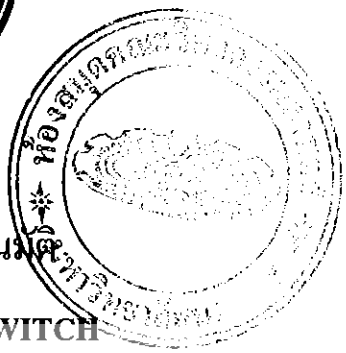


สวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

MOTION AND AUTO-SWITCH

นายวิทวัส แจ่มจันทร์ รหัส 51361711

นายพงศกร ยาบุษดี รหัส 51364408

นายวรภัทร รักวุ่น รหัส 51364491

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ก.พ. 56
เลขทะเบียน 1611385
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 3593 ส 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวิทวัส แจ่มจันทร์ รหัส 51361711
	นายพงศกร ยาบุษดี รหัส 51364408
	นายวรภัทร รักวุ่น รหัส 51364491
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ

(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....กรรมการ

(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวิทวัส แจ่มจันทร์	รหัส 51361711
	นายพงศกร ยาบุษดี	รหัส 51364408
	นายวรภัทร รักวุ่น	รหัส 51364491
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2554	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติโดยมีแบบการจำลองสองสถานการณ์ คือไฟทางเดิน และไฟในห้อง แบบจำลองจะทำงานได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขสองประการ คือค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถจับการเคลื่อนไหวได้ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานให้รีเลย์เปิดไฟอัตโนมัติ และมีการหน่วงเวลาการทำงาน 2 นาทีโดยที่ 10 วินาทีสุดท้ายหากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวไม่ได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะให้สั่งรีเลย์ปิดไฟอัตโนมัติ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

Project title	Motion and Auto-Switch	
Name	Mr. Vittavat Jamjan	ID. 51361711
	Mr. Pongsakorn Yabussadee	ID. 51364408
	Mr. Woraphat Rukwun	ID. 51364491
Project advisor	Dr. Mutita Songjun	
Major	Electrical Engineering	
Department	Electrical and Computer Engineering	
Academic year	2011	

Abstract

This project is about the automatic light switch model creation by using 2 situation, corridor light and indoor light. The model could be work or not depends on 2 factors, illuminance is less than 30 lux and PIR sensors detect the movement. The microcontroller will control the relay to turn on the light automatically. The work time will delay for 2 minutes. In the last 10 seconds, if the PIR sensors could not detect the movement, the microcontroller will control the relay to turn off the light automatically. According to the test the model could conform to the objective.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความเมตตาช่วยเหลือของ ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาโครงงานและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการสนับสนุนต่างๆ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงงาน

นอกจากนี้ยังต้องขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของเงินทุนและเครื่องมือต่างๆมาใช้งาน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้านี้ คณะผู้ดำเนินโครงงานมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวมาและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นายวิทวัส แจ่มจันทร์

นายพงศกร ยาบุษดี

นายวรภัทร รักวุ่น

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4
2.1 อุปกรณ์ตรวจจับ.....4
2.2 ระบบควบคุม.....8
2.3 วงจรควบคุม.....11
2.4 อุปกรณ์ส่วนเอาท์พุต.....21

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....23
3.1 ขั้นตอนในการในการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ.....23
3.2 การออกแบบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า.....24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การออกแบบระบบด้านอินพุต 26
3.4 อุปกรณ์ควบคุม 28
3.5 การออกแบบระบบด้านเอาท์พุต 28
3.6 ไฟแสดงสถานะทำงาน 30

บทที่ 4 การดำเนินโครงงาน 34
4.1 การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดิน 34
4.2 การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้อง 37
4.3 การทดลองระยะตรวจจับ ของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 40
4.4 การทดลองการหน่วงเวลาการทำงานของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 41

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 42
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 43
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป 43

เอกสารอ้างอิง 44

ภาคผนวก ก รหัสต้นฉบับของโปรแกรมควบคุมสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 45
ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 50
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A 52

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 75

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน 2

2.1 การทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A 9

4.1 ผลการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินจำนวน 5 ครั้ง 37

4.2 ผลการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้องจำนวน 5 ครั้ง 39

4.3 ระยะการตรวจจับของเซ็นเซอร์จับตรวจจับการเคลื่อนไหว 40

4.4 เวลาการทำงานของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 41

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของแอลดีอาร์ 5

2.2 หลักการใช้ตัวต้านทานไวแสงต่อวงจรแบ่งแรงดันของวงจรปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 6

2.3 การแทรกสอดของคลื่นแสง 7

2.4 การตรวจจับการเคลื่อนไหว 7

2.5 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F627A 9

2.6 ตัวเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง 11

2.7 รูปสัญญาณในตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง 12

2.8 แผนภาพวงจรของตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 13

2.9 รูปสัญญาณในตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 13

2.10 วงจรกรองกระแสตรง (ก) ชนิด L (ข) ชนิด C (ค) ชนิดLC 14

2.11 วงจรกรองกระแสสลับชนิด LC 14

2.12 แบบจำลองวงจรของตัวเรียงกระแสเต็มคลื่น 15

2.13 ความพลิ้วของแรงดันด้านออก 15

2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้ตัวเก็บประจุกรอง 17

2.15 รูปสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ 17

2.16 สัญลักษณ์ของออปแอมป์ 18

2.17 ออปแอมป์ในอุดมคติ 18

2.18 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส 19

2.19 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ 20

2.20 การประยุกต์ใช้งานวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) 20

2.21 สัญลักษณ์การทำงานของรีเลย์ 22

3.1 แผนภาพกรอบการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 23

3.2 แผนภาพกรอบการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า 24

3.3 การออกแบบด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า 25

3.4 แผนภาพกรอบการออกแบบด้านอินพุตของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.5 การออกแบบเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง 27

3.6 การออกแบบเซ็นเซอร์จับความเคลื่อนไหว.....27

3.7 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC16F627A 28

3.8 การออกแบบด้านเอาท์พุตของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 39

3.9 ไฟแสดงสถานะของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 30

3.10 สถานะก่อนการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 31

3.11 สถานะเริ่มการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 31

3.12 สถานะเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทำงานผ่านไป 45 วินาที 32

3.13 สถานะการทำงานเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทำงานถึง 10 วินาทีสุดท้าย 32

3.14 สถานะการทำงานเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติขณะสิ้นสุดการทำงาน 33

4.1 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 35

4.2 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 35

4.3 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 36

4.4 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว.....36

4.5 การทำงานของแบบจำลองขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 38

4.6 การทำงานของแบบจำลองขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 38

4.7 การทำงานของแบบจำลองขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันระบบแสงสว่างที่ใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประเทศไทยเราสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปอย่างสูญเปล่า และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของคนในประเทศได้ เนื่องจากการขยายตัวของประชากร และการขยายตัวของเศรษฐกิจได้ดำเนินอยู่ตลอดเวลา ประเทศไทยจึงมีอัตราการเพิ่มของปริมาณการใช้ไฟฟ้าปีละไม่ต่ำกว่า 1,000 เมกะวัตต์ จากสถิติในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมาประเทศไทยผลิตพลังงานไฟฟ้ารวม 160,113 ล้านหน่วยจากแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติร้อยละ 66.3 น้ำมันเตาร้อยละ 2.9 น้ำมันดีเซลร้อยละ 0.2 ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 11 ถ่านหินนำเข้าร้อยละ 9 พลังน้ำร้อยละ 3.1 ซื้อจากต่างประเทศร้อยละ 7 และพลังงานหมุนเวียนอื่นๆร้อยละ 0.5 และมีแนวโน้มที่ประเทศไทยเราต้องซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านมากขึ้นทุกปี [1]

ดังนั้นปัญหาด้านการลดใช้พลังงานจึงเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ และเป็นที่มาของโครงงานสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ (Motion and auto-switch) เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ประโยชน์ของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ คือช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อจำเป็นเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

สร้างแบบจำลองควบคุมระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นโดยใช้เซ็นเซอร์สองชนิด คือเซ็นเซอร์แสง และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

สร้างแบบจำลองควบคุมระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ 2 สถานการณ์ คือ

1.3.1 แบบจำลองไฟสำหรับทางเดินขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.00 เมตร สูง 0.50 เมตร

1.3.2 แบบจำลองไฟสำหรับในห้องขนาดกว้าง 0.40 เมตร ยาว 0.40 เมตร สูง 0.40 เมตร

1.3.3 ติดตั้งเซ็นเซอร์และระบบควบคุมทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขการทำงานของแบบจำลอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

รายละเอียด	ปี พ.ศ. 2554						ปี พ.ศ. 2555		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค	ม.ค.	ก.พ	มี.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←	—	→						
1.1 หลักการทำงานของ อุปกรณ์ตรวจจับแสงและการเคลื่อนไหว	←	—	→						
1.2 หลักการทำงานของไมโคร - คอนโทรลเลอร์	←	—	→						
2. ออกแบบ และสร้างแบบจำลอง		←	—	—	—	→			
2.1 ออกแบบ และสร้างแบบจำลอง			←	—	→				
2.2 ออกแบบ และสร้างวงจรไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์			←	—	—	→			
3. ทดสอบการทำงานและปรับปรุงแก้ไข					←	—	—	→	
4. ทดสอบการใช้งานจริง						←	—	→	
5. จัดทำรายงานปริญญานิพนธ์							←	—	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในสถานที่จริงได้ เช่น ในห้องน้ำ ทางเดินเท้า

1.4.2 เป็นแบบอย่างในการพัฒนาโครงงาน และประยุกต์ใช้ต่อไป

1.4.3 ประหยัดเวลาในการปิด-เปิดไฟ

1.4.4 เป็นทางเลือกในการประหยัดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น เช่น ลืมปิดไฟหลังจากใช้งาน

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

ค่าเซ็นเซอร์	500	บาท
ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,000	บาท
ค่าหลอดไฟ	100	บาท
ค่าโครงสร้างแบบจำลอง	400	บาท
ค่าถ่ายเอกสาร	1,000	บาท
รวม (สามพันบาทถ้วน)	3,000	บาท

หมายเหตุ (ถ้ามีเฉลี่ยทุกรายการ)

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้เป็นการนำเสนอหลักการและทฤษฎีที่ใช้เป็นองค์ประกอบของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ แต่ละองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ อุปกรณ์ตรวจจับ ระบบควบคุม วงจรควบคุม และอุปกรณ์ส่วนเอาท์พุต

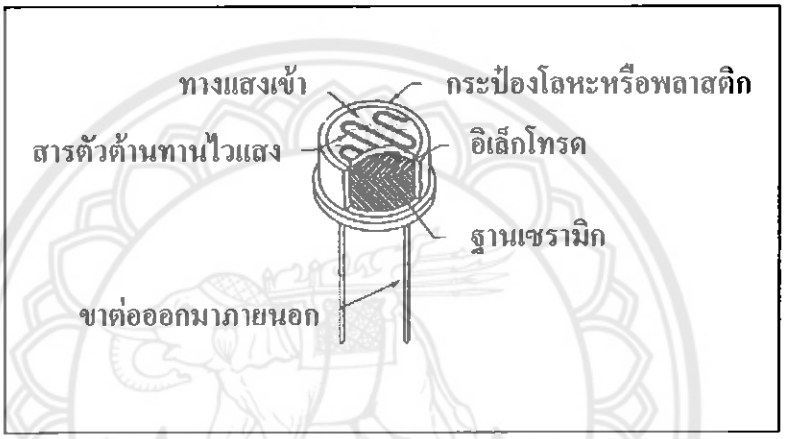
2.1 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิสี แสง หรือการเคลื่อนไหวต่างๆ โดยอาศัยหลักการที่แตกต่างกันไปแต่ละตัว เพื่อเปลี่ยนจากคุณสมบัติของฟิสิกส์มาเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ที่ใช้งานกันในหุ่นยนต์ คือเซ็นเซอร์สีขาวดำ โดยอาศัยหลักการสะท้อนแสงของสีขาว และสีดำทางฟิสิกส์แล้วจะเห็นว่าสีขาวมีอัตราการสะท้อนแสงมากกว่าสีดำ เราจึงสามารถนำแสงสะท้อนมาเปรียบเทียบได้โดยใช้ตัวเซ็นเซอร์ คืออุปกรณ์จำพวกโฟโต้ เช่น โฟโต้ไดโอด โฟโต้ทรานซิสเตอร์ แอลดีอาร์ เป็นต้น ซึ่งจะมีความไวต่อแสงมาก ตัวเซ็นเซอร์ส่วนใหญ่เมื่อแสดงผลเอาท์พุต จะแสดงผลในรูปความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามสภาวะของตัวเซ็นเซอร์นั้นๆ ในปัจจุบันในวงการเซ็นเซอร์ได้พัฒนาไปอย่างมากมีเซ็นเซอร์ให้เราได้เลือกใช้มากมาย มีวงจรที่ง่ายขึ้น มีความแน่นอนสูง จึงทำให้เราสามารถมีตัวเลือกในการใช้งานมากขึ้น

2.1.1 อุปกรณ์ตรวจจับแสงจากตัวต้านทานไวแสง

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่างตั้งแต่ตัวต้านทานไวแสง หรือแอลดีอาร์ (Light dependent resistor, LDR) โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาได้เมื่อได้รับแสง โฟโต้ไดโอด (Photodiode) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ที่ทำงานด้วยแสง (Light activated silicon controlled rectifier, LASCR) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์ประเภทนี้ที่มีโครงสร้าง และลักษณะการทำงานง่ายที่สุดก็เห็นจะได้แก่แอลดีอาร์เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อพี-เอ็นเหมือนกับแบบอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้ว

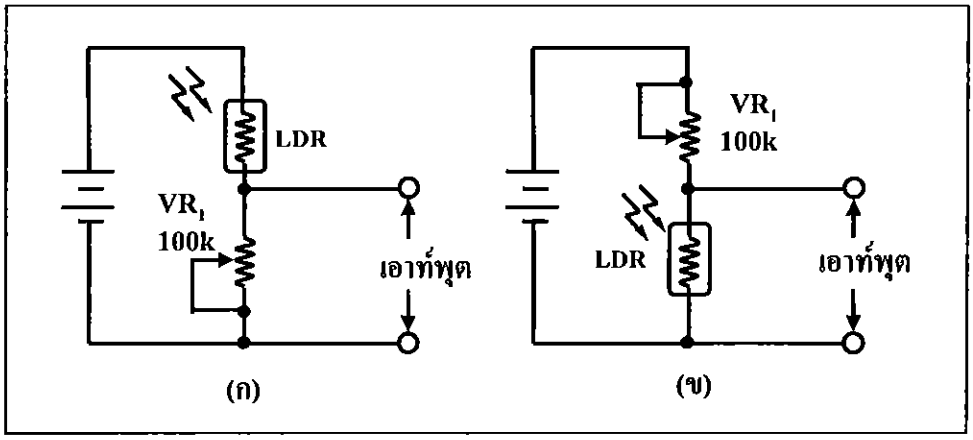
ตัวต้านทานไวแสงส่วนใหญ่ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CDSE) ทั้งสองตัวนี้เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำ โดยการนำสารเหล่านี้มาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา รูปร่างของแอลดีอาร์จะเห็นได้ดังรูปที่ 2.1 ส่วนขดเป็นแนวเล็กๆสีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำนี้จะแบ่งพื้นที่ตัวมันออกเป็นสองข้าง ถ้าดูของจริงจะเห็นว่าออกเป็นสีทอง ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสงเป็นส่วนสำหรับต่อขาออกมาจากภายนอก หรือเรียกว่าอิเล็กโทรดส่วนที่เหลือจะเป็นฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม ซึ่งมีได้หลายแบบ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอลดีอาร์

ที่มา: www.electronics.se-ed.com

การนำตัวต้านทานไวแสงมาประยุกต์ใช้งานกับวงจรควบคุมการปิด-เปิดไฟด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะนำมาใช้เพียง 2 ลักษณะเท่านั้น คือมีแสงสว่างมาก และมีแสงสว่างน้อย โดยทั่วไปจะนำตัวต้านทานไวแสงมาต่อแบบอนุกรมเข้ากับตัวต้านทานหนึ่งตัวแล้วต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันออกมา ซึ่งมีการทำงานคือถ้ามีแสงสว่างมากตัวต้านทานไวแสงจะมีความต้านทานต่ำ ทำให้แรงดันส่วนใหญ่ตกคร่อมที่ R_1 ทั้งหมด แรงดันเอาท์พุตจึงสูงเกือบเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงและถ้ามีแสงสว่างน้อยตัวต้านทานไวแสงจะมีความต้านทานสูง แรงดันส่วนใหญ่จะไปตกคร่อมที่ตัวต้านทานไวแสงแรงดันเอาท์พุตจึงเกือบเป็นศูนย์โวลต์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 (ก) และในส่วนรูปที่ 2.2 (ข) วงจรจะทำงานในทางตรงกันข้ามคือเพียงสลับที่ระหว่างตัวต้านทานไวแสงกับ R_1 เวลามีแสงสว่างมาก เอาท์พุตก็จะเกือบเป็นศูนย์โวลต์ เวลามีแสงสว่างน้อยเอาท์พุตก็เกือบเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยง จะเห็นได้ว่าตรงกันข้ามกับกรณีแรก



รูปที่ 2.2 หลักการใช้ตัวต้านทานไวแสงต่อวงจรแบ่งแรงดันของวงจรปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

ที่มา: www.living-electronics.blogspot.com/2010/05/ldr.html

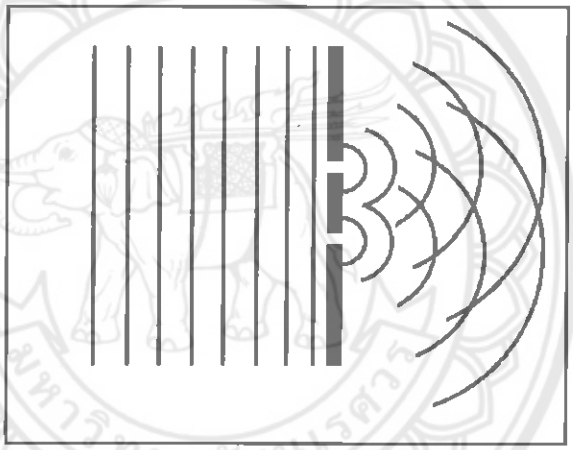
ตัวต้านทานไวแสงนั้นมีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าความต้านทานตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวหน้าของตัวต้านทานไวแสง จากหลักการดังกล่าวจึงนำตัวต้านทานไวแสงมาสร้างเป็นอุปกรณ์วัดความส่องสว่าง

2.1.2 เครื่องมือตรวจจับการเคลื่อนไหว

อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric infrared sensor, PIR sensor) คือไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric) เป็นส่วนนึงของอุปกรณ์การตรวจจับการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ใช้หลักเปลี่ยนแปลงของรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากตัวคนหรือสัตว์ ในขณะที่มีการเคลื่อนไหว จะมีพลังงานความร้อนแผ่ออกมาซึ่งเป็นเหตุให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไปคลื่นรังสีความร้อนที่แผ่กระจายปกคลุมแถบความถี่ หรือที่เรียกว่า แถบอินฟราเรด พลังงานที่แผ่ออกมาจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า "ไพโรอิเล็กทริก" โดยจะต้องมีเลนส์ที่ใช้เฟรสเนลเลนส์ (Fresnel lenses) เป็นตัวกรองแสงที่ไม่ต้องการออก และจะยอมให้แสงที่ตามองไม่เห็น (อินฟราเรด) ผ่านไปได้ อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดรัศมีของการตรวจจับให้ได้ความไว

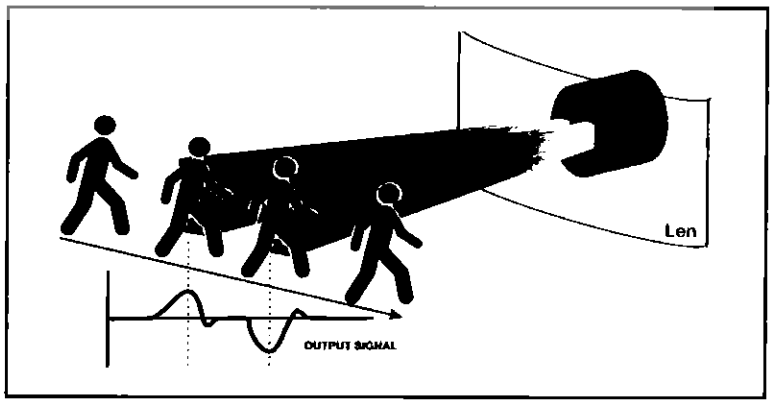
สารไพโรอิเล็กทริกจะทำการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อวัสดุไพโรอิเล็กทริกสัมผัสกับพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้แม้เพียงปริมาณน้อย โพลาไรเซชั่นภายในจะเปลี่ยนไปจากสภาวะที่เป็นกลาง ประจุซึ่งถูกทำให้ตื่นตัวที่ผิวของวัสดุไพโรอิเล็กทริก เป็นผลทำให้เกิดประจุอิสระ ซึ่งสามารถจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าให้เครื่องรับรู้อินฟราเรด หรืออุณหภูมิได้เป็นตัวจับสัญญาณ ที่มีความเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความไวต่อรังสีอินฟราเรด แล้วตัวตรวจจับไพโรอิเล็กทริกโดยจะทำงานเมื่อตรวจจับพบความ

เปลี่ยนแปลงของรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากตัวคน หรือสัตว์ในขณะที่มีการเคลื่อนไหวนั่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรังสีความร้อนแผ่ในบริเวณนั้นทำให้คลื่นรังสีแผ่กระจายออก โดยภายในไพโรอิเล็กทริกประกอบด้วยเลนส์ที่เรียกว่าเฟรสเนลเลนส์ (Fresnel lenses) ซึ่งเป็นเลนส์ขนาดเล็กจำนวนมากเพื่อสร้างการแทรกสอดของคลื่นของแสง (Pattern interfere) ย่านอินฟราเรดขณะที่ยังไม่มีใครเข้ามาในรัศมีแสงนั้นจะมีรูปแบบ (Pattern) ที่คงที่แต่เมื่อวัตถุเกิดการเคลื่อนไหวรูปแบบการแทรกสอดของคลื่นแสง (Pattern interfere) ดังรูปที่ 2.3 ที่ปรากฏบนตัวไพโรอิเล็กทริกก็จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามการเคลื่อนไหวนั้นออกมาทางขาเอาท์พุตดังรูปที่ 2.4 ความถี่จากผลของการตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้นเป็นความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงต้องถูกป้อนเข้าไอซีควบคุมเพื่อขยายสัญญาณ



รูปที่ 2.3 การแทรกสอดของคลื่นแสง

ที่มา: http://upperclass-komkrit.blogspot.com/2011_01_01_archive.html



รูปที่ 2.4 การตรวจจับการเคลื่อนไหว

ที่มา: http://thaieasyelec.com/Review-Product-Article/PIR-Motion-Sensor-Getting-Started.html

