

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาบัตร

ปริญญาบัตร เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

- ชื่อนักศึกษา
1. นายเทอดศักดิ์ แก้วสิงห์ รหัสประจำตัว 39031212
 2. นายอนุสรณ์ ชลศิริพงษ์ รหัสประจำตัว 39031240
 3. นางสาวอมรรัตน์ แก้วช่วย รหัสประจำตัว 39031241
 4. นายเอกสิทธิ์ เทียงตรงดี รหัสประจำตัว 39031242

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร

1. อาจารย์วรวิทย์ สมหา
2. ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
3. อาจารย์ปิยะ สุภวาราสุวัฒน์



คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
2. ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
3. อาจารย์ปิยะ สุภวาราสุวัฒน์	
4. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันก่อ	
5. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 27 มีนาคม 2541 เวลา 13.00 น. ถึง 15.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ เดือน พ.ศ. 41

เลขหมึก.....

เลขทะเบียน..... 30138

วัน, เดือน, ปี - 8. 3. 2541



ปริญญานิพนธ์

เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

นายเทอดศักดิ์	แก้วสิงห์
นายอนุสรณ์	ชลศิริพงษ์
นางสาวอมรรัตน์	แก้วช่วย
นายเอกสิทธิ์	เที่ยงตรงดี

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

ผู้จัดทำ

1. นายเทอดศักดิ์ แก้วสิงห์
2. นายอนุสรณ์ ชลศิริพงษ์
3. นางสาวอมรรัตน์ แก้วช่วย
4. นายเอกสิทธิ์ เทียงตรงดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....
(อาจารย์วรวิทย์ สมหา)

ลงนาม.....
(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....
(อาจารย์ปิยะ สุภวาราสวัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....
(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์
2. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
4. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่
5. เพื่อออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
6. เพื่อออกแบบวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่
7. เพื่อสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
8. เพื่อสร้างวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่
9. เพื่อสร้างวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
10. เพื่อมีเครื่องจ่ายไฟสำรองไว้ใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์
2. มีความรู้ ความเข้าใจ หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
3. มีความรู้ ความเข้าใจ ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
4. มีความรู้ ความเข้าใจ การทำงานของเครื่องวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ได้
5. ออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้
6. ออกแบบวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ได้
7. ได้ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
8. ได้วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่
9. ได้วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
10. ได้เครื่องจ่ายไฟสำรองไว้ใช้งาน

เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

นายเทอดศักดิ์	แก้วสิงห์
นายอนุสรณ์	ชลศิริพงษ์
นางสาวอมรรัตน์	แก้วช่วย
นายเอกสิทธิ์	เที่ยงตรงดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วรวิทย์	สมหา
ผศ.วิสุทธิ์	อิทธิพรธรรม
อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอโครงการเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ โดยอาศัยการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่วัดได้จาก 2 ตำแหน่ง และใช้สเต็ปมอเตอร์ในการขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ ทำให้สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายและช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องวิทยุสื่อสารกำลังส่งขนาด 10 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

MR.TERDSAK KAESWING
MR.ANUSORN CHONSIRIPONG
MISS AMONRAT KAEWCHUAY
MR.EKKASIT THIANGTRONGDEE

ADVISORS

MR.WORAWIT SOMHA
MR.WISUIT ATIPORNTUM
MR.PIYA SUPAVARASUWAT

1997

ABSTRACT

This thesis presents solar cell controlled by microcontroller. A microcontroller is used to control solar cell panel to move following to the sun by comparing the light intensity between two positions and stepping motor is used to move solar cell panel to receive fully receiving the light energy. The results of this project will decrease cost of using energy and will save electrical power. Also, it can be applied to use 24 hours continuously for a 10-watt-transceiver.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำ จากคณาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน รวมถึงความเอื้อเฟื้อในเรื่องของวัสดุ อุปกรณ์, เครื่องมือ, เครื่องใช้ และสถานที่ต่างๆ ในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 3 ท่าน ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ผู้บังเกิดเกล้า ผู้เป็นแรงกำลังอันยิ่งใหญ่ ทั้งกำลังใจ, กำลังทรัพย์ และเป็นผู้ให้ตลอดมา

อนึ่ง ประโยชน์ และคุณความดีใดๆ ก็ตามที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้ แต่ บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด และครู อาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้น จนมีวันนี้

IV

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญาโท	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสเต็ปปีงมอเตอร์	3
2.2.1 หลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	4
2.2.2 ประเภทของสเต็ปปีงมอเตอร์	5
2.2.3 ลักษณะการพันขดลวดในสเต็ปปีงมอเตอร์	12
2.2.4 คุณสมบัติแรงบิดของสเต็ปปีงมอเตอร์	13
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์	18
2.3.1 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.3.2 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.3.3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	23
2.3.4 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	25
2.3.5 ข้อควรระวัง	26
2.3.6 การดูแลรักษา	27

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 แบตเตอรี่	27
2.4.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่	28
2.4.2 แรงเคลื่อนของเซลล์	29
2.4.3 ปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่	29
2.4.4 ทิศทางของกระแสไฟไหล	30
2.4.5 แรงดันกับความต้านทาน	30
2.4.6 กำลังงานต่อชั่วโมง	31
2.4.7 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่	31
2.4.8 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด	33
2.5 ออปแอมป์	35
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไป	35
2.5.2 ลักษณะการทำงาน	37
2.5.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์	39
2.5.4 ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจ	44
2.5.5 ชนิดและรูปแบบต่างๆ ของออปแอมป์	44
2.6 ทฤษฎีหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์	45
2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	45
2.6.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51	46
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	48
3.1 กล่าวนำ	48
3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	50
3.3 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง	51
3.4 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	53
3.5 วงจรตัดต่อไฟสเต็ปปีงมอเตอร์และโซลีนอยด์	54

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.6 วงจรตรวจสอบระดับแรงดันและประจุแบตเตอรี่	56
3.7 วงจรรีคตีไฟเออร์	58
3.8 ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	59
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	62
4.1 ทดลองการประจุแบตเตอรี่	62
4.2 ทดลองใช้งานกับเครื่องวิทยุสื่อสาร	70
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	75
5.1 บทสรุป	75
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	75
5.2.1 วงจรตรวจจกระดับความเข้มแสง	75
5.2.2 วงจรตัดต่อไฟสแต็ปปีงมอเตอร์	76
5.2.3 โปรแกรมควบคุมการทำงาน	76
5.3 การพัฒนา	77
ภาคผนวก ก วงจรที่ใช้ในปริณูญานิพนธ์	78
ภาคผนวก ข เครื่องต้นแบบ	87
ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และโปรแกรม	98
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน	107
ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์	112
บรรณานุกรม	132
ประวัติผู้แต่ง	133

VII

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของออปแอมป์ออกเป็นกลุ่มหรือตระกูล	45
ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต์ P3	47
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 1 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2541	63
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 2 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2541	64
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 3 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2541	65
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 4 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2541	66
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 5 วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2541	67
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการวัดกระแสเฉลี่ยรวม	68
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรวม	69
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองใช้งานกับวิทยุสื่อสารทำการส่ง 10 นาทีต่อชั่วโมง	71
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองใช้งานกับวิทยุสื่อสารทำการส่ง 20 นาทีต่อชั่วโมง	72

VIII

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสเต็มปี๊งมอเตอร์ในเครื่องกลึง	3
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของสเต็มปี๊งมอเตอร์	4
รูปที่ 2.3 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็มปี๊งมอเตอร์	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้	6
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้	7
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสเต็มปี๊งมอเตอร์ ที่มีช่องว่างกว้างและแคบ	7
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้ชนิดมีหลายสเตค	8
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร	8
รูปที่ 2.9 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร	9
รูปที่ 2.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร	9
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดไฮบริด	10
รูปที่ 2.12 โครงสร้างแกนโรเตอร์ของสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดไฮบริด	11
รูปที่ 2.13 เส้นแรงแม่เหล็กในสเต็มปี๊งมอเตอร์ชนิดไฮบริด	11
รูปที่ 2.14 ลักษณะการเอียงกันของซี่ฟันของสเตเตอร์	11
รูปที่ 2.15 ลักษณะของขดลวดที่พันบนไบพ็ลาร์	12
รูปที่ 2.16 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็มปี๊งมอเตอร์	13
รูปที่ 2.17 คุณลักษณะทางสแตติกของสเต็มปี๊งมอเตอร์ขนาดสามเฟส	13
รูปที่ 2.18 กราฟคุณลักษณะ T-θ ของสเต็มปี๊งมอเตอร์	15
รูปที่ 2.19 กราฟคุณลักษณะ T-I ของสเต็มปี๊งมอเตอร์เส้นกราฟ	15
รูปที่ 2.20 กราฟคุณลักษณะทางไดนามิกของสเต็มปี๊งมอเตอร์	16
รูปที่ 2.21 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	19
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มแสง	20
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ	20

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.24 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	21
รูปที่ 2.25 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันที่อุณหภูมิต่างๆ	22
รูปที่ 2.26 ผลของอุณหภูมิต่างๆ	22
รูปที่ 2.27 การต่อเรียงของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดันและกระแสตามต้องการ แบบขนานและอนุกรม	23
รูปที่ 2.28 บล็อกกึ่งไดโอด	24
รูปที่ 2.29 การต่อบายพาสไดโอดและการทำงาน	25
รูปที่ 2.30 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาน้ำหนักด้วย	31
รูปที่ 2.31 การต่อแบตเตอรี่	32
รูปที่ 2.32 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการจ่ายไฟออก	32
รูปที่ 2.33 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบขณะที่ได้รับการประจุ	32
รูปที่ 2.34 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว - กรด	33
รูปที่ 2.35 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากคาโธด	34
รูปที่ 2.36 แผนผังการทำงานของวงจรภายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์	36
รูปที่ 2.37 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์	37
รูปที่ 2.38 ลักษณะของวงจรในอุดมคติของออปแอมป์	38
รูปที่ 2.39 ความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์	38
รูปที่ 2.40 วงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์	40
รูปที่ 2.41 อัตราสลูว์มีผลต่อการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต	42
รูปที่ 2.42 อัตราการขยายของออปแอมป์เทียบกับความถี่	43
รูปที่ 2.43 การจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51	46
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	49
รูปที่ 3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	50
รูปที่ 3.3 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.4 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ UNIPOLAR	53
รูปที่ 3.5 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์	54
รูปที่ 3.6 วงจรตัดต่อไฟเลี้ยงสเต็ปป์มอเตอร์และโซลินอยด์	55
รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับระดับแรงดันและประจุแบตเตอรี่	56
รูปที่ 3.8 วงจรเร็คติไฟเออร์	58
รูปที่ 3.9 โครงสร้างด้านหน้า	59
รูปที่ 3.10 โครงสร้างแสดงการติดตั้งสเต็ปป์มอเตอร์	60
รูปที่ 3.11 โครงสร้างแสดงการติดตั้งโซลินอยด์	60
รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบของกล่องรับแสง	61
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 1	63
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 2	64
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 3	65
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 4	66
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 5	67
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสเฉลี่ยรวม	69
รูปที่ 4.7 กราฟการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรวม	70
รูปที่ 4.8 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับวิทยุสื่อสาร	71
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระดับแรงดันแบตเตอรี่ขณะใช้งานกับวิทยุสื่อสาร	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การพัฒนาทางเทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดังกล่าว ทำให้มนุษย์สามารถที่จะนำทรัพยากรที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะทรัพยากรด้านพลังงานที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน น้ำมันมาใช้ประโยชน์อย่างง่ายดาย ซึ่งนับวันทรัพยากรเหล่านี้จะเหลือน้อยลงไปทุกที

แต่ในปัจจุบันเราสามารถสร้างแหล่งพลังงานใหม่ที่ได้มาจากธรรมชาติและไม่มีวันหมดไปได้ นั่นคือ พลังงานแสงอาทิตย์ มนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แหล่งพลังงาน คือ แสงอาทิตย์ ไม่ต้องการเชื้อเพลิงไม่มีวันหมด และประเทศไทยก็มีพื้นที่ในชนบทอีกจำนวนหนึ่งที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ เนื่องจากความไม่คุ้มค่าในการลงทุน ถิ่นทุรกันดาร ป่าเขา หรือแม้กระทั่งเรือประมง ต่างมีข้อจำกัดในเรื่องแหล่งพลังงานไฟฟ้า จำเป็นต้องมีไฟฟ้าใช้ ก็สามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าได้

เซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสและแรงดันได้สูงสุดเมื่อแสงที่ตกกระทบตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ออกแบบให้เซลล์แสงอาทิตย์หมุนตั้งฉากกับแสงที่ตกกระทบเองโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้เซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเอาเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์ ให้หมุนตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อให้แสงที่ตกกระทบมีความเข้มสูงสุด

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังต่อไปนี้

1. เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง 12 โวลต์
2. จ่ายพลังงานได้ต่อเนื่อง

3. สามารถติดตั้งในบริเวณที่มีแสงอาทิตย์ได้สะดวกเคลื่อนย้ายได้ง่าย
4. สามารถจ่ายไฟให้กับเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารได้
5. สามารถปรับเซลล์แสงอาทิตย์ตามทิศทางที่มีความเข้มสูงสุดเพื่อจะได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดโดยอัตโนมัติ
6. สามารถขยายขีดความสามารถของระบบได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาทางทฤษฎีพื้นฐานของสเต็ปป์มอเตอร์ หลักการของเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ออปแอมป์ และไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน ประกอบด้วยวงจรต่างๆดังต่อไปนี้ วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์ วงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และวงจรประจุแบตเตอรี่ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และโครงสร้างชุดขับเคลื่อนเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ประกอบด้วยขั้นตอนการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบผลระหว่างการประจุกระแสโดยใช้โครงงานนี้กับการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานกับพื้นว่ามีผลการทดลองแตกต่างกันอย่างไร และการนำไปประยุกต์ใช้งานกับวิทยุสื่อสารขนาด 10 วัตต์ ว่าสามารถใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมงได้จริงหรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนาขีดความสามารถของโครงงานในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโครงงานดังต่อไปนี้

ภาคผนวก ก วงจรที่ใช้ในปฏิญญาฉบับนี้

ภาคผนวก ข เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และโปรแกรม

ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

บรรณานุกรม

ประวัติผู้แต่ง

บทที่ 2

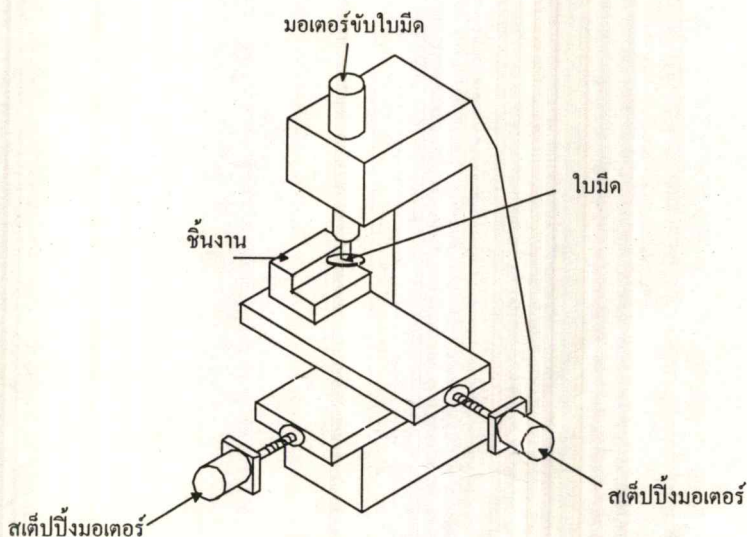
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงการ ประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานของสเต็ปปีงมอเตอร์ การควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับออปแอมป์ ทฤษฎีหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

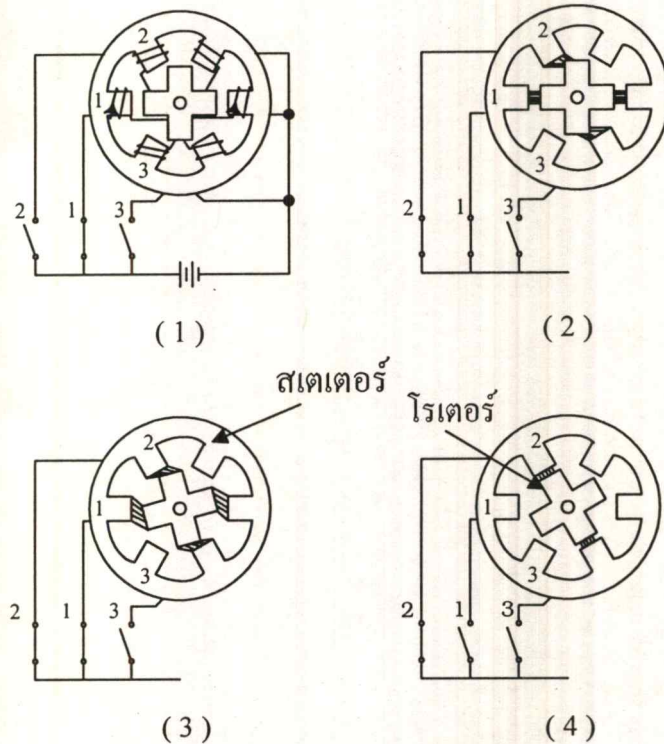
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสเต็ปปีงมอเตอร์

สเต็ปปีงมอเตอร์เปรียบเสมือนทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเชิงกล ซึ่งมีอินพุตเป็นกลุ่มของแรงดันไบนารีและเอาต์พุตเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นสเต็ปที่สามารถกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนหมุนได้อย่างเที่ยงตรงแน่นอน ง่ายต่อการควบคุมการทำงาน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของสเต็ปปีงมอเตอร์ในรูปที่ 2.1



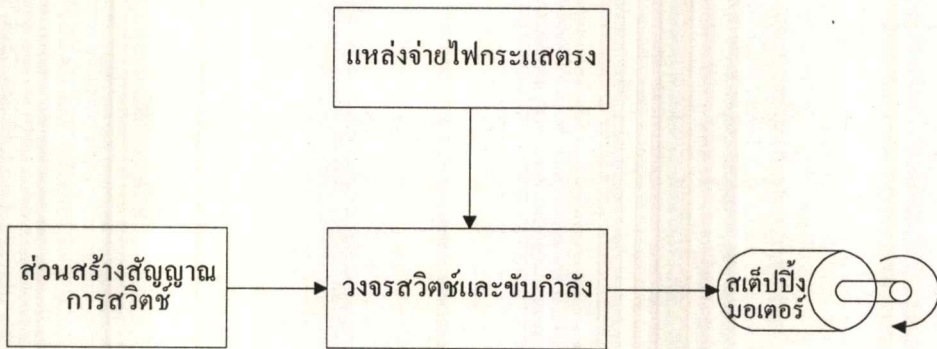
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสเต็ปปีงมอเตอร์ในเครื่องกลึง

2.2.1 หลักการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์

ในรูปที่ 2.2 แสดงหลักการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ ซึ่งมีสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันจำนวน 6 ซี่ฟัน และมีโรเตอร์ที่มีจำนวนซี่ฟันเท่ากับ 4 ซึ่งมีสเตเตอร์และโรเตอร์ทำจากเหล็กอ่อน มีชุดของขดลวดซึ่งมีลักษณะดังในรูป แต่ละชุดประกอบไปด้วยขดลวด 2 ชุด ที่ต่ออนุกรมกัน แต่ละชุดของขดลวดเรียกว่า “เฟส” (Phase) ในรูปนี้เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ชนิด 3 เฟส กระแสถูกจ่ายให้กับขดลวดทั้งสามเฟสด้วยสวิตช์ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในสถานะแรกจ่ายกระแสผ่านสวิตช์ที่ 1 ไปยังขดลวดเฟสที่ 1 หรือเป็นการกระตุ้นเฟสที่ 1 จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่าง (Air - gap) ดังแสดงตามทิศทางของลูกศร ในภาพในสถานะ (1) ซี่ฟัน 2 ซี่ฟันของตัวสเตเตอร์ของเฟสที่ 1 ตรงกับซี่ฟันของโรเตอร์ 2 ซี่ฟัน ณ ตำแหน่งนี้เรียกว่า “สถานะสมดุล” (Equilibrium state) เมื่อสวิตช์ที่ 2 ปิด เพื่อกระตุ้นเฟสที่ 2 เพิ่มเข้าไปเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดขึ้นที่ซี่ฟันของสเตเตอร์ของเฟสที่ 2 ในลักษณะดังในสถานะ (2) และโรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงบิดที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากการกระตุ้น เฟสที่ 2 ซึ่งได้แสดงดังสถานะ (3)



รูปที่ 2.3 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์

ดังนั้น การเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะมีลักษณะเป็นสเต็ปด้วยมุมที่แน่นอน ในกรณีนี้จะ เป็น 15 องศาต่อสเต็ป เมื่อเอาสวิตช์ที่ 1 ออก หรือเป็นการหยุดกระตุ้นเฟสที่ 1 โรเตอร์จะ เคลื่อนที่ไปอีก 15 องศา ดังสภาวะที่ (4)

ปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ถูกนำมาใช้เป็นงานอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ สำหรับ ควบคุมการจ่ายกระแสให้แก่สเต็ปป์มอเตอร์ และสัญญาณที่ใช้ควบคุมการสวิตช์ก็ได้จาก อุปกรณ์ดิจิทัลไอซี หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์ ดัง แสดงหลักการควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์ ในรูปที่ 2.3 จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสเต็ปป์มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าทางดิจิทัลเป็นการเคลื่อนที่เชิงกล ซึ่งสาเหตุที่ทำให้สเต็ปป์ มอเตอร์มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจาก ข้อดีดังต่อไปนี้

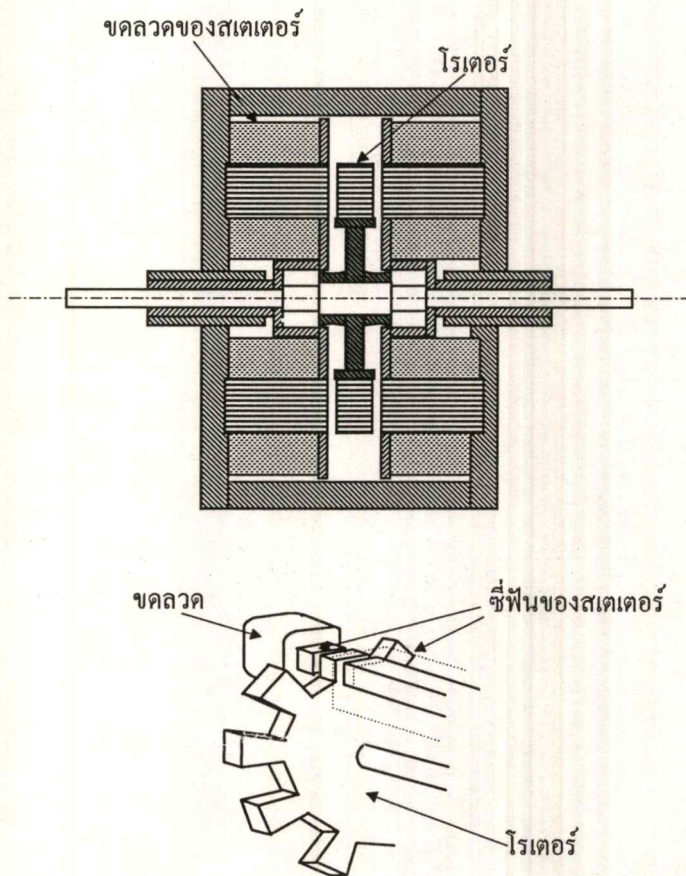
1. โดยปกติจะไม่ต้องการส่วนป้อนกลับของสัญญาณ เพื่อควบคุมตำแหน่ง หรือความ เร็ว ทำให้วงจรที่ใช้ควบคุมมีต้นทุนต่ำ
2. ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการเคลื่อนที่ จะไม่สะสม หรือเพิ่มขึ้น
3. สเต็ปป์มอเตอร์สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ดิจิทัล และคอมพิวเตอร์ได้อย่าง สมบูรณ์

2.2.2 ประเภทของสเต็ปป์มอเตอร์

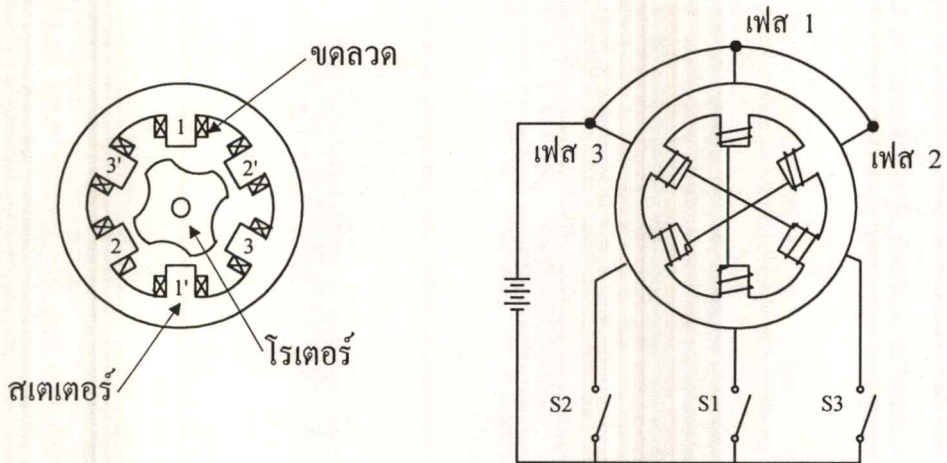
สเต็ปป์มอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะของโครงสร้าง และ การทำงานได้ดังนี้

1. สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้ (Variabler reluctance stepping motor)

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้ เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจได้มากที่สุด ดังแสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ในรูปที่ 2.4 และหลักการทำงานในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นตัวอย่างของสเต็ปป์มอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีจำนวนซี่ฟันสเตเตอร์เท่ากับ 6 ซี่ฟัน แต่ละคู่ของซี่ฟันที่อยู่ตรงกันข้ามจะเป็นเฟสเดียวกันพันอยู่ในลักษณะที่ต่ออนุกรม ส่วน โรเตอร์และสเตเตอร์ ปกติแล้วจะทำจากแผ่นบางๆ ที่มีส่วนผสมของซิลิกอน (Laminted silicon steel) แต่โรเตอร์ที่ทำจากแท่งซิลิกอนจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าวัสดุที่ใช้ทำโรเตอร์ และสเตเตอร์จะต้องมีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) และเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux) สามารถผ่านได้ง่าย เพื่อที่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetomotive force) ขึ้นสูงสุด

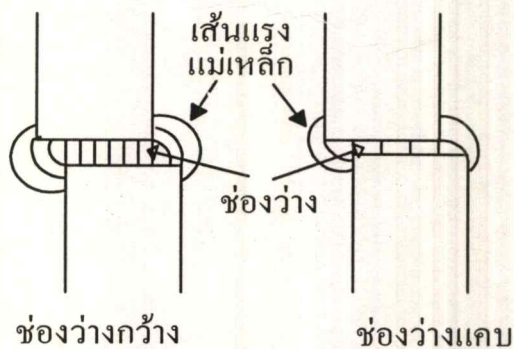


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของสเต็ปิ่งมอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้

