ SAFETY STANDARD AND FILE NUMBERS

UL508, 873 (File No. E63614)
C 22.2 No. 14 (File No. LR40304-30/ LR107822)
VDE 0435, 0631, 0700, 0860 (File No. 11039-4940-1019)

	Type	Nominal voltage	Contact rating
TV-Rating	FTR-F1AA( )T	5 to 48 VDC	TV-3 120 VAC 1/6 HP 125 VAC 1/4 HP 250 VAC 5 A 24 VDC/250 VAC resistive Pilot duty R 300
Standard/ sensitive	FTR-F1CA( )V	5 to 48 VDC	Same as above without TV-3 2A 250VAC inductive (PF=0.4)

■ SPECIFICATIONS

Item			Standard Type	Sensitive Type	TV-3 Rating Type
Contact	Arrangement		2 form A (DPST-NO), 2 form C (DPDT)		2 form A (DPST-NO)
	Material		Gold plate silver alloy		
	Style		Single		
	Resistance (initial)		Maximum100 mΩ (at 1 A 6 VDC)		
	Rating (resistive)		5 A 250 VAC/24 VDC		
	Maximum Carrying Current		7 A		
	Maximum Switching Rating		1,250 VA/120 W		
	Maximum Switching Voltage		400 VAC 300 VDC		
	Maximum Switching Current		5 A		
	Minimum Switching Load*1		10 mA 5 VDC		
	Maximum Inrush Current		—		51 A 120 VAC (at lamp load)
Coil	Nominal Power (at 20°C)		0.53 W	0.4 W	0.53 W
	Operate Power (at 20°C)		0.26 W	0.225W	0.26W
	Operating Temperature		−40°C to +75°C (no frost) (refer to the CHARACTERISTIC DATA)		
Time Value	Operate (at nominal voltage)		Maximum 15 ms		
	Release (at nominal voltage)		Maximum 5 ms		
Insulation	Resistance (at 500 VDC)		Minimum 1,000 MΩ		
	Dielectric Strength	between open contacts	1,000 VAC 1 minute (3,000 VAC between adjacent contacts)		
		between coil and contacts	5,000 VAC 1 minute		
	Surge Strength		10,000 V (at 1.2 × 50 μs)		
Life	Mechanical		2×10^7 operations minimum		
	Electrical	Contact Rating	1×10^5 operations minimum		
		Lamp Load	—		2.5×10^4 ops. minimum
Other	Vibration Resistance	Misoperation	10 to 55 Hz (double amplitude of 1.65 mm)		
		Endurance	10 to 55 Hz (double amplitude of 3.3 mm)		
	Shock Resistance	Misoperation	100 m/s² (11 ±1 ms)		
		Endurance	1,000 m/s² (6 ±1 ms)		
	Weight		Approximately 12 g		

*1 Minimum switching loads mentioned above are reference values. Please perform the confirmation test with the actual load before production since reference values may vary according to switching frequencies, environmental conditions and expected reliability levels.

■ COIL DATA CHART

MODEL		Nominal voltage	Coil resistance (±10%)	Must operate voltage	Must release voltage
Standard Type	TV-3 Rating Type				
FTR-F1 (C, A) A005 V	FTR-F1AA005 T	5 VDC	47 Ω	3.5 VDC	0.5 VDC
FTR-F1 (C, A) A006 V	FTR-F1AA006 T	6 VDC	68 Ω	4.2 VDC	0.6 VDC
FTR-F1 (C, A) A009 V	FTR-F1AA009 T	9 VDC	155 Ω	6.3 VDC	0.9 VDC
FTR-F1 (C, A) A012 V	FTR-F1AA012 T	12 VDC	270 Ω	8.4 VDC	1.2 VDC
FTR-F1 (C, A) A024 V	FTR-F1AA024 T	24 VDC	1,100 Ω	16.8 VDC	2.4 VDC
FTR-F1 (C, A) A048 V	FTR-F1AA048 T	48 VDC	4,400 Ω	33.6 VDC	4.8 VDC

Note: All values in the table are measured at 20°C.

Sensitive Type

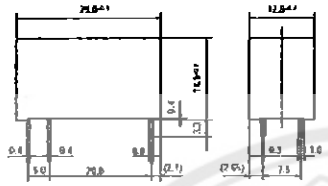
MODEL	Nominal voltage	Coil resistance (±10%)	Must operate voltage	Must release voltage
Standard Type				
FTR-F1 (C, A) D005 V	5 VDC	62 Ω	3.75 VDC	0.5 VDC
FTR-F1 (C, A) D006 V	6 VDC	90 Ω	4.5 VDC	0.6 VDC
FTR-F1 (C, A) D009 V	9 VDC	202 Ω	6.75 VDC	0.9 VDC
FTR-F1 (C, A) D012 V	12 VDC	360 Ω	9.0 VDC	1.2 VDC
FTR-F1 (C, A) D024 V	24 VDC	1,440 Ω	18.0 VDC	2.4 VDC
FTR-F1 (C, A) D048 V	48 VDC	5,760 Ω	36.0 VDC	4.8 VDC

FTR-F1 SERIES

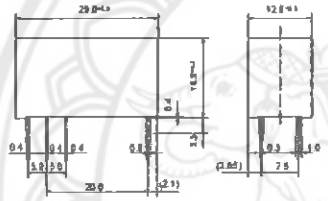
■ DIMENSIONS

● Dimensions

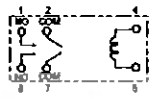
FTR-F1A type



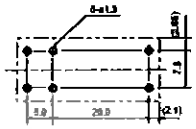
FTR-F1C type

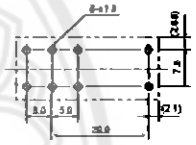


● Schematics (BOTTOM VIEW)



● PC board mounting hole layout (BOTTOM VIEW)





Unit: mm

Fujitsu Takamisawa International Headquarter Offices

www.fujitsu.takamisawa.com

Japan
Fujitsu Takamisawa Component Limited
Global Marketing and Sales
Gotanda-Chuo Building
3-5, Higashigotanda 2-chome, Shinagawa-ku
Tokyo 141, Japan
Tel. (81-3) 5449-7010
Fax (81-3) 5449-2626

North and South America
Fujitsu Takamisawa America, Inc.
250 E. Caribbean Drive
Sunnyvale, CA 94089 U.S.A.
Tel: (1-408) 745-4900
Fax: (1-408) 745-4970

Europe
Fujitsu Takamisawa Europe B.V.
Diamantlaan 25
2132 WV Hoofddorp
Netherlands
Tel: (31-23) 5560910
Fax: (31-23) 5560950

Asia Pacific
Fujitsu Takamisawa Asia Pacific Pte. Ltd.
102E Pasir Panjang Road
#04-01 Citilink Warehouse Complex
Singapore 118529
Tel: (65) 375-8560
Fax: (65) 273-3021