2.2 ระบบควบคุม

2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (Integrated circuit, IC) ที่สามารถเขียนโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทำการประมวลผล แล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมา เพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit, CPU) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์แต่ได้รับการพัฒนาวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุต และเอาท์พุต บางส่วนเข้าไปในไอซีตัวเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกดิจิตอลเป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายตระกูล และหลายหมายเลขด้วยกัน ซึ่งแต่ละหมายเลขก็จะมีโครงสร้างภายใน และความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้งานคือ MCS51, PIC และ AVR เป็นต้น

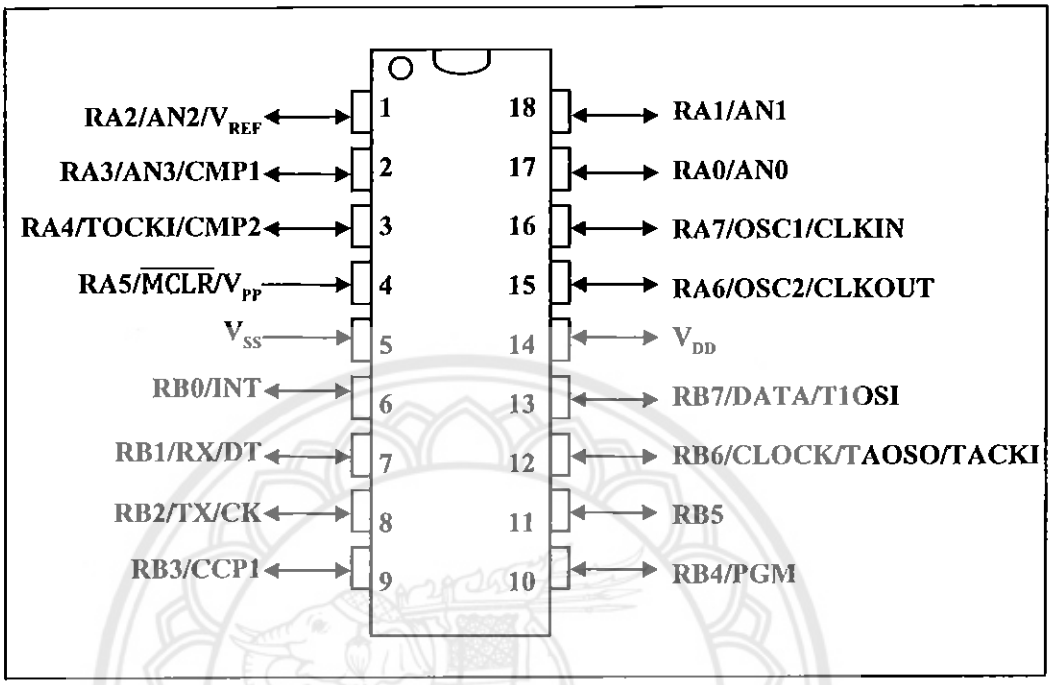
ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC สามารถแยกออกตามชนิดหน่วยความจำโปรแกรมได้ 3 แบบ คือ

1) OTP (One time programmable) เป็นไอซีที่สามารถทำการลงโปรแกรมได้เพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากไอซีได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้นไอซีประเภทนี้จะนิยมใช้หลังงานได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ ในโปรแกรมแล้ว จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น 16C84 และ 16C74 เป็นต้น

2) EPROM (Erasable programmable read only memory) เป็นไอซีที่สามารถเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิมโดยให้แสงอัลตร้าไวโอเลต ส่องผ่านเข้าไปยังไอซีในเวลาประมาณ 5-10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของไอซีจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสงอัลตร้าไวโอเลต สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัวไอซีได้ แต่จะมีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรม เมื่อลบโปรแกรมด้วยแสงอัลตร้าไวโอเลตมากๆ จะเกิดอาการด้านทำให้ไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้อีก จะมีตัวอักษร JW แสดงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือมีกรอบกระจกอยู่บนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

3) EEPROM/Flash (Electronically erasable programmable read only memory) เป็นไอซีที่สามารถอ่าน หรือเขียนข้อมูลด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่กี่วินาที

และสามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง มีตัวอักษร F แสดงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น 16F84 และ 16F877 เป็นต้น [2]



รูปที่ 2.5 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F627A [2]

ตารางที่ 2.1 การทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A [2]

ขา	ชื่อขา	หน้าที่การทำงาน
1	RA2	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป, อินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่อง 2 และอินพุตแรงดันอ้างอิงต่ำของโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (A/D)
2	RA3	เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไป, อินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่อง 3 และอินพุตแรงดันอ้างอิงต่ำของโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (A/D)
3	RA4	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป และอินพุตสัญญาณนาฬิกา จากภายนอกเข้าสู่ตัวจับเวลา 0
4	RA5/V_{PP}	เป็นขาอินพุตสัญญาณรีเซตด้วยลอจิก 0 ซึ่งปรกติจะต่อกับ R ค่า 10K เพื่อเชื่อมต่อกับไฟเลี้ยง (VDD) และต่อสวิตช์รีเซ็ตลงกราวด์ (GND) นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นขาอินพุตแรงดันไฟสูง 13 V ในขณะทำการโปรแกรมให้กับไอซีด้วย

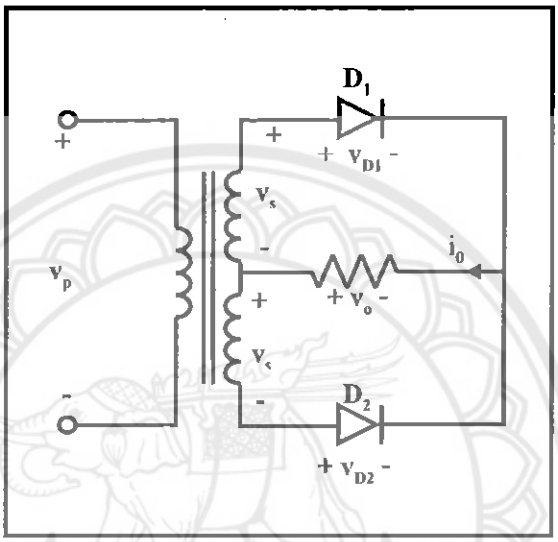
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) การทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A [2]

5	V_{SS}	เป็นขาอินพุตสำหรับต่อไฟเลี้ยงให้กับ PIC โดยการต่อลงกราวด์
6	RB0	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป
7	RB1	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป
8	RB2	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป
9	RB3	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป
10	RB4	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป และอินพุตของโปรแกรมแบบ ICSP แรงดันต่ำ
11	RB5	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป และอินพุตสัญญาณอินเตอร์รัพต์ 1 จากภายนอก
12	RB6	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป, เอาท์พุตออสซิลเลเตอร์ของตัวจับเวลา 1, อินพุตสัญญาณนาฬิกา จากภายนอกเข้าสู่ตัวจับเวลา 1 และตัวจับเวลา 3 และการโปรแกรมแบบ ICSP แรงดันต่ำ
13	RB7	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป,อินพุต-เอาท์พุตสำหรับการแก้ไขจุดบกพร่องในวงจร (In-circuit debugger) และการโปรแกรมแบบ ICSP
14	V_{DD}	เป็นขาอินพุตสำหรับต่อไฟเลี้ยงให้กับ PIC โดยจ่ายแรงดันไฟในช่วง 4.2 ถึง 5.5 V
15	RA6	เป็นขาเอาท์พุตของสัญญาณนาฬิกาซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ FOSC/4 และอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป
16	RA7	เป็นขาอินพุตของสัญญาณนาฬิกา
17	RA0	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป และอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่อง 0
18	RA1	เป็นขาอินพุต-เอาท์พุตทั่วไป และอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่อง 1

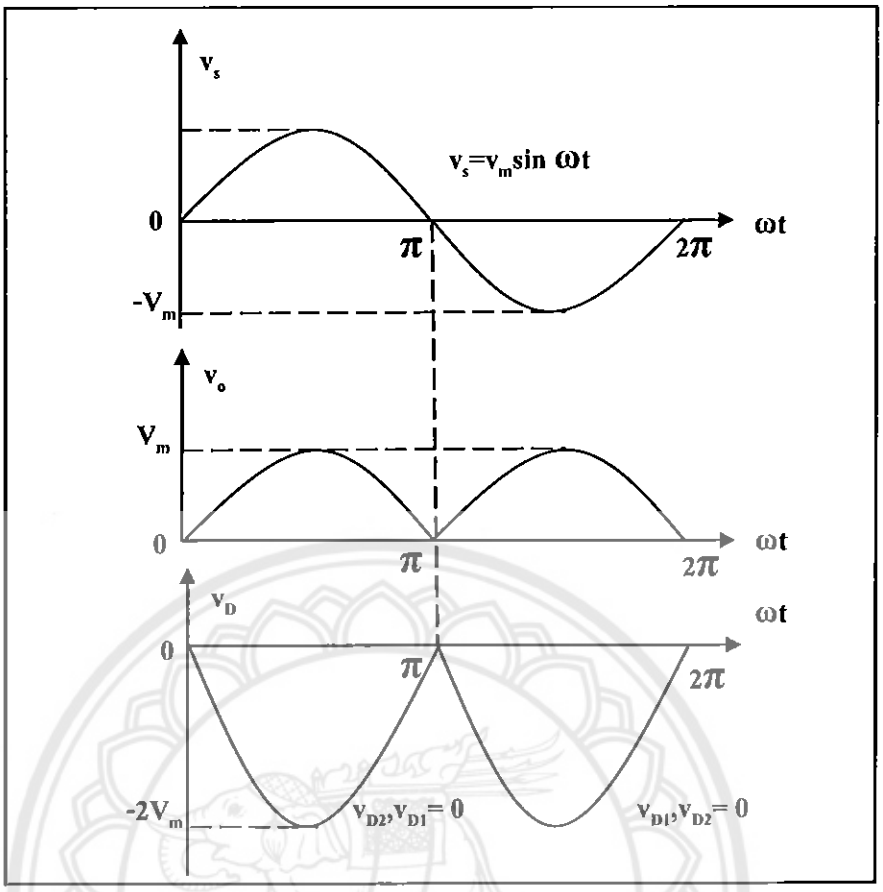
2.3 วงจรควบคุม

2.3.1 วงจรเรียงกระแส

1) ตัวเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง แผนภาพวงจรของตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลางแสดงดังรูปที่ 2.6 และรูปสัญญาณในชนิดตัวเรียงกระแสชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ตัวเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง [3]

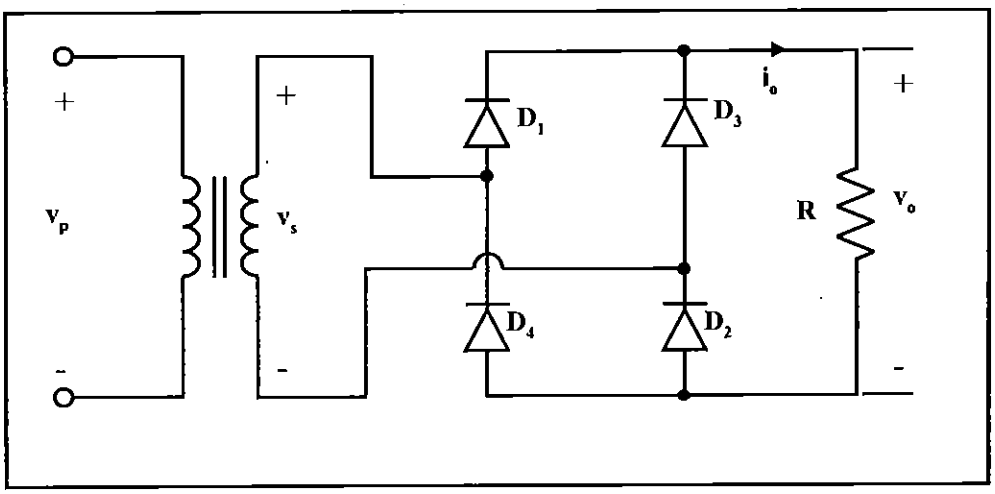


รูปที่ 2.7 รูปสัญญาณในตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง [3]

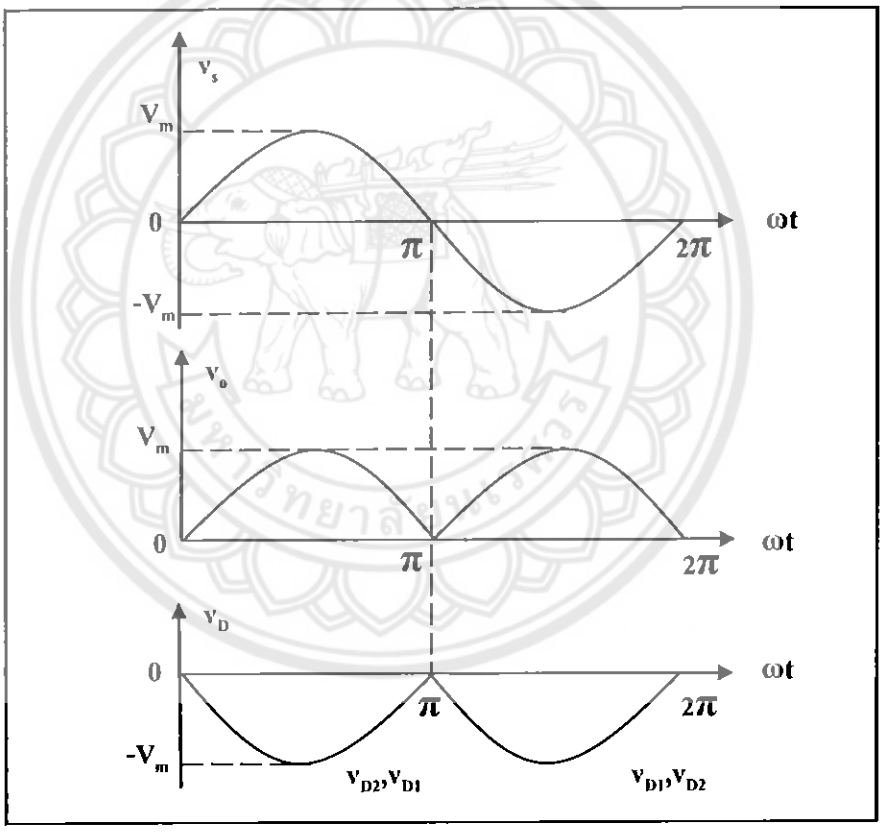
แต่ละครึ่งของหม้อแปลงมีแทปกลาง และไดโอด (ที่ใช้ประกอบกัน) จะทำงานเป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ในขณะที่ V_s เป็นบวก D_1 ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแส แต่ D_2 ได้รับไบแอสย้อนจึงไม่นำกระแส เกิดกระแสไหลผ่านโหลดจึงเกิดแรงดันตกคร่อมโหลด v_o เรากำหนดให้ v_o ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับทิศทางการไหลของกระแสโหลดนี้มีค่าเป็นบวก ($v_o = v_s$) และขณะที่ v_s เป็นลบ D_2 ที่ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแส แต่ D_1 ได้รับไบแอสย้อนจึงไม่นำกระแส เกิดกระแสไหลผ่านโหลดในทิศทางที่ทำให้ v_o มีค่าเป็นบวก ($v_o = -v_s$) ในตัวเรียงกระแสชนิดนี้แรงดันย้อนกลับสูงสุด (PIV) ที่ไดโอดแต่ละตัวทนได้มีค่าเท่ากับ $2V_m$

เนื่องจากไม่มีกระแสที่เป็นไฟกระแสตรงไหลผ่านหม้อแปลง จึงไม่เกิดปัญหาการอิ่มตัวของแกนเหล็กในหม้อแปลงมีแทปกลาง

2) ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เราสามารถแทนที่หม้อแปลงมีแทปกลางโดยการใช้ไดโอด 4 ตัวในตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ซึ่งมีแผนภาพวงจรดังรูปที่ 2.8 และรูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แผนภาพวงจรของตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [3]



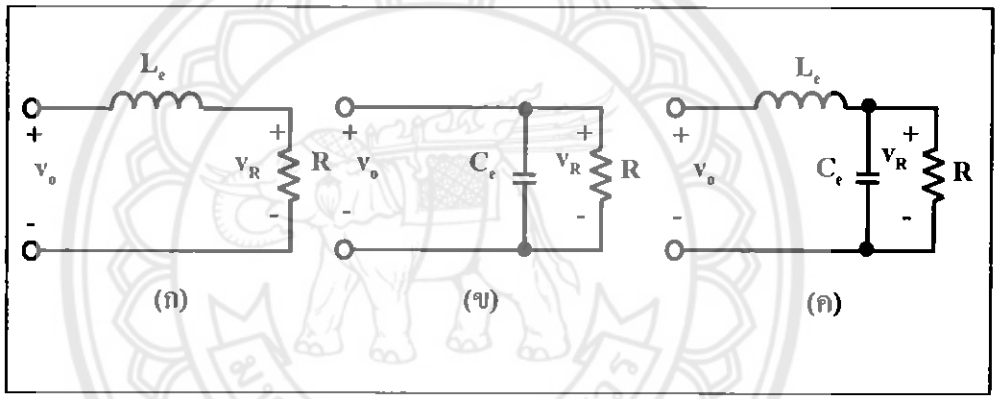
รูปที่ 2.9 รูปสัญญาณในตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [3]

ในช่วงครึ่งบวกของ v_s ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแสในขณะที่ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบแอสย้อนจึงไม่นำกระแส กระแสไหลผ่าน D_1 และ D_2 และไหลผ่านโหลดจึงเกิดแรงดันตกคร่อมโหลด (แรงดันด้านออก) v_o เรากำหนดให้ v_o ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับทิศทางการไหลของกระแสโหลดนี้มีค่าเป็นบวก

ในช่วงครึ่งลบของ v_s ไดโอด D_3 และ D_4ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแสในขณะที่ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบแอสย้อนจึงไม่นำกระแส กระแสไหลผ่าน D_3 และ D_4 และไหลผ่านโหลดจึงเกิดแรงดันตกคร่อมโหลด v_o และมีค่าเป็นบวก จะเห็นว่าไม่มีแรงดันด้าน v_s จะมีค่าเป็นบวก หรือลบก็ตามกระแสจะไหลผ่านโหลดในทิศทางเดียวเสมอ (ทิศที่ทำให้ v_o เป็นบวก) อย่างไรก็ตามในตัวเรียงกระแสชนิดนี้แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่ไดโอดแต่ละตัวต้องทนได้มีค่าเท่ากับV_m

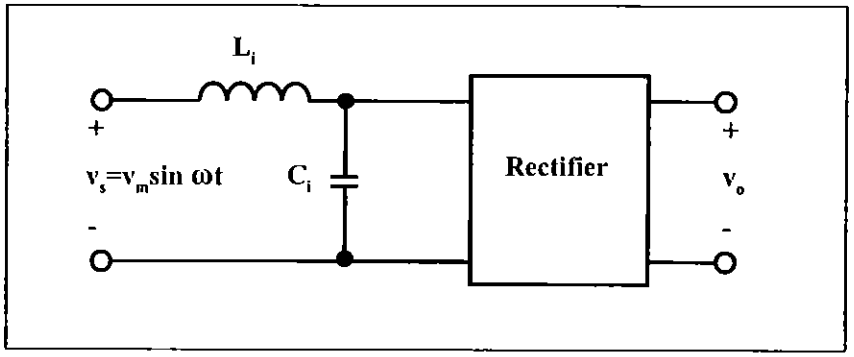
3) วงจรกรองในตัวเรียงกระแสในวงจรกรองเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกในด้านออกของตัวเรียงกระแส เราเรียกชนิดของวงจรกรองนี้ว่าวงจรกรองกระแสตรง (DC filters)

โดยทั่วไปวงจรกรองกระแสตรงหลายชนิดได้แก่ การใช้ตัวเหนี่ยวนำ (ชนิด L) การใช้ตัวเก็บประจุ (ชนิด C) และการใช้ตัวเหนี่ยวนำร่วมกับตัวเก็บประจุ (ชนิด LC) ดังรูปที่ 2.10



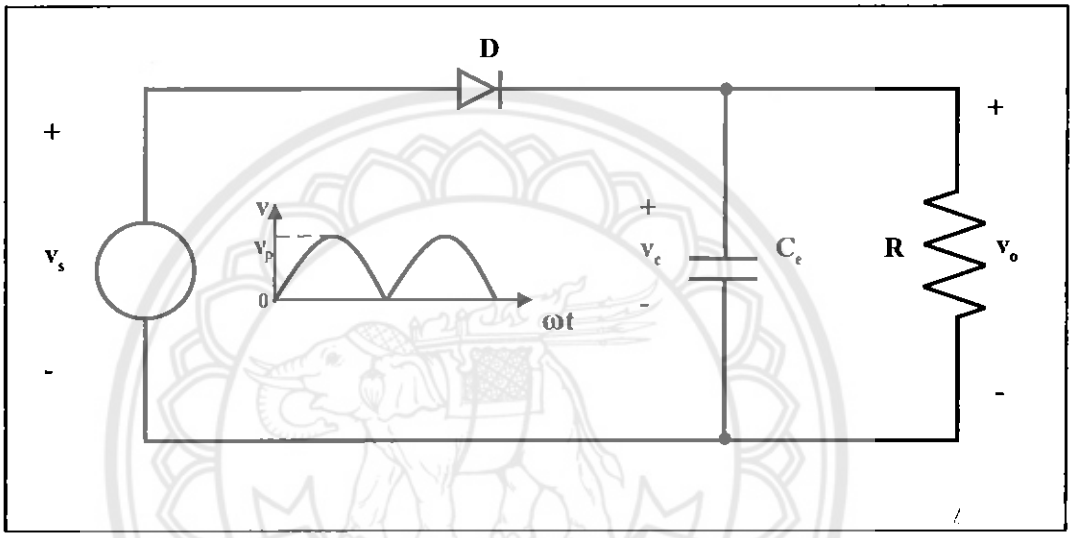
รูปที่ 2.10 วงจรกรองกระแสตรง (ก) ชนิด L (ข) ชนิด C (ค) ชนิด LC [3]

เนื่องจากการทำงานของตัวเรียงกระแสทำให้กระแสด้านเข้ามีฮาร์มอนิก อย่างไรก็ตามเราสามารถลดปริมาณฮาร์มอนิกจากแหล่งกำเนิดโดยใช้วงจรกรองกระแสสลับ (AC filter) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นชนิด LC ดังรูปที่ 2.11 การออกแบบวงจรจะใช้ค่าขนาดและความถี่ของฮาร์มอนิกที่ต้องการกำจัดได้