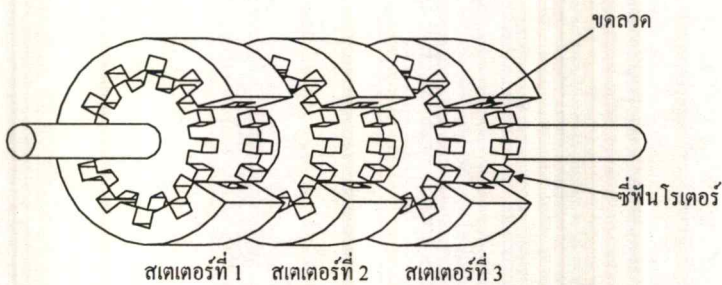
ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของสเต็ปิ่งมอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้ ช่องว่างควมแคบที่สุด ช่องว่างระหว่างซี่ฟันของสเตเตอร์ และโรเตอร์ในสเต็ปิ่งมอเตอร์จะต้องแคบที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้เกิดแรงบิดที่มีค่าสูง และตำแหน่งของโรเตอร์มีความเที่ยงตรงสูง ในรูปที่ 2.6 เปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างสเต็ปิ่งมอเตอร์ที่มีช่องว่างกว้างนั้น หมายความว่า แรงบิดที่ได้ก็จะสูงกว่าด้วยและผลที่ตามมาก็คือความเที่ยงตรงของโรเตอร์ก็จะสูงตามขึ้นไปด้วย โดยทั่วไปขนาดของช่องว่างจะมีค่าประมาณ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสเต็ปิ่งมอเตอร์ที่มีช่องว่างกว้างและแคบ

2. สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้ชนิดหลายสเตค

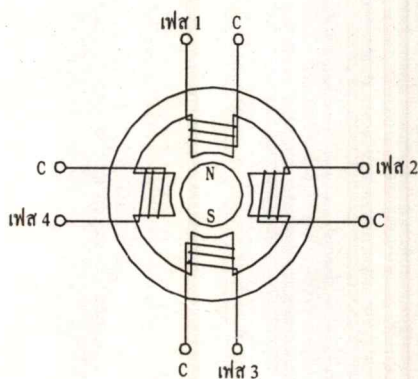
ที่ผ่านมาเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้ชนิดสเตคเดียว คือ จำนวนเฟสทั้งหมดจะอยู่ที่สเตคเดียวกัน ส่วนชนิดหลายสเตคนั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งในภาพนี้เป็นประเภท 3 สเตค ถ้ากระตุ้นให้เฟส (สเตค) ที่ 3 ทำงาน ซีพินของโรเตอร์ และสเตเตอร์ของเฟสนี้ก็มีตำแหน่งตรงกัน ส่วนเฟสอื่นๆ ตำแหน่งซีพินของโรเตอร์ และสเตเตอร์จะไม่ตรงกัน ซึ่งในภาพนี้จะห่างจากตำแหน่งสมมูลย์เมื่อเฟสที่ 3 ถูกกระตุ้นเท่ากับ $1/3$ เท่าของซีพินจากนั้นเปลี่ยนการกระตุ้นจากเฟสที่ 3 ไปเฟสที่ 1 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 1 สเต็ป แต่ถ้ากระตุ้นจากเฟสที่ 3 ไปเฟสที่ 2 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 1 สเต็ป



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคาร์ลัคแตนซ์แปรค่าได้ชนิดหลายสเตค

3. สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent magnetic stepping motor)

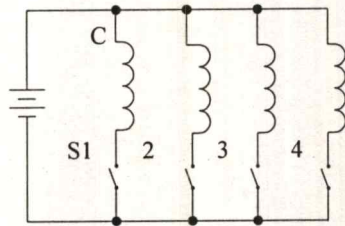
สเต็ปป์มอเตอร์บางประเภทโรเตอร์จะทำด้วยแม่เหล็กถาวร จึงเรียกสเต็ปป์มอเตอร์



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

ประเภทนี้ว่า “ สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ” ซึ่งตัวอย่างประเภท 4 เฟส ของมอเตอร์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.8 โดยโรเตอร์ภาพทรงกระบอกทำจากแม่เหล็กถาวร และสเตเตอร์มีจำนวน 4 ชีพิน แต่ละชีพินจะมีขดลวดพันรอบ โดยรูปที่ 2.9 แสดงหลักการควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ในรูปนี้จุด C. ของเฟสจะต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ถ้าแต่ละเฟสถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยลำดับเฟส 1 เฟส 2 และเฟส 3 แล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ขนาดสเต็ปที่ได้จะมีขนาด 90 องศา

โรเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ประเภทนี้สามารถเคลื่อนที่มายหยุด ณ ตำแหน่งที่แน่นอนได้ แม้ว่าจะหยุดกระตุ้นให้ทำงานก็ตาม ตำแหน่งดังกล่าวเรียกว่า “ ตำแหน่งดีเทนท์ ” (Detent position) ซึ่งปกติแล้วตำแหน่งดีเทนท์จะตรงกับตำแหน่งสมดุล เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งถูกกระตุ้นให้ทำงาน



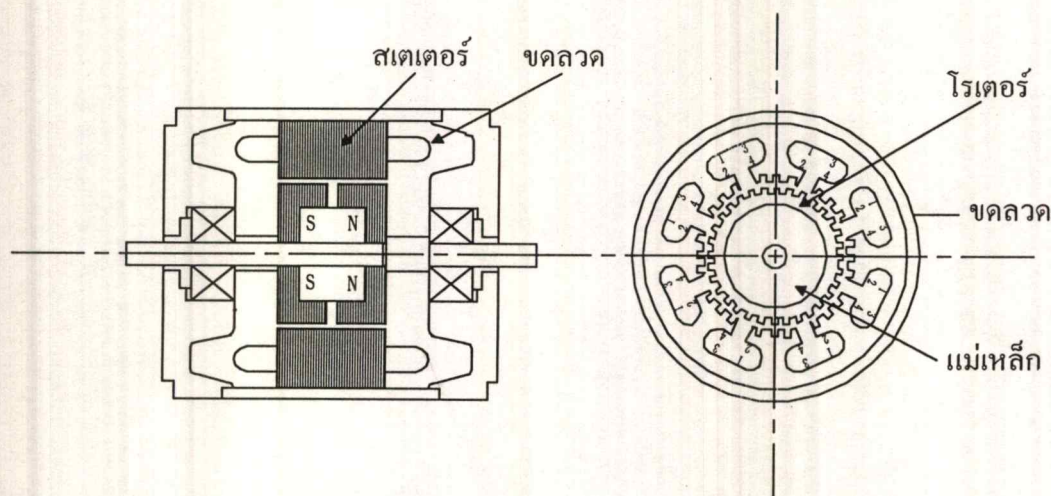
รูปที่ 2.9 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

4. สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด (Hybrid stepping motor)

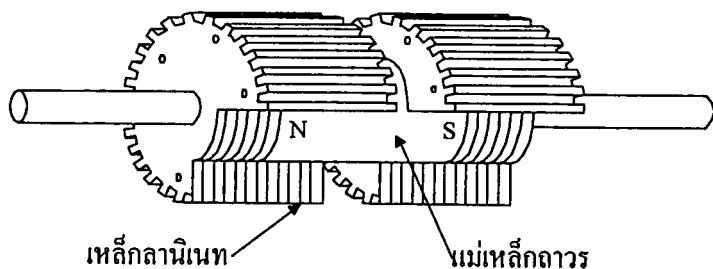
สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริดเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีหลักการทำงานผสมผสานกันระหว่างสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร กับชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้จึงได้ชื่อว่า “สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด” โดยรูปที่ 2.11 เป็นภาพแสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการใช้งานแพร่หลายในปัจจุบัน ลักษณะโครงสร้างแกนสเตเตอร์ของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้จะมีลักษณะที่คล้ายกับสเต็ปป์มอเตอร์แบบคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้ แต่จะต่างกันตรงที่ลักษณะการพันขดลวด กล่าวคือ ชนิดคาร์ลัคแทนซ์แปรค่าได้ขดลวด 1 ขด จากทั้งหมด 2 ขด ใน 1 เฟสจะพันบนโพลของสเตเตอร์เพียงขดเดียว ในขณะที่สเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริดชนิด 4 เฟส โพลของสเตเตอร์จะมีขดลวด 2 ขดที่ต่างเฟสกันพันอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งขดลวดทั้งสองของโพลของสเตเตอร์นี้จะพันในลักษณะไบฟีลาร์ (Bifilar) ซึ่งจะให้ลักษณะขั้วสนามแม่เหล็กที่ต่างกันเมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงาน



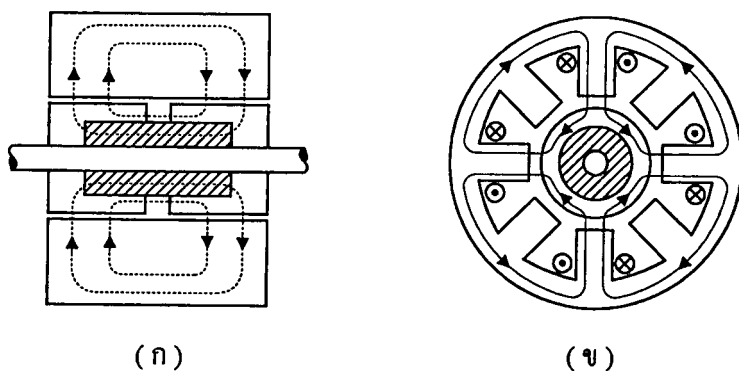
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด

ส่วนโรเตอร์ของสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริดจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.12 คือจะมีแม่เหล็กรูปทรงกระบอกที่วางตัวตามแกนโรเตอร์ ซึ่งมีทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) โดยแต่ละโพลของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยซี่เหล็กอ่อน ซึ่งโดยทั่วไปจะทำด้วยเหล็กซินเทอริค (Sintered steel) หรือแท่งเหล็กซิลิกอน (Solid silicon steel) ซี่ฟันของเหล็กอ่อนทั้งสองด้าน (เหนือและใต้) จะมีตำแหน่งเยื้องกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของซี่ฟัน

ในมอเตอร์บางตัว ตำแหน่งของซี่ฟันของโรเตอร์จะตรงกัน และตำแหน่งซี่ฟันของสเตเตอร์จะเอียงกันแทนดังแสดงในรูปที่ 2.14 และสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดสเตเตอร์มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ข)

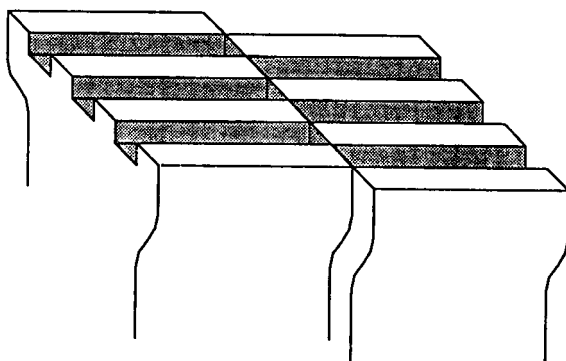


รูปที่ 2.12 โครงสร้างแกน โรเตอร์ของสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด



รูปที่ 2.13 เส้นแรงแม่เหล็กในสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด

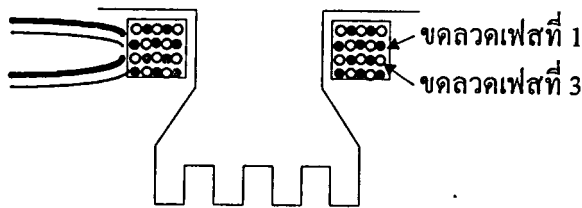
- (ก) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากเหล็กบนแกนโรเตอร์
- (ข) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวด



รูปที่ 2.14 ลักษณะการเอียงกันของซี่ฟันของสเตเตอร์

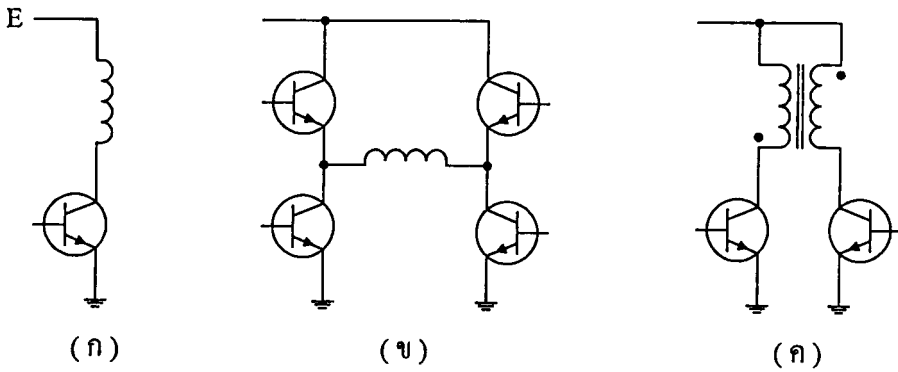
2.2.3 ลักษณะการพันขดลวดในสเต็ปป์มอเตอร์

ลักษณะการพันขดลวดในสเต็ปป์มอเตอร์จะมี 2 ลักษณะ คือ การพันแบบโมนอฟิลาร์และไบฟิลาร์ ซึ่งในสเต็ปป์แบบคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ และสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรประเภทมีคลาวโพล (Claw pole) ขดลวดที่ใช้มีลักษณะเป็นขดลวดโซลินอยด์ ส่วนในสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดไฮบริด และแบบคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ชนิดสแตกเดียวจะมีลักษณะการพันขดลวดแบบโมนอฟิลาร์และไบฟิลาร์ ซึ่งลักษณะการพันขดลวดแบบไบฟิลาร์ ดังรูปที่ 2.15 คือ การใช้เส้นลวด 2 เส้น พันคู่กันไป ถ้าเส้นหนึ่งเป็นของเฟสที่ 1 แล้ว อีกเส้นที่เหลือจะเป็นเฟสที่ 3 ในทำนองเดียวกันถ้าเส้นแรกเป็นเฟสที่ 2 อีกเส้นหนึ่งจะเป็นเฟสที่ 4 ซึ่งวัตถุประสงค์ในการพันขดลวดแบบไบฟิลาร์ คือ ต้องการให้โพลของสเตเตอร์มีขั้วแม่เหล็กสลับไปมาได้ทั้งสองขั้วโดยลวดอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมการจ่ายกระแส ในรูปที่ 2.16 หลักการของวงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ ที่มีการพันขดลวดแบบต่างๆ โดยในรูปที่ 2.16 (ก) เป็นวงจรควบคุมการทำงานพื้นฐานของสเต็ปป์มอเตอร์ ที่มีการพันแบบโมนอฟิลาร์ ขั้วของสนามแม่เหล็กที่ได้จะมีเพียงทิศทางเดียว ถ้าต้องการให้สามารถสลับขั้วของสนามแม่เหล็กไปมา ในขดลวดแบบโมนอฟิลาร์แล้ว จะต้องจัดวงจรเป็นลักษณะวงจรบริคดังรูปที่ 2.16 (ข)



รูปที่ 2.15 ลักษณะของขดลวดที่พันแบบไบฟิลาร์

แต่จะเห็นว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ในการสวิตซ์ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว ต่อ 1 เฟส แต่ถ้าขดลวดที่ใช้ในสเต็ปป์มอเตอร์มีการพันแบบไบฟิลาร์แล้วอุปกรณ์ในการสวิตซ์กระแสจะใช้เพียง 2 ตัวใน 1 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ค)



รูปที่ 2.16 หลักการควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์

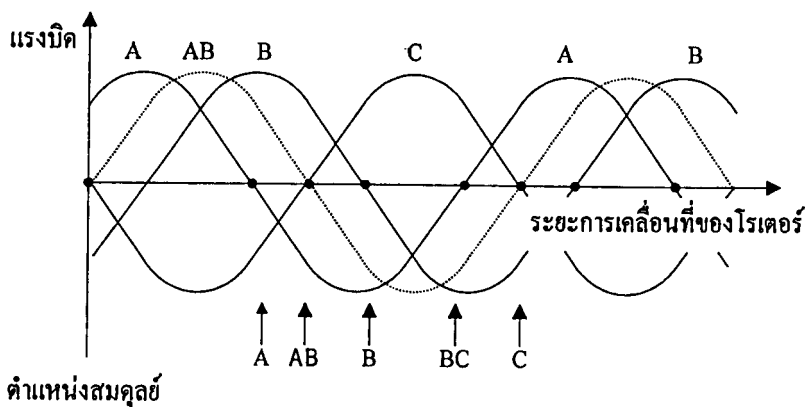
- (ก) วงจรควบคุมแบบโมนโพลาร์
- (ข) วงจรควบคุมแบบไบโพลาร์
- (ค) วงจรควบคุมแบบไบโพลาร์

2.2.4 คุณลักษณะแรงบิดของสแต็ปปีงมอเตอร์

การศึกษาคุณสมบัติของสแต็ปปีงมอเตอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพต้องศึกษาถึงคุณลักษณะต่างๆ เช่น คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงบิดหรือทอร์ก (Torque) ค่าของความถี่ที่มอเตอร์สามารถตอบสนองได้ คุณลักษณะเกี่ยวกับกระแส ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงครอสทอร์ก (Cross Torque) ซึ่งมีรายละเอียดที่ศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. คุณลักษณะทางสแตติกของสแต็ปปีงมอเตอร์

คุณลักษณะทางสแตติก เป็นคุณลักษณะขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่ง แสดงจากรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นกราฟของทอร์ก



รูปที่ 2.17 คุณลักษณะทางสแตติกของสแต็ปปีงมอเตอร์ขนาดสามเฟส

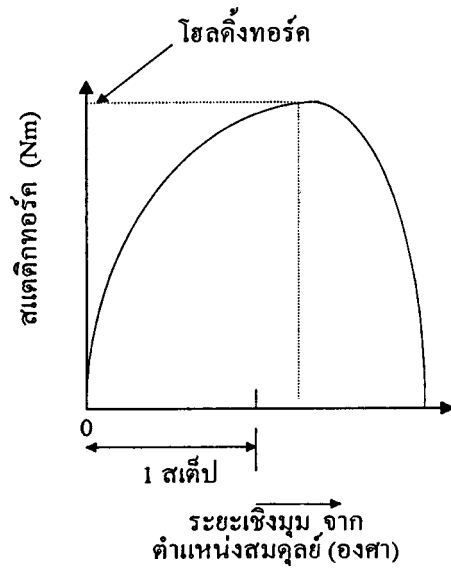
จุดสมมูลของการหมุน คือ จุดซึ่งซีพินของโรเตอร์ของสเตเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กัน อยู่ในแนวเดียวกัน และคงอยู่ในตำแหน่งนี้อย่างไม่มีกำหนดจนกว่าจะได้รับสัญญาณกระตุ้น ครั้งต่อไปที่ตำแหน่งสมมูลของโรเตอร์ และมีค่าแรงบิดเป็นศูนย์ ถ้ามอเตอร์หมุนไปใน ทิศทางใดทิศทางหนึ่งเนื่องจากโหลด T_L มอเตอร์จะสร้างแรงบิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อให้ สมดุลกับโหลด แรงที่เกิดขึ้นนี้เป็นพลังงานสะสมอยู่เมื่อมอเตอร์อยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ซึ่ง จะมีทิศทางตรงข้ามกับจุดสมมูลเริ่มต้น ผลของแรงเคลื่อนกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะมี ลักษณะคล้ายรูปคลื่นไซน์ (รูปร่างจริงจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโรเตอร์ และสเตเตอร์ซึ่งจะ มีคาบกับซีพินของโรเตอร์)

ค่าแรงบิดสูงสุดจะขึ้นอยู่กับกระแสจ่ายให้เฟสนั้น แรงบิดนี้จะถูกเรียกว่า โฮลดิ้งทอร์ก (Holding Torque) หรือ สเตติกทอร์ก ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของแรงบิด และ กระแสค่อนข้างจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น แต่จะมีขีดจำกัดที่คุณสมบัติการเกิดการอิมิตัวของ โรเตอร์ และสเตเตอร์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแม่เหล็กที่จุดอิมิตัวนี้จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของ ค่า แรงบิดเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ กระแสเฟส

แรงบิดของมอเตอร์จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่ไปครึ่งหนึ่งของระยะห่าง ซีพินโรเตอร์ ถ้าการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ข้ามจุดสมมูลไป หรือไปที่ตำแหน่งอื่น ซึ่งเป็น จำนวนเท่าของซีพินของโรเตอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียของพัลส์อินพุต ทำให้เกิดการไม่ ชิงโครไนส์ระหว่างคำสั่งพัลส์อินพุตกับการตอบสนองของสเต็ปการเคลื่อนที่ เพื่อให้เกิด เหตุการณ์นั้นมอเตอร์ต้องเกิดโฮลดิ้งทอร์กสูงกว่าโหลดทอร์ก

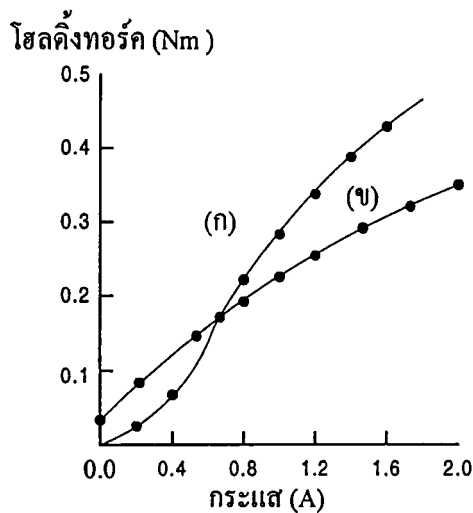
ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของโรเตอร์ผ่านจุดสมมูลเริ่มต้น ถ้าแรงเสียดทานมีค่า มากกว่าแรงบิด โรเตอร์จะหยุดก่อนถึงแรงสมมูล ความไม่แน่นอนของตำแหน่งจากจุด สมมูลคือความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง ค่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งนี้จะไม่มีการ สะสม การลดค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งต้องลดโหลด หรือเพิ่มโฮลดิ้งทอร์ก กราฟ แสดงคุณลักษณะทางสเตติกจะแสดงถึงความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.18

คุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเต็ป ($T - \theta$ characteristics) เป็นกราฟที่แสดงความ สัมพันธ์ระหว่างทอร์ก และตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ สเตติกทอร์กที่สูงสุด เรียกว่า “โฮลดิ้งทอร์ก” (Holding torque) ซึ่งเกิดขึ้นที่ $\theta = \theta_s$ ตำแหน่งที่เกิดโฮลดิ้งทอร์ก จะมีความ สัมพันธ์กับตำแหน่งสมมูลของโรเตอร์ โฮลดิ้งทอร์ก คือ ลักษณะมูลฐานทั้งหมดของมอเตอร์ ที่เป็นทอร์กที่สะสมอยู่ที่ตัวมอเตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของโรเตอร์ สเตติกทอร์ก และไดนามิกทอร์ก จะมีจุดเริ่มต้นที่โฮลดิ้งทอร์ก



รูปที่ 2.18 กราฟคุณลักษณะ T-θ ของสเต็ปปีงมอเตอร์

คุณลักษณะของทอร์กกับกระแส (T - I characteristics) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโพลคิงทอร์กกับกระแสที่จ่ายให้เฟสต่างๆของสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.19

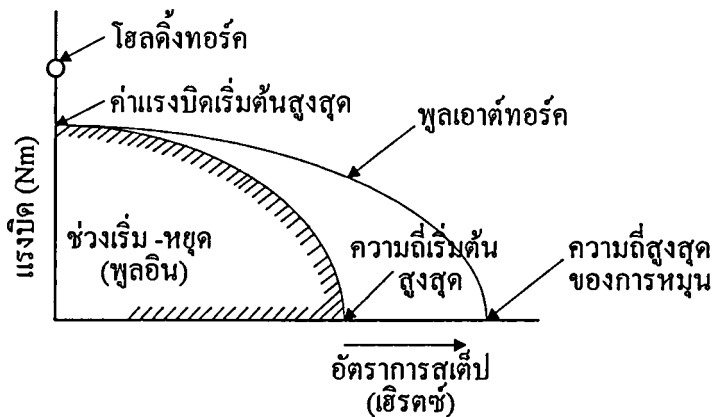


รูปที่ 2.19 กราฟคุณลักษณะ T - I ของสเต็ปปีงมอเตอร์โดยเส้นกราฟ
 (ก) สเต็ปปีงมอเตอร์ 1.8 องศาต่อสเต็ปปีงชนิดคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้
 (ข) สเต็ปปีงมอเตอร์ 1.8 องศาต่อสเต็ปปีงชนิดไฮบริด

2. คุณลักษณะทางไดนามิกของสแต็ปป์มอเตอร์

การพิจารณาเสถียรภาพของสแต็ปป์มอเตอร์พิจารณาเมื่อมอเตอร์ไม่ได้เคลื่อนที่ การพิจารณาคูณลักษณะทางไดนามิกของสแต็ปป์มอเตอร์ เป็นการพิจารณาความสามารถในการสร้างแรงบิดกับฟังก์ชันของความเร็ว ซึ่งศึกษาได้จากกราฟของผู้ผลิตซึ่งจะบอกถึงช่วงการใช้งานดังรูปที่ 2.20

ช่วง เริ่ม - หยุด การทำงานของมอเตอร์ในช่วงนี้ มอเตอร์จะหยุดหรือเริ่มใหม่ หรือเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามโดยปราศจากการสูญเสียเสถียร ช่วงเริ่ม - หยุด บางครั้งเรียกว่า ช่วงพูลอิน ค่าแรงบิดในการทำงานช่วงนี้เรียกว่า “ พูลอินทอร์ก ” (Pull - in torque) ค่าพูลอินทอร์กของสแต็ปป์มอเตอร์คือ ฟังก์ชันโหลดทอร์ก (Friction load torque) ซึ่งมอเตอร์สามารถหมุนหรือหยุดได้โดยปราศจากการขาดหายไปของสแต็ป ค่าพูลอินทอร์กขึ้นอยู่กับค่าโหลดทอร์ก



รูปที่ 2.20 กราฟคุณลักษณะทางไดนามิกของสแต็ปป์มอเตอร์

ช่วงมอเตอร์หมุน (Slew - range) จากกราฟเป็นช่วงที่แรงบิดต่ำ มอเตอร์ทำงานในช่วงนี้จะไม่สามารถหยุดหรือสแต็ปหรือเปลี่ยนทิศทางได้ช่วงการทำงานนี้อยู่ระหว่างช่วงกราฟของพูลอินทอร์กกับพูลเอาต์ทอร์กเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์การตอบสนองของมอเตอร์ที่ช่วงความถี่ต่างๆ จนถึงความถี่สูงสุด โดยการทำงานยังคงซิงโครไนส์กับวงจรถับพูลเอาต์ทอร์กของสแต็ปป์มอเตอร์ไม่ได้ถูกจำกัดไว้ที่จุดทำงานใดจุดทำงานหนึ่ง หรือมีทรานเฟอ์ฟังก์ชันมาเกี่ยวข้องเหมือนในกรณีซีมมอเตอร์การกำหนดกราฟนี้กำหนดให้มอเตอร์ทำงานเฉพาะภายในเส้นกราฟและไม่ทำงานภายนอกเส้นกราฟ กราฟของพูลเอาต์นี้

สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการขับเคลื่อน พูลเอาต์ทอร์คจะลดลงเมื่อ ความถี่สูงขึ้น

การดิปลิ่งให้เกิดแรงเฉื่อย หรือการใช้ระบบควบคุมแบบวงจรมืด จะช่วยให้ คุณสมบัติของแรงบิด และการตอบสนองต่อความถี่ดีขึ้น ซึ่งในระบบเปิดมอเตอร์จะสามารถ ทำงานที่ค่าแรงบิดต่ำกว่าค่าที่สามารถเป็นไปได้ แต่สำหรับการควบคุมวงจรมืดจะสามารถ ทำงานได้ที่ใกล้เคียงกราฟของไดนามิกทอร์ค ความถี่สูงสุดนี้บางครั้งถูกเรียกว่าค่าความถี่สูงสุด ของการหมุน (Maximum Slewing Frequency) ค่าแรงบิดสูงสุดของการเริ่มต้นการทำงานของ มอเตอร์ (Maximum Starting Torque) โดยที่มีความสัมพันธ์กับค่าพูลเอาต์ทอร์คสูงสุดซึ่งเป็น แรงบิดของแรงเสียดทานของโหลดมอเตอร์ยังสามารถเริ่มต้นการทำงานได้ โดยยังคง ชิงโครไนส์กับขบวนการคำสั่งพัลส์

3. พารามิเตอร์ต่างๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์

สัญลักษณ์ต่างๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์

N_r = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

N_s = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์

N_p = จำนวนเฟส

P_r = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)

P_s = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)

θ_s = มุมสเต็ป (องศา)

R_s = อัตราการสเต็ปหรือความเร็วในสเต็ป (สเต็ปต่อรอบ)

$X = N_s / N_p$ = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

1. ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์

$$P_r = 360 / N_r \text{ และ } P_s = 360 / N_s$$

2. มุมสเต็ป (Step angle) เป็นโรเตอร์เคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ได้เท่ากับ N_p สเต็ป ดังนั้นเราจะหมุนหามุมสเต็ปได้เป็น

$$\theta_s = P_r / N_p = 360 / N_r N_p \text{ องศาต่อสเต็ป}$$

3. อัตราการสเต็ป (Stepping rate) ความเร็วในการสเต็ปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360 / \theta_s = N_r N_p \text{ สเต็ปต่อรอบ}$$

4. ความเร็วของสเต็ปป์มอเตอร์ (Speed of stepping motor) เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ (f) สเต็ปต่อพัลส์ให้กับสเต็ปป์มอเตอร์จะสเต็ปไปด้วยความเร็ว (สเต็ปต่อพัลส์) คูณความถี่ (พัลส์ต่อวินาที)

$$I / R_s \text{ (รอบต่อสเต็ป)} \times (\text{พัลส์ต่อวินาที}) (\text{สเต็ปต่อพัลส์}) \times 60 \text{ (วินาทีต่อนาที)}$$

$$\text{ความเร็วของมอเตอร์ (w)} = 60 f / R_s = 60 f / N_r N_p$$

$$\text{หรือ } X = R_s / N_p (N_p + 1) = N_r / (N_p + 1)$$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (x) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเต็ปหรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

จากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ทำให้รู้ความสามารถในการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์อื่นที่สำคัญที่ต้องรู้ในการศึกษาควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ คือจำนวนสเต็ปต่อรอบ ที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ ความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งแสดงในลักษณะของความผิดพลาดเชิงมุมของตำแหน่งของการตอบสนองแบบสเต็ปเดียว เป็นต้น

2.3 เซลล์แสงอาทิตย์

ทุกๆ วินาทีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไฮโดรเจนปริมาณ 600 ล้านตัน เป็นฮีเลียม ในขณะที่เดียวกันจะปล่อยพลังงานออกมามหาศาลชนิดที่โลกเรานำมาใช้งานได้นับล้านๆ ปี แต่พลังงานที่ดวงอาทิตย์ปล่อยออกมาถึงโลกมนุษย์จริงๆ จำนวนเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร พลังงานของดวงอาทิตย์จะมาถึงโลกในเวลา 8 นาที ปล่อยมาในรูปของรังสีออกไปในเนื้อที่ถึง 3×10^7 ตารางกิโลเมตร ผิวโลกได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เพียง 113×10^6 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น จำนวนนี้เท่ากับ 4 ในพันล้านส่วน

เราเปลี่ยนพลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งมานี้ให้เป็นความร้อน หรือไฟฟ้าได้ด้วยการใช้ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวเมกนีโคไฮโดรไดนามิก และเซลล์สร้างไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ขณะนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประสบปัญหาสำคัญประการหนึ่ง คือ ต้นทุนสูงแต่มีข้อดีหลายประการเช่น

1. มีความสามารถในการใช้งานที่ถาวร (อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปีขึ้นไป)
2. เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้า ต่อน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่น
3. มีตามธรรมชาติ และจำนวนมหาศาล

4. นำมาใช้ผลิตกระแสไฟได้โดยตรง หรือโดยทางอ้อม ทำให้หมดปัญหาเรื่องระบบส่งกำลัง

5. เครื่องกำเนิดพลังงานโดยใช้แสงอาทิตย์ไม่ต้องมีอุปกรณ์ส่วนใดที่เคลื่อนไหว หรือโยกย้าย ทำให้บำรุงรักษาและดูแลสะดวก

6. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ

7.ปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินในระหว่างใช้งาน เช่น ไม่ก่อให้เกิดปัญหาไฟไหม้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็กเหมือนกับการใช้เครื่องไฟฟ้าทั่วไป

8. ใช้งานได้ในทุกสภาพพื้นที่ และ ภูมิอากาศ เช่น กลางทะเล หุบเขา ทะเลทราย หรืออวกาศ เป็นต้น

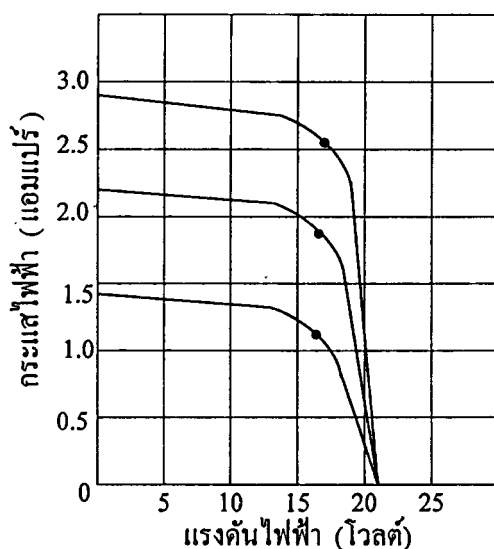
9. มีความเชื่อถือได้สูง

10. ไม่ต้องเสียค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

2.3.1 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

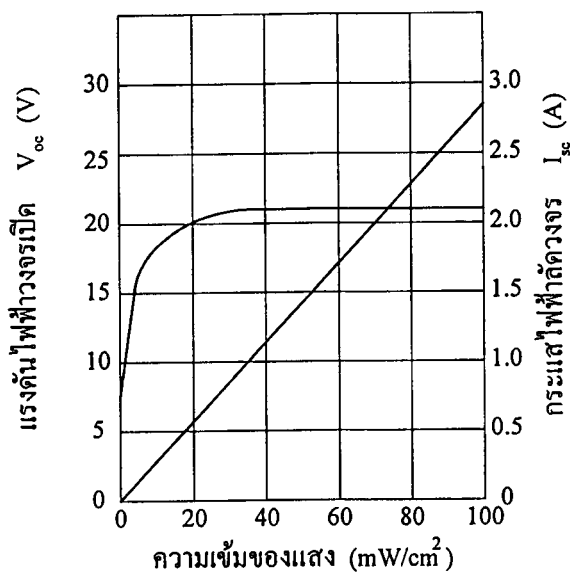
ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแยกออกได้ 3 ประการ คือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสคงที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน จากกราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดัน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้พลังงานสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลมในรูปที่ 2.21



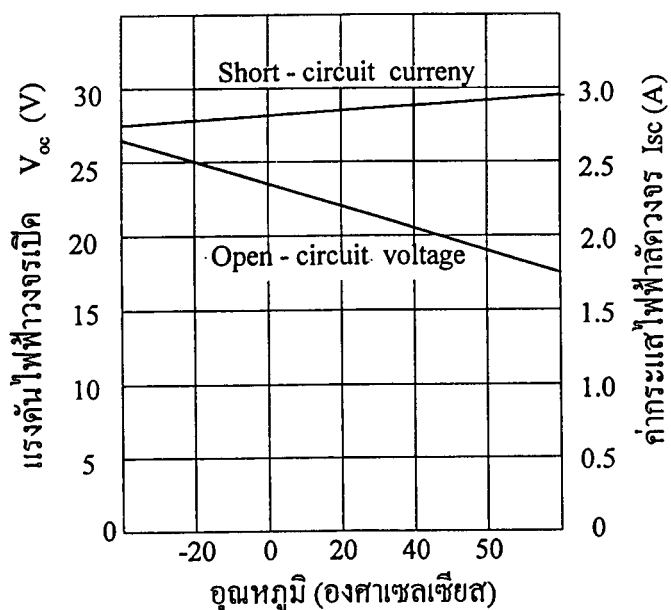
รูปที่ 2.21 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

2. กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรตามความเข้มของแสงเลย



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มของแสง

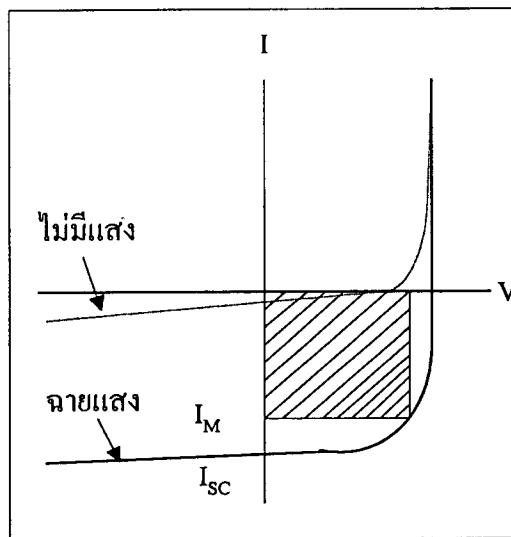
3. กระแสจะไม่แปรตามอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ

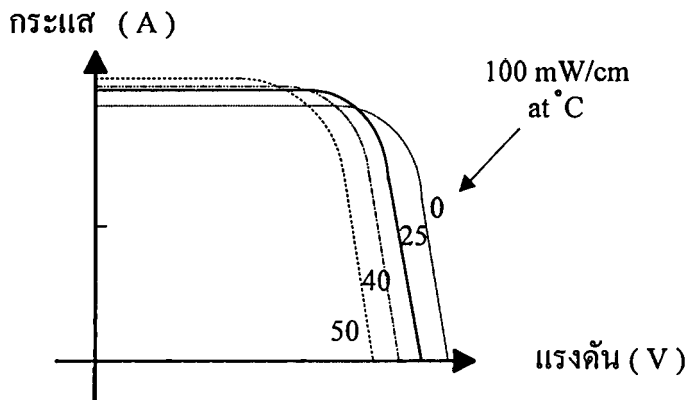
2.3.2 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ รอยต่อพี - เอ็น ซึ่งมีลักษณะทางไฟฟ้า เช่นเดียวกับไดโอดโดยทั่วไป ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแสแรงดันดังเส้นประในรูปที่ 2.24 ในสภาพไม่ถูกแสง และเมื่อมีการฉายแสงมาตกกระทบ รอยต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้น ลักษณะสมบัติกระแสแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นเส้นเต็มในรูปที่ 2.24 พื้นที่ภายใต้เส้นที่แรเงา คือ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานจริง ๆ นั้นจะกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดดังในรูปที่ 2.24 จุด I_M ซึ่งค่ากระแสและแรงดันนี้ยังมีเงื่อนไขอื่นๆ ที่ทำให้เปลี่ยนแปลงได้อีกคือ



รูปที่ 2.24 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

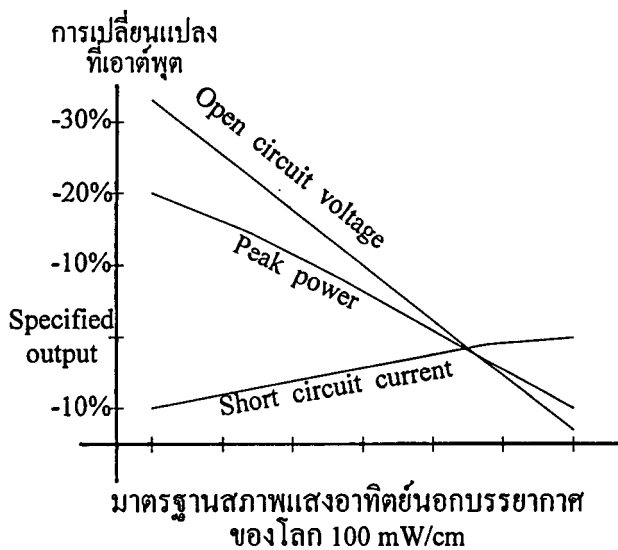
1. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมเปิด (Open circuit voltage = V_{OC}) เป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อเปิดวงจร (ไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า)
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Voltage = V_M) เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงเซลล์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้น อุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมา คือ คุณสมบัติของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพอสรุปได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.25
3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current = I_{SC}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.25 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันที่อุณหภูมิต่างๆ

4. ปริมาณของกระแสไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Current = I_M) เป็นปริมาณที่วัดได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง เนื่องจากขณะทำงานเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีพลังงานมากระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮล ดังนั้น หากแสงที่มากกระทบมีค่าสูงมากก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลสูงขึ้นด้วย

อุณหภูมิของเซลล์เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งผลก็คือจะทำให้พลังงานลดลง เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ผลของอุณหภูมิ

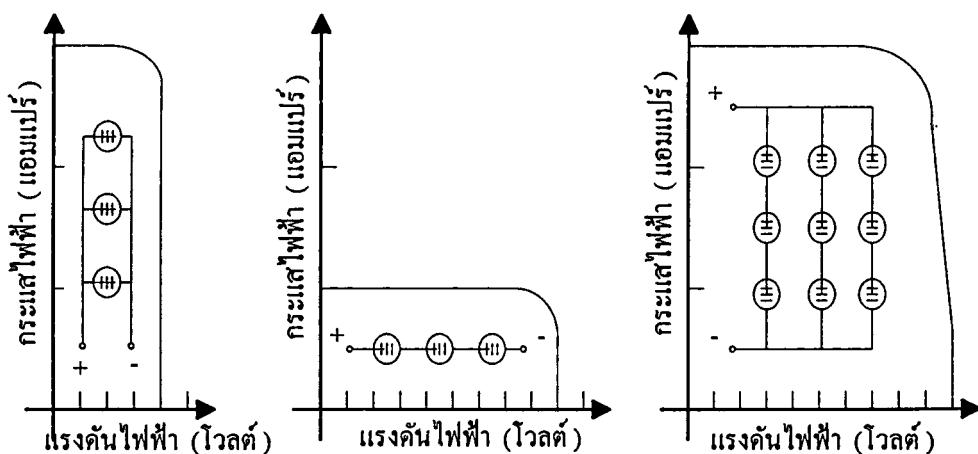
5. AM (Air Mass) ความเข้มของแสงวัดที่ $AM = 0$ (สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA) จะได้ค่า mW / cm^2 ส่วนความเข้มของแสงอาทิตย์วัดที่ $Am = 2$ (สภาพของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับพื้นโลก) จะมีค่าประมาณ $72 - 75 \cdot mW / cm^2$ $AM = 1.5$ ซึ่งนิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก จะมีความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ $100 mW / cm^2$

2.3.3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างๆ กัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยม ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) และแบบวงกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm) ซึ่งอาจถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ย่อยออกไปอีก เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าจะชิ้นใหญ่หรือว่าชิ้นเล็กจะมีแรงดันคงที่ประมาณ 0.5 โวลต์ แต่กระแสจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยจะให้กระแสลัดวงจรประมาณ $3 \text{ A} / 100 \text{ cm}^2$



รูปที่ 2.27 การต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดัน

และกระแสตามต้องการแบบขนานและอนุกรม

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบโดยอาศัยการนำชั้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนานตามต้องการ ดังรูปที่ 2.27 โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ จึงต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 32 ถึง 36 ชั้น ก็จะได้แรงดัน 16 ถึง 18 โวลต์ เพื่อที่จะประจุไฟลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ได้

2. กระจกนิรภัย

สามารถให้แสงผ่านได้สูง (Tempered Low Iron , High Transmission Glass) โดยให้แสงผ่านได้ถึง 92 %

3. EVA (Ethylene - Vinyl Acrylate)

สามารถเคลือบป้องกันไม่ให้ความชื้นและฝุ่นละอองถูกเซลล์แสงอาทิตย์

4. กรอบ (Frame)

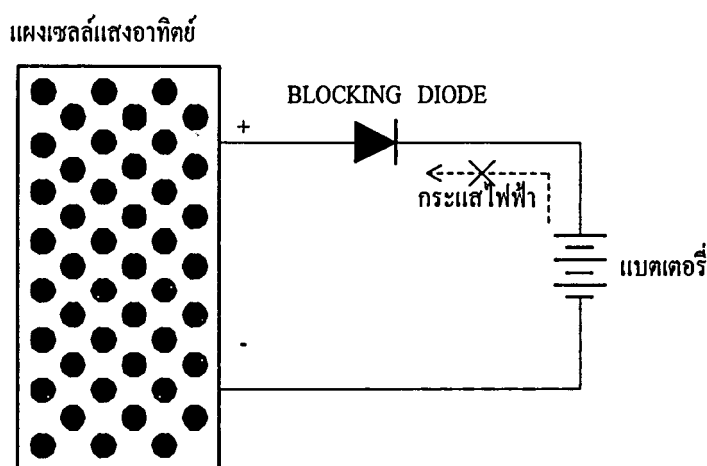
ใช้อลูมิเนียมชุบแข็ง (Anodised Aluminium) เพื่อทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศในประเทศไทยได้ดี หรือใช้วัสดุอื่นที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม

5. แผ่นยึดด้านหลัง (Back Cover)

ใช้สารโพลีเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Tedlar ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมบางๆแทรกอยู่ตรงกลาง

6. บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking Diode)

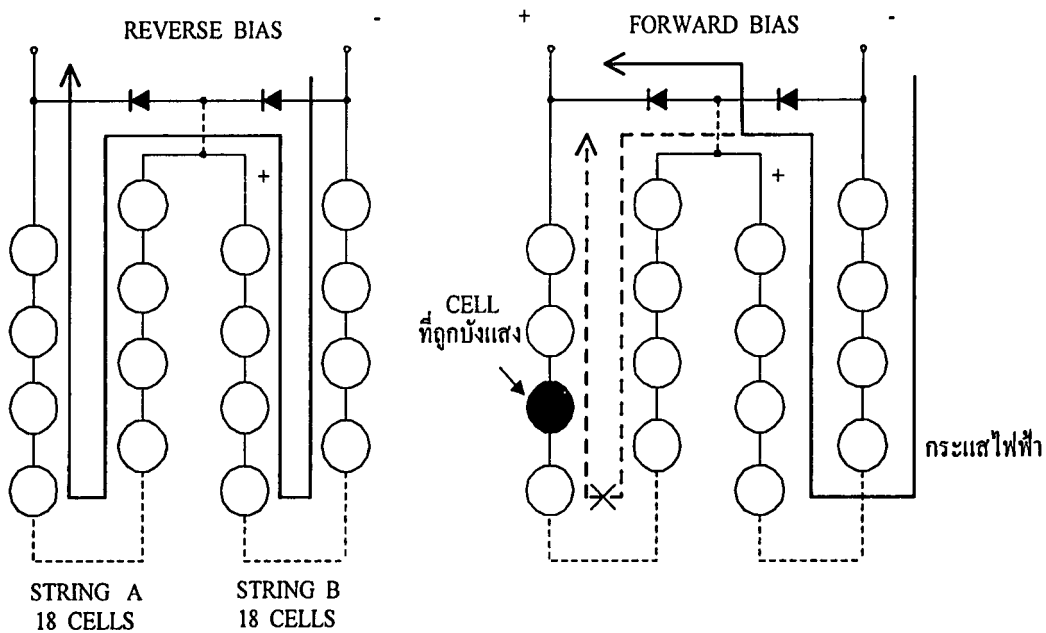
เป็นไดโอดที่ต่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสจากแบตเตอรี่ไหลกลับไปสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีแสงแดด ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 บล็อกกิ้งไดโอด

7. บายพาสไดโอด

เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แถว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสขาดวงจรและทำให้เกิดจุดไหม้บนเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีเงามาบังบนเซลล์ ในขณะที่ใช้งานปกติ บายพาสไดโอดจะถูกต่อแบบรีเวอร์สไบอัส กระแสในแต่ละแถวก็จะไหลตามปกติ แต่เมื่อเซลล์ตัวใดตัวหนึ่งถูกเงาบังหรือขาดวงจร บายพาสไดโอดก็จะถูกต่อแบบฟอร์เวิร์ด กระแสจะไหลผ่านตัวไดโอดโดยไม่ผ่านเซลล์แถวนั้นๆ ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การต่อบายพาสไดโอด และการทำงาน

2.3.4 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้แผงเซลล์ใหญ่เพียงอันเดียว แต่จะใช้โมดูลย่อยซึ่งมีระดับแรงดันมาตรฐานมาต่ออนุกรมหรือขนาน เพื่อให้ได้แรงดันและกำลังไฟฟ้าตามระบบที่ต้องการ

ซึ่งมีข้อควรจำในการต่อเซลล์โดยสังเขปดังนี้

1. เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า และแรงดันสูงๆ จะต้องนำเซลล์จำนวนหนึ่งมาต่ออนุกรม และขนานอยู่ในแผง

2. การเลือกเซลล์ให้เหมาะสมกัน ควรมีแรงดันวงจรเปิดเท่ากันทุกตัว และที่สำคัญที่สุดคือเซลล์ทุกตัวจะต้องมีแรงดันที่จุดกำลังไฟสูงสุดเหมือนกัน หรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ส่วนเซลล์ที่จะนำมาต่ออนุกรมควรมีกระแสลัดวงจรเหมือนกัน และมีกระแสที่จุดกำลังไฟสูงสุดเท่ากัน ถ้าหากใช้เซลล์ที่ไม่คู่ควรกัน ผลก็คือจะได้แผงที่ไม่มีประสิทธิภาพเพราะเซลล์ที่มีแรงดันและกระแสสูงกว่าจะเกิดการส่งถ่ายกำลังมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองกำลังไฟในเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ก็คือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อันนี้กำลังไฟจะเปลี่ยนไปตามเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดกำลังสิ้นเปลืองในเซลล์ก็ทำให้กำลังไฟที่ออกจากแผงลดลงโยงกันเป็นลูกโซ่

3. การป้องกันการเกิดปัญหา “ จุกร้อน ” ให้ใช้เซลล์ต่อขนานจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แล้วจึงต่ออนุกรมเป็นสตริง มีเซลล์ขั้วชุด 1 ตัว กำลังไฟจะตกไม่มาก ถ้าการต่อเซลล์ขนานจำนวนมากๆเป็นไปได้ยาก อาจแก้ปัญหา โดยการต่อไดโอดเบี่ยงคร่อมเซลล์ขนานในสตริง (คร่อมทุกๆ ซับ โมดูล) มันจะให้กระแสกลับจำนวนมากผ่านที่แรงดันกลับต่ำ เมื่อเซลล์ 1 ตัวขั้วชุด

2.3.5 ข้อควรระวัง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีคุณสมบัติในการรับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นในระหว่างการติดตั้งถ้านำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกันมากกว่า 2 แผงขึ้นไป จะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงขึ้นจึงควรใช้วัสดุที่บดแสงมาปิดทับบริเวณผิวด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

2. ในระหว่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 2 แผงขึ้นไป ไม่ควรให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายสัมผัสขั้วบวก - ลบ ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพราะอาจเกิดอันตรายจากไฟฟ้าได้

3. ไม่ควรให้เด็กเล็กๆ อยู่ใกล้บริเวณที่กำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. โปรดระมัดระวังไม่ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการกระทบกระเทือนอย่างแรงหรือขึ้นไปยืนค้ำบนแผง เพราะอาจจะทำให้กระจกแตก

5. โปรดอย่าทำการถอด แก้วอุปกรณ์ต่างๆ ในแผงโดยมิได้รับคำแนะนำจากบริษัท

6. ในระหว่างการติดตั้งอาจเกิดปัญหาการต่อขั้วผิดซึ่งอาจทำให้เกิดประกายไฟ ดังนั้นไม่ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้กับวัสดุที่ติดไฟง่าย เช่น แอลกอฮอล์ ก๊าซไวไฟ เป็นต้น

7. ในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงาน ควรหมั่นตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยสม่ำเสมอ เช่น ตรวจสอบน้ำกลั่น แรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่

2.3.6 การดูแลรักษา

1. ควรตรวจสอบสายไฟให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี
2. แผงที่ได้รับความเสียหาย เช่น กระจกแตกควรจะเปลี่ยนทันที เพื่อป้องกันอันตรายทางไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้น
3. ในกรณีที่ต้องการทำความสะอาดแผง ให้ใช้ผ้าชุบน้ำสะอาดบิดหมาดๆ เช็ดบริเวณผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ห้ามใช้น้ำยาเคมีทุกชนิด

2.4 แบตเตอรี่ (The Storage Battery)

แบตเตอรี่ คือ กลุ่มของเซลล์หรือเซลล์เคมีทางไฟฟ้า (Electrochemical Cells) ที่ต่อเรียงกันในเปลือกหุ้ม โดยเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ วิทยุ เป็นต้น จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ระหว่างแผ่นธาตุ (Plates) และน้ำยา (Electrolyte) น้ำยานี้ประกอบด้วยน้ำกรดและกำมะถัน ปฏิกิริยาทางเคมีนี้ทำให้อิเล็กตรอนไหลจากแบตเตอรี่เมื่อวงจรจากภายนอกระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ครบวงจร

ความจุของแบตเตอรี่ในการประจุกระแสไฟนี้มีขีดจำกัด ตามปกติขึ้นอยู่กับเนื้อที่ของผิวหน้าแผ่นธาตุที่ถูกกับกรด , จำนวนแผ่นธาตุต่อเซลล์ , และความเข้มข้นของกรดในน้ำยา หลังจากแผ่นธาตุได้ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันหมดแล้ว แบตเตอรี่จะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปได้ นั่นคือแบตเตอรี่อยู่ในสภาพไม่มีไฟหรือคายประจุ (Discharged) ดังนั้น การที่จะนำไปใช้งานใหม่อีก จะต้องทำการประจุใหม่ (Recharged) ในการประจุนี้ทำได้โดยใช้กระแสไฟตรงจากแหล่งกำเนิดภายนอกให้กระแสไฟไหลผ่านแบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่จ่ายออก การประจุนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นภายในหม้อแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical Device) สำหรับเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่กำลังจ่ายกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมีนี้หมดไป แบตเตอรี่จะไม่หมดไฟ

2.4.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

1. เซลล์ (Cell) ดังได้กล่าวแล้วว่าเซลล์ประกอบด้วยน้ำยาและแผ่นธาตุอยู่ในเปลือกหุ้ม แต่ละเซลล์มีฝาปิด (Vent Plug or Filler Cap) ซึ่งมีรูระบาย (Air Vent) เพื่อระบายแก๊สซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีและไฟฟ้า การเติมน้ำกลั่นทำได้โดยเปิดฝาปิดนี้ออกแล้วเติมให้ท่วมแผ่นธาตุ การต่อกันเป็นอันดับ (ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับขั้วลบของเซลล์ถัดไป) ของแบตเตอรี่จะทำให้กับแรงเคลื่อนเท่ากับผลบวกของแรงเคลื่อนแต่ละเซลล์ ก็คือจำนวน ขนาด และการจัดลำดับของเซลล์เป็นตัวกำหนดแรงเคลื่อนของแบตเตอรี่