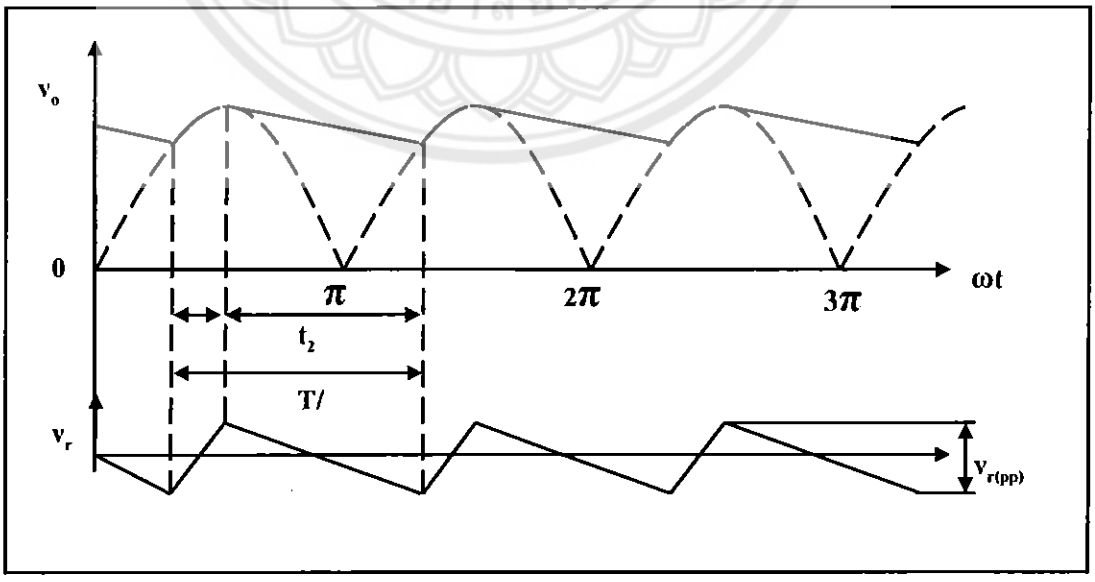


รูปที่ 2.11 วงจรกรองกระแสสลับชนิด LC [3]

รูปที่ 2.12 แสดงด้านออกของตัวเรียงกระแสเฟสเดียวแบบบริดจ์ต่อกับวงจรกรองกระแสตรงชนิด C โดยมีโหลดเป็นตัวต้านทาน เมื่อค่าขณะใดๆของ $v_s > v_c$ ไดโอด D ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแส ทำให้ C_e ถูกอัดประจุส่งผลให้แรงดันด้านออก $v_o (= v_c)$ สูงขึ้น แต่เมื่อค่าขณะใดๆ ของ $v_s < v_c$ ไดโอด D ได้รับการไบแอสย้อนจึงไม่นำกระแส ทำให้ C_e คายประจุไปยังโหลดตัวต้านทาน R ส่งผลให้แรงดันด้านออก $v_o (= v_c)$ ลดลงโดยที่ค่า v_o เปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แบบจำลองวงจรของตัวเรียงกระแสเต็มคลื่น [3]



รูปที่ 2.13 ความพลิ้วของแรงดันด้านออก [3]

จากรูปที่ 2.13 กำหนดให้ t_1 คือช่วงเวลาอัดประจุ และ t_2 คือช่วงเวลาคายประจุของตัวเก็บประจุ C_c โดยถูกอัดประจุจนมีแรงดันสูงเท่ากับ V_m นั่นคือแรงดันของตัวเก็บประจุที่ $t = t_1$ มีค่าเท่ากับ V_m ผลรวมของช่วงเวลาการอัดและการคายประจุของ C_c (t_1+t_2) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบสัญญาณของแหล่งกำเนิด (T/2) ดังนั้นสัญญาณแรงดันด้านออก (แรงดันตกคร่อมโหลด) มีความถี่ความพลิ้วเท่ากับ $2f_s$ (เมื่อ f_s คือความถี่ของสัญญาณแรงดันด้านเข้า)

ความพลิ้วของสัญญาณแรงดันด้านออกถูกแสดงในรูปแบบค่ายอดถึงยอด (Peak-to-peak value) ของแรงดันด้านออก เนื่องจากการเพิ่มขึ้น และลดลงของแรงดันด้านออกสอดคล้องกับการอัดและคายประจุของ C_c ตามลำดับ ดังนั้นความพลิ้วของสัญญาณจึงมีค่าแปรผันกับค่าความจุของ C_c นั่นคือถ้า C_c มีค่าสูงพอก็สามารถทำให้ความพลิ้วมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (รูปสัญญาณเป็นเส้นตรง) [3]

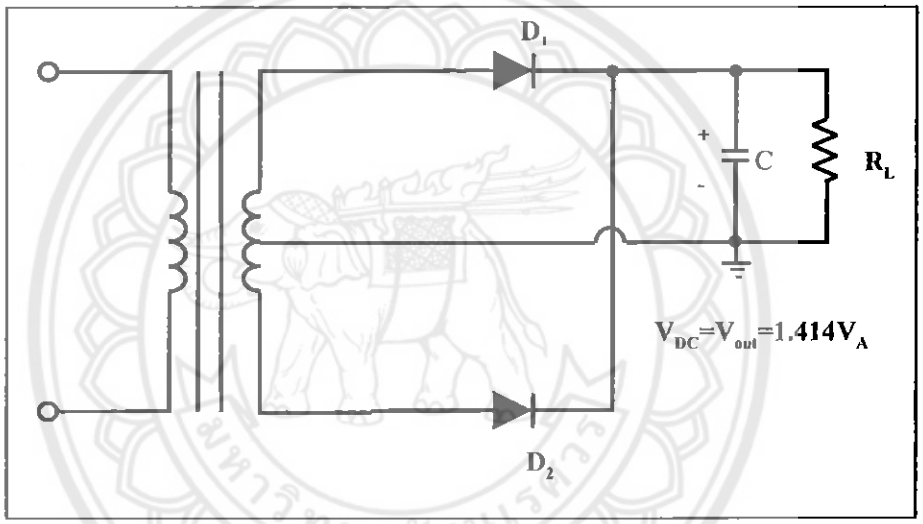
2.3.2 วงจรกรองแรงดัน

การแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ค่ากระเพื่อมของแรงดันไฟตรงเอาท์พุตที่กระเพื่อมไปจากค่าแรงดันไฟเฉลี่ย หรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่าความพลิ้ว (Ripple) ในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ความถี่ของแรงดันความพลิ้วมีค่าเท่ากับความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า ทั้งนี้เพราะสัญญาณครึ่งคลื่นให้ลูกคลื่น 1 ลูกทุกๆหนึ่งไซเคิลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า ส่วนในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนั้นความถี่ของแรงดันความพลิ้วจะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้านั่นคือ ถ้าความถี่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้ามีค่า 50 เฮิรตซ์ ความถี่ของสัญญาณความพลิ้วจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเป็น 50 เฮิรตซ์ด้วย ส่วนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีความถี่เป็น 100 เฮิรตซ์

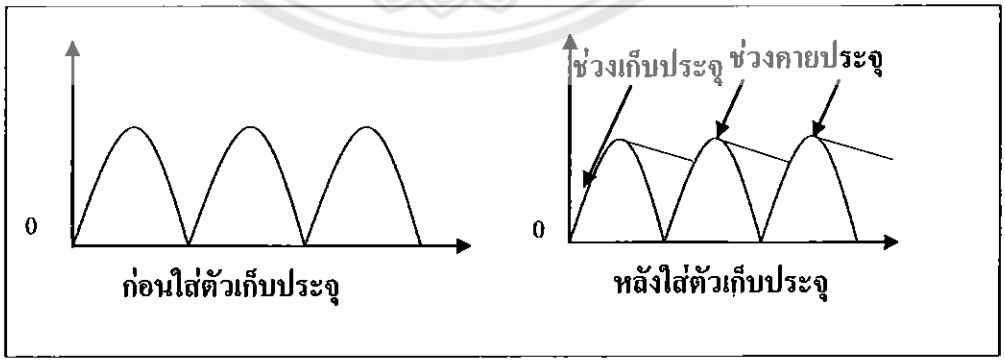
เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนวงจรส่วนใหญ่ต้องการไฟตรงที่ราบเรียบเลี้ยงวงจร ดังนั้นเอาท์พุตที่ออกมาจากวงจรเรียงกระแสจึงยังไม่สามารถที่จะป้อนเลี้ยงวงจรเครื่องมือต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องผ่านวงจรกรองแรงดัน ทำให้แรงดันไฟตรงที่จะจ่ายออกมีค่าราบเรียบพอที่จะนำไปเลี้ยงวงจร

วงจรกรองเป็นวงจรที่ใช้กรองสัญญาณที่เข้ามารบกวนทำให้ได้สัญญาณที่จะออกไปสู่ภายนอกออกมาเรียบขึ้น โดยใช้ตัวเก็บประจุ C กับตัวเหนี่ยวนำ L เป็นตัวกรองสัญญาณกรองแรงดัน เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติ เช่น ไฟกระชาก ซึ่งจะเป็นผลให้วงจรต่างๆ ในแหล่งจ่ายเกิดความเสียหายขึ้นได้

วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor filter) แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน จะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งานวงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือวงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด " R_L" ตัวเก็บประจุ C จะทำหน้าที่เก็บประจุไว้ในช่วงเวลาไดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทานโหลดในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นำกระแส การทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกทั้งแรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยคำนวณหาได้จากรูปที่ 2.14 $V_{DC} = V_P = 1.414 \times V_{AC}$ [3]



รูปที่ 2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้ตัวเก็บประจุกรอง [3]



รูปที่ 2.15 รูปสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ

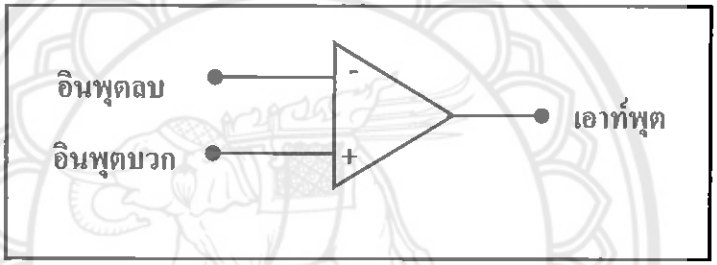
ที่มา: http://www.sptc.ac.th

2.3.3 ออปแอมป์

ออปแอมป์ หรือวงจรขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational amplifier: Op amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ภายในประกอบด้วยทรานซิสเตอร์จำนวนหนึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแรงดันด้านอินพุตโดยมีเอาท์พุตเป็นแรงดัน (ประพฤติตัวคล้ายเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดัน)

1) ออปแอมป์ในอุดมคติ

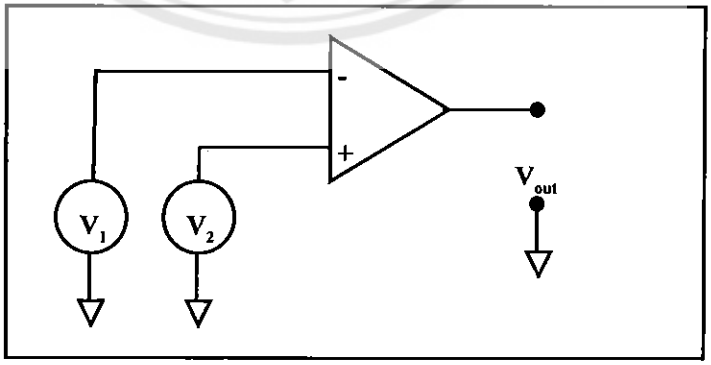
ออปแอมป์ประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้วและขั้วเอาท์พุต 1 ขั้วโดยขั้วที่ 1 เป็นขั้วอินพุตบวก (Non-inverting input terminal) ขั้วที่ 2 เป็นขั้วอินพุตลบ (Inverting input terminal) และขั้วที่ 3 เป็นขั้วเอาท์พุต (Output terminal) โดยออปแอมป์ในอุดมคติแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของออปแอมป์ [4]

เมื่อขาอินพุตลบ และขาอินพุตบวก เมื่อต่อวงจรดังรูปที่ 2.17 จะได้แรงดันเอาท์พุตสัมพันธ์กับอินพุตทั้งสองดังนี้

$$V_{out} = A_{OL}(V_2 - V_1) \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.17 ออปแอมป์ในอุดมคติ [4]

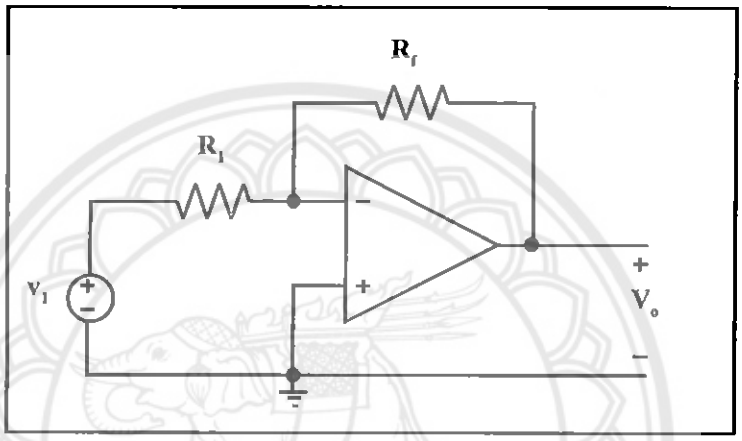
วัตถุประสงค์ในการออกแบบออปแอมป์เพื่อกำลังขยายสูง

$$A_{OL} = \frac{V_{load}}{(V_2 - V_1)} = \infty \tag{2.2}$$

จาก (2.2) ผู้ออกแบบออปแอมป์ต้องการให้ได้กำลังขยาย (A_{OL}) เข้าใกล้ค่าอนันต์ฉะนั้นจะต้องทำให้แรงดันที่ขาอินพุตบวกและขาอินพุตลบมีค่าประมาณใกล้เคียงกัน หรือเมื่อหาผลต่างของอินพุตทั้งสองแล้วมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

2) วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือวงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิมในวงจรขยายออปแอมป์นั้นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส [4]

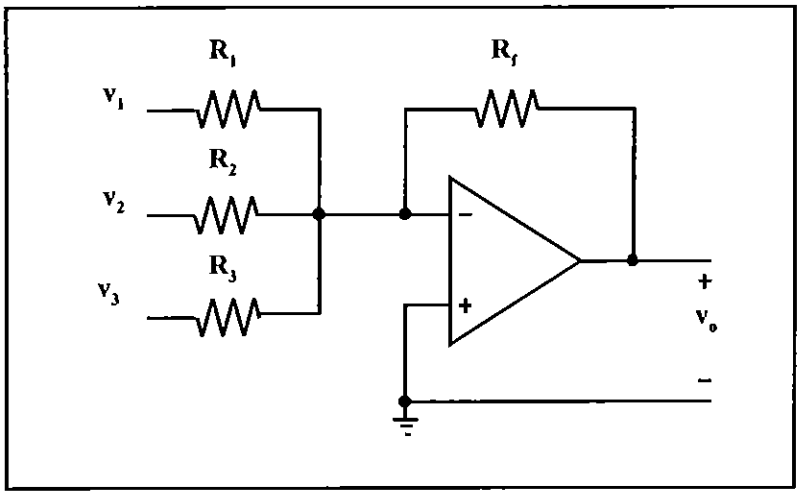
วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสนี้มีอัตราขยายแรงดันคือ

$$A = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} \tag{2.3}$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น $-R_f/R_1$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั่นเอง ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับขั้วของสัญญาณ คือถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกแรงดันเอาท์พุตจะมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบแรงดันเอาท์พุตจะมีค่าเป็นบวก

3) วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือวงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกันดังรูปที่ 2.19



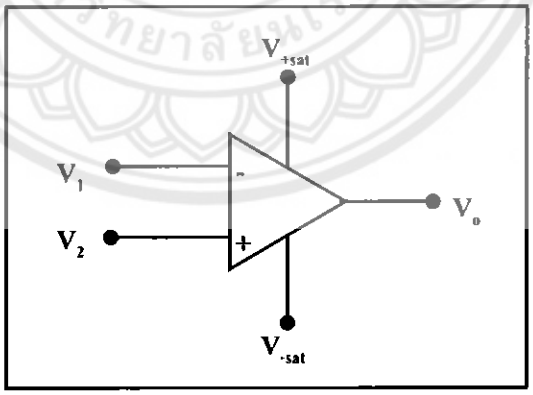
รูปที่ 2.19 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ [4]

$$V_0 = -R_f\left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right] \tag{2.4}$$

จากสมการที่ (2.4) จะเห็นว่าที่แรงดันเอาท์พุต เกิดจากผลบวกกันของสัดส่วนระหว่างแรงดันอินพุต เมื่อต่อความต้านทานนั้นๆ คูณด้วย ความต้านทาน $-R_f$ ทำให้เกิดการกลับเฟสด้วย

4) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างอินพุตกับแรงดันอ้างอิงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การประยุกต์ใช้งานวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) [4]

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะมีการป้อนแรงดัน v_1 เข้าที่ขั้วอินพุตบวก 1 ของออปแอมป์ และที่ขั้วเอาท์พุตลบ 2 ของออปแอมป์จะถูกต่อลงกราวด์ จากสมการพื้นฐานของออปแอมป์ $v_o = A_d v_i$ และเนื่องจากออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีค่าอัตราส่วนขยายส่วนต่าง A_d ที่มีค่ามาก (∞) ดังนั้นเอาท์พุตของออปแอมป์จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้า $V_1 > V_2$ แล้ว $V_O = V_{+sat}$

กรณีที่ 2 ถ้า $V_1 < V_2$ แล้ว $V_O = V_{-sat}$

2.4 อุปกรณ์ส่วนเอาท์พุต

2.4.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพค

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพค (Compact fluorescent) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และเพื่อใช้แทนหลอดไส้ที่ใช้กันมาแต่ดั้งเดิมมีขนาดกะทัดรัดและมีกำลังส่องสว่างสูง หลอดชนิดนี้เหมาะสมในการให้แสงสว่างทั่วไปที่ต้องการความสวยงาม มีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ประมาณ 8 เท่า หรือ 8,000 ชั่วโมง และการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพคจะน้อยกว่าหลอดไส้ประมาณ 4 เท่าของปัจจุบัน

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพคมี 2 ชนิด คือ

1) หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน

1.1) หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายในชนิดแกนเหล็ก คือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้รวมเอาบัลลาสต์ (Ballast) และสตาร์ทเตอร์ (Starter) อยู่ภายใน ผลิตขึ้นมาแทนหลอดไส้ สามารถนำไปสวมกับขั้วหลอดไส้ชนิดเกลียวได้ทุกดวงได้ทันที ลักษณะของหลอดภายในเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กเป็นแท่งแก้วดัดโค้งเป็นรูปตัวยูมีเปลือกเป็นโคมทรงกระบอกมีชุดบัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์ปิดผนึกรวมกันอยู่ในชิ้นเดียวกันกับตัวหลอด

1.2) หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายในชนิดอิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์บัลลาสต์ ภายในชนิดแกนเหล็ก จะต่างกันที่เป็นหลอดประหยัดไฟขนาดเล็กที่ไม่มีโคมกระบอก ผลิตด้วยเทคโนโลยีล่าสุดในการทำบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งพัฒนารูปแบบของหลอดให้ประหยัด และมีขนาดกะทัดรัดขึ้นกว่าเดิม ตัวหลอดเป็นแท่งแก้วโค้งเป็นรูปตัวยูหลายชุดและใช้เทคนิคพิเศษเชื่อมต่อกัน หลอดชนิดนี้จะติดทันทีโดยไม่กระพริบ

2) หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก

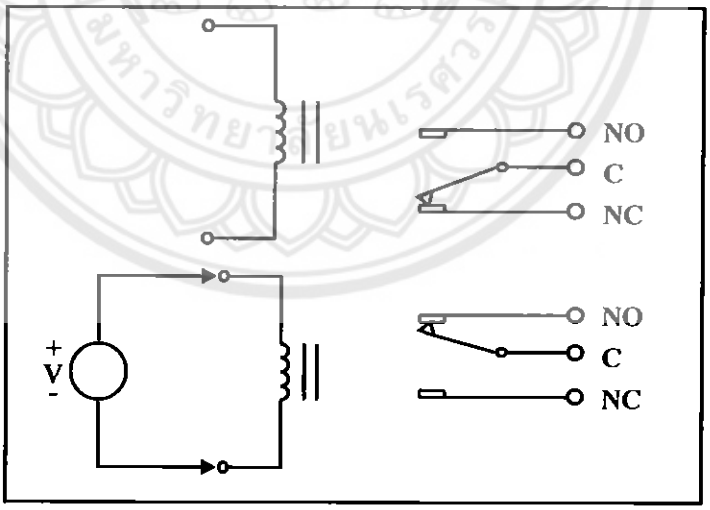
ใช้หลักการเช่นเดียวกับหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน แตกต่างกันที่หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก สามารถเปลี่ยนเฉพาะตัวหลอดได้ในการติดตั้งใช้งานจะต้องมีขาเสียบเพื่อใช้กับบัลลาสต์ที่แยกออก หรือขาเสียบที่มีชุดบัลลาสต์รวมอยู่ด้วย

2.4.2 รีเลย์ (Relay)

ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กในการปิด-เปิดวงจรควบคุม เช่น ขดลวดของหน้าสัมผัส (Contact) โซลีนอยด์ (Solenoids) เป็นต้น หรืออาจใช้ในการปิด-เปิดวงจรกำลังขนาดเล็กบ้างเหมือนกัน เช่นวงจรหลอดสัญญาณมอเตอร์ขนาดเล็ก เป็นต้น

ขณะที่มีการป้อนไฟให้กับรีเลย์ขดลวดขากลางของแกนเหล็กได้รับพลังงานไฟฟ้าจึงมีการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา แรงอำนาจแม่เหล็กสามารถเอาชนะแรงของสปริง ทำให้ดึงชุดแกนเหล็กเคลื่อนที่ไปหาวงจรเปิด (Normal open) จะอยู่ในสภาวะเปิดหน้าสัมผัสทั้งสองชุดติดกันก็จะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน เรียกว่าหน้าสัมผัสปกติเปิด และจะกลับสู่สภาวะเดิมอีกครั้งเมื่อหยุดจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวด และสปริงจะถูกผลักให้ห่างกัน เรียกว่าหน้าสัมผัสปกติปิด หรือวงจรปิด (Normal close) ดังรูปที่ 2.21

การเลือกรีเลย์ใช้งานควรดูขนาดแรงดันที่ป้อนให้ตรงกับที่ใช้งาน ควรต่างกันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการทำงานที่ดี และเนื่องจากรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อย่างหนึ่ง ควรที่จะดูขนาดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้วเลือกให้มีความเหมาะสมที่สุด คือต้องมากกว่า 2 เท่าของกระแสที่ใช้งาน สามารถดูรายละเอียดได้บนรีเลย์



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์การทำงานของรีเลย์

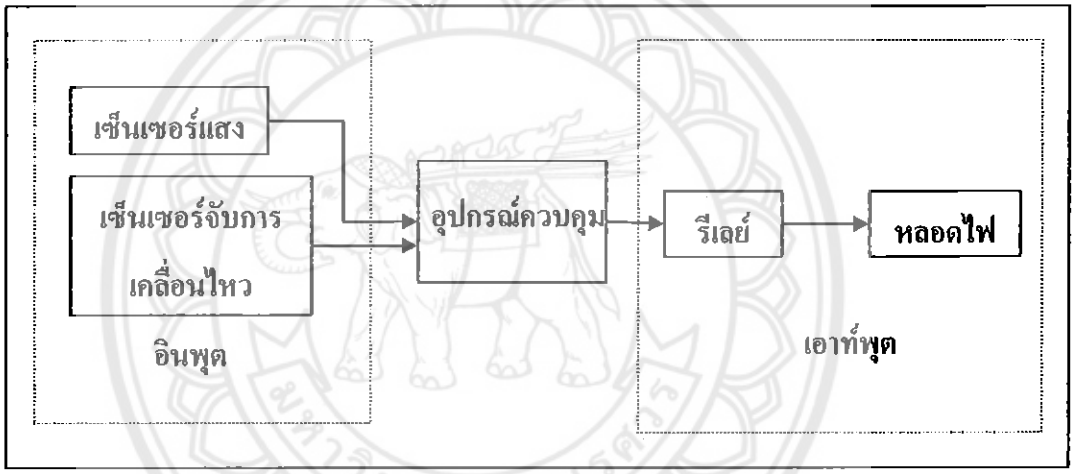
ที่มา: http://www.thailandoffroad.com/jeep/board/question.asp?page=4&ID=45904

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ขั้นตอนในการในการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

ในการวางแผนการออกแบบระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัตินั้น เราต้องทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในด้านแสงสว่างก่อน เพื่อการออกแบบที่ตรงจุดหมายที่เราต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำซึ่งขั้นตอนการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัตินั้นสามารถอธิบายได้โดยแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

จากแผนภาพการทำงานของระบบปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ สามารถอธิบายระบบการทำงานอย่างละเอียดได้เป็น 4 ส่วนคือ

1) ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2) ส่วนของอินพุต

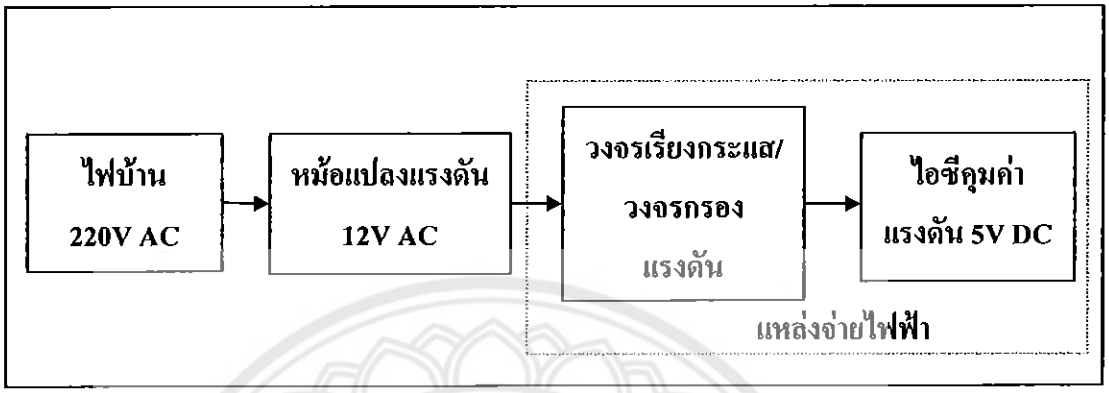
3) ส่วนอุปกรณ์ควบคุม

4) ส่วนของเอาท์พุต

โดยการทำงานในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็นตัวจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด และในส่วนอุปกรณ์ควบคุมจะรับอินพุตจากเซ็นเซอร์แสง และเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหวเพื่อทำการประมวลผลสร้างสัญญาณไฟกระแสตรงควบคุมรีเลย์ให้ปิด-เปิดหลอดไฟ

3.2 การออกแบบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าเราสามารถอธิบายเป็นแผนภาพกรอบการทำงานได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพกรอบการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า

เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมจะสามารถทำงานได้ต้องมีไฟเลี้ยงอุปกรณ์ควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ แต่ไฟที่เรานำมาใช้เป็นไฟบ้านกระแสสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงไฟบ้านกระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟเลี้ยงวงจรขนาดแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ โดยผ่านอุปกรณ์ดังนี้

3.2.1 หม้อแปลง

หม้อแปลงจะทำหน้าที่เป็นตัวลดระดับแรงดัน (Step down) ให้ต่ำลงจากกระแสสลับ 220โวลต์ เป็นกระแสสลับ 12 โวลต์

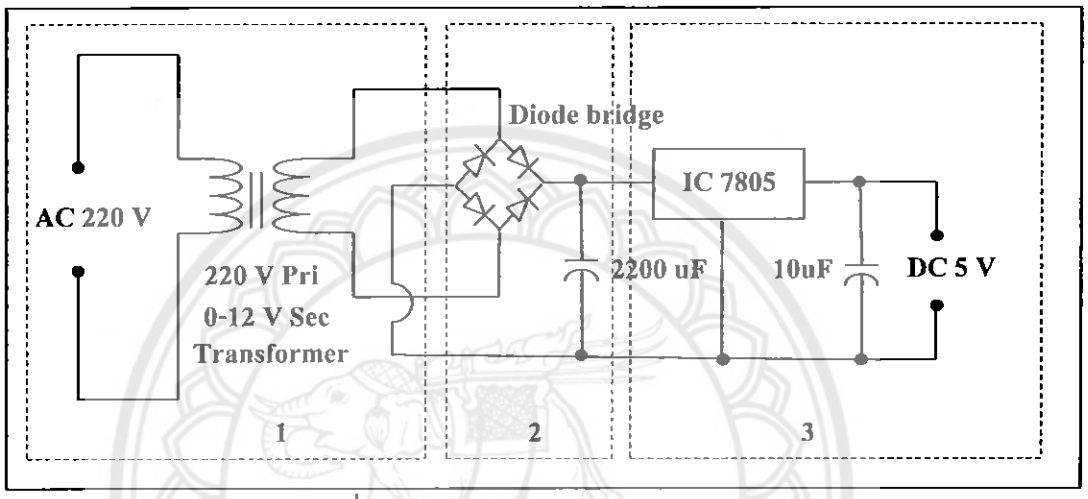
3.2.2 วงจรเรียงกระแส

หลังจากที่ได้ไฟแรงดันกระแสสลับ 12 โวลต์ ก็นำไปผ่านวงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง แต่แรงดันไฟกระแสตรงยังมีผลของสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกอยู่ดังนั้น เราจึงต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกออกก่อนเพื่อให้ได้สัญญาไฟที่คล้ายกระแสตรง มากที่สุดโดยผ่านวงจรกรองแรงดัน (Capacitor filter)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2.3 ไอซีคุมค่าแรงดัน

หลังจากได้ไฟสัญญาณกระแสตรงแล้ว ก็ทำการลดระดับแรงดัน (Step down) ให้ต่ำลงอีกจากไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ให้เหลือไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ โดยผ่านไอซีคุมค่าแรงดัน (Regulator IC) โดยนำไอซีคุมค่าแรงดันมาต่อเข้ากับสัญญาณไฟกระแสตรง 12 โวลต์ แล้วไฟขาออกของไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข 7805 จะเป็นไฟกระแสตรง 5 โวลต์ เลี้ยงวงจร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า

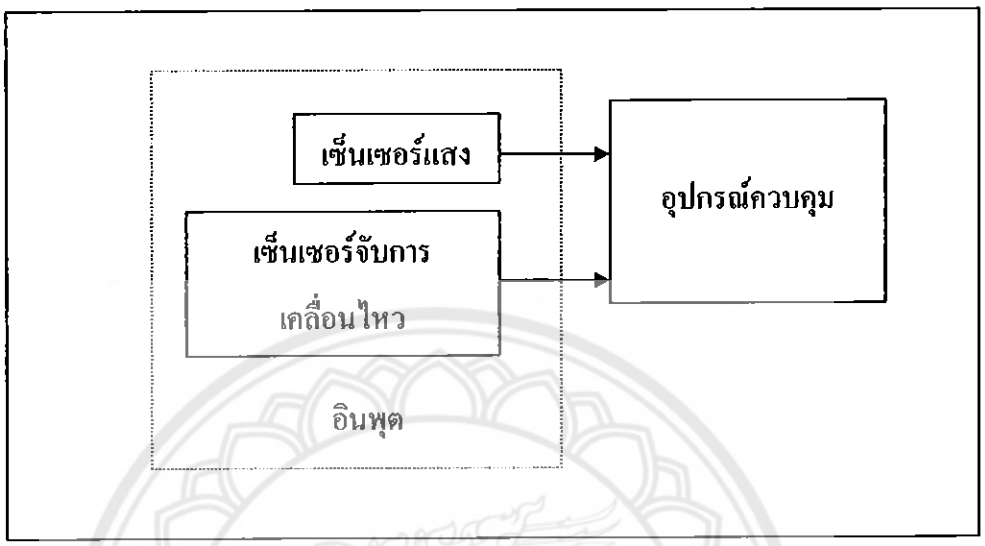
(1) วงจรเรียงกระแส วงจรเรียงกระแสที่ใช้เป็นแบบบริดจ์เต็มคลื่นเนื่องจากแรงดันเอาท์พุตที่ได้มีค่าเป็น 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

(2) วงจรกรองแรงดัน ตัวเก็บประจุที่เลือกใช้กรองแรงดันมีขนาด 100 ไมโครฟารัด

(3) วงจรลดแรงดัน เนื่องจากแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแสเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องลดแรงดันลงโดยใช้ไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข 7805 มาต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ แล้วไฟขาออกด้านเอาท์พุตที่ได้ของไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข 7805 จะได้เป็นไฟกระแสตรง 5 โวลต์

3.3 การออกแบบระบบด้านอินพุต

ในการออกแบบระบบทางด้านอินพุตสามารถอธิบายเป็นแผนภาพกรอบการทำงานได้ดังรูปที่ 3.4



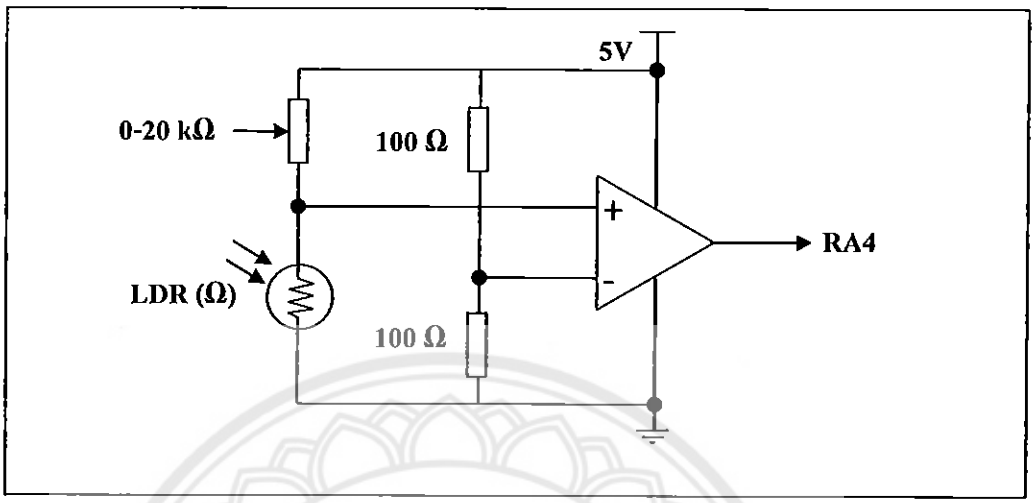
รูปที่ 3.4 แผนภาพกรอบการออกแบบด้านอินพุตของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

จากแผนภาพกรอบการออกแบบด้านอินพุตของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ แสดงให้เห็นว่าอินพุตที่ถูกนำไปประมวลผลในส่วนอุปกรณ์ควบคุมมีสองชนิดคือ เซ็นเซอร์แสง และเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว

3.3.1 ตัวต้านทานไวแสง

เซ็นเซอร์วัดแสงเป็นอุปกรณ์ลำดับที่ 1 ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลจากอินพุตควบคู่กับเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ตัวต้านทานไวแสงทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์วัดแสง คือเมื่อมีแสงสว่างตัวต้านทานไวแสงตรวจจับมีค่ามากกว่า 30 ลักซ์ โวลต์จะตกค่อมที่ตัวต้านทานไวแสงเกือบเท่าแหล่งจ่ายไฟ และจะตกค่อมที่ตัวต้านทานปรับค่าได้เกือบจะเป็นศูนย์ แต่เมื่อตัวต้านทานไวแสงวัดความสว่างน้อยกว่า 30 ลักซ์ โวลต์ที่ตกค่อมตัวต้านทานปรับค่าได้จะเกือบเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ และทำให้โวลต์ที่ออกจากตัวต้านทานปรับค่าได้ส่งสัญญาณไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 3.5 เป็นการต่ออนุกรมตัวต้านทาน 100 โอมห์ เพื่อทำการแบ่งแรงดันอ้างอิงจาก 5 โวลต์ ให้เป็น 2.5 โวลต์ และ 2.5 โวลต์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันตกคร่อมของตัวต้านทานไวแสง โดยในโครงงานนี้ได้ทำการตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ประมาณ

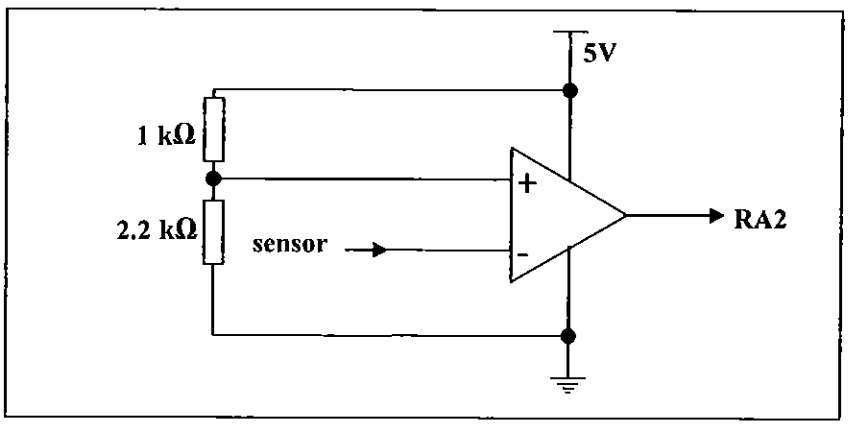
14 กิโลโอห์ม ซึ่งเป็นค่าความต้านทานไวแสงในขณะที่ความสว่างมีค่า 30 ลักซ์ และเป็นค่าความสว่างที่แบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติจะเริ่มทำงานสั่งให้รีเลย์ปิด-เปิดหลอดไฟ



รูปที่ 3.5 การออกแบบเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง

3.3.2 เซ็นเซอร์จับความเคลื่อนไหวชนิดพีไออาร์

เซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหวชนิดพีไออาร์เป็นอุปกรณ์สุดท้าย ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลรองมาจากตัวต้านทานไวแสงทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหว เมื่อมีการเคลื่อนไหวผ่านระยะการตรวจจับเซ็นเซอร์จับความเคลื่อนไหว จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Sensor) ส่งแรงดันเมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวที่ 3.8 โวลต์ และเมื่อมีการเคลื่อนไหวจะส่งแรงดันที่ 0 โวลต์ เราจึงต่อตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม และ 2.2 กิโลโอห์ม เพื่อทำการแบ่งแรงดันอ้างอิงจาก 5 โวลต์ ให้เป็น 1.57 โวลต์ และ 3.43 โวลต์ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับแรงดันของเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

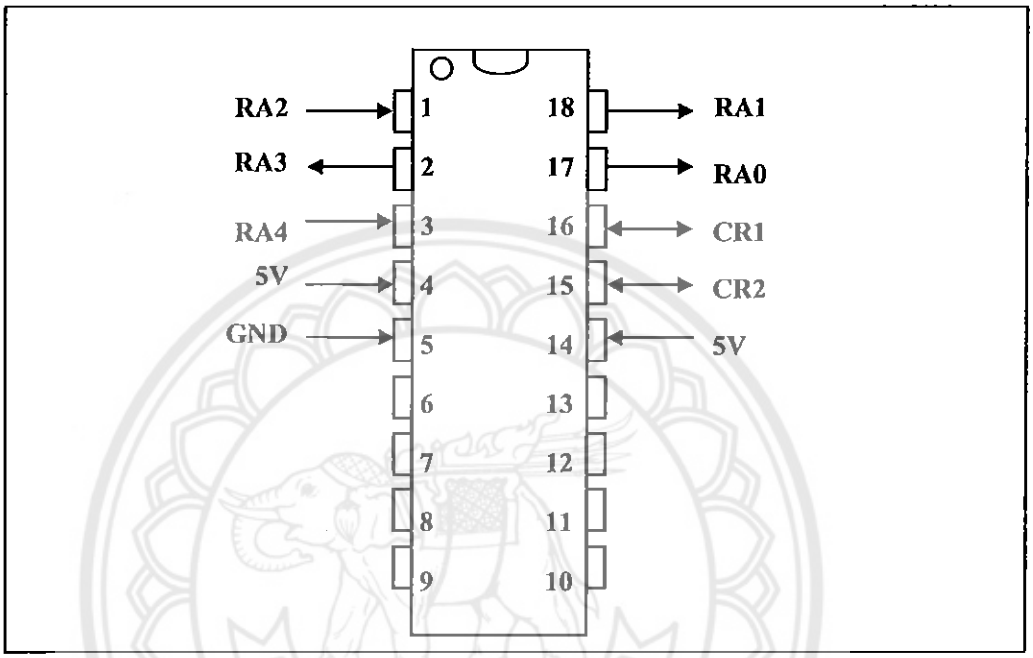


รูปที่ 3.6 การออกแบบเซ็นเซอร์จับความเคลื่อนไหว

3.4 อุปกรณ์ควบคุม

3.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงงานนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC16F627A โดยการใช้งานจะใช้งานตามขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7



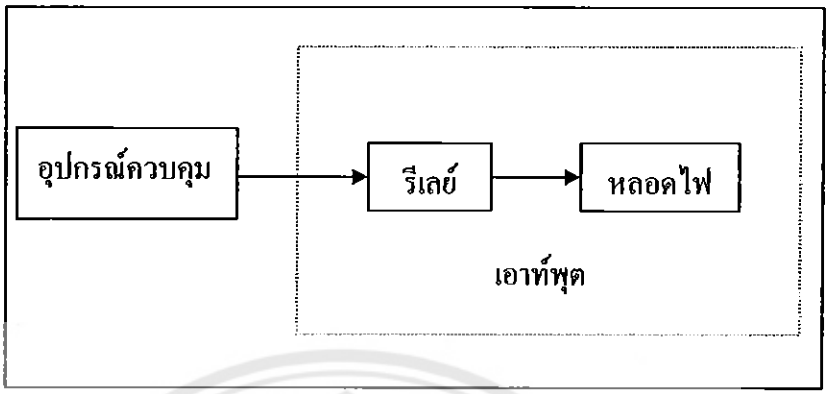
รูปที่ 3.7 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC16F627A [1]

โดยที่ขา RA2 เป็นขาอินพุตที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวขา RA4 เป็นขาอินพุตที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์แสงขา RA3 RA1 และขา RA0 เป็นขาที่ใช้ควบคุมไฟแสดงสถานะการทำงานดวงที่ 1 ดวงที่ 2 และดวงที่ 3 ตามลำดับ ส่วนขา CR1 และขา CR2 เป็นขาที่ใช้สร้างความถี่ในการเขียนโปรแกรมซึ่งต่อกับคริสตัล (Crystal) และขา RA3 ยังเป็นขาที่ใช้ควบคุมรีเลย์ให้ปิด-เปิดหลอดไฟ

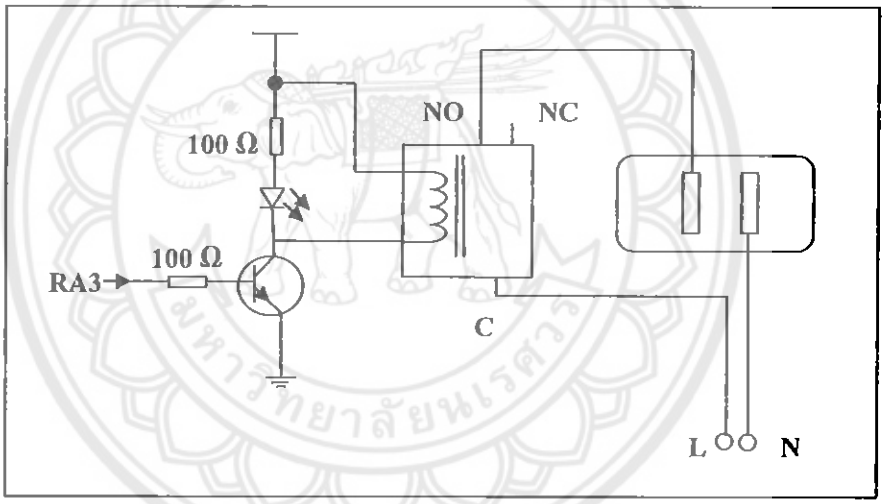
3.5 การออกแบบระบบด้านเอาท์พุต

ในการออกแบบระบบด้านเอาท์พุต เพื่อให้หลอดไฟทำงานตามที่เราต้องการ ในโครงงานนี้เราใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมรีเลย์โดยที่รีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด-เปิดไฟดังรูปที่ 3.8 (ก) ทันทีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนไฟเลี้ยงเข้ารีเลย์จะทำให้หน้าสัมผัสรีเลย์เปลี่ยนจาก

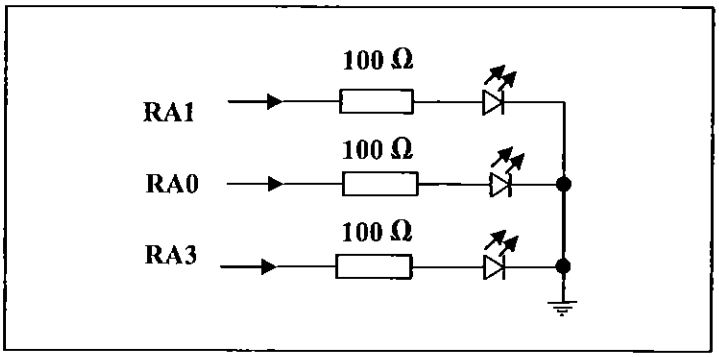
NC เป็น NO ทำให้ไฟ 220 โวลต์ ถูกจ่ายไปยังหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.8 (ข) ส่วนการทำงานถูกแสดงโดยไฟสถานะทำงาน ดังรูปที่ 3.8 (ค) โดยการทำงานถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