2. แผ่นธาตุ (Element) แต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุ แผ่นธาตุทำด้วยตะกั่วหล่อเป็นตะแกรง (Grids) ใช้ฝังตะกั่วซึ่งผสมด้วยกาวยึด (Binding Material) อยู่กับตะแกรงซึ่งทำด้วยตะกั่วบริสุทธิ์ แผ่นธาตุมีสองชนิด คือ ชนิดแผ่นบวกและแผ่นลบสอดเข้าด้วยกัน ตามปกติแผ่นลบจะมีมากกว่าแผ่นบวก 1 แผ่น เช่น เซลล์หนึ่งมี 17 แผ่น จะมีแผ่นลบ 9 แผ่น แผ่นบวก 8 แผ่น นั่นคือแผ่นบวกทุกแผ่นจะมีแผ่นลบอยู่ทั้งสองข้างของตัวมันเพราะว่าปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นกับแผ่นบวกมากกว่าแผ่นลบ แผ่นบวกจึงมีน้อยกว่าแผ่นลบได้ ระหว่างแผ่นธาตุแต่ละแผ่นจะมีฉนวนกัน (Insulator) กันอยู่ ฉนวนกันนี้ทำด้วย ไม้ , ยาง , แก้ว , เซลลูโลส (Cellulose) โดยกรรมวิธีทางเคมี

3. ฉนวนกัน (Insulator) เป็นแผ่นฉนวนกันอยู่ระหว่างแผ่นบวกและแผ่นลบ ฉนวนกันจะอยู่ที่ด้านข้างแต่ละด้านของแผ่นบวก เพื่อป้องกันแผ่นบวกและลบสัมผัสกันจริงๆ แต่ฉนวนกันมีขนาดเล็กมากๆ ดังนั้นของเหลวในเซลล์ (น้ำยา) รั่วซึมได้จึงสามารถวนเวียนระหว่างแผ่นธาตุได้ง่าย การหมุนเวียนของน้ำยาเป็นสิ่งจำเป็นเพราะน้ำยาต้องสามารถเข้าไปยังผิวหน้าแผ่นธาตุทุกแผ่นเพื่อการเกิดปฏิกิริยาของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่บางแบบอาจจะใช้ฉนวนกันมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น ใช้ทั้งแบบแก้ว และไม้ ตามปกติตามฉนวนกันจะทำเป็นลูกฟูกในการประกอบแบตเตอรี่ใช้ทางที่เป็นลูกฟูกหันไปทางแผ่นบวก เพื่อเพิ่มบริเวณหรือเนื้อที่สำหรับน้ำยาในการหมุนเวียนรอบแผ่นบวก

4. สะพานไฟ (Cell Connectors) หรือเครื่องต่อระหว่างเซลล์ แต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่ต่ออันดับกัน ดังนั้นแรงเคลื่อนจะเพิ่มขึ้น สะพานไฟเป็นแท่งตะกั่วหนายึดอยู่กับขั้วของเซลล์ แบตเตอรี่บางแบบสะพานไฟติดตั้งอยู่ข้างบนหรือในฝาครอบเซลล์ ถ้าอยู่ในฝาครอบเซลล์จะมีสารผสมกันป้องกันอยู่ด้วย การสร้างแบบนี้เป็นการลดการรั่วไหลของกระแสข้ามผ่านด้านบนของฝาครอบเซลล์ ตำแหน่งที่ขั้วของเซลล์โผล่ขึ้นมาโดยไม่มีอะไรป้องกัน

ฝุ่นผงและความชื้นพยายามทำให้เกิดทางเดินขึ้นระหว่างขั้ว ทำให้เกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าขึ้นช้าๆ และในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้าหรือเก็บไฟฟ้าไม่ได้

5. เปลือกหม้อ ทำด้วยยางแข็ง (Hard Rubber) หล่อขึ้นรูปเปลือกหม้อนี้เป็นตัวรองรับอุปกรณ์อื่นๆของแบตเตอรี่ไว้ทั้งหมด

2.4.2 แรงเคลื่อนของเซลล์ (Cell Voltage)

เมื่อวัตถุทั้งสอง คือ PbO_2 (Lead Dioxide) และ Pb (Lead) จุ่มอยู่ในส่วนผสมของกรดกำมะถัน (Sulfuric acid = H_2SO_4) และน้ำ (Water = H_2O) ย่อมทำให้เกิดกำลังดันไฟฟ้า หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์ ระหว่างวัตถุทั้งสอง แม้ว่าจะมีแผ่นบวก 1 แผ่น และแผ่นลบ 1 แผ่นก็จะมีค่า 2 โวลต์เช่นเดียวกัน

การต่อเซลล์เป็นอนุกรม การต่อเซลล์แบตเตอรี่ 3 เซลล์อนุกรมกัน เป็นการรวมแรงเคลื่อนของแต่ละเซลล์เข้าด้วยกันจะได้ 6 โวลต์ และถ้าต่อ 6 เซลล์อันดับกันจะได้ 12 โวลต์ แต่ผลรวมของกระแสจะไม่เพิ่มขึ้นโดยการต่อแบบนี้ ในการเพิ่มผลรวมของแรงเคลื่อนจากการต่ออันดับกันนี้ กระแสจะถูกผลักดันเป็นจำนวนมาก 3 - 6 เท่า ในวงจรที่มีความต้านทานซึ่งได้จัดไว้สำหรับเซลล์เพื่อส่งกระแสจำนวนมากนั้น

2.4.3 ปฏิกริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ (Chemical Action in The Battery Cell)

กระแสเกิดขึ้นจากปฏิกริยาทางเคมีระหว่างวัตถุในแผ่นธาตุและกรดกำมะถันในน้ำยาวัตถุที่ไวต่อการเกิดปฏิกริยาในแผ่นบวกคือ PbO_2 และในแผ่นลบคือ Pb

เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟออก นั่นคือ ให้กระแสไฟ ปฏิกริยาทางเคมีเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.32 เมื่อเริ่มปฏิกริยา โมเลกุลของกรดกำมะถันแยกออกเป็น H_2 (Hydrogen) และ SO_4 (Sulphate) SO_4 อันหนึ่งรวมกับ Pb ในแผ่นลบ ส่วน SO_4 อีกอันหนึ่งรวมกับ Pb ในแผ่นบวกเกิดเป็น $PbSO_4$ หรือตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ในแผ่นธาตุแต่ละแผ่นปฏิกริยานี้ทำให้ออกซิเจน (O_2) 2 อะตอมเป็นอิสระจากแผ่นบวกจึงเข้าร่วมกับไฮโดรเจน ซึ่งเหลือภายหลังจาก SO_4 โดยเข้าไปรวมกับแผ่นธาตุออกซิเจนและไฮโดรเจนรวมกันเข้าเป็นโมเลกุล (H_2O) ซึ่งก็คือน้ำธรรมดา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในระหว่างที่จ่ายไฟออกตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุทั้งสอง ในขณะที่กรดกำมะถันในน้ำยาถูกน้ำ (H_2O) เข้ามาแทนที่

$PbO_2 + Pb + 2PbSO_4 + 2H_2O$ จากที่แสดงนี้เป็นเพียงไม่กี่โมเลกุล จริงๆแล้วมีเป็นพันๆล้านโมเลกุลเป็นแผ่นธาตุและน้ำยา แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมดที่แยกตัวออกและรวมกันใหม่เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟ

2.4.4 ทิศทางการไหลของกระแสไฟ (Direction of Current Flow)

กระแสหรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดจากการเคลื่อนย้ายของ SO_4 และ O_2 ไปมาจากแผ่นธาตุ ในส่วนต่างๆของโมเลกุลที่เรียกว่าไอออน (Ions) นำอิเล็กตรอนจากแผ่นบวกไปยังแผ่นลบจากผลอันนี้ทำให้ขั้วลบมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งในขณะที่ขั้วบวกทำการสร้างอิเล็กตรอนที่ขาดแคลนไปเมื่อวงจรภายนอกทั้งสองครบวงจร อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังวงจรภายนอกและเข้าไปยังขั้วบวก

ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นนานเท่าที่มีจำนวนโมเลกุลของ PbO_2 และ H_2SO_4 อยู่เพื่อแยกตัวและรวมตัวใหม่เป็นโมเลกุลของ PbSO_4 และ H_2O เมื่อโมเลกุลทั้งหมดนี้หมดไปไม่สามารถแยกและรวมตัวกันใหม่ได้ แบตเตอรี่นั้นจะไม่มีไฟฟ้าซึ่งต้องนำไปประจุไฟใหม่

2.4.5 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นจะเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Eletromotive Force หรือย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้น (โดยปกติจะอยู่ประมาณ 1.5 โวลต์) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาเป็นอาโนดและคาโทดและชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์ สำหรับเซลล์ใหม่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด อยู่เล็กน้อยคือประมาณ 1.06 โวลต์และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำประมาณ 1.2 โวลต์เมื่อเซลล์เก่าและคายประจุหมด

เซลล์ไฟฟ้าซึ่งมีตัวกำเนิดแรงดันค่า 1.5 โวลต์ และมีค่าความต้านทานภายใน (R_1) ค่า 10 โอห์มต่ออยู่กับความต้านทานซึ่งเป็นวงจรภายนอกมีค่า 1.5 โวลต์ต่อกิโลโอห์ม เราสามารถคำนวณค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรโดยใช้กฎของโอห์มได้ คือ

$$I = 1.5 / 150 = 1 \text{ มิลลิแอมแปร์}$$

อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ออนุกรมอยู่ก็มีผลต่อค่ากระแสและต้องนำเข้ามาคิดด้วย เราจะเห็นตัวต้านทาน 2 ตัวต่อกันอยู่ในวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายนอกค่า 1.5 กิโลโอห์ม นั้นเท่ากับ

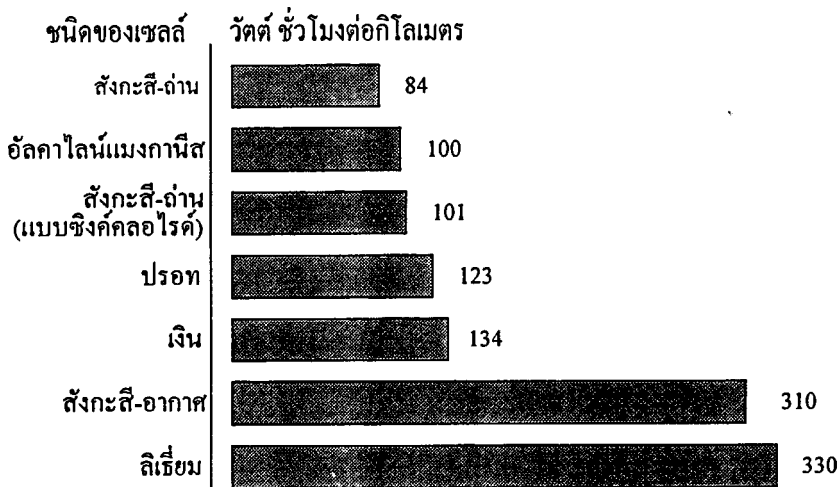
$$\begin{aligned} V_{R2} &= (R_2 / R_1) + (R_2 \times 1.5) \\ &= (1,500 / 10) + (1,500 \times 1.5) \\ &= 1.49 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

ซึ่งต่ำกว่าที่คาดไว้ และค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานภายนอกเท่ากับ

$$I = 1.49 / 1,500 = 0.99 \text{ มิลลิแอมแปร์}$$

2.4.6 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะที่สำคัญอีกอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาเพื่อจะทราบชนิดของเซลล์แบบต่างๆ นั่นก็คือ ค่าความจุของเซลล์ ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์หนึ่งสามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมแปร์ชั่วโมงหมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์) เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมแปร์ เป็นระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง หรือจ่ายกระแสได้ 100 มิลลิแอมแปร์เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมแปร์เป็นเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น

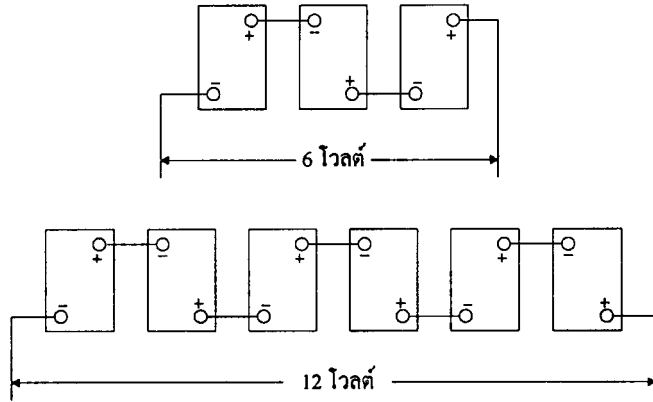
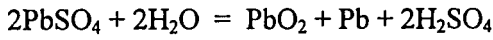


รูปที่ 2.30 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆเมื่อพิจารณาน้ำหนักด้วย

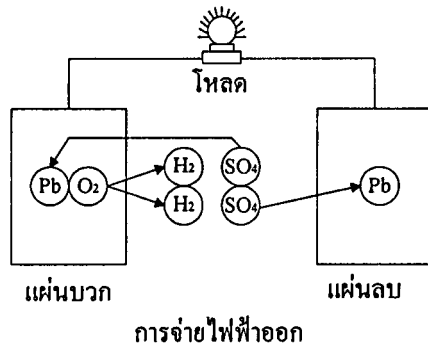
2.4.7 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่ (Recharging The Battery)

การประจุไฟใหม่ให้แบตเตอรี่จะต้องใช้แรงดันอิเล็กตรอนเข้าไปในแผ่นลบและกำจัดมันจากแผ่นบวก หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าใช้กระแสไฟฟ้าดันผ่านแบตเตอรี่กระแสไฟฟ้านี้จะต้องไหลผ่านแบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่กระแสไหลในระหว่างแบตเตอรี่จ่ายไฟออกในระหว่างการประจุไฟใหม่ รูปที่ 2.33 น้ำ (H_2O) จะแตกตัวเป็นไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน (O) ส่วน SO_4 เคลื่อนจากแผ่นธาตุกลับไปยังน้ำยา รวมตัวกับไฮโดรเจนเกิดเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) อีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันอะตอมของออกซิเจนจะกลับไปยังแผ่นบวกทำให้แผ่นบวกเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์อีกครั้งหนึ่งพร้อมกันนั้นกรดกำมะถันปรากฏ

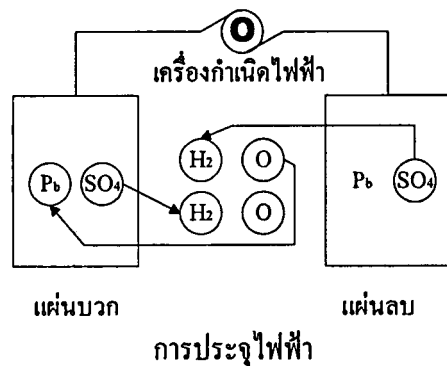
ขึ้นใหม่ในน้ำยาแทนน้ำ ส่วนตะกั่วซัลเฟตที่หายไปจากแผ่นธาตุทั้งสองจะทำให้และแผ่นบวกกลายเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์แผ่นลบเป็นตะกั่วธรรมดา เมื่อตะกั่วซัลเฟตหายไปจากแผ่นธาตุหมดก็กล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ได้รับการประจุใหม่ สูตรทางเคมีเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุ คือ



รูปที่ 2.31 การต่อแบตเตอรี่



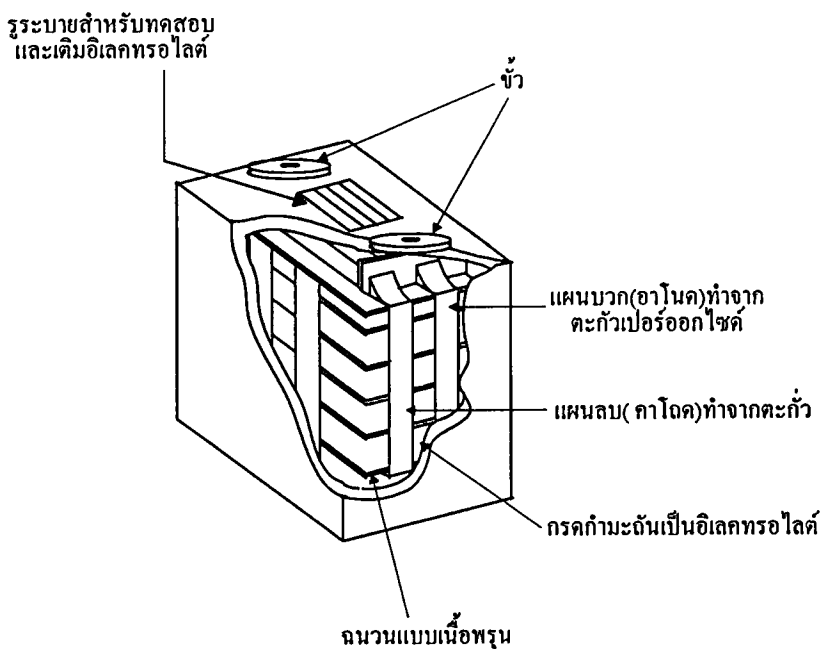
รูปที่ 2.32 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการจ่ายไฟฟ้าออก



รูปที่ 2.33 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบขณะที่ได้รับการประจุไฟฟ้า

2.4.8 เซลล์แบบตะกั่ว - กรด (Lead Acid)

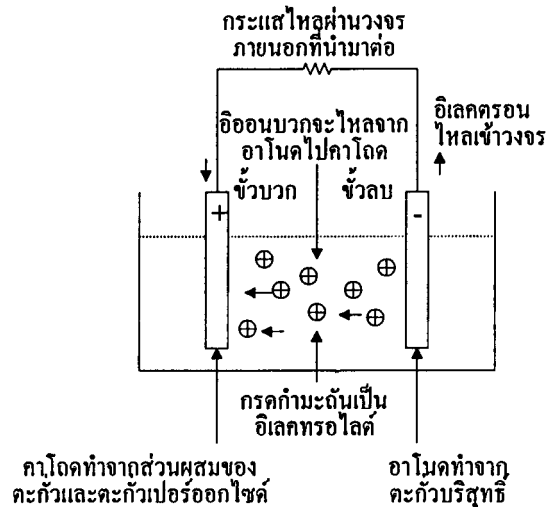
เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.34 ซึ่งเราจะประกอบด้วยแผ่นคาโอดและแผ่นแอนโนดวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มากในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์เท่าไร ปฏิกริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์ยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้ก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆกันด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน



รูปที่ 2.34 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว - กรด

อิเล็กโทรดที่เป็นแอนโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่ คาโอดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนด จะแตกตัวเป็นไอออนที่เป็นประจุบวกและจะเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่ต่อภายนอกดังรูปที่ 2.35

ที่คาโอด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่อาโนด ทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโอดผ่านไปยังวงจรภายนอก



รูปที่ 2.35 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากอาโนด

การประจุกลับเข้าไปใหม่ของตะกั่วกรด

การประจุเซลล์แบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการป้อนกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโอด (ขั้วบวก) และขั้วอาโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกจะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เป็นเซลล์เดี่ยวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ ถึง 2.5 โวลต์

เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปมีประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าไปประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่า

มากตามไปด้วยหรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (Cyclic) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มทีแล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย เราสามารถใช้ประจุอย่างเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับที่ประจุไว้ และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมา ถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขนี้การประจุเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมงถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุให้คงที่อยู่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

2.5 ออปแอมป์

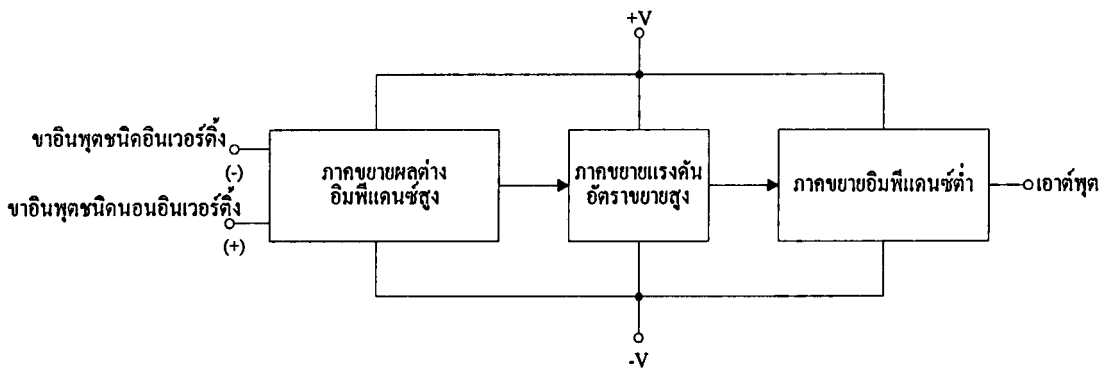
ออปแอมป์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีตออปแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัวที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะชิ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้มีขนาดใหญ่แล้วยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ปัจจุบันเราสามารถซื้อออปแอมป์ในรูปของวงจรรวม ได้ตามท้องตลาดและจากคุณสมบัติไอซีออปแอมป์ที่ได้พัฒนาขึ้น ทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไป

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่าไอซีออปแอมป์ คืออุปกรณ์โซลิดสเตท (Solid state) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรงและไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆ ดังนี้ คือ

1. คิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือวงจรขยายผลต่างที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก
2. วงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายสูง
3. วงจรขยายภาคเอาต์พุตที่มี เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก

ดังในรูปที่ 2.36 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรภายในต่างๆของออปแอมป์ ดังกล่าว และจากรูปจะสังเกตว่าแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวก และลบ เพื่อให้เอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งซึ่งบวกและลบเทียบกับกราวด์

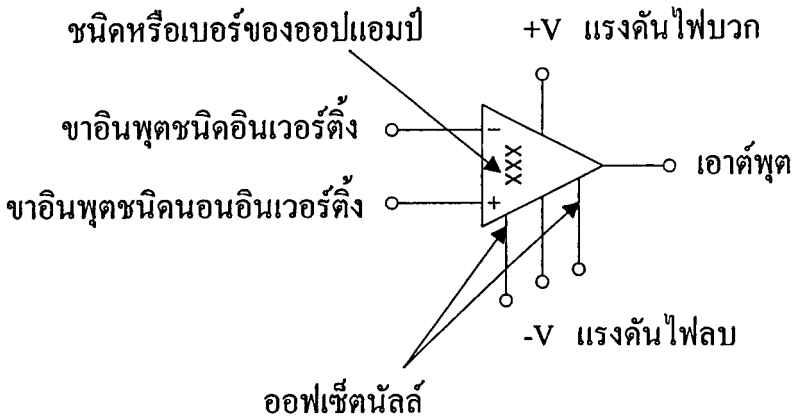


รูปที่ 2.36 แผนผังการทำงานของวงจรภายในภาคต่างๆของออปแอมป์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติดังนี้

1. เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุตจะต่ำจนเกือบเท่ากับศูนย์หรืออีกนัยหนึ่ง ไม่มีกระแสอินพุตเข้าสู่ออปแอมป์เลย.
 2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่า แรงดันระหว่างขาอินพุตควรมีค่าใกล้ศูนย์ (เนื่องจาก $\frac{V_{out}}{A} = V_{in}$)
 3. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็น โหลดต่อภาคเอาต์พุตของวงจรขยาย
- รูปที่ 2.37 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขาอินพุต 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว

ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกันดังนี้ คือสำหรับขั้วลบเมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่งสัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุต 180° ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวกเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุต ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เครื่องหมายที่อินพุต คือ การแสดงเฟสที่เอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือชดเชยความถี่นั้น โดยมากมักจะไม่ได้ถูกแสดงในวงจรทั่วไป



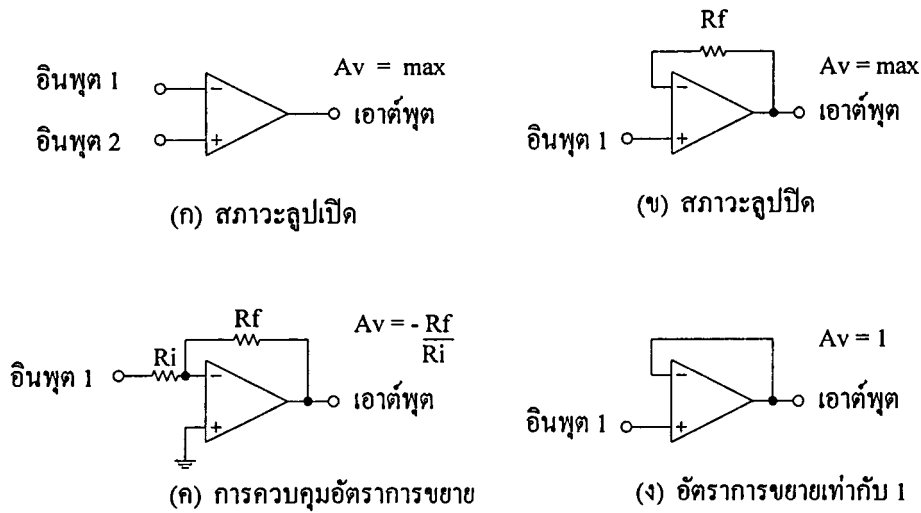
รูปที่ 2.37 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

2.5.2 ลักษณะการทำงาน

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราขยายจะมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 หรือ 1,000,000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป (A_v) ดังแสดงในรูปที่ 2.38 (ก) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขาอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นไปหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย A_v) หากจะถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้น เอาต์พุตก็สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าประมาณ 90 % ของแรงดันแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถนำออปแอมป์ ในขณะเปิดลูปใช้งานเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันที เมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขาอินพุตของออปแอมป์

การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้นนอกจากนี้จะพบว่าการใช้งานของออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดังรูปที่ 2.38 (ข) การป้อนกลับในรูปใช้ตัวต้านทาน RF เพียงตัวเดียวซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขณะที่เดียวกันอัตราขยายจะลดลงด้วย

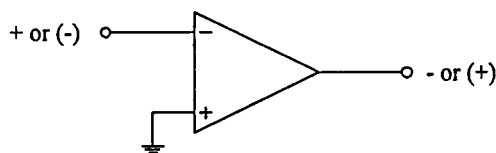


รูปที่ 2.38 ลักษณะของวงจรในอุดมคติของออปแอมป์

วงจรในรูปที่ 2.38 (ค) แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับมายังอินพุต นอกจากนี้ยังควบคุมอัตราขยายแรงดันได้ (ในขณะปิดลูป) โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้น ทำให้อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าดังสมการ

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i} \quad (2.1)$$

โดยที่เครื่องหมาย แสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุตเมื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุต ส่วนวงจรในรูปที่ 2.38 (ง) แสดงการป้อนกลับในกรณีที่มี $A_v = 1$ คุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดนี้คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ต่อไปและนอกจากนี้คุณสมบัติอีกประการหนึ่ง ที่ควรศึกษา คือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้ในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 ความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของออปแอมป์

1. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้ว + , เอาต์พุตเป็น -
2. ถ้าขั้ว + มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้ว + , เอาต์พุตเป็น +