(ก) ระบบเอาท์พุต



(ข) การออกแบบรีเลย์



(ค) ไฟแสดงสถานะการทำงาน

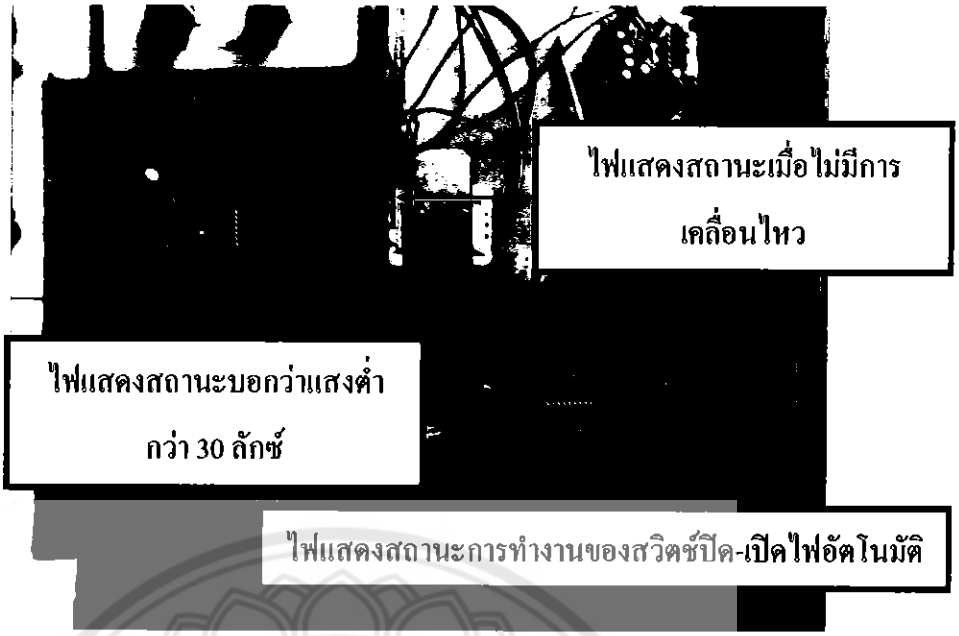
รูปที่ 3.8 การออกแบบด้านเอาท์พุตของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

3.6 ไฟแสดงสถานะทำงาน

ในการทดลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟฟ้าอัตโนมัตินั้น การทำงานจะแสดงในรูปของสัญญาณไฟแสดงสถานะคือไฟแสดงสถานะของเซ็นเซอร์แสง ไฟแสดงสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว และไฟแสดงสถานะของการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติซึ่งมี 3 ดวง ดังรูปที่ 3.9

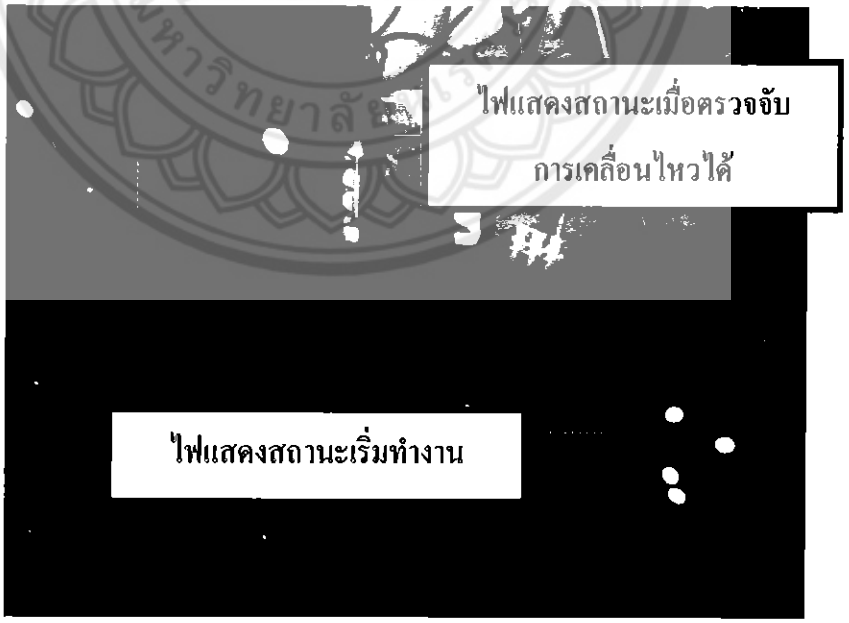
รูปที่ 3.9 ไฟแสดงสถานะของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

3.6.1 สถานะก่อนทำงาน เมื่อแสงสว่างมีค่าไม่เกิน 30 ลักซ์ ไฟแสดงสถานะการทำงานของเซ็นเซอร์แสงจะติดสว่าง และสถานะเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ ไฟแสดงสถานะการทำงานของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติจะดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



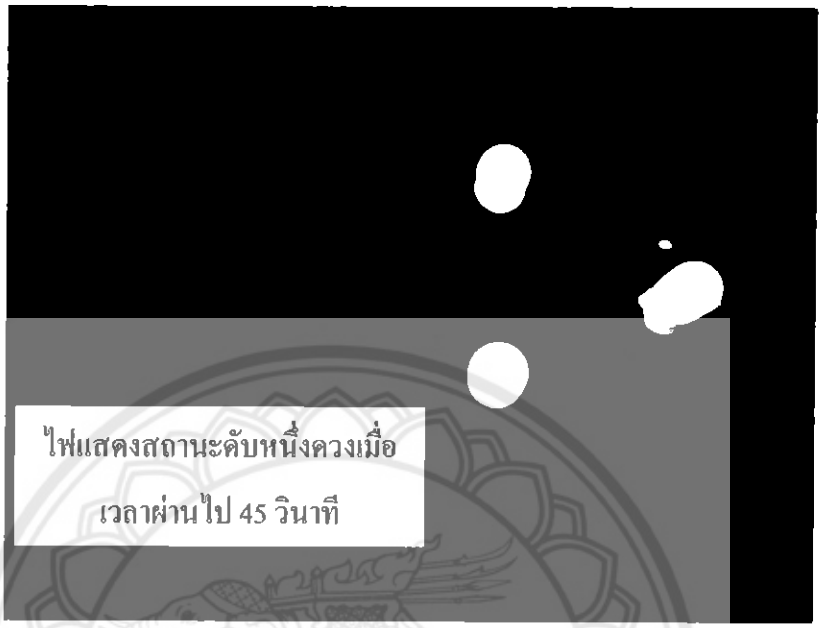
รูปที่ 3.10 สถานะก่อนการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

3.6.2 สถานะเริ่มทำงาน เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (PIR) ได้ไฟแสดงสถานะการทำงานจะติดสว่าง และไฟแสดงสถานะการทำงานของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทั้ง 3 ดวงจะติดสว่างพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 สถานะเริ่มการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

3.6.3 สถานะเมื่อเริ่มทำงานผ่านไป 45 วินาที ในช่วงวินาทีที่ 45 ไฟแสดงสถานะดวงที่ 3 จะดับไปดังแสดงในรูปที่ 3.12

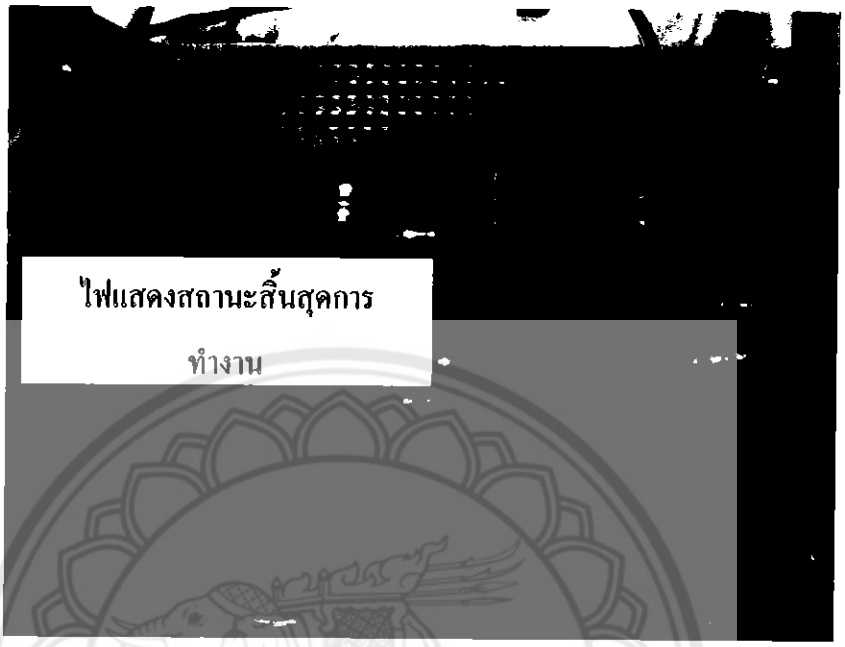


รูปที่ 3.12 สถานะเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทำงานผ่านไป 45 **วินาที**

3.6.4 สถานะ 10 วินาทีสุดท้าย ระยะเวลาการทำงานของแบบจำลองอยู่ที่ 120 **วินาที เมื่ออยู่ช่วง** 10 วินาทีสุดท้าย คือวินาทีที่ 110 ไฟดวงที่ 2 จะดับ และดวงที่ 3 จะติดดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 สถานะการทำงานเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทำงานถึง 10 วินาทีสุดท้าย

3.6.5 สถานะการทำงานเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติขณะสิ้นสุดการทำงานไฟทุกดวงจะดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 สถานะการทำงานเมื่อสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติขณะสิ้นสุดการทำงาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

หลังจากสร้างแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติแบบทางเดิน และไฟในห้องแล้ว ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการทดสอบการทำงานแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนการทดลอง ดังนี้

1) การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดิน

2) การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้อง

3) การทดลองระยะตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับ

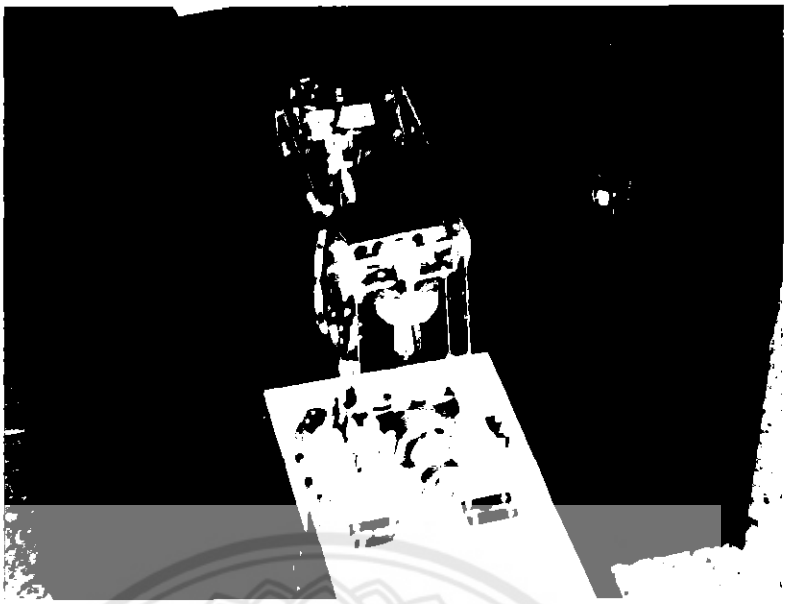
4) การทดลองระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับ

โดยได้ใช้หุ่นยนต์ในการทดลองเป็นวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

4.1 การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดิน

ในการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดิน จะทดสอบโดยใช้ 2 สถานการณ์ คือ เมื่อมีแสงสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ และแสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยตอนพลบค่ำ และเช้าตรู่ โดยการทำงานจะให้วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ในช่วงเวลาที่ทดสอบซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1.1 เมื่อแสงสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ดังรูปที่ 4.1 ทำการทดลองโดยนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองดังรูปที่ 4.2 พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สั่งให้รีเลย์ ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟต่อวงจรทำงาน หลอดไฟจึงไม่ติดสว่าง และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1 จำนวน 5 ครั้ง



รูปที่ 4.1 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 **ลักซ์ ขณะที่วัตถุ ไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับ**

รูปที่ 4.2 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุ ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับ

4.1.2 เมื่อแสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ดังรูปที่ 4.3 ทำการทดสอบโดยนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองดังรูปที่ 4.4 พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้รีเลย์ ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟต่อวงจรทำงานหลอดไฟจึงติดสว่าง และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1 จำนวน 5 ครั้ง

รูปที่ 4.3 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 **ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว**

รูปที่ 4.4 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุ**ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว**

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินจำนวน 5 ครั้ง

การทดลองครั้งที่	สถานะของหลอดไฟเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน	
	เมื่อความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์	เมื่อความสว่างสูงกว่า 30 ลักซ์
1	ติดสว่าง	ดับ
2	ติดสว่าง	ดับ
3	ติดสว่าง	ดับ
4	ติดสว่าง	ดับ
5	ติดสว่าง	ดับ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 การทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินในกรณีที่แสงสว่างสูงกว่า 30 ลักซ์ เมื่อนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองไฟทางเดิน พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ทำงานทำให้รีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟไม่ต่อวงจรทำงานไฟจึงไม่ติด และในกรณีที่แสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ เมื่อนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองไฟทางเดิน พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานโดยสั่งให้รีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟต่อวงจรทำงานไฟจึงติด จึงสรุปว่าการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดินทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้รีเลย์ที่ต่อกับหลอดไฟปิด-เปิดไฟได้ถูกต้องทั้ง 5 ครั้ง แบบจำลองไฟทางเดินจึงมีความแม่นยำในการตรวจจับแสง และการเคลื่อนไหว ทำให้มีประสิทธิภาพที่ดี

4.2 การทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้อง

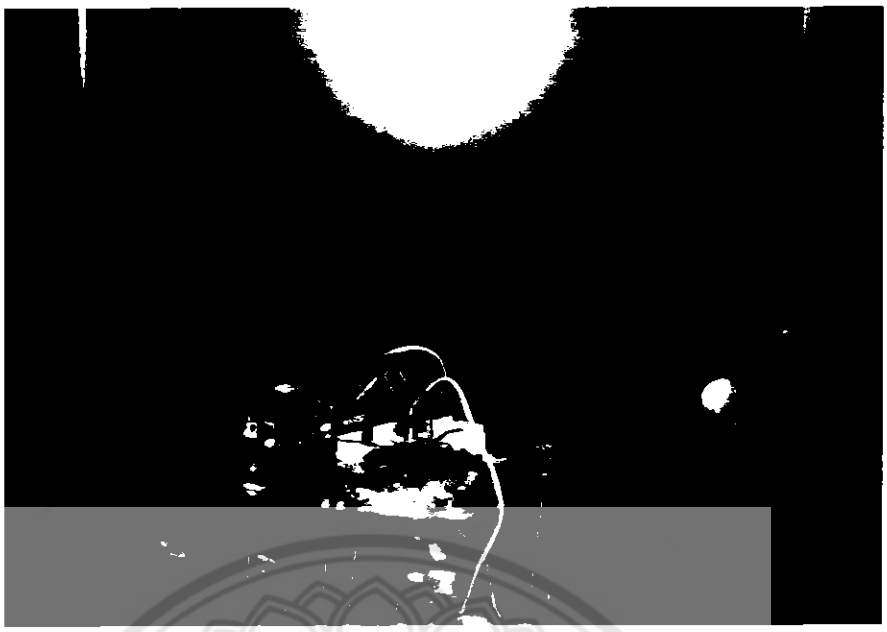
ในการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้อง จะทดสอบโดยใช้ 2 สถานการณ์ คือ เมื่อมีแสงสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ และแสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยตอนพลบค่ำ และเช้าตรู่ โดยการทำงานจะให้วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ ในช่วงเวลาที่ทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 เมื่อแสงสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ทำการทดลองโดยให้วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดไว้ในแบบจำลองดังรูปที่ 4.5 พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สั่งให้รีเลย์ ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟต่อวงจรทำงานไฟจึงไม่ติด และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2 จำนวน 5 ครั้ง

รูปที่ 4.5 การทำงานของแบบจำลองไฟในห้องขณะค่าความสว่างมากกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

4.2.2 เมื่อแสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ดังรูปที่ 4.6 ทำการทดสอบโดยนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองดังรูปที่ 4.7 พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้รีเลย์ ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟต่อวงจรทำงานไฟจึงติดสว่าง และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2 จำนวน 5 ครั้ง

รูปที่ 4.6 การทำงานของแบบจำลองไฟในห้องขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุไม่ตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว



รูปที่ 4.7 การทำงานของแบบจำลองไฟในห้องขณะค่าความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ ขณะที่วัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟในห้องจำนวน 5 ครั้ง

การทดลองครั้งที่	สถานะของหลอดไฟเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน	
	เมื่อความสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์	เมื่อความสว่างสูงกว่า 30 ลักซ์
1	ติดสว่าง	ดับ
2	ติดสว่าง	ดับ
3	ติดสว่าง	ดับ
4	ติดสว่าง	ดับ
5	ติดสว่าง	ดับ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 การทำงานของแบบจำลองไฟในห้องในกรณีที่แสงสว่างสูงกว่า 30 ลักซ์ เมื่อนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองไฟในห้อง พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ทำงานทำให้รีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับหลอดไฟไม่ต่อวงจรทำงานไฟจึงไม่ติด และในกรณีที่แสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ เมื่อนำวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในแบบจำลองไฟในห้อง พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานโดยสั่งให้รีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับหลอดต่อวงจรสวิตช์ทำงานไฟจึงติด

จึงสรุปว่าการทำงานของแบบจำลองไฟในห้องทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้รีเลย์ที่ต่อกับหลอดไฟปิด-เปิดไฟได้ถูกต้องทั้ง 5 ครั้ง แบบจำลองไฟทางเดินจึงมีความแม่นยำในการตรวจจับแสงและการเคลื่อนไหว ทำให้มีประสิทธิภาพที่ดี

4.3 การทดลองระยะตรวจจับของแบบจำลองปิด–เปิดไฟอัตโนมัติ

ในการทดลองวัดระยะการตรวจจับของแบบจำลอง จะทำการทดลองโดยให้ผู้เข้าทำทดสอบเดินตามแนวที่ทำมุม 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา (โดยที่มุม 0 องศา คือมุมด้านข้างของเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว และที่มุม 90 องศา คือมุมด้านหน้าของเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว) เข้าหาเซ็นเซอร์แล้วตรวจสอบการทำงานของแบบจำลอง ทันทีที่แบบจำลองทำงานผู้ทดสอบหยุดเดินแล้ววัดระยะห่างระหว่างผู้ทดสอบกับเซ็นเซอร์ตรวจจับซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ระยะการตรวจจับของเซ็นเซอร์จับตรวจการเคลื่อนไหว

ครั้งที่	ระยะตรวจจับ (เมตร) โดยวัดตามมุมที่เทียบกับตำแหน่งของเซ็นเซอร์		
	0 องศา	45 องศา	90 องศา
1	-	0.50	1.95
2	-	0.30	2.00
3	-	0.37	2.00
4	-	0.40	2.10
5	-	0.35	2.05
เฉลี่ย	-	0.38	2.02

จากการทดลองวัดระยะตรวจจับการเคลื่อนไหวจำนวน 5 ครั้งของแบบจำลองปิด–เปิดไฟอัตโนมัติที่มุมต่างๆพบว่าแบบจำลองไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มุมด้านข้างของเซ็นเซอร์ที่มุม45 องศาสามารถตรวจจับระยะเฉลี่ยได้ 0.38 เมตร และที่มุมด้านหน้าของเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับระยะเฉลี่ยได้ 2.02 เมตร จึงสรุปว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ดีสุดที่มุม 90 องศาเป็นระยะเฉลี่ย 2.02 เมตร และไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ที่มุม 0 องศา

4.4 การทดสอบระยะเวลาการทำงานของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

ในการทดลองจับเวลาการทำงานของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติจะทำการทดลองโดยทันทีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งรีเลย์ที่ต่ออยู่กับหลอดไฟเปิดสวิตช์ทำงาน จะทำการจับเวลาการทำงานของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทันทีเป็นจำนวน 5 ครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลองซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบระยะเวลาการทำงานของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

ครั้งที่	ระยะเวลาการทำงาน (วินาที)
1	119.63
2	119.56
3	120.23
4	120.10
5	119.75
เฉลี่ย	119.85

จากการทดสอบจับเวลาการทำงานของแบบจำลองปิด–เปิดไฟอัตโนมัติพบว่าการทำงานของแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติทั้ง 5 ครั้ง สามารถจับเวลาการทำงานสั่งเปิดไฟได้ใกล้เคียงกับ 2 นาที ซึ่งเป็นค่าที่ตั้งไว้ในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระยะเวลาที่บันทึกทั้ง 5 ครั้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 119.85 วินาที ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความไม่เสถียรของวงจรอุปกรณ์จับเวลา ผู้จับเวลาการทดลอง และความคลาดเคลื่อนของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข PIC16F627A จึงสรุปว่าแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติสามารถทำงานโดยสั่งให้รีเลย์เปิดสวิตช์ทำงานเป็นเวลา 2 นาที เมื่อเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหวตรวจจับการเคลื่อนไหวได้หนึ่งครั้ง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

รูปแบบการทำงานของวงจรสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ (Motion and Auto-switch) ในโครงงานนี้คือการควบคุมอินพุต 2 ตัวคือแสง และการเคลื่อนไหว ซึ่งสัญญาณควบคุมมาจากเซ็นเซอร์แสง ที่ตั้งค่าให้ทำงานที่ น้อยกว่า หรือเท่ากับ 30 ลักซ์ เนื่องจากเป็นค่าที่ทำการศึกษามาว่าเป็นความสว่างตอนฟ้าสลัว หรือรุ่งเช้า และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถจับความเคลื่อนไหว ซึ่งทำงานทันทีที่เซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว อินพุตทั้งสองจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลสร้างสัญญาณไฟ 5 โวลต์ออกมาควบคุมรีเลย์ โดยที่รีเลย์เป็นตัวควบคุมไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ที่จะจ่ายให้กับหลอดไฟอีกที และจากการทดลองพบว่าการทำงานของสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัตินั้น ทำงานทุกครั้งที่แสงสว่างต่ำกว่า 30 ลักซ์ และมีการเคลื่อนไหวโดยจะทำงานสั่งให้หลอดไฟทำงานเป็นเวลา 2 นาที เมื่อแบบจำลองสามารถจับการเคลื่อนไหวได้หนึ่งครั้ง และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้หลอดไฟทำงานไปอีกทันทีที่แบบจำลองสามารถจับการเคลื่อนไหวได้ใน 10 วินาทีสุดท้าย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

การทดลองที่ 4.1 ซึ่งเป็นการทดลองการทำงานของแบบจำลองไฟทางเดิน และการทดลองที่ 4.2 ซึ่งเป็นการทดลองการทดลองภารทำงานของแบบจำลองไฟในห้อง พบว่าวงจรทำงานทุกครั้งที่แสงสว่างต่ำกว่า30 ลักซ์ และมีการเคลื่อนไหวโดยจะสั่งให้หลอดไฟติดสว่างเป็นเวลา 2 นาที เมื่อแบบจำลองสามารถจับการเคลื่อนไหวได้หนึ่งครั้ง และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้หลอดไฟยังคงติดสว่างต่อไปอีก 2 นาที ถ้าแบบจำลองสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ใน 10 วินาทีสุดท้าย และพบปัญหาว่าอาจเกิดสัญญาณรบกวนความถี่ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของรีเลย์ หรือหม้อแปลงทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของระบบการทำงาน

การทดลองที่ 4.3 ซึ่งเป็นการทดลองหาระยะตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับ พบว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้มากสุดที่มุมด้านหน้าของเซ็นเซอร์เป็นระยะเฉลี่ย 2.02 เมตร และไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ที่มุมด้านข้างของเซ็นเซอร์

การทดลองที่ 4.4 ซึ่งการทดสอบระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับพบว่าแบบจำลองปิด-เปิดไฟอัตโนมัติสามารถทำงานโดยสั่งให้รีเลย์ต่อวงจรทำงานเป็นเวลา 2 นาที ทันทีที่เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการเริ่มออกแบบสร้าง และทำการทดลองการทำงานของแบบจำลองสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ พบว่าเกิดสัญญาณรบกวนความถี่ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของรีเลย์ หรือหม้อแปลง ปัญหาสัญญาณรบกวนระบบอิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถป้องกันได้โดยแยกระบบจ่ายไฟ และรีเลย์ควบคุมโหลดให้ห่างจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อผลของสัญญาณรบกวนความถี่ที่เกิดขึ้นจะได้ไม่รบกวนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ และอีกวิธีหนึ่งคือการแยกกราวด์กับหม้อแปลงเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ดังกล่าว

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในโครงงานนี้มีหลักการทำงานอยู่ 2 ระบบคือ ตรวจจับความเข้มแสง และตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานต่อไปได้โดยสามารถประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

1) ติดตั้งตัวนับจำนวน (Counter) และเพิ่มคำสั่งโปรแกรม ให้รับค่าการใช้งานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนับจำนวนคนที่ใช้บริการในแต่ละวัน
2) เพิ่มวงจรหรี่ไฟในการควบคุมความเข้มของแสงสว่างที่เราต้องการเพื่อให้สามารถปรับความเข้มของแสงสว่างในการใช้งานในแบบจำลอง
3) เพิ่มคำสั่งโปรแกรม และติดตั้งปุ่มกดตัวเลข (Numpad) เพื่อให้สามารถปรับตั้งเวลาการทำงานของแบบจำลอง และการหน่วงเวลาของแบบจำลองซึ่งสามารถป้อนข้อมูลลงไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมทับโปรแกรมเดิมอีกครั้ง เช่น กดตัวเลข 1 ก่อนเริ่มการทำงาน แบบจำลองจะทำงานเป็นระยะเวลา 2 นาที แต่ถ้ากดตัวเลข 2 แบบจำลองจะทำงานเป็นระยะเวลา 3 นาที

เอกสารอ้างอิง

[1] การใช้ไฟฟ้าและผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (www.eppo.go.th), พิมพ์ครั้งที่ 1, 2554.