2.5.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุตอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกะโอห์ม ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากเท่าใดออปแอมป์ตัวนั้น จะทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งาน ในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุตคาปาซิแตนซ์ของวงจรด้วยซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด เมื่อขั้วอินพุตขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามเรามักสมมติให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณและวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ ออปแอมป์ จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพีแดนซ์แมทซิ่ง (Impedance Matching) ที่ดีตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสด้านอินพุต

เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสค่าน้อยๆ (มีหน่วยเป็นนาโนแอมแปร์ถึงไมโครแอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุตทั้งสองซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น “ กระแสไบอัสด้านอินพุต ” กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาต์พุตด้วย ดังนั้นกระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุตเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซต (Offset) ที่เอาต์พุต

แรงดันออฟเซตที่เอาต์พุต เกิดขึ้นที่กระแสไบอัสด้านอินพุต ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุตระหว่างขั้วทั้งสอง มีค่าเท่ากันแรงดันที่เอาต์พุตควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือมักมีแรงค่านึงปรากฏที่เอาต์พุตขณะที่อินพุตเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการป้อนแรงดันหรือกระแสออฟเซตที่อินพุตแล้วปรับจนได้ $V_{out} = 0$ โวลต์

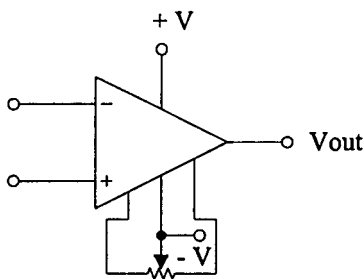
5. กระแสออฟเซตที่อินพุต

ในการปรับแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุตทั้งสองขั้ว ควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่า ต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุตขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้กระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมแปร์

6. แรงดันออฟเซตที่อินพุต

ในอุดมคติแรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์ เมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเป็นศูนย์ เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติความไม่สมดุลย์ภายในวงจร มักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุตใดๆเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

7. การปรับออฟเซตให้เป็นศูนย์ (Offset Nulling)



ตัวความต้านทานปรับแรงดันออฟเซต

รูปที่ 2.40 วงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่อปแอมป์

ในการปรับแรงดันเอาต์พุตให้เป็นศูนย์ หรือการปรับแรงดันออฟเซตที่อินพุตให้เป็นศูนย์นั้นเราอาจใช้ขั้ว Offset Nulling ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้วโดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียดของอปแอมป์เบอร์นั้นๆ รูปที่ 2.40 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่อปแอมป์ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็คอุปกรณ์ที่ต้องนำมาต่อ
2. ลดระดับสัญญาณอินพุตจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุตอยู่ให้ตรวจสอบ ดังนี้

ก) ถ้าตัวต้านทานนั้น มีค่าสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตตั้งแต่ 1% ขึ้นไปปล่อยตัวต้านทานไว้เช่นเดิม

ข) หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุต เข้าแทน

ค) ต่อโหนดเข้ายังขั้วเอาต์พุต

ง) ป้อนไฟตรงให้วงจร

จ) วัดแรงดันที่เอาต์พุตด้วยโวลต์มิเตอร์ หรือออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาต์พุตอาจมีค่าต่ำ เพียงไม่มีลิลิโวลต์ ดังนั้นควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม)

ฉ) ปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์

ช) ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไปแล้ว ต่อวงจรดังเดิมแต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิดสเตททุกชนิดรวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้นผลกระทบจากอุณหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอุณหภูมิตั้งแต่ “ คริปท์ ” ดังนั้นในขณะที่ทำงานควรตรวจสอบด้วยว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผลิตพลากน้อยเพียงใดหากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

9. การชดเชยความถี่

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับออปแอมป์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงก็คือ การออสซิลเลต (Oscillation) ซึ่งเกิดจากอัตราขยายที่มีค่าค่อนข้างสูงของออปแอมป์เอง และยังเกิดการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ณ จุดต่างๆ ภายในวงจรเป็นผลให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราขยายของสัญญาณป้อนกลับได้ วิธีแก้ปัญหาคือ ต่อตัวเก็บประจุชดเชยให้แก่วงจรซึ่งจะทำให้อัตราขยายของออปแอมป์มีขนาดลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

10. อัตราสลัว (Slew Rate)

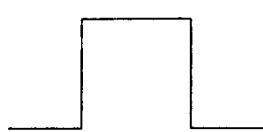
อัตราสลัว คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาดังสมการ

อัตราสลัว = $\frac{\text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุต}}{\text{การเปลี่ยนแปลงเวลา}}$

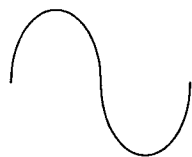
$$= \frac{\Delta V_{out} (\text{max})}{\Delta t}$$

ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งมีอัตราสลัวเท่ากับ 0.5 โวลต์ต่อไมโครวินาที แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตสำหรับออปแอมป์ตัวนี้มีค่า 0.5 โวลต์ภายในเวลา 1×10^{-6} วินาที โดยมีค่าคาปาซิแตนซ์ของตัวเก็บประจุเป็นตัวจำกัดอัตราสลัวของ

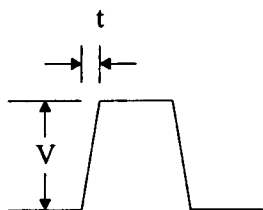
ออปแอมป์ (ตัวเก็บประจุที่ว่่านี้อาจเป็นชนิดที่ต่อจากภายนอก หรือตัวเก็บประจุภายในไอซีเองก็ได้) อัตราส่วว่ที่มีค่าต่ำจะเป็นผลให้แรงดันที่เอาต์พุตมีการตอบสนองเปลี่ยนแปลงช้าลงเมื่อเทียบกับอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 2.41 เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่สูงขึ้นเท่าใด อัตราส่วว่จะมีบทบาทการตอบสนอง ณ เอาต์พุตอย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเอาต์พุต ที่เพี้ยนมากขึ้น หากอัตราส่วว่มีค่าน้อย หรืออีกนัยหนึ่งออปแอมป์ที่มี อัตราส่วว่สูงจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่านั่นเอง



รูปสัญญาณอินพุต



รูปสัญญาณอินพุต

รูปสัญญาณเอาต์พุต
(ก) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมรูปสัญญาณเอาต์พุต
(ข) รูปคลื่นไซน์

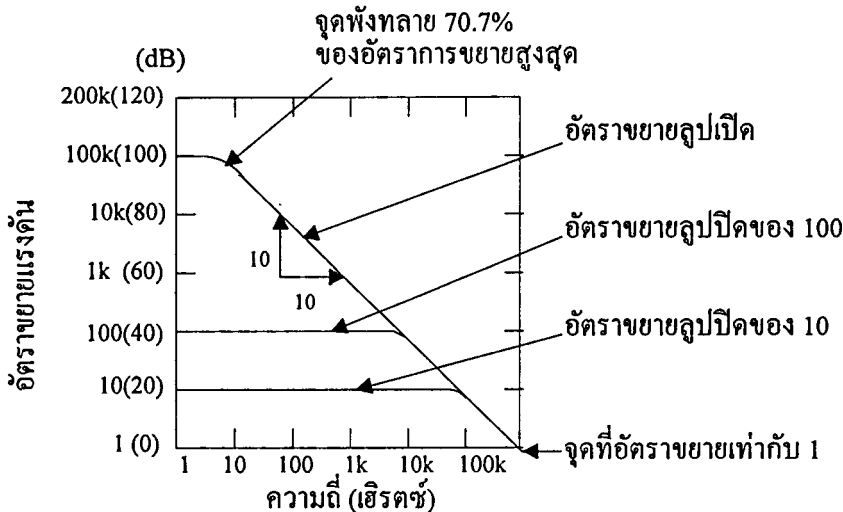
รูปที่ 2.41 อัตราส่วว่มีผลต่อการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต

11. การตอบสนองต่อความถี่

อัตราขยายของออปแอมป์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.42 จะพบว่าอัตราขยายที่ผู้ผลิตแสดงไว้ในคาต้าชีท จะเป็นอัตราขยายที่ความถี่ 0 เฮิรตซ์ หรือไฟตรง (ซึ่งแสดงให้เห็นความสูงส่วว่ของออปแอมป์) ในการทำงานแบบรูปเปิดจะเห็นได้ว่า วงจรมีเสถียรภาพต่ำมากนั่นคือ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นสิบเท่าอัตราขยายจะลดลง 10 เท่าทันที

โดยทั่วไปแบนด์วิดท์ของวงจรจะหมายถึงช่วงความถี่ที่อัตราขยายมีค่า 70.7 % ของอัตราขยายสูงส่วว่จากตัวอย่างในรูป แบนด์วิดท์ของออปแอมป์ขณะเปิดคูลูป จะมีค่าประมาณ 10 เฮิรตซ์ ดังนั้นหากต้องการให้วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงๆ จะต้องป้อนสัญญาณจากเอาต์พุตกลับมายังอินพุต (การป้อนกลับแบบลบ) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของ

รูปปิดลดลง แต่ในขณะเดียวกันความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7 % ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (Unity - Gain Point) จะแสดงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง



รูปที่ 2.42 อัตราการขยายของออปแอมป์เทียบกับความถี่

12. ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์

เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่าผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่เสมอไป และเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้จะหาได้จากรายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์) ผลคูณนี้มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น หากเราพบว่า ความถี่ที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง (หากกรายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติอุปกรณ์) มีค่าเป็น 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.42) และอัตราขยายของวงจรที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 100 ดังนั้นความถี่สูงสุดที่เราประมาณไว้ควรมีค่าอยู่ประมาณ

$$BW \text{ (แบนด์วิดท์)} = \frac{1,000,000}{100} = 10 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์}$$

13. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (Common - Mode Rejection Ratio)

เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ ที่ได้มาจากภาคอินพุตที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่าหากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุตทั้งสองมีเฟสตรงกัน และมีขนาดเท่ากัน (สัญญาณแบบนี้เรียกว่าอยู่ในคอมมอนโหมด) สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป ดังนั้น

เอาต์พุตจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

15. หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใดๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$A_v = \frac{X_{out}}{X_{in}}$$

โดยที่ X เป็นแรงดัน หรือกระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยามหาอัตราขยายจากสมการ

$$\text{dB} = 20 \log A_v$$

2.5.4 ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจ

การนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งาน ผู้ใช้ควรศึกษารายละเอียดข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุด หรือเสียหาย ค่าต่างๆ ที่ควรรู้ได้แก่

- ก) แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง $\pm V$ (Supply Voltage)
- ข) กำลังที่สูญเสียในตัวไอซี (Power Dissipation) ซึ่งแสดงกำลังสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถปลดปล่อยออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่สูง จนทำให้ไอซีพัง
- ค) แรงดันสูงสุดระหว่างขาอินพุต (Differential Input Voltage)
- ง) แรงดันสูงสุดที่อินพุตแต่ละขา (Input Voltage)
- จ) ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาต์พุต (Output Short-Circuit Duration)
- ฉ) อุณหภูมิที่ใช้งาน (Operating Temperature)
- ช) อุณหภูมิที่ใช้เก็บอุปกรณ์ (Storage - Temperature)
- ณ) อุณหภูมิของขาอุปกรณ์ (Lead temperature) แสดงอุณหภูมิที่ไอซีสามารถทนได้ในขณะที่ถูกบัดกรี

2.5.5 ชนิดและรูปแบบต่างๆ ของออปแอมป์

ออปแอมป์ได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว แต่ว่าการนำออปแอมป์ในรูปแบบของไอซี ซึ่งสามารถใช้งานได้ดัดนั้นเพิ่งจะเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1963 เท่านั้น นำโดยการเสนอออปแอมป์เบอร์ $\mu\text{A} 702$ ของบริษัท Fairchild Semiconductor จนกระทั่งปัจจุบันออปแอมป์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีความสามารถสูงกว่าเดิมมาก แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งชนิดของออปแอมป์ได้เป็นกลุ่มหรือตระกูล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของออปแอมป์ออกเป็นกลุ่มหรือตระกูล

กลุ่ม	ลักษณะการใช้งาน	คุณสมบัติพิเศษ
1	ใช้กับงานทั่วไป	ใช้งานได้ในช่วงความถี่ DC จนถึง 1 เมกกะเฮิร์ตซ์
2	ใช้กับสัญญาณ DC ได้ดี	มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงทำให้กระแสไบอัสมีค่าต่ำ
3	ใช้กับสัญญาณ AC ได้ดี	มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และอัตราสลับมีค่าสูง
4	ใช้กับแรงดันสูงและวงจรที่ต้องใช้กำลังมาก	สามารถใช้บังคับโพลได้โดยตรง
5	ชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว	เช่น ออปแอมป์ชนิดที่สามารถโปรแกรมได้เป็นต้น

2.6 ทฤษฎีหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

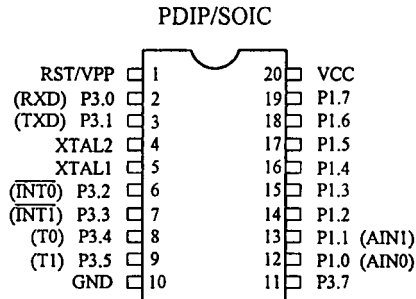
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว (Single Chip) เลือกใช้เบอร์ AT89C2051 มีขนาด 20 ขา

2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C2051

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C2051 มีดังนี้

1. มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (On-Chip Program Memory) ขนาด 2 กิโลไบต์
2. สามารถเขียนและลบได้ถึง 1000 ครั้ง
3. สามารถทำงานได้ตั้งแต่ 2.7 โวลต์ ถึง 6 โวลต์
4. มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว 128 ไบต์
5. มีไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ (Timer / Counters) ขนาด 16 บิตจำนวน 2 ตัว
6. มีขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 15 บิต

2.6.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51 เบอร์ AT89C2051



รูปที่ 2.43 การจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์
ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C2051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C2051 มีหน้าที่การทำงานแต่ละขา ดังนี้

1. ขา Vcc เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยงบวก 5 โวลต์
2. ขา Vss เป็นขากาวด์
3. ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ P1.0 - P1.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตเป็นแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้ขาพอร์ต P1.0 - P1.1 จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา AIN0 และ AIN1 ตามลำดับ
4. ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 7 ขา ได้แก่ P3.0 - P3.5 และ P3.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไปโดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตเพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นหน้าที่พิเศษต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2
5. ขารีเซ็ต (RST) ใช้รีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการรีเซ็ตต้องคงสถานะเป็น "1" อย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิลในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่
6. ขา XTAL₁ และ XTAL₂ เป็นขาอินพุต และเอาต์พุตของวงจรมอสเฟตออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (Inverting Oscillator Amplifier) สำหรับใช้ต่อพ่วงกับคริสตัลภายนอก

ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3

ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD (Serial input port)
P3.1	TXD (Serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (Timer 0 external input)
P3.5	T1 (Timer 1 external input)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

การออกแบบโครงการเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีส่วนประกอบสำคัญ คือ การขับเคลื่อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแนววงโคจรของดวงอาทิตย์ และการนำพลังงานมาประจุแบตเตอรี่และตรวจสอบระดับแรงดัน

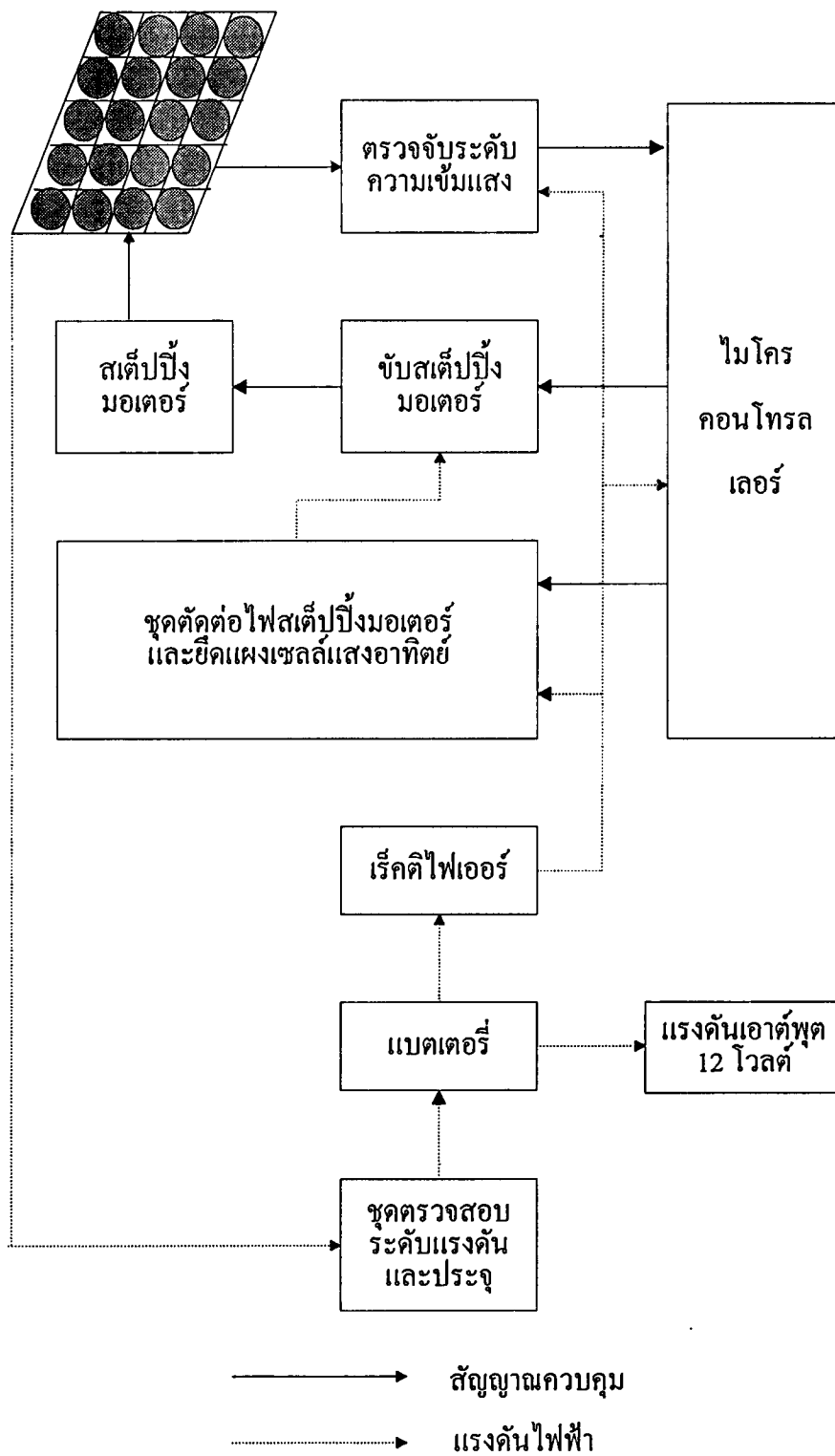
การขับเคลื่อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแนวโคจรจะ ใช้การตรวจหาว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ที่ใดจะใช้ตัวความต้านทานเปลี่ยนค่าตามความเข้มของแสง (LDR) ทั้งหมด 3 ตัว ในการตรวจจับโดย LDR 1 กับ LDR 2 จะเป็นตัวตรวจจับปริมาณความเข้มของแสง ถ้าปริมาณความเข้มของแสงมีค่าไม่เท่ากันไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนหาตำแหน่งที่มีปริมาณความเข้มของแสงเท่ากัน นั่นคือ LDR 1 และ LDR 2 ตั้งฉากกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์พอดี ส่วน LDR 3 ใช้ตรวจสอบว่าขณะนี้ มีแสงอาทิตย์หรือไม่ เช่น กรณีไม่มีแสงแดด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่ประมวลผลค่าจาก LDR 1 และ LDR 2 ถ้ามีแสงอาทิตย์ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจะประมวลผล

การนำพลังงานมาประจุแบตเตอรี่และตรวจสอบระดับแรงดันแบตเตอรี่จะใช้แบตเตอรี่ชนิดเซลล์เปียกขนาด 12 โวลต์ 70 แอมแปร์ ซึ่งจะมียังจรสำหรับตรวจสอบระดับการประจุแบตเตอรี่ว่าอยู่ในระดับใด ถ้าแรงดันเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ก็จะหยุดประจุเองโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของแบตเตอรี่

โครงการเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง
3. วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์
4. วงจรตัดต่อสเต็ปปีงมอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
5. วงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่
6. วงจรรีคตีไฟเออร์

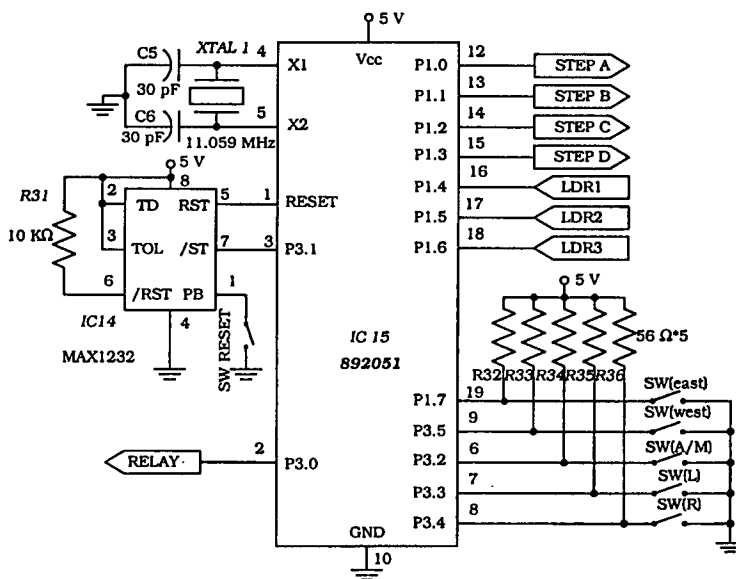
7. ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 892051 ซึ่งเป็นไอซี 20 ขา มีขนาดเล็ก พอร์ตใช้งาน 2 พอร์ตได้แก่ พอร์ต 1 (Port1) และพอร์ต 3 (Port3) โดยนำพอร์ต 1.0 ถึงพอร์ต 1.3 ไปควบคุมการทำงานของสแต็ปมอเตอร์ การควบคุมสแต็ปมอเตอร์จะควบคุมแต่ละบิตสลับกันไป วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์มีการทำงาน 2 แบบ คือ แบบควบคุมด้วยมือ อาศัยพอร์ต 3.2 เลือกสถานะว่าต้องการควบคุมด้วยมือ หรือควบคุมการทำงานอัตโนมัติ และใช้พอร์ต 3.3 ควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปทางซ้าย ใช้พอร์ต 3.4 ควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปทางขวา และการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติโดยใช้พอร์ต 1.4 พอร์ต 1.5 และพอร์ต 1.6 รับสถานะของลอจิกที่มาจากวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงที่ได้มาจาก LDR 3 ตัวได้แก่ LDR 1 และ LDR 2 ตรวจสอบแนวโคจรของดวงอาทิตย์ และอาศัย LDR 3 ตรวจสอบความเข้มแสง ในกรณีกลางวัน กลางคืน และกรณีที่ไม่มีแสง วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้พอร์ต 3.0 ควบคุมการตัดต่อไฟให้กับสแต็ปมอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

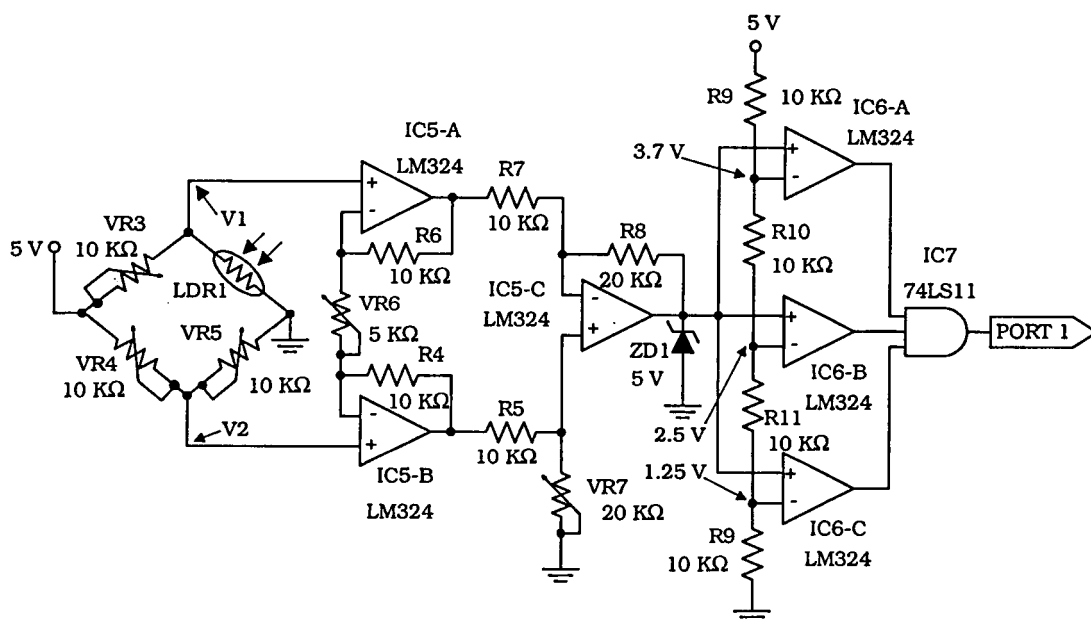


รูปที่ 3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงานของวงจรเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางตะวันตกจนกระทั่งไปชนสวิตช์ตะวันตก ($SW_{(west)}$) ซึ่งต่ออยู่กับพอร์ต 3.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุด หรือเคลื่อนที่กลับไปทางทิศตะวันออก และเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกจนกระทั่งชนกับสวิตช์ตะวันออก ($SW_{(east)}$) ซึ่งต่ออยู่กับพอร์ต 1.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุด หรือเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก นอกจากนั้นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ยังประกอบไปด้วย วงจรรีเซ็ต และว็อลต์ด็อก โดยใช้ชิพเบอร์ MAX1232 ซึ่งการรีเซ็ตจะเกิดขึ้นอัตโนมัติในกรณีที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์หยุดการทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณจากพอร์ต 3.1 ไปกระตุ้นที่ขา ST ของ MAX1232 อยู่ตลอดเวลา เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์หยุดการทำงาน ทำให้สัญญาณที่ไปกระตุ้นขาดหายไปภายในเวลา 1.2 วินาที MAX1232 จะทำการรีเซ็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยอัตโนมัติ และในกรณีที่ระดับแรงดันของวงจรต่ำกว่าร้อยละ 1 ของ ไฟเลี้ยง หรือ 4.5 โวลต์ วงจรว็อลต์ด็อก จะรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์โดยอัตโนมัติ

3.3 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง

วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงมีด้วยกันทั้งหมด 3 ตัว เพื่อความแน่นอนในการนำไปใช้ประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในที่นี้จะอธิบายเพียงวงจรเดียว



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง

วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงนี้จะมีตัว LDR ต่อเป็นวงจรบริดจ์

1. สภาวะปกติ (ไม่มีแสงแดด) บริดจ์จะต่ออยู่ในสภาวะสมดุล นั่นคือ แรงดันที่ V1 มีค่าเท่ากับแรงดันที่ V2 คือ 2.5 โวลต์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับโดยวงจรอินสทรูเมนต์แอมป์ โดยการใช้ออปแอมป์เบอร์ LM324 เป็นตัวเปรียบเทียบ ถ้าค่าอินพุตไม่แตกต่างกันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ (ลอจิก “0”) ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$A_v = \left[\frac{R_8}{R_7} \right] \left[\frac{2R_6}{VR_6} + 1 \right] \quad (3.1)$$

$$V_1 = V_2 - V_1 \quad (3.2)$$

$$V_o = A_v(V_2 - V_1) \quad (3.3)$$

แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะถูกควบคุมโดยซีเนอร์ไดโอด ZD₁ เพื่อไม่ให้แรงดันเกิน 5 โวลต์ เป็นส่วนป้องกันการเสียหายแก่ภาคต่อไป

เอาต์พุตจาก ZD₁ จะนำมาเข้าวงจรจัดระดับแรงดัน เพื่อเป็นตัวกำหนดว่าจะให้แรงดันค่าตั้งแต่เท่าไรเป็นลอจิก 0 หรือเป็นลอจิก 1 ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับคือ

ที่ขาลบของ IC6-C มีแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 1.25 โวลต์

ที่ขาลบของ IC6-B มีแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 2.5 โวลต์

ที่ขาลบของ IC6-A มีแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 3.75 โวลต์

แรงดันที่ตกคร่อม R₉ มีแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 5 โวลต์

ซึ่งในสภาวะปกติ (ไม่มีแสงแดด) เอาต์พุตที่ IC5-C จะได้แรงดันเท่ากับ 0 โวลต์ เมื่อนำเข้าขาลบของ IC6-C เปรียบเทียบแรงดันอ้างอิง 1.25 โวลต์ จะได้เอาต์พุตที่ IC6-C เป็นแรงดันทางขาลบเปรียบเสมือนมีค่าเป็น 0 โวลต์ ที่ IC6-B ก็จะได้แรงดัน 2.5 โวลต์ที่ศักย์ขาลบเปรียบเสมือนเอาต์พุต IC6-B มีค่าเป็น 0 โวลต์ ที่ IC6-A ก็เช่นเดียวกัน เอาต์พุตที่ IC6-A จะมีค่าเป็นลบ เมื่อนำเอาต์พุตทั้งสามมาเข้า AND GATE ก็จะได้ Logic ที่เป็น “0” โดยสมบูรณ์

2. เมื่อมีแสงแดดมาตกกระทบ LDR ที่ให้บริดจ์ไม่สมดุลเป็นผลให้แรงดันที่ V1 มีค่าลดลง เนื่องจากความต้านทานของ LDR จะเพิ่มขึ้น แต่ V2 มีค่าเท่าเดิม คือ 2.5 โวลต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโดยวงจรอินสทรูเมนต์แอมป์ (IC5) ก็จะได้โวลต์เตจที่เอาต์พุตออกมามีค่าหนึ่ง

เอาต์พุตที่ได้จะถูกขยายโดย IC5-C ก็จะได้เอาต์พุตออกมา 4 ถึง 5 โวลต์ โดยการปรับที่ VR6 ให้ได้อัตราขยายตามต้องการ

จากนั้นก็นำเอาต์พุตที่ได้ไปเปรียบเทียบแรงดันโดย IC6

- ที่ IC6-C มีค่าแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 1.25 โวลต์เมื่อเทียบกับแรงดันเอาต์พุตจากวงจรอินสทรูเมนต์แอมป์ มีค่า 4 ถึง 5 โวลต์ ก็จะได้เอาต์พุตออกมา 4 ถึง 5 โวลต์ เนื่องจากมีศักย์เป็นบวกมากกว่าเท่ากับ ลอจิก “1”

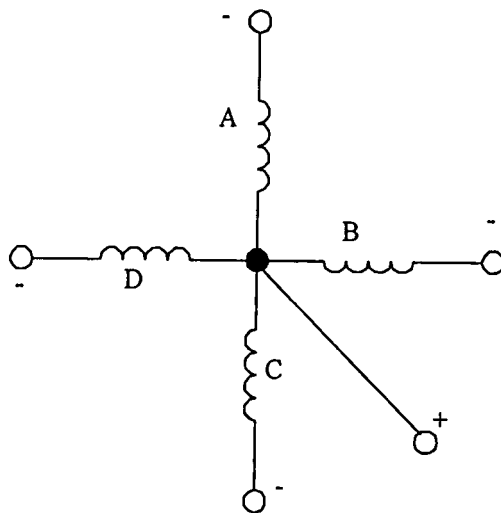
- ที่ IC6-B แรงดันอ้างอิงเท่ากับ 2.5 โวลต์ที่ขาลบ เมื่อมีการเปรียบเทียบกับเอาต์พุตจาก IC5-C ที่มีค่า 4 ถึง 5 โวลต์ ก็จะได้เอาต์พุตออกมาที่ IC6-B มีค่า 4 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งเท่ากับ ลอจิก “1”

- ที่ IC6-A แรงดันอ้างอิงเท่ากับ 3.75 โวลต์ที่ขาลบ เมื่อมีการเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ IC5-C แล้ว IC5-C มีศักย์มากกว่า ก็จะได้เอาต์พุตออกมาที่ IC6-A มีค่าเท่ากับ 4 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งเท่ากับลอจิก“1”

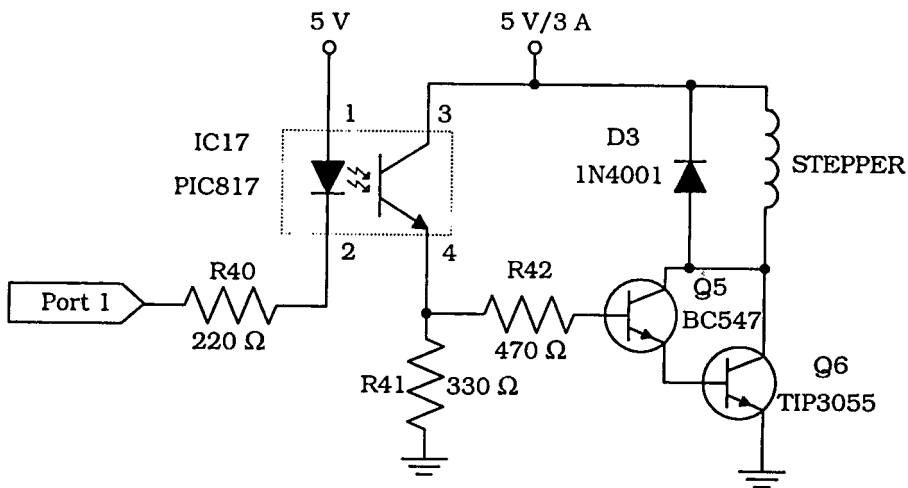
เมื่อนำเอาต์พุตทั้ง 3 เอาต์พุตมาเข้า AND GATE ก็จะได้ลอจิกที่เป็น “1” โดยสมบูรณ์

3.4 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์เป็นแบบ UNIPOLAR โดยการทำงานของวงจรจะป้อนลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กับชุดขับสเต็ปป์มอเตอร์



รูปที่ 3.4 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ UNIPOLAR



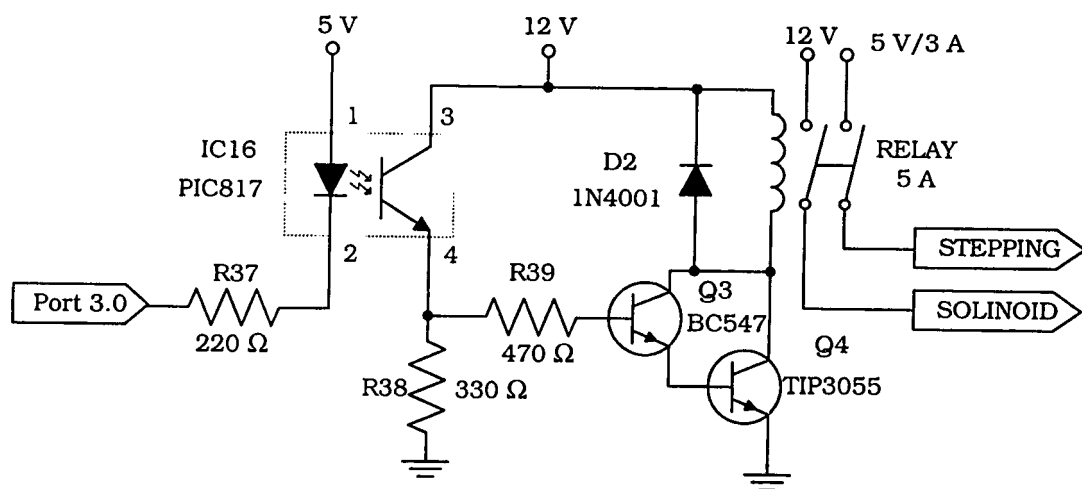
รูปที่ 3.5 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

หลักการการทำงานของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์อาศัยคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยลอจิกที่สามารถทำให้ชุดขับสเต็ปปีงมอเตอร์ทำงาน คือ ลอจิก “0” เมื่อมีคำสั่งส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีลอจิกเป็น “0” LED ภายในออปโต PIC817 จะนำกระแสโดยมีความต้านทานค่า 220 โอห์ม ทำหน้าที่จำกัดกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน PIC817 นำกระแสจะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่านความต้านทาน 330 โอห์ม ลงกราวด์ และอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านความต้านทาน 470 โอห์ม ไปไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 และ TIP3055 ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองนี้จะทำการต่อแบบคาร์ลิงตันกัน สามารถขับกระแสได้ 5 แอมแปร์ เมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแส ทำให้กระแสไหลจากแหล่งจ่ายไปผ่านยังขดลวดสเต็ปปีงมอเตอร์ครบวงจร ส่วนไดโอด 1N4001 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ ในขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์จะมีทั้งหมด 4 ชุด แต่ละชุดนำไปขับขดลวดแต่ละขด สำหรับชุดจ่ายไฟของขดลวดสเต็ปปีงมอเตอร์กับชุดจ่ายไฟของอินพุตจะแยกอิสระต่อกัน เพื่อตัดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน และปัญหาอื่นๆ ที่จะเข้ามารบกวนระบบควบคุมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5 วงจรตัดต่อไฟสเต็ปปีงมอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรตัดต่อไฟสเต็ปปีงมอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัส 2 ชุด โดยหน้าสัมผัสชุดแรกทำหน้าที่ตัดต่อไฟเลี้ยงสเต็ปปีงมอเตอร์ ในขณะที่แผงเซลล์แสง

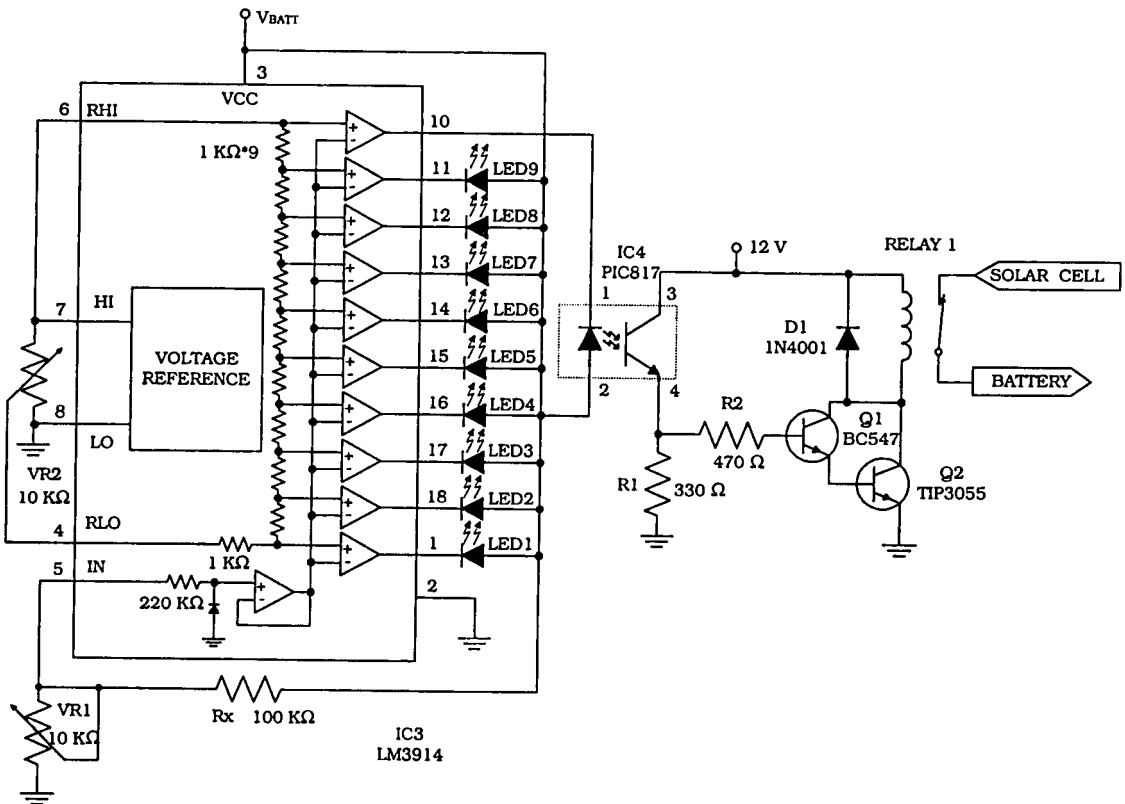
อาทิตย์อยู่กับที่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และหน้าสัมผัสอีกชุดหนึ่งจะทำหน้าที่ตัดต่อไฟเลี้ยงของขดลวดโซลินอยด์ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หยุดหมุนไม่มีไฟไปเลี้ยงโซลินอยด์ ทำให้แกนของโซลินอยด์ที่มีสปริงไปยึดอยู่กับเฟือง เพื่อไม่ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุน และในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังหมุนจะมีไฟเลี้ยงขดลวดโซลินอยด์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดึงแกนลงมา



รูปที่ 3.6 วงจรตัดต่อไฟเลี้ยงสเต็ปป์มอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการการทำงานของวงจรตัดต่อไฟสเต็ปป์มอเตอร์ และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีบิตเป็น “1” PIC817 จะไม่ทำงาน เมื่อสั่งให้มีลอจิกเป็น “0” LED ที่อยู่ในออปโตไดโอด PIC817 จะนำกระแส โดยมี R37 ทำหน้าที่จำกัดกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ที่อยู่ใน PIC817 นำกระแส จะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่าน R38 ลงกราวด์ และอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่าน R39 ไปไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 เบอร์ BC547 และ TIP3055 ตามลำดับ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ต่อแบบคาร์ลิงตัน เมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแสทำให้รีเลย์นำกระแสไปด้วย ส่วนไดโอด D2 ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่ทำความเสียหายให้กับทรานซิสเตอร์เมื่อมีกระแสไหลย้อนกลับ ในขณะที่รีเลย์หยุดการทำงาน สำหรับชุดจ่ายไฟของรีเลย์กับชุดจ่ายไฟของอินพุทจะแยกอิสระจากกัน เพื่อตัดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน และปัญหาอื่นที่จะเข้ามารบกวนระบบควบคุมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 วงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจสอบระดับแรงดัน และประจุแบตเตอรี่

วงจรมีบอกระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในขณะนั้น โดยใช้ไอซีเบอร์ LM3914 ซึ่งใช้ LED 10 ตัว เป็นตัวแสดงผลแบบลิเนียร์สเกล โดยจะกำหนดให้แสดงระดับแรงดันอยู่ในช่วง 11 ถึง 15 โวลต์ ซึ่งมีย่านความกว้างของแรงดันเท่ากับ 4 โวลต์ ดังนั้น ความแตกต่างของแรงดันในการติดสว่างของ LED ตัวข้างเคียงจะมีค่าเท่ากับ $4/10$ เท่ากับ 0.4 โวลต์

การทำงานของวงจรภายในไอซีเบอร์ LM3914 จะมีวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงออกมาทางขา REF HI (ขา 7) และ REF LO (ขา 8) มีความแตกต่างของแรงดันทั้ง 2 ขา เท่ากับ 1.2 โวลต์ ดังนั้น เมื่อต่อขา 8 ลงกราวด์ที่ขา 7 จึงมีแรงดันเท่ากัน และค่าแรงดันนี้จะนำไปเป็นค่าแรงดันอ้างอิงค่าสูงที่สุดจะทำให้ LED ตัวสุดท้าย คือ LED 10 สว่าง นั่น แสดงว่าแรงดันอินพุตที่ขา 5 ที่จะทำให้ LED 10 สว่างมีค่าเท่ากับ 1.2 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันสูงสุดที่วงจรแสดงผลได้ ส่วนแรงดันต่ำสุดที่จะให้วงจรแสดงผลได้จะขึ้นอยู่กับแรงดัน RLo ที่ขา 4 ซึ่งได้จากการแบ่งแรงดันอ้างอิง REF HI ที่ขา 7 ด้วย VR2 เช่น ถ้าแรงดันที่ขา 4 มีค่า 0.8 โวลต์ ดังนั้น แรงดันอินพุตที่ขา 5 จะต้องมีค่ามากกว่า 0.8 โวลต์เล็กน้อย จึงทำให้ LED 1 สว่าง

ส่วน Rx และ VR1 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากแบตเตอรี่ให้ลดลงเป็นค่าที่ต้องการ เพื่อป้อนเป็นแรงดันอินพุตที่ขา 5 ของไอซีแสดงระดับแรงดัน อัตราการแบ่งแรงดันหรือหารแรงดัน สามารถหาได้จากแรงดันของแบตเตอรี่สูงสุดที่จะให้วงจรแสดงค่าสูงสุด กับแรงดันอ้างอิงสูงสุดคือ RHI ที่ขา 6 นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราแบ่งแรงดันที่ต้องการ} &= \frac{VBatt \max}{Vret \max} \\ &= \frac{15}{1.2} \text{ V} = 12.5 \text{ V} \end{aligned}$$

หาแรงดัน RLO

แรงดันอ้างอิงต่ำที่สุดที่ขา 4 สามารถหาได้จากแรงดันแบตเตอรี่ค่าต่ำสุดที่จะทำให้ LED1 ทำงาน หารด้วยอัตราการแบ่งแรงดันของ Rx กับ VR1 นั่นคือ

$$\text{แรงดัน } RLO = \frac{VBatt \max}{Vref \max} = \frac{11}{12.5} = 0.88 \text{ V}$$

เพราะฉะนั้นเราต้องปรับ VR2 ให้แรงดันที่ขา 4 มีค่า = 0.88 โวลต์

หาค่าของ Rx และ VR1

จากอัตราการแบ่งแรงดันที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 12.5 โวลต์

กำหนด Rx เท่ากับ 100 กิโลโอห์ม และแรงดันอินพุตที่ขา 5 สูงสุดเท่ากับแรงดันอ้างอิงสูงสุดเท่ากับ 1.2 โวลต์ และแรงดันแบตเตอรี่สูงสุด 15 โวลต์

สูตร

$$\begin{aligned} V_{in} &= \frac{VBatt VR1}{VR1 + R_x} \\ 1.2 &= \frac{15 VR1}{VR1 + 100 K\Omega} \end{aligned}$$

$$\frac{VR1}{VR1 + 100 K\Omega} = \frac{1.2}{15} = 0.08$$

กลับเศษเป็นส่วน

$$\frac{VR1 + 100 K\Omega}{VR1} = 12.5$$

$$1 + \frac{100 K\Omega}{VR1} = 12.5$$

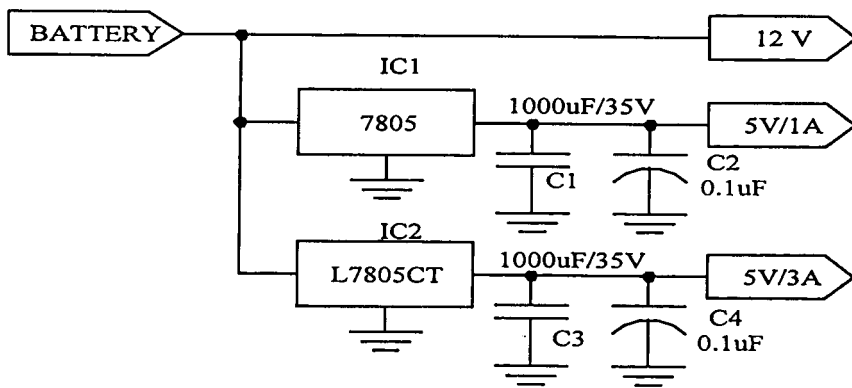
$$\frac{100K\Omega}{VR1} = 11.5$$

$$VR1 = \frac{100K\Omega}{11.5} = 8.695K\Omega$$

ค่า VR1 ที่ได้เป็นค่าที่วงจรต้องการจะใช้ความต้านทานคงที่ค่าอื่นๆ มาแทนไม่ได้ จึงต้องการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มาใช้แทน และปรับให้ได้ค่าตามที่คำนวณมาเป็นอันใช้ได้ เพราะฉะนั้น VR1 จะใช้ค่าเท่ากับ 10 กิโลโอห์ม

ในการประจุแบตเตอรี่ และการควบคุมระดับแรงดันของแบตเตอรี่ใช้แรงดันที่ขา 10 ของ LM3914 เมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีค่า 15 โวลต์ ไอซี 4 เบอร์ PIC817 จะนำกระแสทรานซิสเตอร์ที่ต่อกันแบบคาร์ลิงตันจะนำกระแสด้วย ทำให้รีเลย์ซึ่งอยู่ในสภาวะปกติปิด (NC) ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแสหน้าสัมผัสรีเลย์จะต่อระหว่างแบตเตอรี่กับเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสรีเลย์จะเปรียบเทียบสภาวะจากปกติปิด (NC) เป็นปกติเปิด (NO) เป็นการหยุดประจุอัตโนมัติ จนกระทั่งระดับแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 15 โวลต์จะเริ่มประจุอีกครั้ง

3.7 วงจรเร็คตีไฟเออร์



รูปที่ 3.8 วงจรเร็คตีไฟเออร์

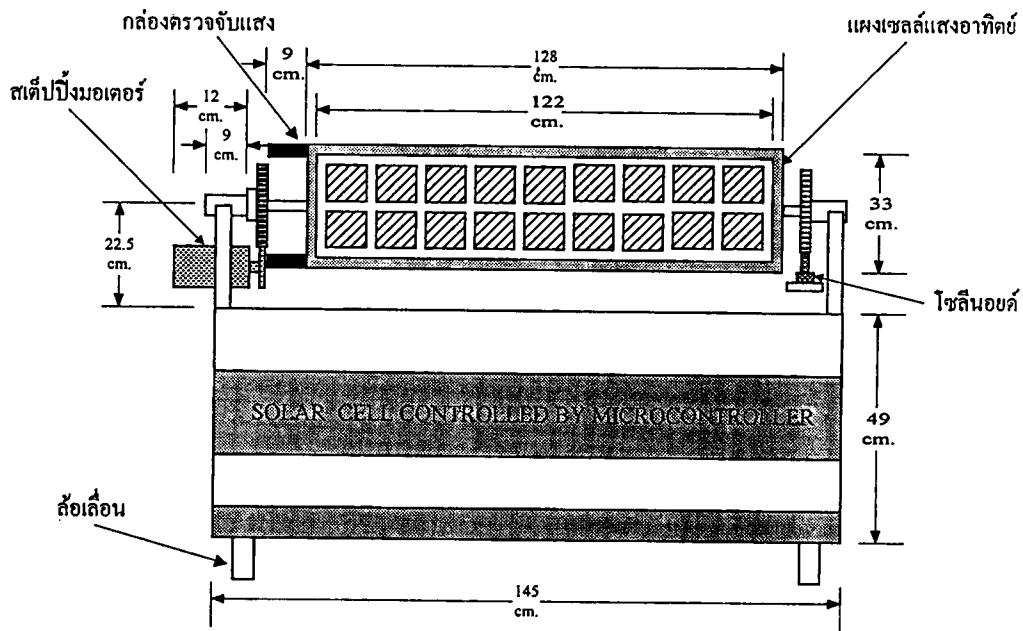
ชุดจ่ายไฟแบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดไฟเลี้ยง 12 โวลต์ที่มาจากแบตเตอรี่โดยตรง เพื่อนำไปจ่ายให้กับวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง และขดลวดโซลีนอยด์ ชุดที่สองเป็นชุดจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ 1 แอมแปร์ ใช้ไอซีเร็คทูลิเนเตอร์ 7805 โดยทางด้านเอาต์พุตของไอซีเร็คทูลิเนเตอร์จะมีค่าของ C1 เท่ากับ 1,000 ไมโครฟารัด 35 โวลต์ ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้

คงที่ C2 ค่า 0.1 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนต่างๆ ลงกราวด์ ชุดไฟเลี้ยง 5 โวลต์ 1 แอมแปร์ นำไปจ่ายให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจจับความเข้มแสง วงจรสแต็ปมอเตอร์ และวงจรตัดต่อไปสแต็ปมอเตอร์และโซลินอยด์ ชุดจ่ายไฟชุดที่สาม เป็นชุดจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ 3 แอมแปร์ ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ L7805CT โดยมี C3 และ C4 ที่ทำหน้าที่เหมือนกับชุดที่สองชุดจ่ายไฟ 5 โวลต์ 2 แอมแปร์ นำไปจ่ายให้กับสแต็ปมอเตอร์เพียงตัวเดียว ทั้งนี้การออกแบบให้มีชุดจ่ายไฟ 3 ชุด เพื่อต้องการให้ไฟเลี้ยงแต่ละชุดแยกออกจากกัน ป้องกันการเกิดการรบกวนระหว่างสแต็ปมอเตอร์กับวงจรต่างๆ

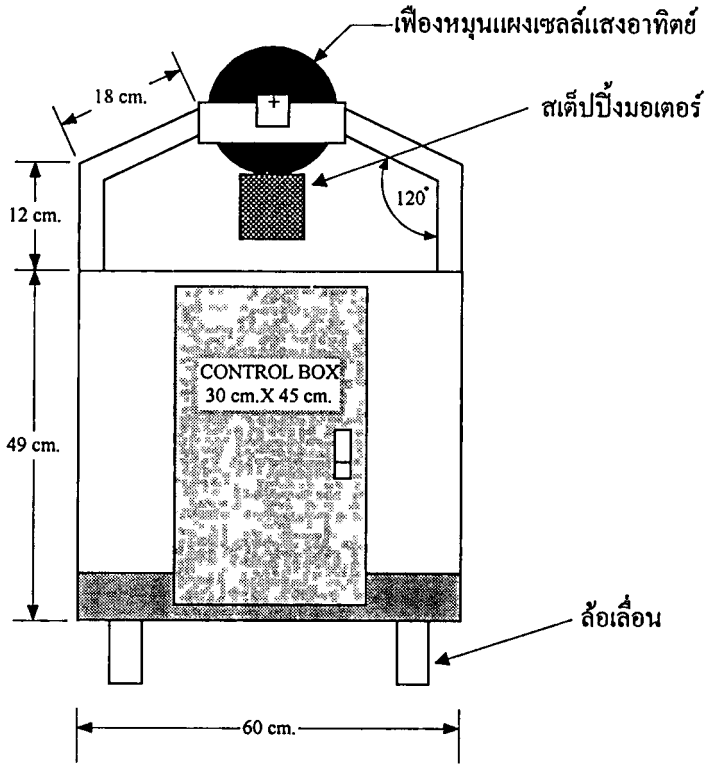
3.8 ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