[2] นายดอนสัน ปงผาบ "ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 1 " สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

[3] M. H. Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, 3rd ed. Prentice-Hall International, 2004.

[4] Donald A. Neamen, Microelectronics: Circuit Analysis and Design, Fourth Edition, McGraw-Hill, Singapore, 2010.

[5] Advance PIC Microcontroller in C, การประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C, กรุงเทพมหานคร: สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2554.

ภาคผนวก ก

รหัสต้นฉบับของโปรแกรมควบคุมสวิตช์ปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ

```
#include <16F627A.h>
#fuses hs,nowdt,noput,noprotect
#use delay(clock=4000000)
void fire();
void L();
void P();
void NoUse();
void af10s();
void main()
{  // begin void main()
     while(1)
       {  //begin while loop
          int ldr,pir;
          ldr=input(pin_a4);
          pir=input(pin_a2);

          if((ldr==1)&&(pir==0))
          {  //begin if loop
             L();
          }  //eng of if loop
          else if((ldr==0)&&(pir==1))
          {  //begin if loop
             P();
          }  //eng of if loop
          else if((ldr==1)&&(pir==1))
```

```
            {  //begin else if loop
               fire();
               af10s();
            }  //end of else if loop
            else
            {  //begin else loop
               NoUse();
            }  //end of else
         } //end of while
   }  //end
         /*****************************************************/
   void fire()
   {
         output_high(pin_a0);
         output_high(pin_a1);
         output_high(pin_a3);
         delay_ms(500000);
         output_low(pin_a0);
         output_high(pin_a1);
         delay_ms(500000);
         delay_ms(420000);
   }
   void NoUse()
   {
         output_low(pin_a0);
```

```
        output_low(pin_a1);
        output_low(pin_a3);
        delay_ms(100);
}
void L()
{
        output_low(pin_a3);
}
void P() //PIR
{
        output_low(pin_a3);
}
void af10s()
{
        int x,y,ldr,pir2,pir;
        x=0;
        while(x<100)
        {  //begin for loop
          pir=input(pin_a2);
          output_high(pin_a0);
          output_low(pin_a1);
          delay_ms(100);
          y=x;
          if(pir==1)
          {
```

```
            fire();
            x=0;
            y=x;
          }
          x++;
        }// end of for loop
    }
        /***********************************************************/
```

```
}
```

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

MXA074 เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (PIR)

วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวชุดนี้ เป็นวงจรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับวงจรอื่นๆได้ เช่น วงจรบันทึกเสียง (เช่น MXA075), วงจรกันขโมย (เช่น MXA081) และสื่อโฆษณาต่างๆเป็นต้น ในวงจรนี้จะใช้ตัวตรวจจับที่เรียกว่า "PIR (Pyroelectric Infrared Sensor)" และมีเฟรชนอลเลนส์แบบกลม และแบบแบน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับ

คุณสมบัติ

ใช้ไฟเลี้ยงวงจร 5 โวลท์ดีซี

ขณะสแตนด์บาย กินกระแสสูงสุดประมาณ 3 มิลลิแอมป์

ระยะห่างในการตรวจจับ 5 เมตร (เลนส์กลม), 8 เมตร (เลนส์แผ่น)

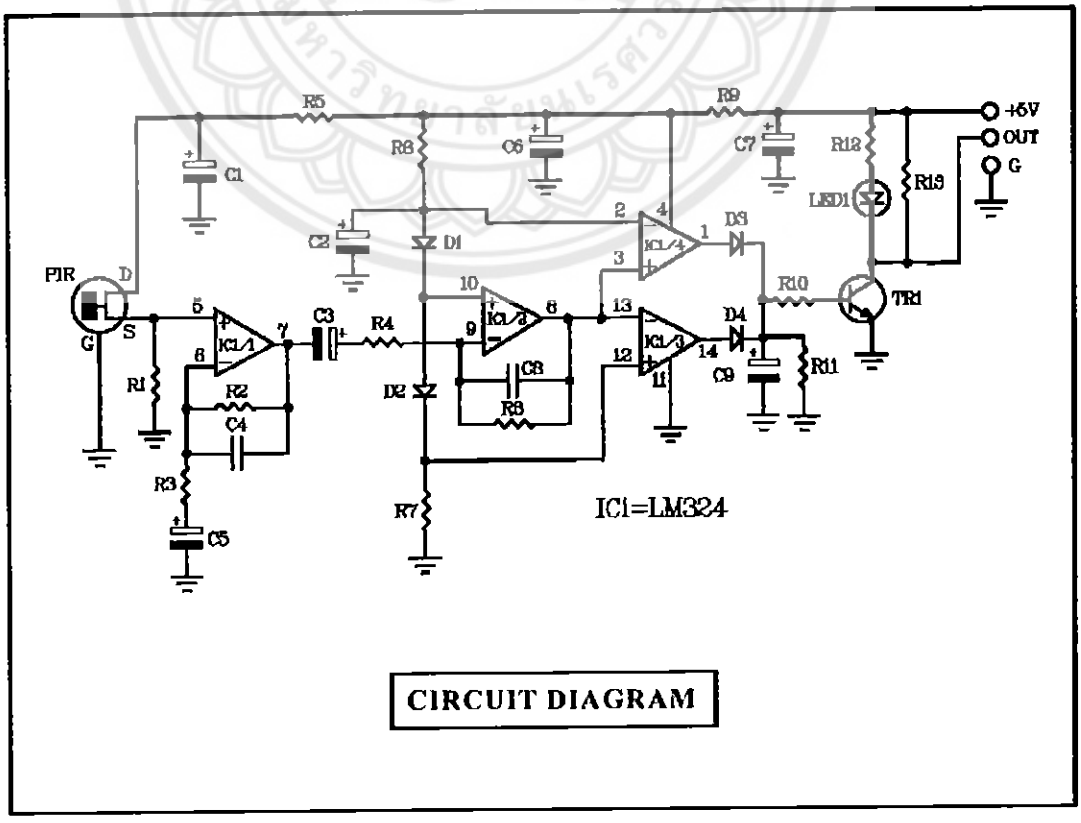
ขนาดแผ่นวงจรพิมพ์ 1.34x1.83 นิ้ว (แผ่นวงจร), 0.86x0.95 (แผ่นเซ็นเซอร์)

จุดต่อใช้งาน

จุด +5V และจุด G เป็นไฟเลี้ยงวงจร

จุด OUT เป็นจุดสำหรับไปกระตุ้นวงจรอื่นให้ทำงาน

เมื่อจ่ายไฟเข้าวงจร LED จะติดค้างประมาณ 1 นาที แล้วดับ และเมื่อมีการตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ LED 1 จะติด



CIRCUIT DIAGRAM

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A

PIC16F627A/628A/648A

PIC16F627A/628A/648A EEPROM Memory Programming Specification

This document includes the programming specifications for the following devices:

- PIC16F627A
- PIC16F628A
- PIC16F648A
- PIC16LF627A
- PIC16LF628A
- PIC16LF648A

Note: All references to PIC16F627A/628A/648A also apply to PIC16LF62XA devices.

1.0 PROGRAMMING THE PIC16F627A/628A/648A

The PIC16F627A/628A/648A is programmed using a serial method. The Serial mode will allow the PIC16F627A/628A/648A to be programmed while in the user's system. This allows for increased design flexibility. This programming specification applies to PIC16F627A/628A/648A devices in all packages.

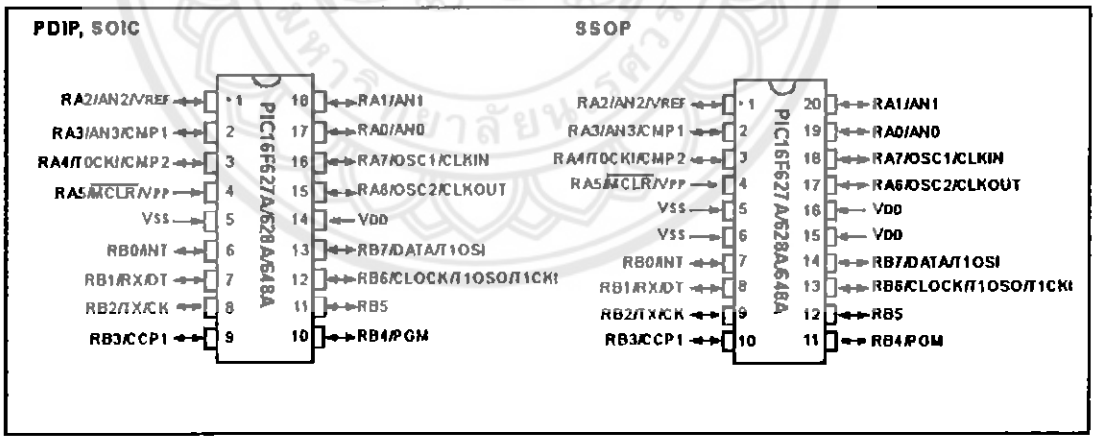
1.1 Hardware Requirements

The PIC16F627A/628A/648A requires one programmable power supply for VDD (2.0V to 5.5V) and a VPP of 12V to 14V, or VPP of 4.5V to 5.5V, when using low voltage. Both supplies should have a minimum resolution of 0.25V.

1.2 Programming Mode

The Programming mode for the PIC16F627A/628A/648A allows programming of user program memory, data memory, special locations used for ID, and the configuration word.

FIGURE 1-1: PIN DIAGRAM



PIC16F627A/628A/648A

FIGURE 1-2: 28-PIN QFN PIC16F627A/628A/648A DIAGRAM

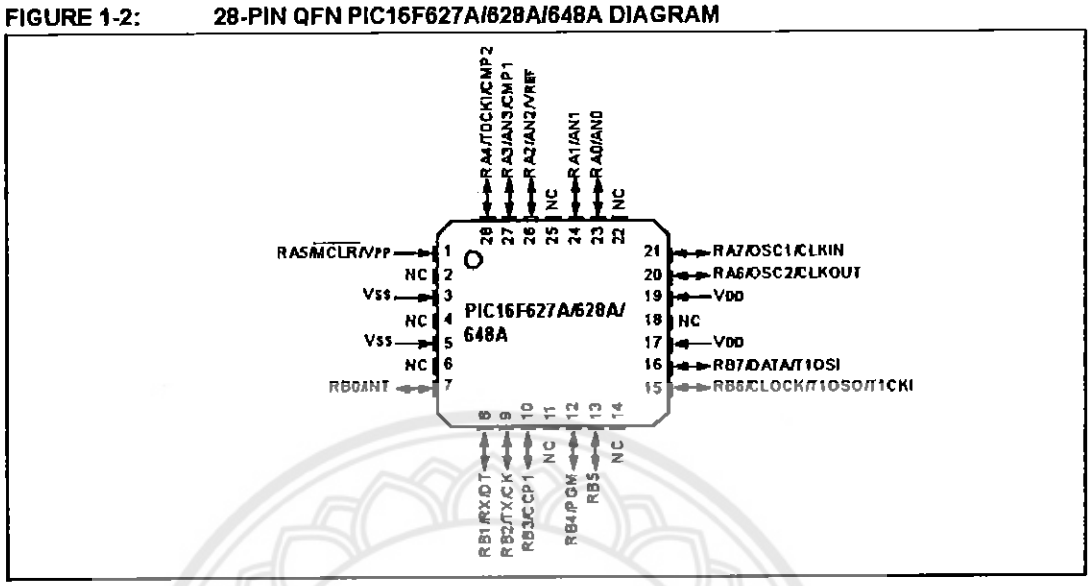


TABLE 1-1: PIN DESCRIPTIONS (DURING PROGRAMMING): PIC16F627A/628A/648A

Pin Name	During Programming		
	Function	Pin Type	Pin Description
RB4	PGM	I	Low voltage programming input if configuration bit equals 1
RB6	CLOCK	I	Clock input
RB7	DATA	I/O	Data input/output
MCLR/VPP	Programming Mode	P(1)	Program Mode Select
VDD	VDD	P	Power Supply
VSS	VSS	P	Ground

Legend: I = Input, O = Output, P = Power

Note 1: In the PIC16F627A/628A/648A, the programming high voltage is internally generated. To activate the Programming mode, high voltage needs to be applied to MCLR input. Since the MCLR is used for a level source, this means that MCLR does not draw any significant current.

2.0 PROGRAM DETAILS

2.1 User Program Memory Map

The user memory space extends from 0x0000 to 0x1FFF. In Programming mode, the program memory space extends from 0x0000 to 0x3FFF, with the first half (0x0000-0x1FFF) being user program memory and the second half (0x2000-0x3FFF) being configuration memory. In the user program memory space, the PC will increment from 0x0000 to the end of implemented user program memory (see Figure 2-1) and wraps around to 0x0000. Additionally, the high order bit is not affected by the Increment Address command. Thus, in configuration memory, the PC increments from 0x2000 to 0x3FFF and wraps around to 0x2000 (not to 0x0000). The only way to set the PC back to user program memory is to reset the part and re-enter Program/Verify mode as described in **Section 2.4 "Program/Verify Mode"**.

Configuration memory space is entered via the Load Configuration command (see **Section 2.4.3 "Load Data for Configuration Memory"**). Only addresses 0x2000 - 0x200F of configuration memory space are physically implemented. However, only locations 0x2000 through 0x2007 are available. Other locations are reserved. Locations beyond 0x200F will physically access user memory.

2.2 User ID Locations

A user may store identification information (user ID) in four user ID locations. The user ID locations are mapped in [0x2000 : 0x2003]. These locations read out normally even after the code protection is enabled.

Note 1: All other locations in PICmicro® MCU configuration memory are reserved and should not be programmed.

2: Only the low order 4 bits of the user ID locations may be included in the device checksum. See **Section 3.10 "Checksum Computation"** for checksum calculation details.

2.3 EE Data Memory

The EE Data memory space extends from 0x00 to 0xFF and is separate from both program memory space and RAM space.

Only the lower 128 bytes are implemented in the PIC16F627A/628A devices, while the PIC16F648A implements the full 256 bytes.

Programming the EE Data memory uses the same PC as program memory, though only the lower bits are decoded and used.

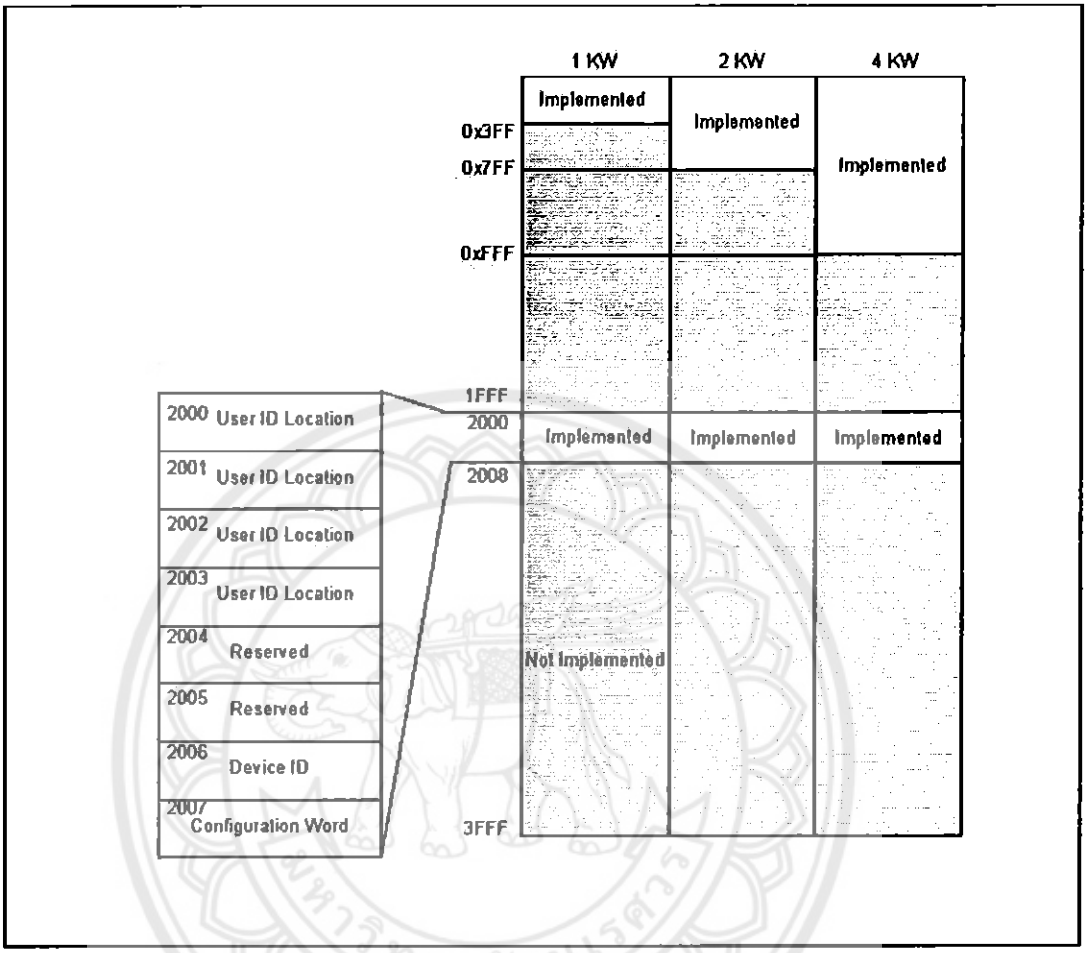
TABLE 2-1: EE DATA CAPACITY

Device	EE Data Memory	PC Bits Decoded
PIC16F627A/628A	128	7
PIC16F648A	256	8

TABLE 2-2: PROGRAM FLASH

Device	Program FLASH
PIC16F627A	1K
PIC16F628A	2K
PIC16F648A	4K

FIGURE 2-1: PROGRAM MEMORY MAPPING



2.4 Program/Verify Mode

The programming module operates on simple command sequences entered in serial fashion with the data being latched on the falling edge of the clock pulse. The sequences are entered serially, via the clock and data lines, which are Schmitt Trigger inputs in this mode. The general form for all command sequences consists of a 6-bit command and conditionally a 16-bit data word. Both command and data word are clocked LSb first.

The signal on pin DATA is required to have a minimum setup and hold time (see AC/DC specifications), with respect to the falling edge of the clock. Commands that have data associated with them (read and load), require a minimum delay of TDLY1 between the command and the data.

The 6-bit command sequences are shown in Table 2-3.

TABLE 2-3: COMMAND MAPPING FOR PIC16F627A/PIC16F628A/PIC16F648A

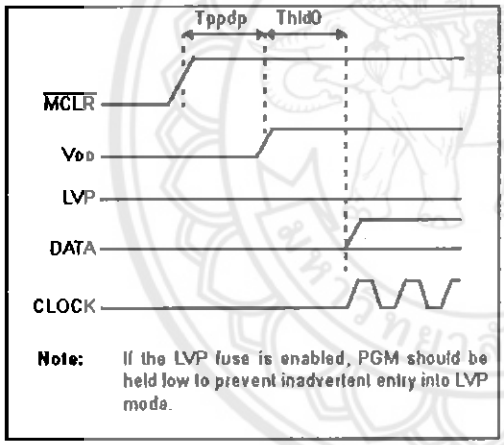
Command	Mapping (MSb ... LSb)						Data
Load Configuration	x	x	0	0	0	0	0, data (14), 0
Load Data for Program Memory	x	x	0	0	1	0	0, data (14), 0
Load Data for Data Memory	x	x	0	0	1	1	0, data (8), zero (6), 0
Increment Address	x	x	0	1	1	0	
Read Data from Program Memory	x	x	0	1	0	0	0, data (14), 0
Read Data from Data Memory	x	x	0	1	0	1	0, data (8), zero (6), 0
Begin Programming Only Cycle	x	0	1	0	0	0	
Bulk Erase Program Memory	x	x	1	0	0	1	
Bulk Erase Data Memory	x	x	1	0	1	1	

The optional 16-bit data word will either be an input to, or an output from the PICmicro® microcontroller, depending on the command. Load Data commands will be input, and Read Data commands will be output. The 16-bit data word only contains 14 bits of data to conform to the 14-bit program memory word. The 14 bits are centered within the 16-bit word, padded with a leading and trailing zero.

Program/Verify mode may be entered via one of two methods. High voltage Program/Verify is entered by holding CLOCK and DATA pins low while raising $\overline{MCLR}$ first, then VDD as shown in Figure 2-2. Low voltage Program/Verify mode is entered by raising VDD, then $\overline{MCLR}$ and PGM, as shown in Figure 2-3. The PC will be set to '0' upon entering into Program/Verify mode. The PC can be changed by the execution of either an increment PC command, or a Load Configuration command, which sets the PC to 0x2000.