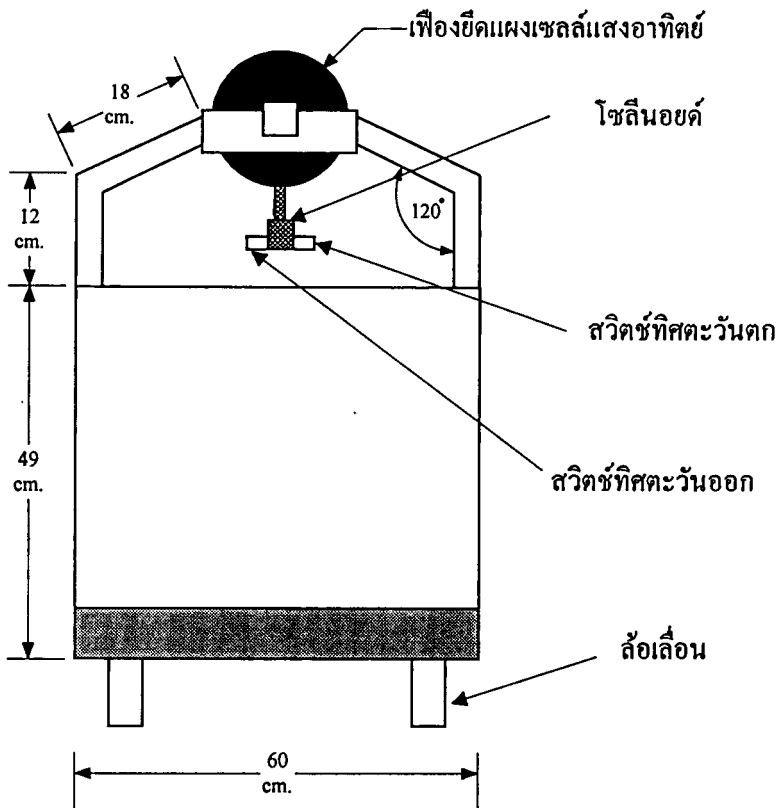
1. ส่วนโครงเหล็ก



รูปที่ 3.9 โครงสร้างด้านข้าง

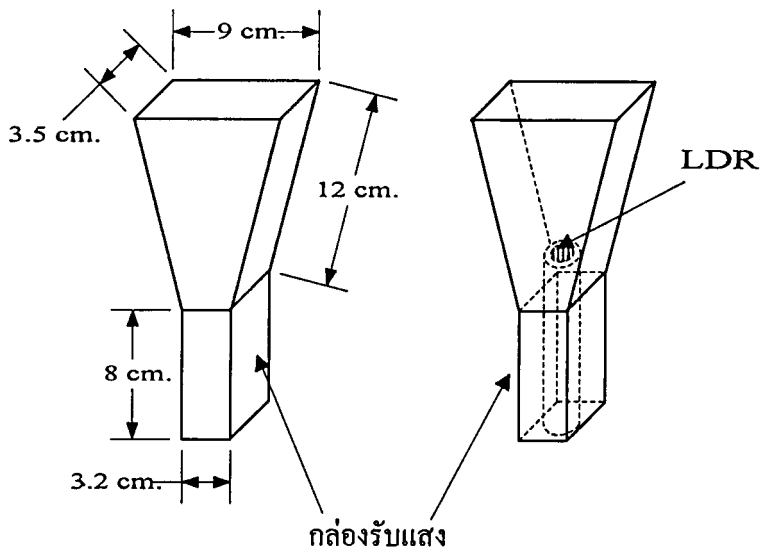


รูปที่ 3.10 โครงสร้างแสดงการติดตั้งสตีปป์มอเตอร์



รูปที่ 3.11 โครงสร้างแสดงการติดตั้งโซลีนอยด์

2. ส่วนของตัวตรวจจับ



รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบของกล่องรับแสง

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

จากการออกแบบและประกอบเป็นเครื่องสำเร็จ เครื่องสามารถทำงานได้โดยหมุนตามแนวโคจรดวงอาทิตย์ ซึ่งนำมาทดสอบประสิทธิภาพโดยการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

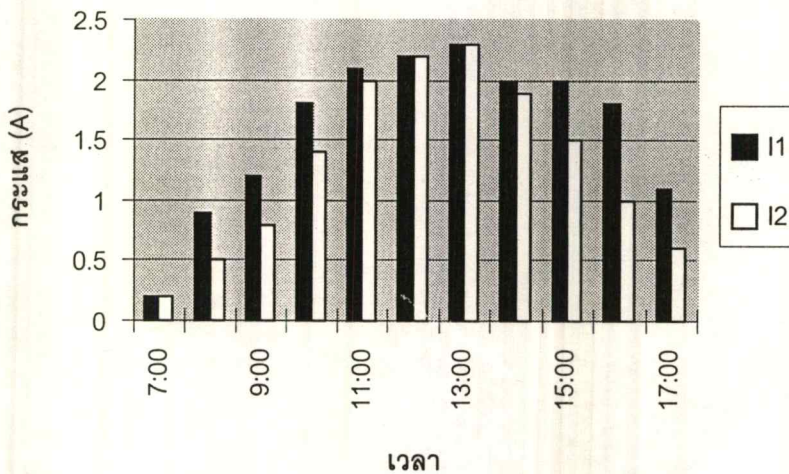
4.1 ทดลองการประจุแบตเตอรี่

ในการทดลองประจุแบตเตอรี่ เป็นการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในขณะที่แผงหมุนตามแนววงโคจรดวงอาทิตย์กับแผงขนานกับพื้น โดยแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาด 70 แอมแปร์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงรุ่น M75/S47 สามารถจ่ายกระแสได้ 2.94 แอมแปร์ กำลังงาน 47 วัตต์ แรงดันขณะมีโหลด 16 โวลต์ การทดลองได้ทดสอบการประจุของแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 5 วัน โดยที่กระแสที่แผงหมุนตามแนววงโคจรดวงอาทิตย์เป็นกระแส (I1) และกระแสที่แผงขนานกับพื้นเป็นกระแส (I2) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 1 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2541

เวลา (นาฬิกา)	กระแส(I1) (A)	กระแส(I2) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพอากาศ
7.00	0.2	0.2	27.0	ไม่มีแดด
8.00	0.9	0.5	29.0	แดดอ่อน
9.00	1.2	0.8	33.0	แดดอ่อน
10.00	1.8	1.4	33.0	แดดปานกลาง
11.00	2.1	2.0	34.5	แดดจัด
12.00	2.2	2.2	35.5	แดดจัด
13.00	2.3	2.3	36.0	แดดจัดมาก
14.00	2.0	1.9	36.0	แดดจัดมาก
15.00	2.0	1.5	35.5	แดดจัด
16.00	1.8	1.0	36.0	แดดปานกลาง
17.00	1.1	0.6	33.0	แดดอ่อน

22/02/98

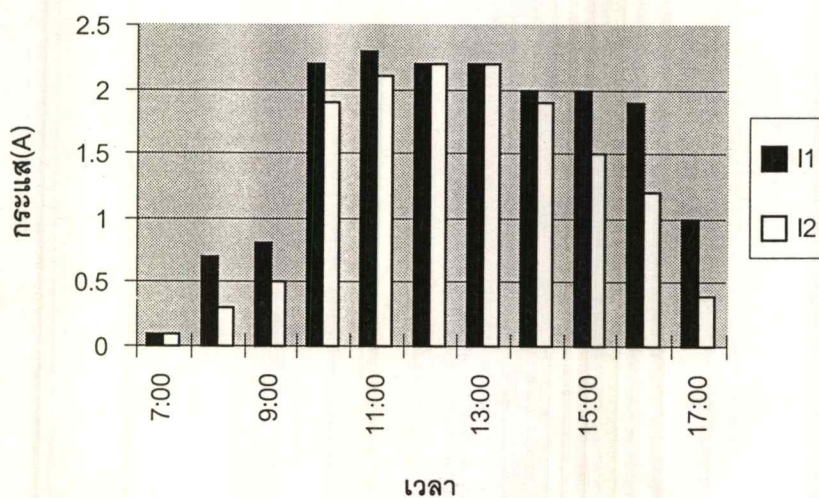


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 2 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2541

เวลา (นาฬิกา)	กระแส(I1) (A)	กระแส(I2) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพอากาศ
7.00	0.1	0.1	27.0	ไม่มีแดด
8.00	0.7	0.3	28.0	แดดอ่อน
9.00	0.8	0.5	32.0	แดดอ่อน
10.00	2.2	1.9	33.5	แดดปานกลาง
11.00	2.3	2.1	35.0	แดดจัด
12.00	2.2	2.2	35.5	แดดจัด
13.00	2.2	2.2	36.0	แดดจัดมาก
14.00	2.0	1.9	35.5	แดดจัด
15.00	2.0	1.5	35.5	แดดจัด
16.00	1.9	1.2	35.5	แดดอ่อน
17.00	1.0	0.4	33.0	แดดอ่อน

23/02/98

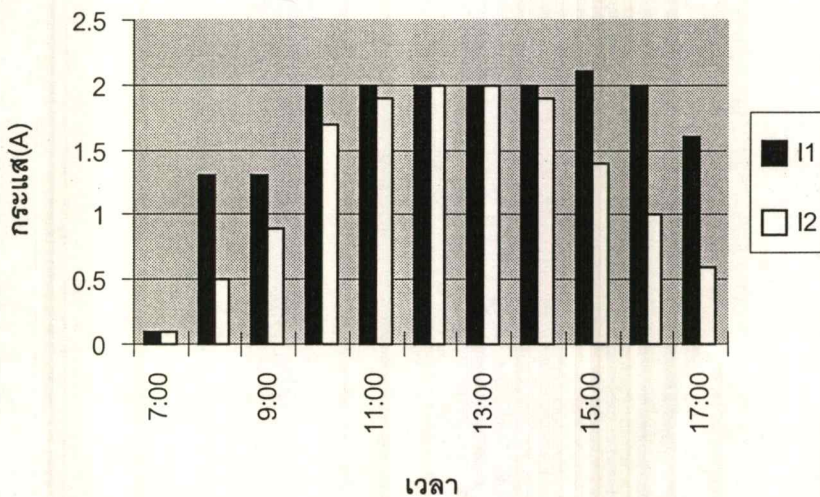


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 3 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2541

เวลา (นาฬิกา)	กระแส(I1) (A)	กระแส(I2) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพอากาศ
7.00	0.1	0.1	28.0	ไม่มีแดด
8.00	1.3	0.5	30.0	แดดอ่อน
9.00	1.3	0.9	31.5	แดดอ่อน
10.00	2.0	1.7	32.0	แดดปานกลาง
11.00	2.0	1.9	34.0	แดดจัด
12.00	2.0	2.0	35.0	แดดจัดมาก
13.00	2.0	2.0	35.0	แดดจัดมาก
14.00	2.0	1.9	35.0	แดดจัดมาก
15.00	2.1	1.4	36.0	แดดจัด
16.00	2.0	1.0	35.0	แดดอ่อน
17.00	1.6	0.6	32.5	แดดอ่อน

24/02/98

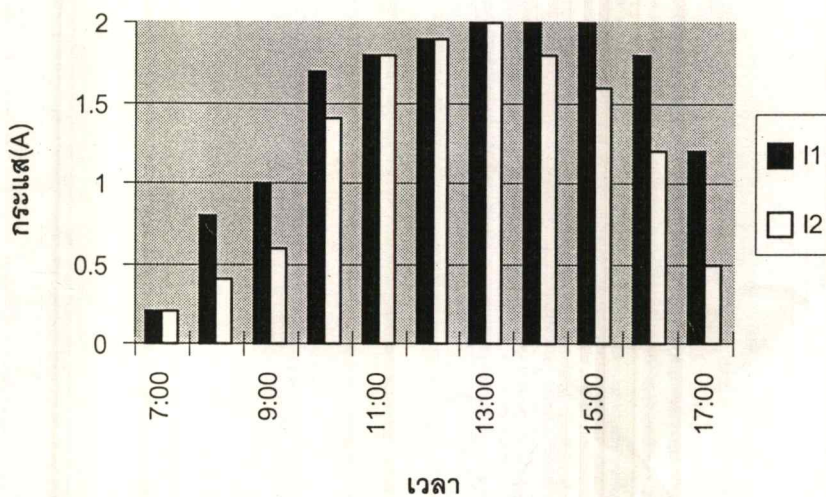


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 4 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2541

เวลา (นาฬิกา)	กระแส(I1) (A)	กระแส(I2) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพอากาศ
7.00	0.2	0.2	28.0	ไม่มีแดด
8.00	0.8	0.4	31.0	แดดอ่อน
9.00	1.0	0.6	32.0	แดดอ่อน
10.00	1.7	1.4	34.0	แดดปานกลาง
11.00	1.8	1.8	35.0	แดดจัด
12.00	1.9	1.9	35.0	แดดจัด
13.00	2.0	2.0	36.0	แดดจัดมาก
14.00	2.0	1.8	36.0	แดดจัด
15.00	2.0	1.6	35.5	แดดจัด
16.00	1.8	1.2	34.5	แดดปานกลาง
17.00	1.2	1.5	33.0	แดดอ่อน

25/02/98

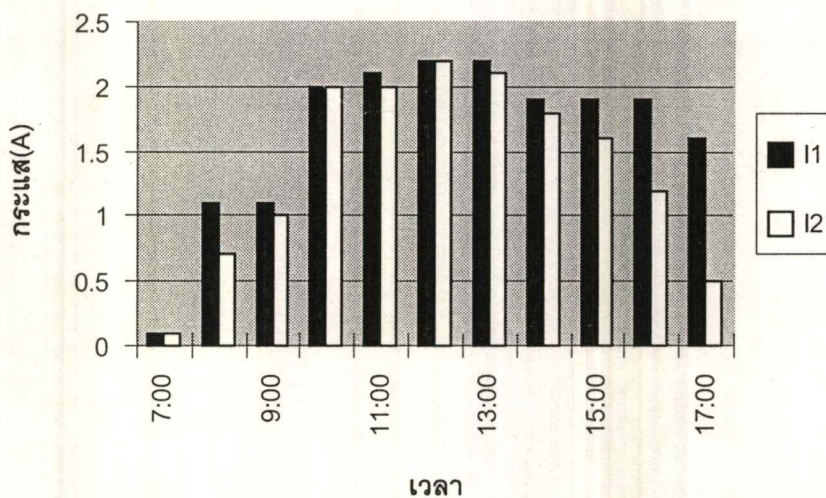


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 4

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการวัดกระแสครั้งที่ 5 วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2541

เวลา (นาฬิกา)	กระแส(I1) (A)	กระแส(I2) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพอากาศ
7.00	0.1	0.1	28.0	ไม่มีแดด
8.00	1.1	0.7	30.0	แดดอ่อน
9.00	1.1	1.0	31.0	แดดอ่อน
10.00	2.2	2.0	31.5	แดดปานกลาง
11.00	2.1	2.0	33.0	แดดจัด
12.00	2.2	2.2	34.0	แดดจัด
13.00	2.2	2.1	34.0	แดดจัดมาก
14.00	1.95	1.8	35.0	แดดจัด
15.00	1.95	1.6	35.0	แดดปานกลาง
16.00	1.95	1.2	35.0	แดดปานกลาง
17.00	1.6	0.5	34.5	แดดอ่อน

26/02/98



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 5

จากการทดลองการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 5 วัน นำมาหาค่ากระแสเฉลี่ยของแผงหมุนตาม
แนววงโคจรดวงอาทิตย์ (I1) กับกระแสเฉลี่ยของแผงตั้งฉากกับพื้น (I2) และค่าอุณหภูมิเฉลี่ย
ของแต่ละช่วงเวลาตลอดระยะเวลา 5 วัน

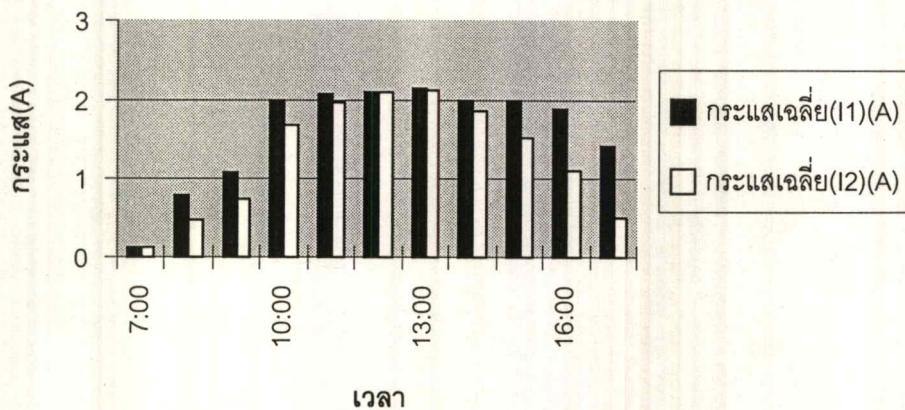
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการวัดกระแสเฉลี่ยรวม

เวลา (นาฬิกา)	กระแส เฉลี่ย(I1) (A)	กระแส เฉลี่ย(I2) (A)
7.00	0.14	0.14
8.00	0.80	0.48
9.00	1.08	0.76
10.00	1.98	1.68
11.00	2.06	1.96
12.00	2.10	2.10
13.00	2.14	2.12
14.00	1.98	1.86
15.00	2.00	1.52
16.00	1.88	1.12
17.00	1.42	0.52

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรวม

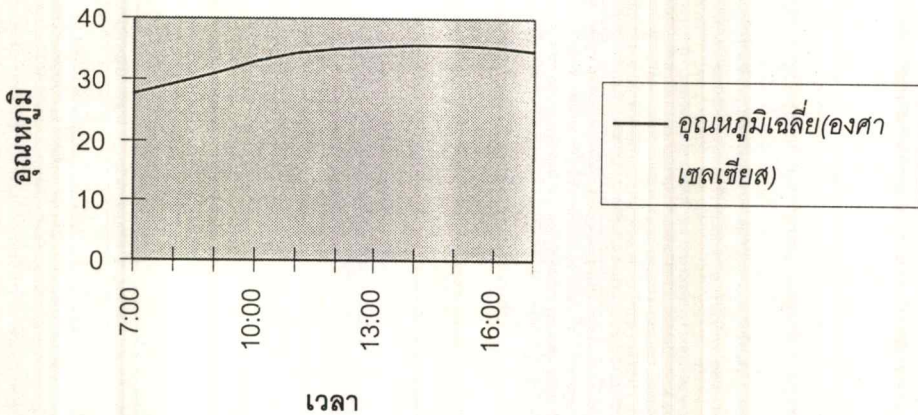
เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
7.00	27.4
8.00	29.2
9.00	31.0
10.00	32.8
11.00	34.3
12.00	35.0
13.00	35.4
14.00	35.7
15.00	35.5
16.00	35.2
17.00	34.6

กระแสเฉลี่ย



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสเฉลี่ยรวม

อุณหภูมิเฉลี่ย



รูปที่ 4.7 กราฟการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรวม

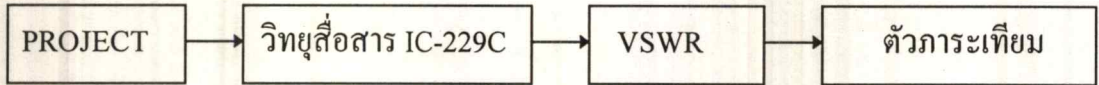
สรุปผลการทดลอง

1. กระแสในการประจุแบตเตอรี่ระหว่างแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมุนตามแนวโคจรดวงอาทิตย์ กับแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้น จะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเวลา 11:00 ถึง 13:00 นาฬิกา
2. กระแสในการประจุแบตเตอรี่ระหว่างแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมุนตามแนวโคจรดวงอาทิตย์ กับแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้น จะมีค่าต่างกันในช่วงเวลา 07:00 ถึง 10:00 นาฬิกา และ ช่วงเวลา 14:00 ถึง 17:00 นาฬิกา
3. จากการทดสอบตลอดทั้งวันพบว่าช่วงเวลาเช้าและช่วงกลางวันในขณะมีแสง แต่ไม่มีแดด เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกระแสเพียง 50 ถึง 100 มิลลิแอมแปร์
4. อุณหภูมิและสภาพอากาศจะมีผลต่อการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

4.2 ทดลองใช้งานกับเครื่องวิทยุสื่อสาร

ปกติเวลาในการใช้งานวิทยุสื่อสารนั้นจะไม่ทำการส่งสัญญาณตลอดเวลา และช่วงเวลาที่ใช้จริงนั้นจะเป็นประมาณ 1/3 ของวันหนึ่งๆ ดังนั้นในการทดลองจะทำการทดลอง 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งในการทดลอง ใช้งานกับวิทยุสื่อสาร ICOM รุ่น IC-229 C ขนาดกำลังส่ง

32 วัตต์ แต่ในการทดลองจะใช้กำลังส่งเพียง 20 วัตต์ใช้กระแสประมาณ 5 แอมแปร์ และขณะรับใช้กระแสประมาณ 300 มิลลิแอมแปร์ การทดลองมีการต่อใช้งานดังนี้



รูปที่ 4.8 การต่อเครื่องเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับวิทยุสื่อสาร

ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทดลองส่งเฉลี่ย 10 นาทีต่อชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00-18.00 น. และรับตั้งแต่เวลา 19.00-07.00 น. มีผลการทดลองดังนี้

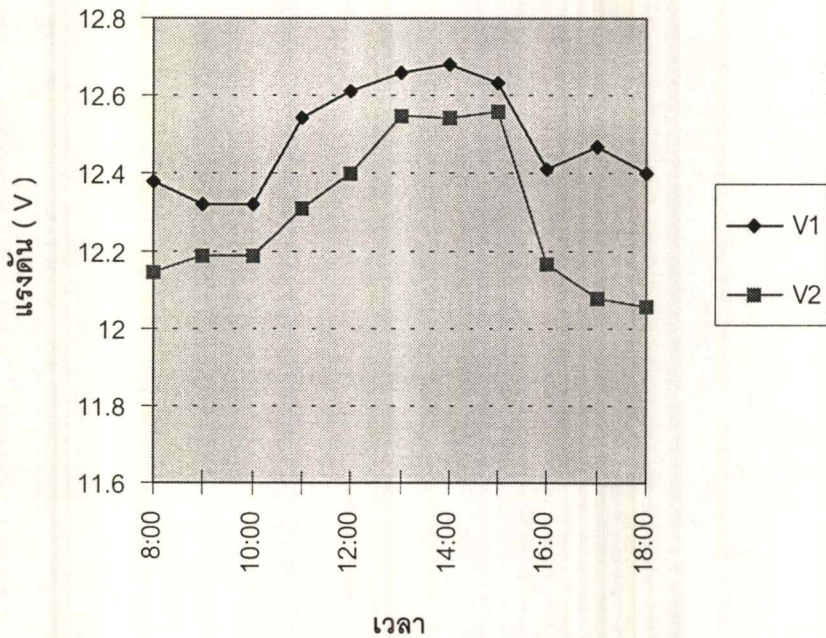
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองใช้งานกับวิทยุสื่อสารทำการส่งเฉลี่ย 10 นาทีต่อชั่วโมง

เวลา (นาฬิกา)	แรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)
8.00	12.38
9.00	12.32
10.00	12.32
11.00	12.54
12.00	12.61
13.00	12.66
14.00	12.68
15.00	12.63
16.00	12.41
17.00	12.47
18.00	12.40

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองส่งเฉลี่ย 20 นาทีต่อชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00-18.00 น.และรับตั้งแต่เวลา 19.00-07.00 น. มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองใช้กับวิทยุสื่อสารทำการส่งเฉลี่ย 20 นาทีต่อชั่วโมง

เวลา (นาฬิกา)	แรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)
8.00	12.15
9.00	12.19
10.00	12.19
11.00	12.31
12.00	12.41
13.00	12.55
14.00	12.54
15.00	12.56
16.00	12.17
17.00	12.08
18.00	12.06



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระดับแรงดันแบตเตอรี่ขณะใช้งานกับวิทยุสื่อสาร

หมายเหตุ

V1 หมายถึง ระดับแรงดันแบตเตอรี่ขณะทดลองส่งเฉลี่ย 10 นาทีต่อชั่วโมง

V2 หมายถึง ระดับแรงดันแบตเตอรี่ขณะทดลองส่งเฉลี่ย 20 นาทีต่อชั่วโมง

สรุปผลการทดลอง

การส่งเฉลี่ย 10 นาทีต่อชั่วโมง ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ช่วงเวลา 18.00 น.จะสูงกว่าระดับแรงดันแบตเตอรี่ในช่วงเวลา 8.00 น. ซึ่งเกิดจากกระแสประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าการใช้งานของโหลด

1. การส่งเฉลี่ย 20 นาทีต่อชั่วโมง ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ช่วงเวลา 18.00 น.จะต่ำกว่าระดับแรงดันแบตเตอรี่ในช่วงเวลา 8.00 น. ทั้งนี้ เกิดจากกระแสโหลดใช้งานมากกว่ากระแสในการประจุ

2. จากการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอน สรุปได้ว่า การใช้งานของวิทยุสื่อสารขนาดกำลังส่ง 20 วัตต์จะใช้งานสูงสุดได้ไม่เกิน 20 นาที และเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกระแสได้สูงสุด 2.2 แอมแปร์ต่อวัน และสามารถใช้งานได้กับวิทยุสื่อสารที่มีขนาดกำลังส่งต่ำกว่า 20 วัตต์ได้ดี

3. จากการทดลองทั้งสองขั้นตอนสรุปว่า การใช้งานของวิทยุสื่อสารขนาดกำลังส่ง 20 วัตต์จะใช้งานสูงสุดได้ไม่เกิน 20 นาที เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกระแสได้สูงสุด 2.2 แอมแปร์ต่อวัน และสามารถใช้งานได้กับวิทยุสื่อสารที่มีขนาดต่ำกว่า 20 วัตต์ได้ดี

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

โครงการเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เสนอในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ จัดทำเพื่อศึกษา และพัฒนาเพื่อให้สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งในการทดลองจะพบว่าในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแนววงโคจรของดวงอาทิตย์ กระแสที่ประจุแบตเตอรี่จะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับพื้นดิน การประจุกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น สภาพอากาศ ในสถานะที่มีแดดจัด เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกระแสได้สูงสุด แต่เมื่อมีเมฆบังจะจ่ายกระแสได้น้อยลงเกือบครึ่งหนึ่งของกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้สูงสุด นอกจากสภาพอากาศแล้ว องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ เงานของต้นไม้หรือเงาของอาคาร

เมื่อนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานกับวิทยุสื่อสารขนาด 20 วัตต์ ซึ่งใช้กระแสในการส่ง 5 แอมแปร์ ขณะรับ 300 มิลลิแอมแปร์ ทดลองส่ง 10 นาทีต่อชั่วโมง และ 20 นาทีต่อชั่วโมง ตลอด 9 ชั่วโมงใน 1 วัน และรับ 15 ชั่วโมง สามารถใช้งานได้จริง

5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

5.2.1 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง

ปัญหา ของวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง วงจรชุดนี้จะใช้ LDR เป็นตัวตรวจจับความเข้มแสง โดยทำการวางไว้ในท่อทรงกลม แต่เนื่องจากในแต่ละฤดูกาลดวงอาทิตย์จะโคจรในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทำให้ LDR รับแสงได้ไม่ดี ทำให้การตรวจจับไม่ผิดพลาด

แนวทางแก้ไข ออกแบบกล่องใส่ตัวตรวจจับให้มีรูปร่างในลักษณะปากแตร จะทำให้มีมุมในการรับแสงมากขึ้น ทำให้ตรวจจับแสงได้ทุกทิศทางของวงโคจรของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีปัญหาใหม่เกิดขึ้น คือ แสงที่รับเข้ามาจะเกิดการสะท้อนภายในกล่องทำให้ในขณะที่ตัวตรวจจับไม่อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับดวงอาทิตย์ก็ยังมีแสงอยู่ภายในกล่อง ตัวตรวจจับจะตรวจ