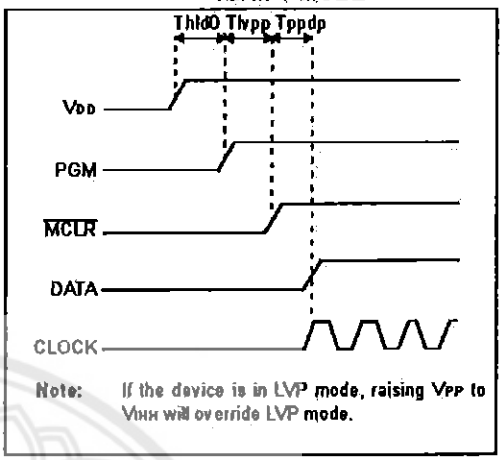
All other logic is held in the Reset state while in Program/Verify mode. This means that all I/O are in the Reset state (high-impedance inputs).

FIGURE 2-2: ENTERING HIGH VOLTAGE PROGRAM/ VERIFY MODE



Note: If the LVP fuse is enabled, PGM should be held low to prevent inadvertent entry into LVP mode.

FIGURE 2-3: ENTERING LOW VOLTAGE PROGRAM/ VERIFY MODE

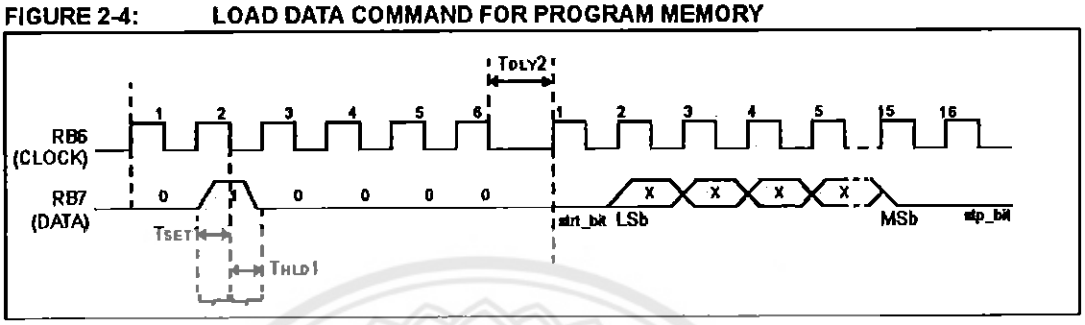


Note: If the device is in LVP mode, raising VPP to VIHH will override LVP mode.

2.4.1 LOAD DATA FOR PROGRAM MEMORY

Load data for program memory receives a 14-bit word, and readies it to be programmed at the PC location. See Figure 2-4 for timing details.

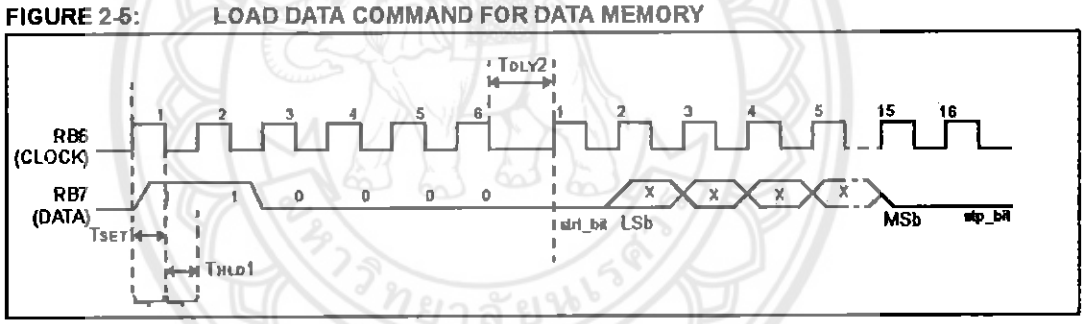
FIGURE 2-4: LOAD DATA COMMAND FOR PROGRAM MEMORY



2.4.2 LOAD DATA FOR DATA MEMORY

Load data for data memory receives an 8-bit byte and readies it to be programmed into data memory. Though the data byte is only 8-bits wide, all 16 clock cycles are required to allow the programming module to reset properly.

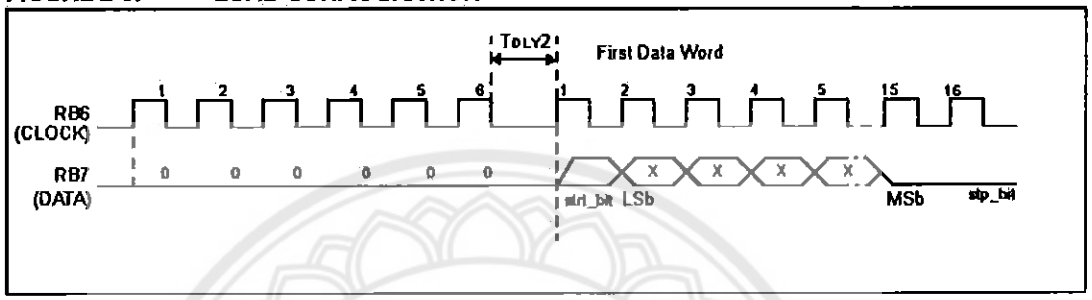
FIGURE 2-5: LOAD DATA COMMAND FOR DATA MEMORY



2.4.3 LOAD DATA FOR CONFIGURATION MEMORY

The Load Configuration command advances the PC to the start of configuration memory (0x2000-0x200F), and loads the data for the first ID location. Once it is set to the configuration region, only exiting and re-entering Program/Verify mode will reset PC to the user memory space.

FIGURE 2-6: LOAD CONFIGURATION

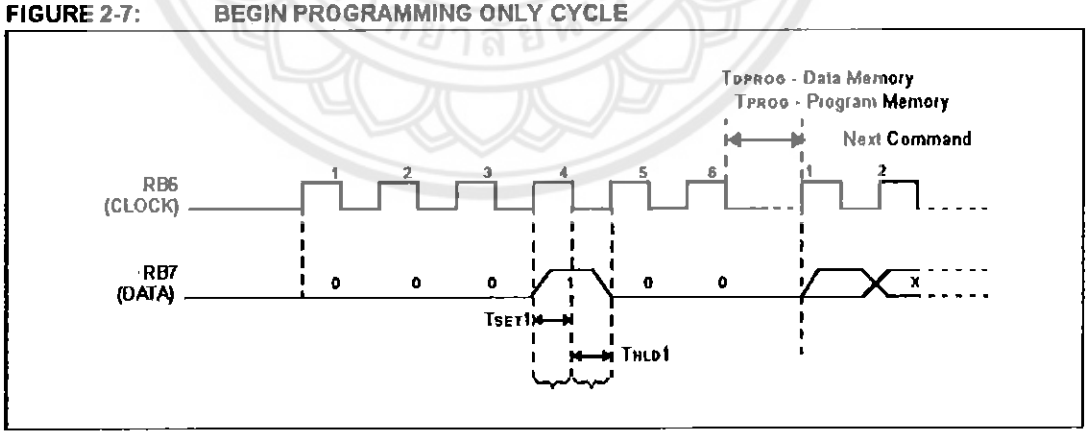


2.4.4 BEGIN PROGRAMMING ONLY CYCLE

Begin programming only cycle programs the previously loaded word into the appropriate memory (User Program, Data or Configuration memory). **A Load command must be given before every Programming command.** Programming begins after this command is received and decoded. An internal timing mechanism executes the write. The user must allow for program cycle time before issuing the next command. No "End Programming" command is required.

The device must be bulk erased before starting a series of programming only cycles.

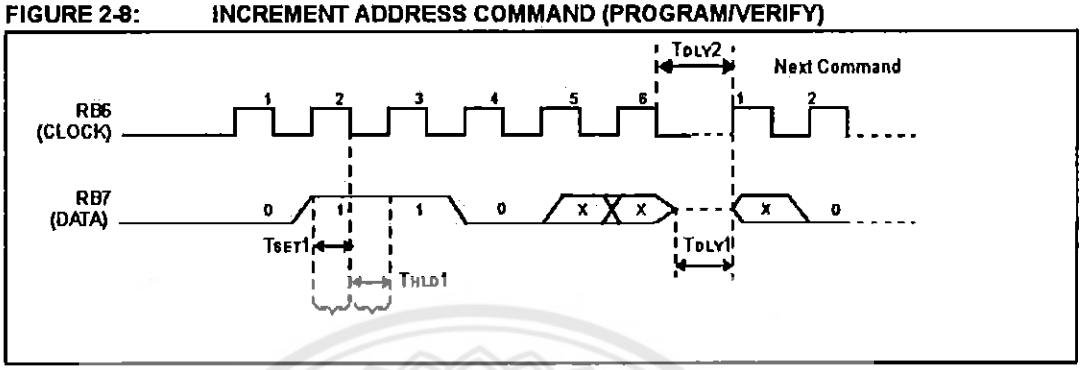
FIGURE 2-7: BEGIN PROGRAMMING ONLY CYCLE



2.4.5 INCREMENT ADDRESS

The PC is incremented when this command is received. See Figure 2-8.

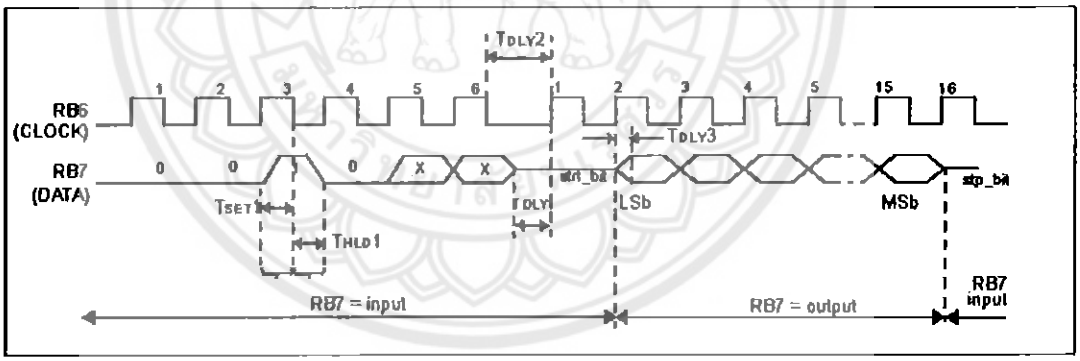
FIGURE 2-8: INCREMENT ADDRESS COMMAND (PROGRAM/VERIFY)



2.4.6 READ DATA FROM PROGRAM MEMORY

Read data from program memory reads the word addressed by the PC and transmits it on the DATA pin during the data phase of the command. This command will report words from either user or configuration memory, depending on the PC setting. The DATA pin will go into Output mode on the second rising clock edge and revert back to Input mode (hi-impedance) after the 16th rising edge.

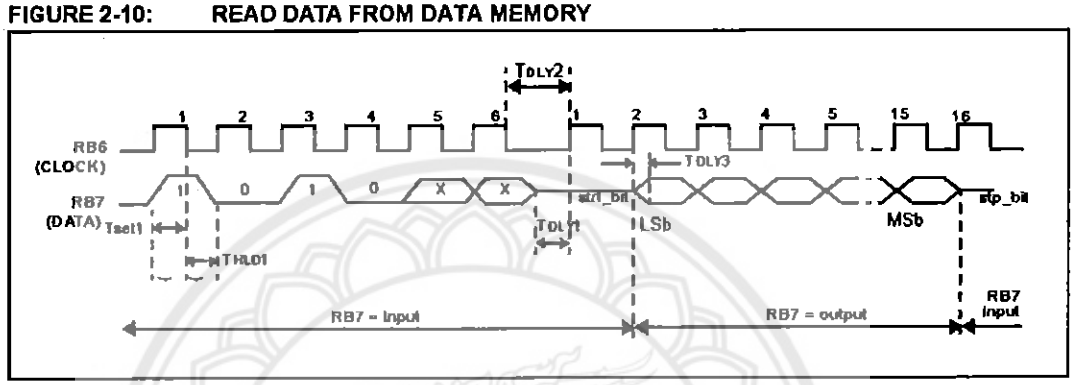
FIGURE 2-9: READ DATA FROM PROGRAM MEMORY



2.4.7 READ DATA FROM DATA MEMORY

Read data from data memory reads the byte in data memory addressed by the low order bits of PC and transmits it on the DATA pin during the data phase of the command. The DATA pin will go into Output mode on the second rising clock edge and revert back to Input mode (hi-impedance) after the 16th rising edge. As only 8 bits are transmitted, the last 8 bits are zero padded.

FIGURE 2-10: READ DATA FROM DATA MEMORY



3.0 COMMON PROGRAMMING TASKS

These programming commands may be combined in several ways. In order to accomplish different programming goals.

3.1 Bulk Erase Program Memory

The program memory can be erased with the Bulk Erase Program Memory command.

Note:	All bulk erase operations must take place with VDD between 4.5-5.5V.

To perform a bulk erase of the program memory, the following sequence must be performed:

1. Execute a Load Data for Program Memory with the data word set to all '1's (0x3FFF).
2. Execute a Bulk Erase Program Memory command
3. Wait TERA for the erase cycle to complete.

If the address is pointing to the configuration memory (0x2000-0x200F), then both user ID locations and program memory will be erased.

FIGURE 3-1: BULK ERASE PROGRAM MEMORY

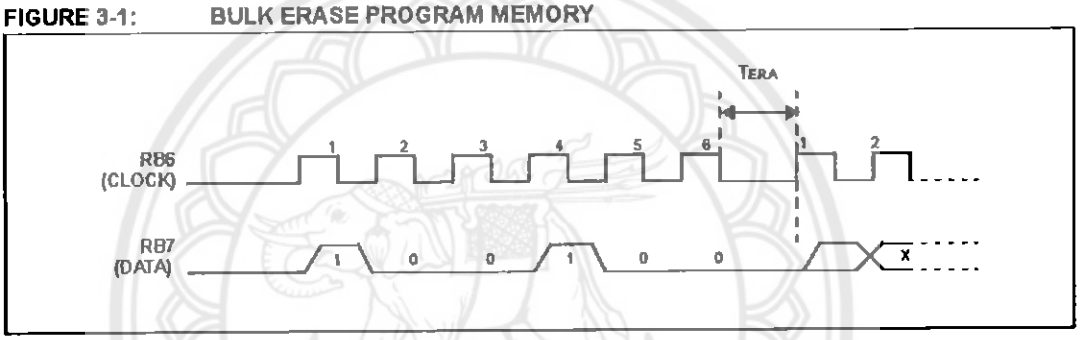


TABLE 3-1: EFFECTS OF ERASING CODE PROTECTED MEMORY

ACTION Serial & Parallel Operation	Initial State			Result				
	$\overline{CP}$ ON=0 OFF=1	$\overline{CPD}$ ON=0 OFF=1	PC= Config Mem	Program Memory	Data EE Memory	Config Word	User ID location	Comment
Bulk Erase Data Memory	X	OFF	X	Unaffected	Erased	Unaffected	Unaffected	
Bulk Erase Data Memory	X	ON	X	Unaffected	Erased	Unaffected	Unaffected	CPD=ON
Bulk Erase Program Memory	X	ON	YES	Erased	Erased	Erased	Erased	
Bulk Erase Program Memory	X	OFF	YES	Erased	Unaffected	Erased	Erased	
Bulk Erase Program Memory	X	ON	NO	Erased	Erased	Erased	Unaffected	
Bulk Erase Program Memory	X	OFF	NO	Erased	Unaffected	Erased	Unaffected	

3.2 Bulk Erase Data Memory

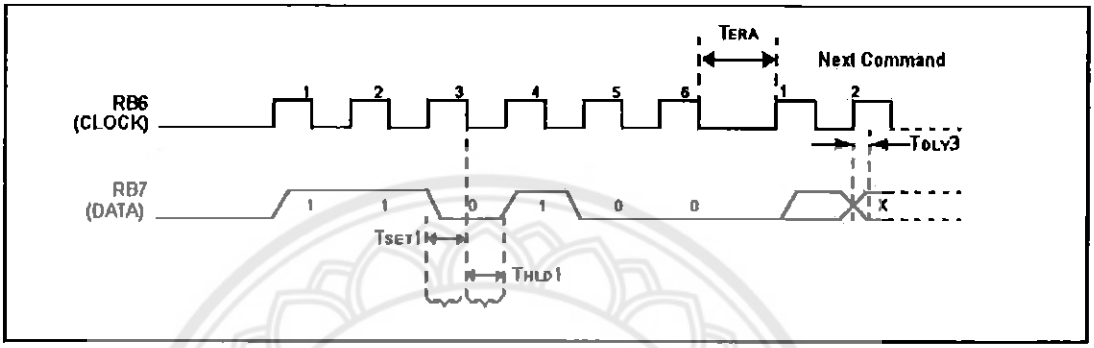
The data memory can be erased with the Bulk Erase Data memory command.

To perform a bulk erase of the data memory, the following sequence must be performed:

1. Execute a Bulk Erase Data memory command,
2. Wait TERA for the erase cycle to complete.

Note:	All Bulk Erase operations must take place with VDD between 4.5-5.5V

FIGURE 3-2: BULK ERASE DATA MEMORY COMMAND



3.3 Programming Program Memory

FIGURE 3-3: PROGRAM FLOW CHART - PIC16F627A/628A/648A PROGRAM MEMORY

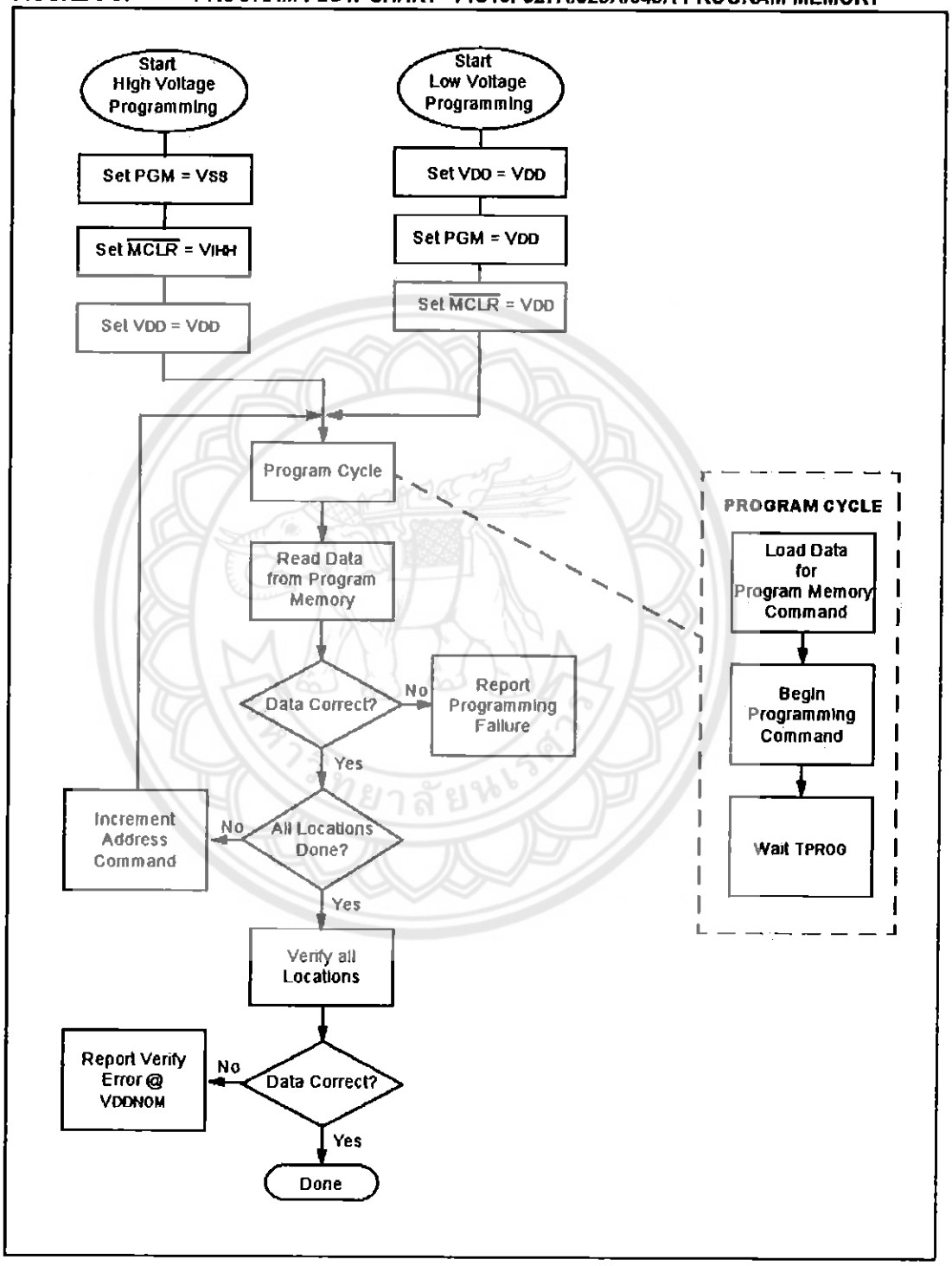
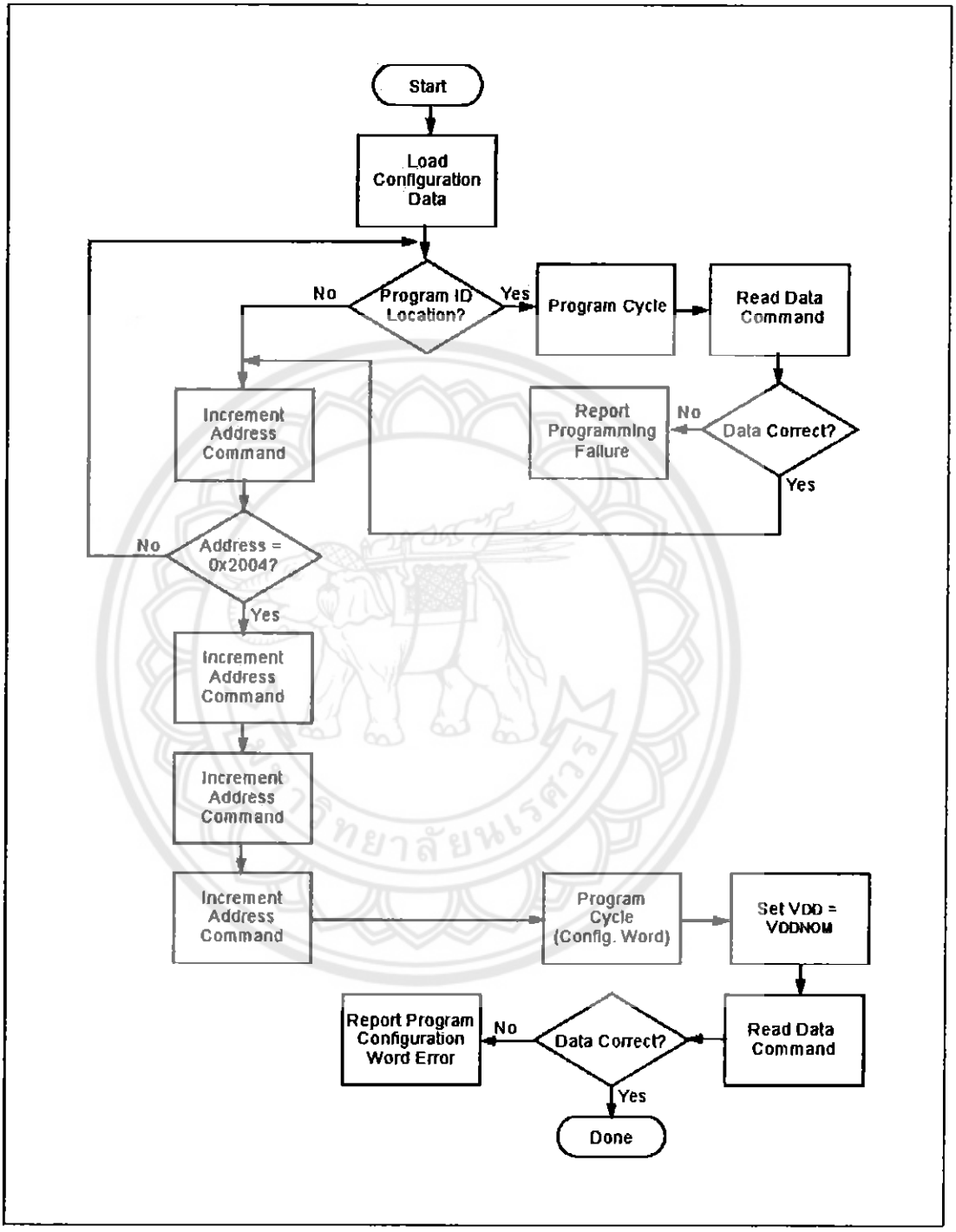
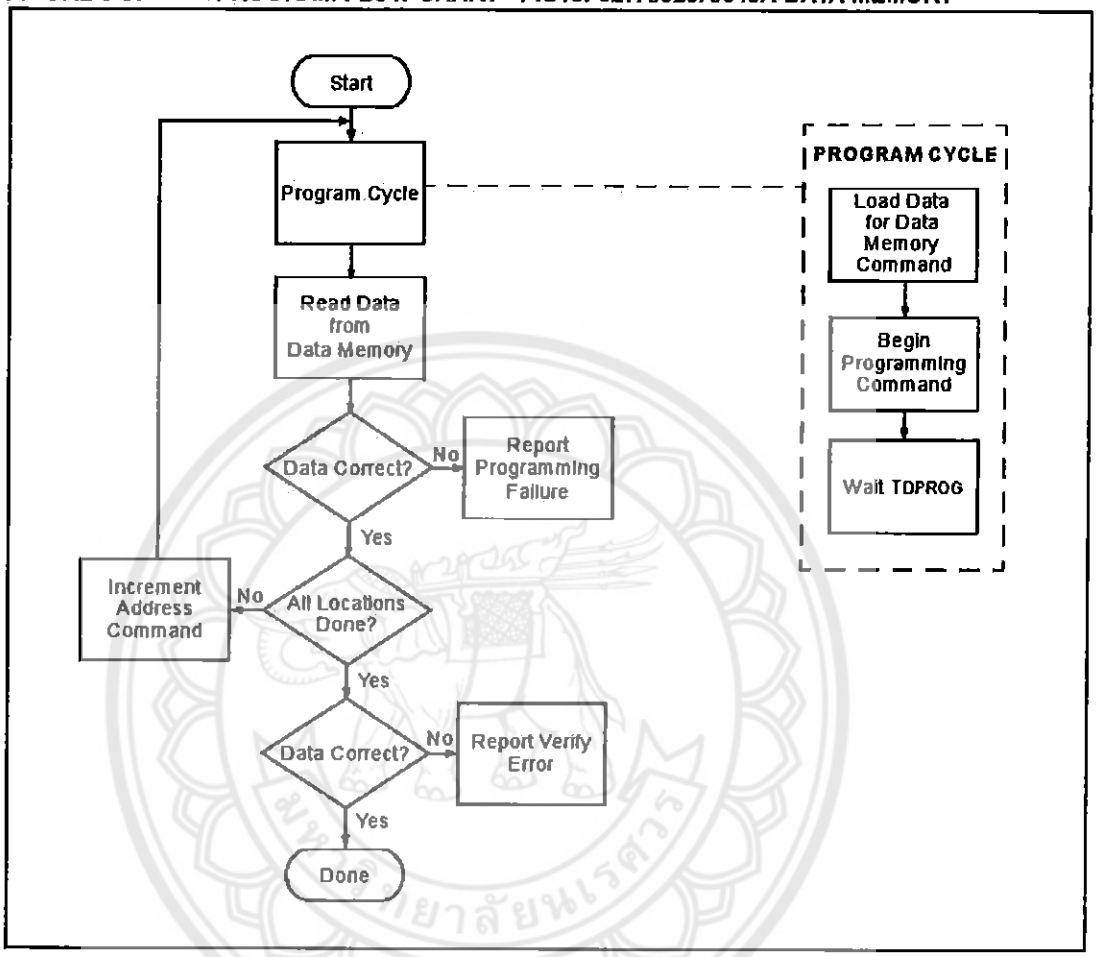


FIGURE 3-4: PROGRAM FLOW CHART - PIC16F627A/628A/648A CONFIGURATION MEMORY



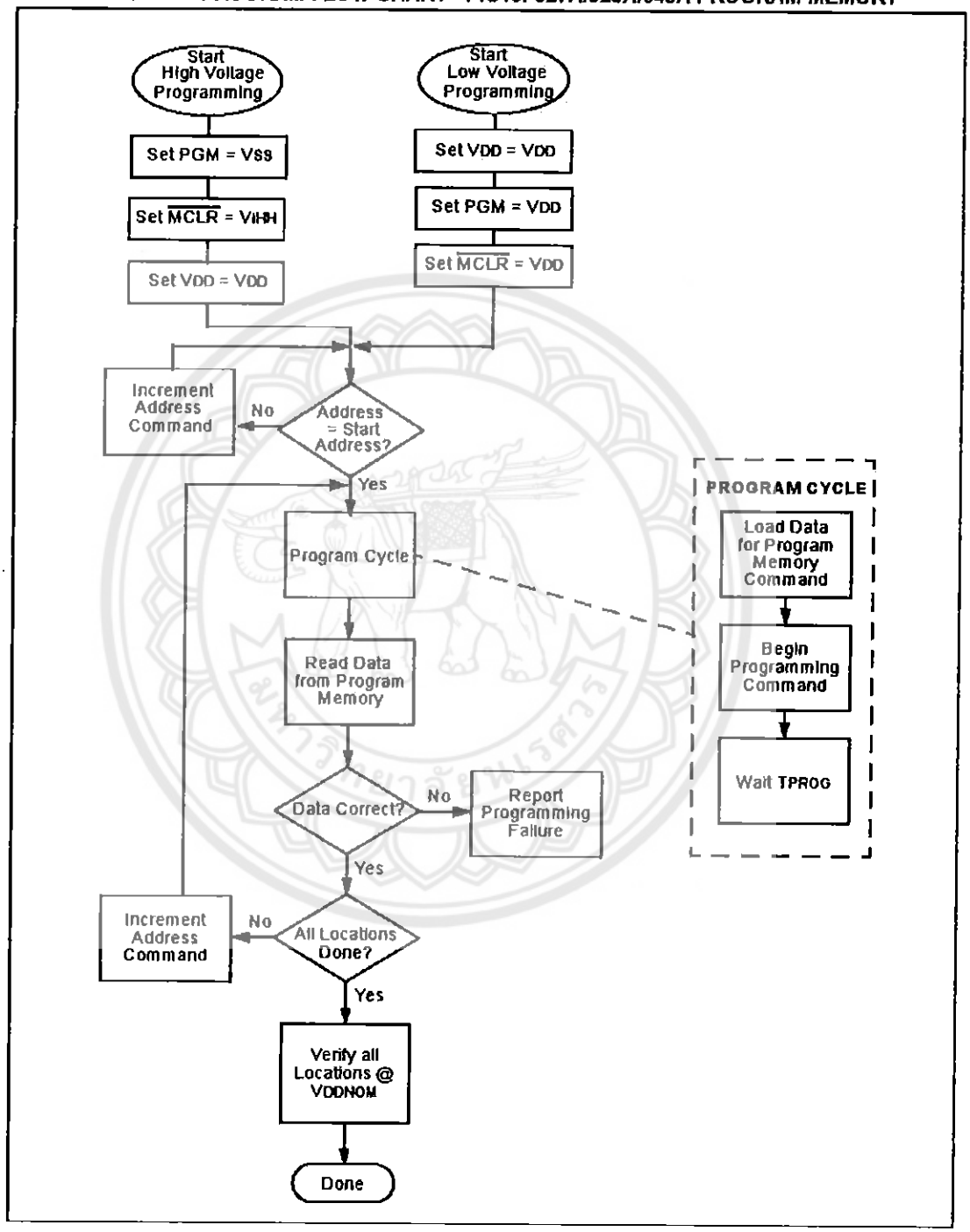
3.4 Program Data Memory

FIGURE 3-5: PROGRAM FLOW CHART - PIC16F627A/628A/648A DATA MEMORY



3.5 Programming Range of Program Memory

FIGURE 3-6: PROGRAM FLOW CHART - PIC16F627A/628A/648A PROGRAM MEMORY



3.6 Configuration Word

The PIC16F627A/628A/648A has several configuration bits. These bits can be set (reads '0') or left unchanged (reads '1'), to select various device configurations.

3.7 Device ID Word

The device ID word for the PIC16F627A/628A/648A is hard coded at 2006h.

TABLE 3-2: DEVICE ID VALUES

Device	Device ID Value	
	Dev	Rev
PIC16F627A	01 0000 010	x xxxx
PIC16F628A	01 0000 011	x xxxx
PIC16F648A	01 0001 000	x xxxx

REGISTER 3-1: CONFIGURATION WORD FOR PIC16F627A/PIC16F628A/PIC16F648A (ADDRESS: 2007h)

R/P-1	U-1	U-1	U-1	U-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1
$\overline{CP}$	—	—	—	—	$\overline{CPD}$	LVP	BOREN	MCLRE	FOSC2	$\overline{PWRTE}$	WDTE	FOSC1	FOSC0
bit 13													bit 0

bit 13 $\overline{CP}$: FLASH Program Memory Code Protection bit
(PIC16F648A)
1 = Code protection off
0 = 0000h to 0FFFh code protected
(PIC16F628A)
1 = Code protection off
0 = 0000h to 07FFh code protected
(PIC16F627A)
1 = Code protection off
0 = 0000h to 03FFh code protected

bit 12-9 Unimplemented: Read as '1'

bit 8 $\overline{CPD}$: Data Code Protection bit[2]
1 = Data memory code protection off
0 = Data memory code protected

bit 7 LVP: Low Voltage Programming Enable bit
1 = RB4/PGM pin has PGM function, low voltage programming enabled
0 = RB4/PGM is digital I/O, HV on $\overline{MCLR}$ must be used for programming

bit 6 BOREN: Brown-out Reset Enable bit[1]
1 = BOR enabled
0 = BOR disabled

bit 5 MCLRE: RA5/$\overline{MCLR}$ Pin Function Select bit
1 = RA5/$\overline{MCLR}$ pin function is $\overline{MCLR}$
0 = RA5/$\overline{MCLR}$ pin function is digital I/O, $\overline{MCLR}$ internally tied to VDD

bit 3 $\overline{PWRTE}$: Power-up Timer Enable bit[1]
1 = PWRT disabled
0 = PWRT enabled

bit 2 WDTE: Watchdog Timer Enable bit
1 = WDT enabled
0 = WDT disabled

bit 4, 1-0 FOSC<2:0>: Oscillator Selection bits[3]
111 = RC oscillator: CLKOUT function on RA6/OSC2/CLKOUT pin, Resistor & Capacitor on RA7/OSC1/CLKIN
110 = RC oscillator: I/O function on RA6/OSC2/CLKOUT pin, Resistor & Capacitor on RA7/OSC1/CLKIN
101 = INTOSC internal oscillator: CLKOUT function on RA6/OSC2/CLKOUT pin, I/O function on RA7/OSC1/CLKIN
100 = INTOSC internal oscillator: I/O function on RA6/OSC2/CLKOUT pin, I/O function on RA7/OSC1/CLKIN
011 = EXTCLK: I/O function on RA6/OSC2/CLKOUT pin, I/O function on RA7/OSC1/CLKIN
010 = HS oscillator: High speed crystal/resonator on RA6/OSC2/CLKOUT and RA7/OSC1/CLKIN
001 = XT oscillator: Crystal/resonator on RA6/OSC2/CLKOUT and RA7/OSC1/CLKIN
000 = LP oscillator: Low power crystal on RA6/OSC2/CLKOUT and RA7/OSC1/CLKIN

Note 1: Enabling Brown-out Reset does not automatically enable the Power-up Timer (PWRT).
2: Only a Bulk Erase will reset the configuration word, including the CP bits.
3: While $\overline{MCLR}$ is asserted in INTOSC mode, the internal clock oscillator is disabled.

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '1'	P = Programmable
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

3.8 Embedding Configuration Word and ID Information in the Hex File

To allow portability of code, the programmer is required to read the configuration word and ID locations from the hex file when loading the hex file. If configuration word information was not present in the hex file, then a simple warning message may be issued. Similarly, while saving a hex file, configuration word and ID information must be included. An option to not include this information may be provided.

Specifically for the PIC16F627A/628A/648A, the EEPROM data memory should also be embedded in the hex file (see **Section 3.9 "Embedding Data EEPROM Contents in Hex File"**).

Microchip Technology Inc. feels strongly that this feature is important for the benefit of the end customer.

3.9 Embedding Data EEPROM Contents in Hex File

The programmer should be able to read data EEPROM information from a hex file and conversely (as an option) write data EEPROM contents to a hex file, along with program memory information and fuse information.

The data memory locations are logically mapped starting at address 0x2100. The format for data memory storage is one data byte per address location, LSB aligned.

3.10 Checksum Computation

3.10.1 CHECKSUM

Checksum is calculated by reading the contents of the PIC16F627A/628A/648A memory locations and adding up the opcodes up to the maximum user addressable location (e.g., 0x7FF for the PIC16F628A). Any carry bits exceeding 16 bits are neglected. Finally, the configuration word (appropriately masked) is added to the checksum. Checksum computation for each member of the PIC16F627A/628A/648A devices is shown in Table 3-3.

The checksum is calculated by summing the following:

- The contents of all program memory locations
- The configuration word, appropriately masked
- Masked ID locations (when applicable)

The Least Significant 16 bits of this sum is the checksum.

The following table describes how to calculate the checksum for each device.

Note:	The checksum calculation differs depending on the code protect setting. Since the program memory locations read out differently depending on the code protect setting, the table describes how to manipulate the actual program memory values to simulate the values that would be read from a protected device. When calculating a checksum, by reading a device, the entire program memory can simply be read and summed. The configuration word and ID locations can always be read.

TABLE 3-3: CHECKSUM COMPUTATION

Device	Code Protect	Checksum*	Blank Value	0x25E6 at 0 and Max Address
PIC16F627A	OFF	SUM[0x0000:0x03FF] + CFGW & 0x21FF	1DFF	E9CD
	ON	CFGW & 0x21FF + SUM_ID	1FFE	EBCC
PIC16F628A	OFF	SUM[0x0000:0x7FF] + CFGW & 0x21FF	19FF	E5CD
	ON	CFGW & 0x21FF + SUM_ID	1BFE	E7CC
PIC16F648A	OFF	SUM[0x0000:0x0FFF] + CFGW & 0x21FF	11FF	DDCD
	ON	CFGW & 0x21FF + SUM_ID	13FE	DFCC

Legend: CFGW = Configuration Word
SUM[a:b] = [Sum of locations a to b inclusive]
SUM_ID = ID locations masked by 0xF then made into a 16-bit value with ID0 as the Most Significant nibble.
For example, ID0 = 0x1, ID1 = 0x2, ID3 = 0x3, ID4 = 0x4, then SUM_ID = 0x1234
*Checksum = [Sum of all the individual expressions] MODULO [0xFFFF]
+ = Addition
& = Bitwise AND

PIC16F627A/628A/648A

4.0 PROGRAM/VERIFY MODE ELECTRICAL CHARACTERISTICS

TABLE 4-1: AC/DC CHARACTERISTICS TIMING REQUIREMENTS FOR PROGRAM/VERIFY MODE

AC/DC Characteristics		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating Temperature: 0°C ≤ TA ≤ +70°C Operating Voltage: 4.5V ≤ VDD ≤ 5.5V				
Characteristics	**Sym**	**Min**	**Typ**	**Max**	**Units**	**Conditions/ Comments**
General						
VDD level for word operations, program memory	VDD	2.0	—	5.5	V	
VDD level for word operations, data memory	VDD	2.0	—	5.5	V	
VDD level for bulk erase operations, program and data memory	VDD	4.5	—	5.5	V	
High voltage on $\overline{MCLR}$	VIHH	10.0	—	13.5	V	
$\overline{MCLR}$ rise time (VSS to VIHH) for Programming mode entry	TVHHR	—	—	1.0	µs	
Hold time after $\overline{MCLR}$↑	TPPDP	5	—	—	µs	
Hold time after LVP↑	TLVPP	5	—	—	µs	
(CLOCK, DATA) input high level	VIH1	0.8 VDD	—	—	V	Schmitt Trigger input
(CLOCK, DATA) input low level	VIL1	—	—	0.2 VDD	V	Schmitt Trigger input
CLOCK, DATA setup time before $\overline{MCLR}$↑	TSET0	100	—	—	ns	
Hold time after VDD↑	THLD0	5	—	—	µs	
Serial Program/Verify						
Data in setup time before clock↓	TSET1	100	—	—	ns	
Data in hold time after clock↓	THLD1	100	—	—	ns	
Data input not driven to next clock input (delay required between command/data or command/ command)	TDLY1	1.0	—	—	µs	
Delay between clock↓ to clock↑ of next command or data	TDLY2	1.0	—	—	µs	
Clock↑ to data out valid (during read data)	TDLY3	—	—	80	ns	
Programming cycle time	TPROG	—	—	2.5	ms	
Data EEPROM Programming cycle time	TDPROG	—	—	6	ms	
Bulk Erase cycle time	TERA	—	—	6	ms	

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device **applications** and the like is intended through suggestion only **and may be** superseded by updates. It is your responsibility to **ensure** that your application meets with your specifications. **No representation** or warranty is given and no liability is **assumed** by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELOQ, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

AmpLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL, SmartShunt and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rfLAB, rfPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

Printed on recycled paper.

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO/TS 16949:2002

Microchip received ISO/TS-16949:2002 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona and Mountain View, California in October 2003. The Company's quality system processes and procedures are for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.

MICROCHIP

WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
Technical Support: 480-792-7627
Web Address: http://www.microchip.com

Atlanta
3780 Mansell Road, Suite 130
Alpharetta, GA 30022
Tel: 770-640-0034
Fax: 770-640-0307

Boston
2 Lan Drive, Suite 120
Westford, MA 01886
Tel: 978-692-3848
Fax: 978-692-3821

Chicago
333 Pierce Road, Suite 180
Itasca, IL 60143
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

Dallas
4570 Westgrove Drive, Suite 160
Addison, TX 75001
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

Detroit
Tri-Atria Office Building
32255 Northwestern Highway, Suite 190
Farmington Hills, MI 48334
Tel: 248-538-2250
Fax: 248-538-2260

Kokomo
2767 S. Albright Road
Kokomo, IN 46902
Tel: 765-864-8360
Fax: 765-864-8387

Los Angeles
18201 Von Karman, Suite 1090
Irvine, CA 92612
Tel: 949-263-1888
Fax: 949-263-1338

Phoenix
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7966
Fax: 480-792-4338

San Jose
1300 Terra Bella Avenue
Mountain View, CA 94043
Tel: 650-215-1444

Toronto
6285 Northam Drive, Suite 108
Mississauga, Ontario L4V 1X5, Canada
Tel: 905-673-0699
Fax: 905-673-6509

ASIA/PACIFIC

Australia
Suite 22, 41 Rawson Street
Epping 2121, NSW
Australia
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing
Unit 7068
Wan Tai Bei Hai Bldg.
No. 6 Chaoyangmen Bei Str.
Beijing, 100027, China
Tel: 86-10-85282100
Fax: 86-10-85282104

China - Chengdu
Rm. 2401-2402, 24th Floor,
Ming Xing Financial Tower
No. 88 TIDU Street
Chengdu 610016, China
Tel: 86-28-86766200
Fax: 86-28-86766599

China - Fuzhou
Unit 26F, World Trade Plaza
No. 71 Wusi Road
Fuzhou 350001, China
Tel: 86-591-7503506
Fax: 86-591-7503521

China - Hong Kong SAR
Unit 901-6, Tower 2, Metroplaza
223 Hing Fong Road
Kwai Fong, N.T., Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

China - Shanghai
Room 701, Bldg. B
Far East International Plaza
No. 317 Xian Xia Road
Shanghai, 200051
Tel: 86-21-6275-5700
Fax: 86-21-6275-5060

China - Shenzhen
Rm. 1812, 18/F, Building A, United Plaza
No. 5022 Binhe Road, Futian District
Shenzhen 518033, China
Tel: 86-755-82901380
Fax: 86-755-8295-1393

China - Shunde
Room 401, Hongjian Building
No. 2 Fengxiangnan Road, Ronggui Town
Shunde City, Guangdong 528303, China
Tel: 86-765-8395507 Fax: 86-765-8395571

China - Qingdao
Rm. B505A, Fullhope Plaza,
No. 12 Hong Kong Central Rd.
Qingdao 266071, China
Tel: 86-532-5027355 Fax: 86-532-5027205

India
Divyasree Chambers
1 Floor, Wing A (A3/A4)
No. 11, O'Shaugnessey Road
Bangalore, 560 025, India
Tel: 91-80-2290061 Fax: 91-80-2290062

Japan
Benex S-1 6F
3-18-20, Shinyokohama
Kohoku-Ku, Yokohama-shi
Kanagawa, 222-0033, Japan
Tel: 81-45-471- 6166 Fax: 81-45-471-6122

Korea
168-1, Youngbo Bldg. 3 Floor
Samsung-Dong, Kangnam-Ku
Seoul, Korea 135-882
Tel: 82-2-554-7200 Fax: 82-2-558-5932 or
82-2-558-5934

Singapore
200 Middle Road
#07-02 Prime Centre
Singapore, 188980
Tel: 65-6334-8870 Fax: 65-6334-8850

Taiwan
Kaohsiung Branch
30F - 1 No. 8
Min Chuan 2nd Road
Kaohsiung 806, Taiwan
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

Taiwan
Taiwan Branch
11F-3, No. 207
Tung Hua North Road
Taipei, 105, Taiwan
Tel: 886-2-2717-7175 Fax: 886-2-2545-0139

EUROPE

Austria
Durisolstrasse 2
A-4600 Wels
Austria
Tel: 43-7242-2244-399
Fax: 43-7242-2244-393

Denmark
Regus Business Centre
Lautrup hoj 1-3
Ballerup DK-2750 Denmark
Tel: 45-4420-9895 Fax: 45-4420-9910

France
Parc d'Activite du Moulin de Massy
43 Rue du Saule Trapu
Batiment A - ler Etage
91300 Massy, France
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany
Steinheilstrasse 10
D-85737 Ismaning, Germany
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

Italy
Via Quasimodo, 12
20025 Legnano (MI)
Milan, Italy
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

Netherlands
P. A. De Biesbosch 14
NL-5152 SC Drunen, Netherlands
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

United Kingdom
505 Eskdale Road
Winnersh Triangle
Wokingham
Berkshire, England RG41 5TU
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820