จับเป็น ลอจิก “1” แทนที่จะเป็นลอจิก “0” ทำการแก้ไขโดยการใส่สีดำพ่นภายในกล่องตรวจจับ เพื่อลดการสะท้อนของแสง

ปัญหา วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง ในส่วนของวงจรบริดจ์ใช้ความต้านทานปรับค่าแบบธรรมดาที่ได้อาจจะไม่ละเอียด การปรับบริดจ์ให้สมดุลทำได้ยาก ทำให้การเปรียบเทียบระดับแรงดันโดยออปแอมป์เกิดการผิดพลาดโวลต์เตจที่ได้จะแกว่งไปมา

แนวทางแก้ไข เปลี่ยนมาใช้ความต้านทานปรับค่าแบบละเอียด

ปัญหา ที่ตัวตรวจจับ (LDR 3) ที่เป็นตัวตรวจสอบสภาพภายนอกบริเวณว่ามีแสงหรือไม่มีแสงนั้น ในขั้นต้นจะใช้ LDR ขนาดเล็ก และตัวถังจะเป็นอลูมิเนียมล้อมรอบทางด้านข้างและด้านบนเป็นแก้วใส จึงทำให้สามารถรับแสงได้ในขณะที่แสงมาตรงๆ เท่านั้น ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่เฉียงออกไปมากๆ จะตรวจจับไม่ได้ เช่น ในตอนเช้าตรู่ และในตอนเย็น

แนวทางแก้ไข เปลี่ยนมาใช้ตัวตรวจจับที่มีตัวถังแบบแนวราบ สามารถรับแสงได้ทุกทิศทาง เพราะไม่มีสิ่งกีดขวางมาบังแสง

5.2.2 วงจรตัดต่อไฟสแต็ปมอเตอร์และโซลีนอยด์

ปัญหา โซลีนอยด์ที่นำมายึดไม่ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ ขณะวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงสามารถตรวจจับความเข้มได้สูงสุดแล้ว มีกำลังไม่พอที่จะยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่กับที่ได้ เนื่องจากเป็นโซลีนอยด์ที่เก่าแล้ว และใช้กับไฟ 24 โวลต์ดีซี แต่นำมาใช้ที่ 12 โวลต์ดีซีทำการตัดแปลงโดยดึงขดลวดออกจำนวนหนึ่ง จะทำให้โซลีนอยด์มีแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่จะมีความร้อนเกิดขึ้น

แนวทางแก้ไข เนื่องจากโซลีนอยด์ที่ขายตามท้องตลาดขนาด 12 โวลต์ดีซีหายากมาก จึงได้จัดซื้อมาจากเครื่องเล่นวีดีโอเก่าๆ แล้วทำการตัดแปลงให้ใช้งานได้

5.2.3 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ปัญหา ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาด ทำให้ต้องมีการกรีเซตเครื่องบ่อยๆ สาเหตุมาจากการรับค่าที่ไม่แน่นอนจากวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง เนื่องจากที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตรวจจับแสงไปช่วงๆ หนึ่งจะเป็นช่วงที่วงจรสามารถตรวจจับได้ว่าแสงจะเปลี่ยนจากระดับลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” ตรงจุดนี้จะมีการแกว่งของแรงดันทำให้สภาวะเป็นลอจิก “1” กับลอจิก “0” สลับกัน ซึ่งสภาวะดังกล่าว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบไม่ได้ว่าเป็นลอจิก “0” หรือลอจิก “1” ทำให้การทำงานผิดพลาดไปต้องรีเซ็ตใหม่

แนวทางแก้ไข

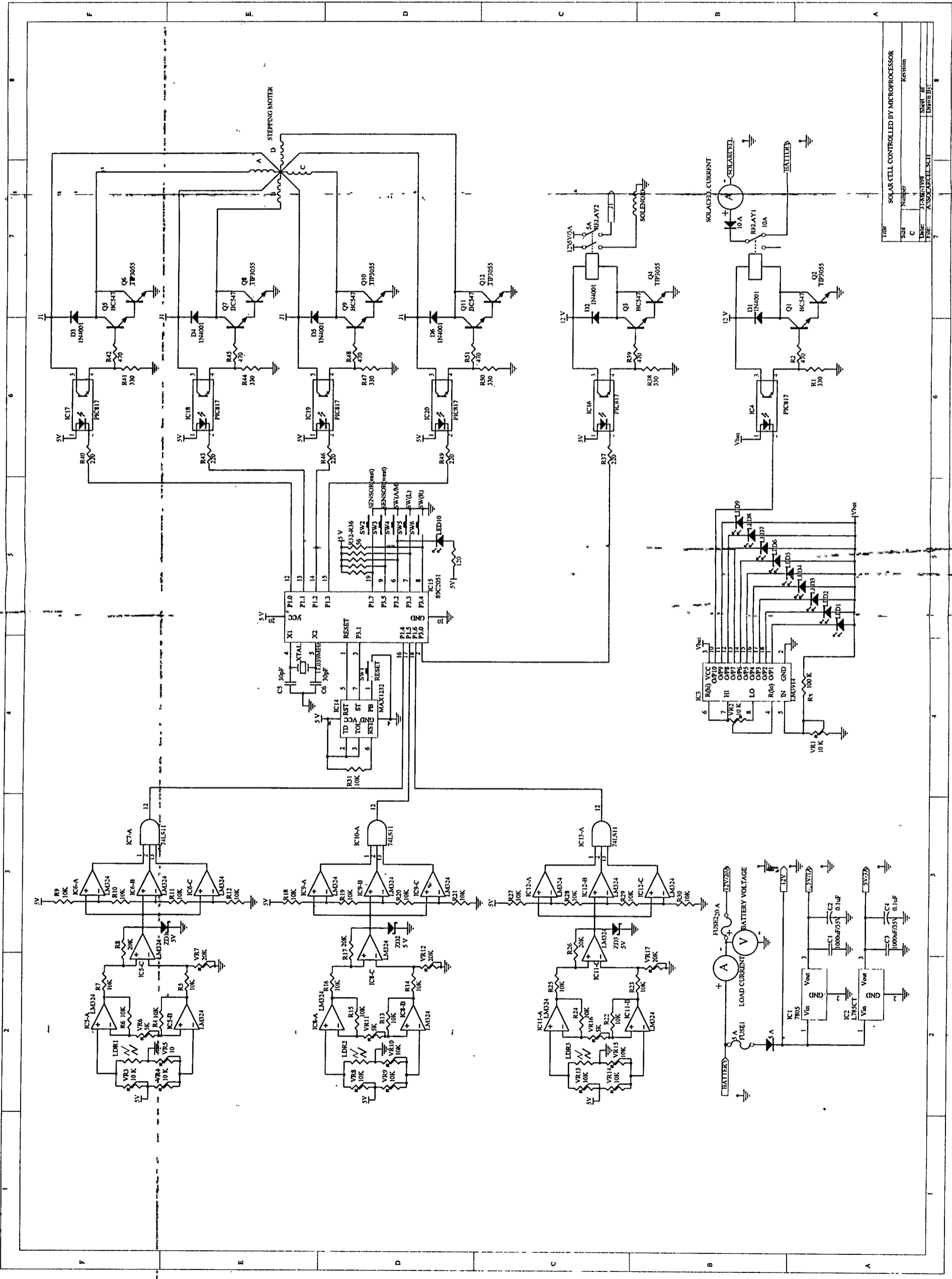
1. แก้ไขโปรแกรมใหม่โดยให้สแต็ปปีงมอเตอร์หมุนช้าลง ทำให้วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงทำงานได้แน่นอนขึ้น
2. ใช้วงจรว็อลต์จ็อก ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MAX1232 ใช้ตรวจสอบสถานะเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาดวงจรว็อลต์จ็อก จะทำการรีเซ็ตให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานใหม่เองโดยอัตโนมัติ

5.3 การพัฒนา

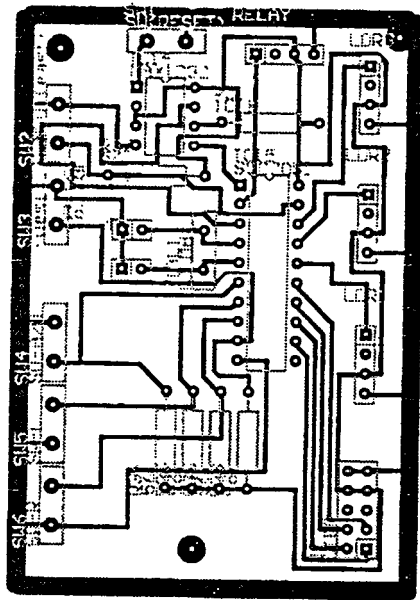
ในการพัฒนาโครงการเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถกระทำได้ดังนี้

1. ปรับปรุงระบบตรวจจับแนวโคจรของดวงอาทิตย์ ให้สามารถตรวจจับได้ทั้ง 4 ทิศทางคือ ในแนวทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก และในแนวทิศเหนือไปยังทิศใต้
 2. ปรับปรุงระบบตรวจจับระดับความเข้มแสงให้แน่นอนมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนชุดตรวจจับเข้าไปอีก
 3. เมื่อต้องการกระแสมากขึ้นเพื่อให้สามารถประจุแบตเตอรี่ให้เร็วขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากขึ้น
 4. เมื่อต้องการเก็บพลังงานให้มากขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ให้มากขึ้น
 5. เพื่อความคล่องตัวในการเคลื่อนย้ายควรถูกที่จะออกแบบส่วนประกอบของโครงการให้ถอดประกอบได้
- ซึ่งแนวทางในการพัฒนาทั้งหมด จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของโครงการเพิ่มขึ้น จนสามารถไปประยุกต์ใช้งานจริงได้เต็มประสิทธิภาพที่สุด

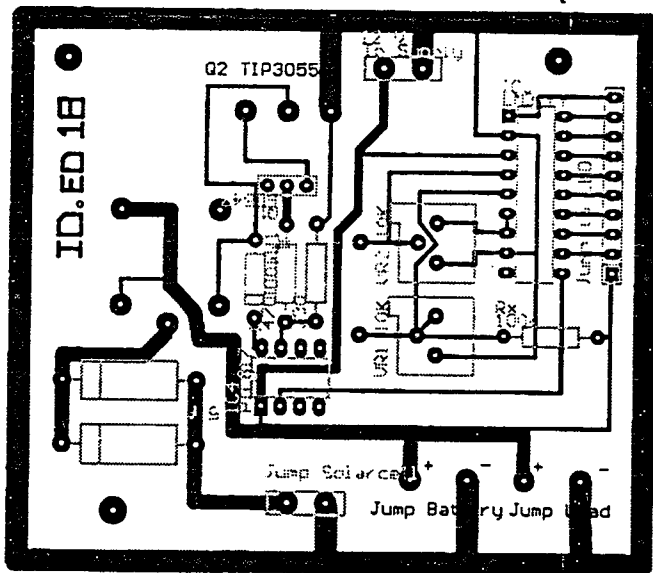
ภาคผนวก ก
วงจรถ่ายใช้ในปริิญาานิพนธ์



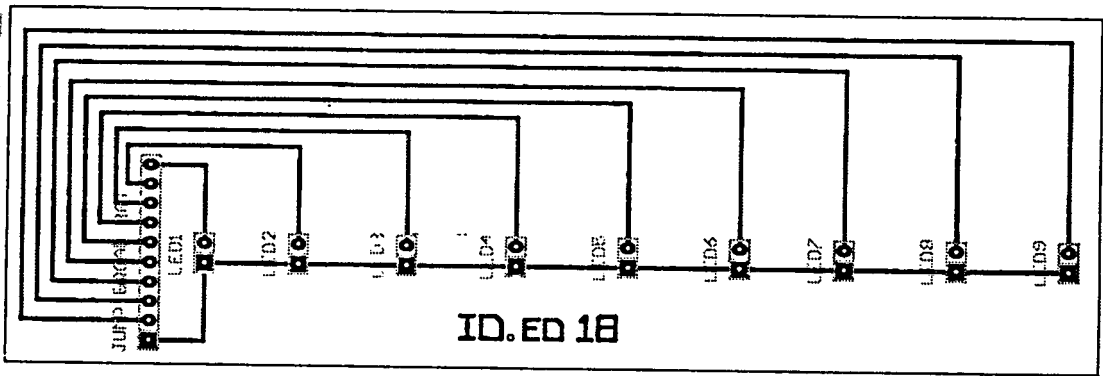
Title	SOLAR CELL CONTROLLED BY MICROPROCESSOR
Size	Number
C	Revision
Date	JUNE 1998
Time	ASACARCELXII
	Sheet 8
	Drawn By



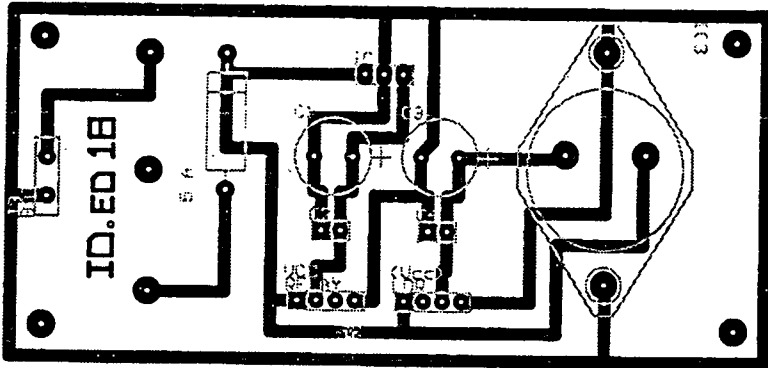
รูปที่ ก.1 ลายวงจรพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



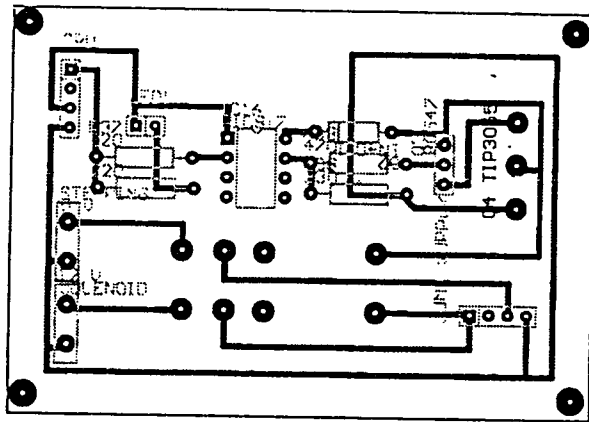
รูปที่ ก.2 ลายวงจรพิมพ์วงจรตรวจสอบระดับแรงดันและประจุแบตเตอรี่



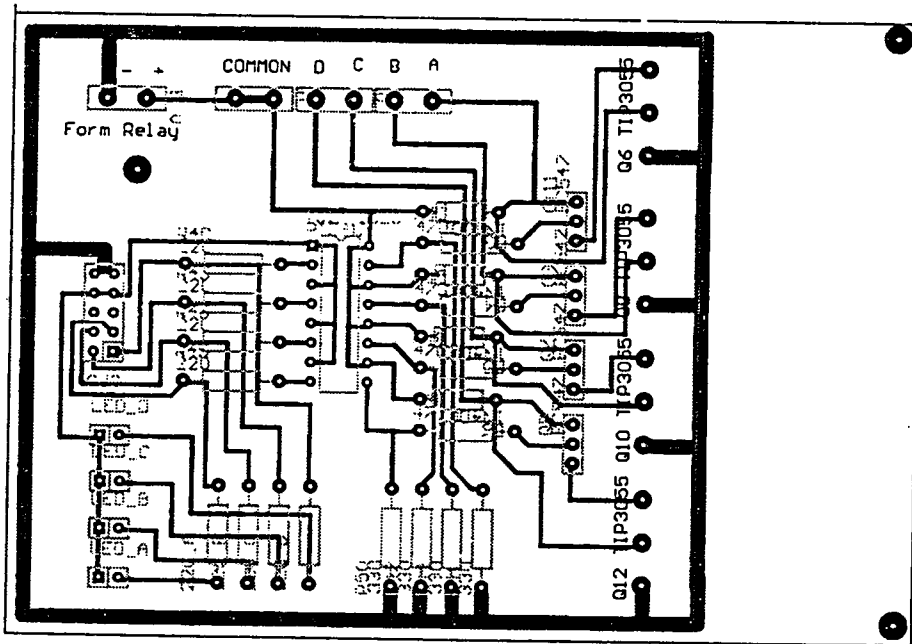
รูปที่ ก.3 ลายวงจรพิมพ์ชุดแสดงผลของวงจรตรวจสอบระดับแรงดันและประจุแบตเตอรี่



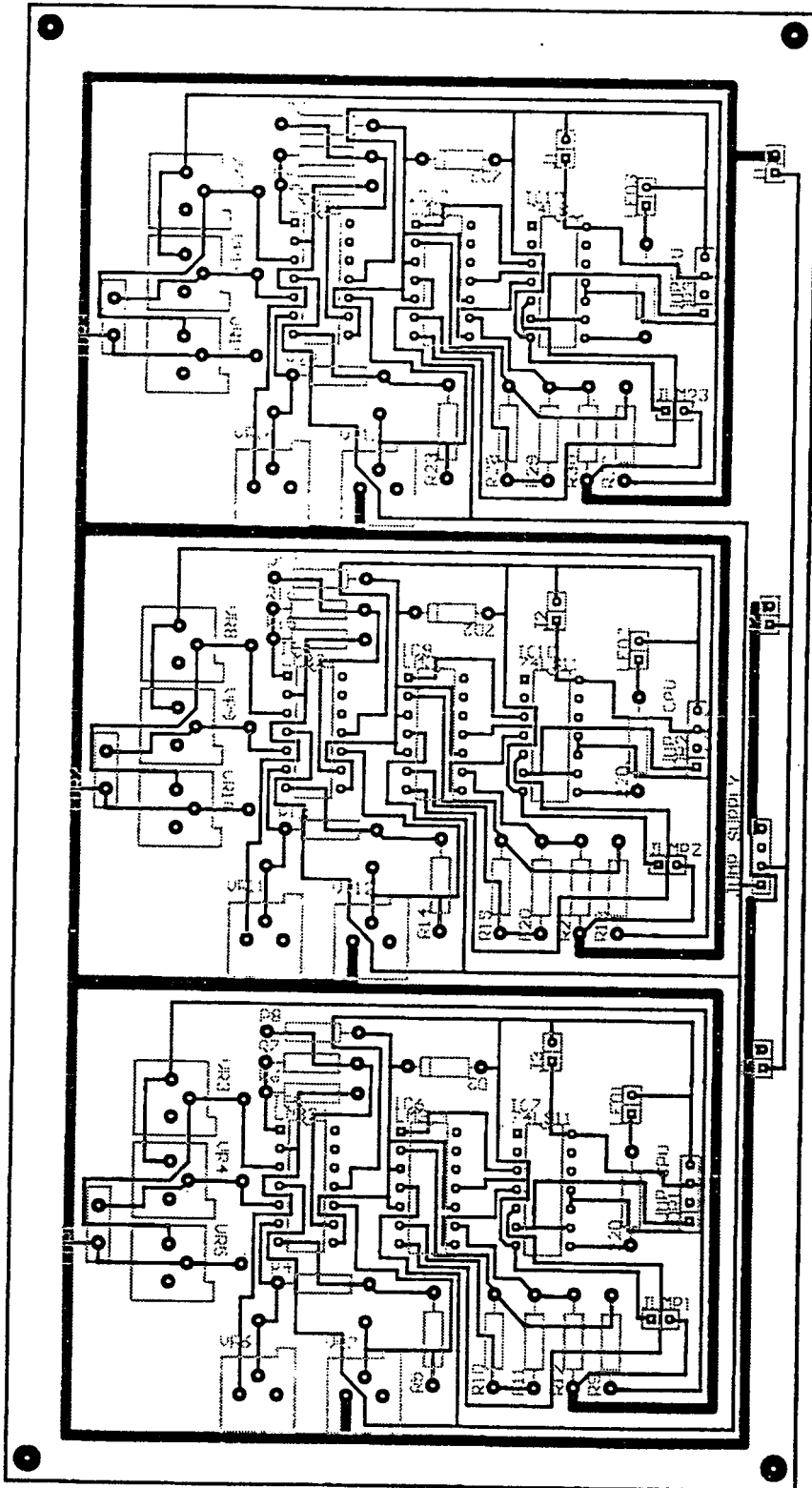
รูปที่ ก.4 ลายวงจรพิมพ์วงจรเรกติไฟเออร์



รูปที่ ก.5 ลายวงจรพิมพ์วงจรตัดต่อสตีปิ้งมอเตอร์และยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



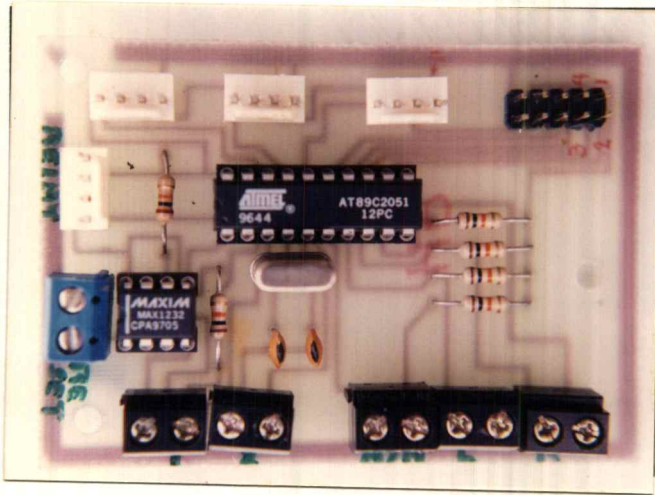
รูปที่ ก.6 ลายวงจรพิมพ์วงจรขับสปีดปั๊มมอเตอร์



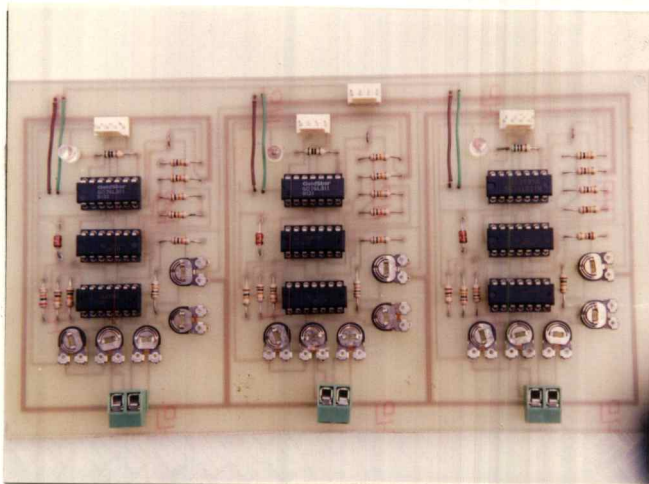
รูปที่ ก.7 ลายวงจรพิมพ์วงจรตรวจสอบระดับความเข้มแสง

ภาคผนวก ข.

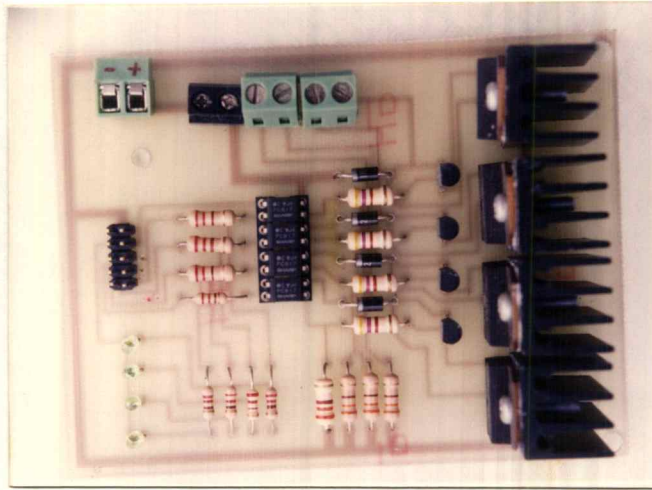
เครื่องต้นแบบ



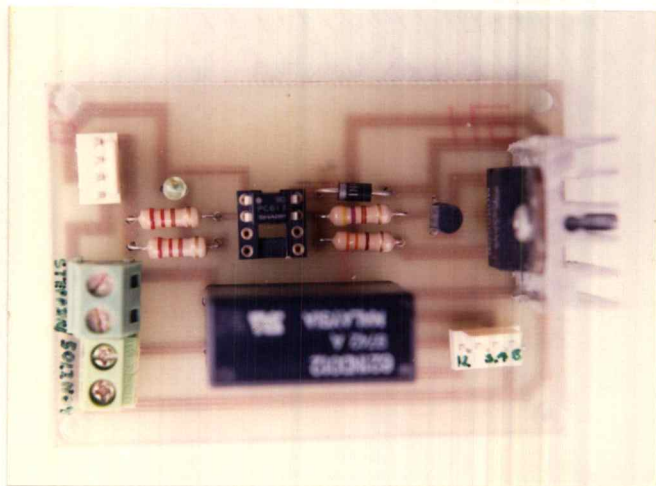
รูปที่ ข.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



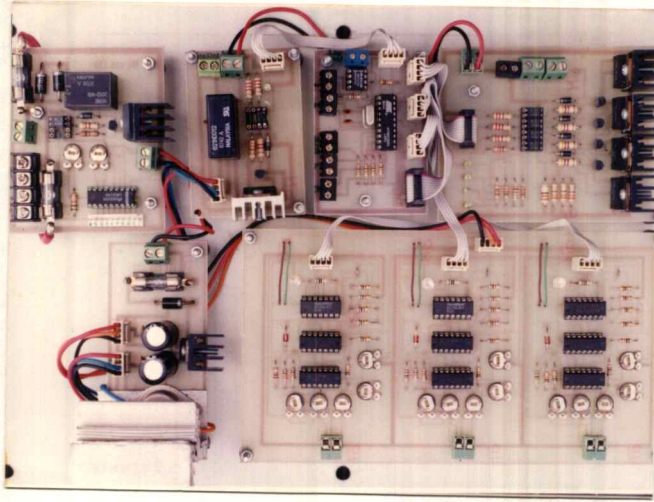
รูปที่ ข.2 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสงอาทิตย์



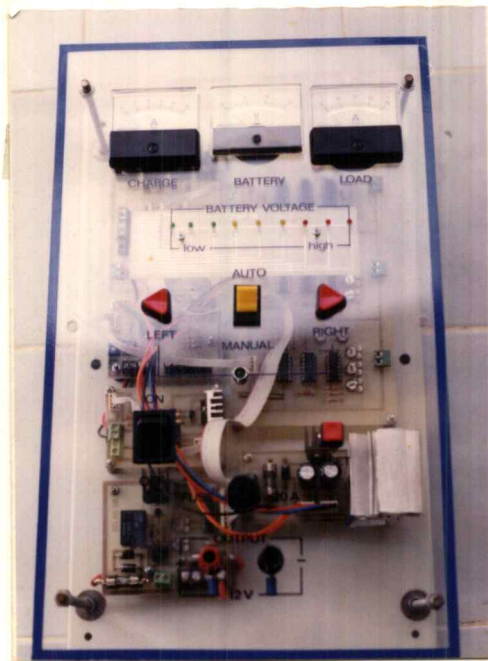
รูปที่ ข.3 วงจรขับสแต็ปปีงมอเตอร์



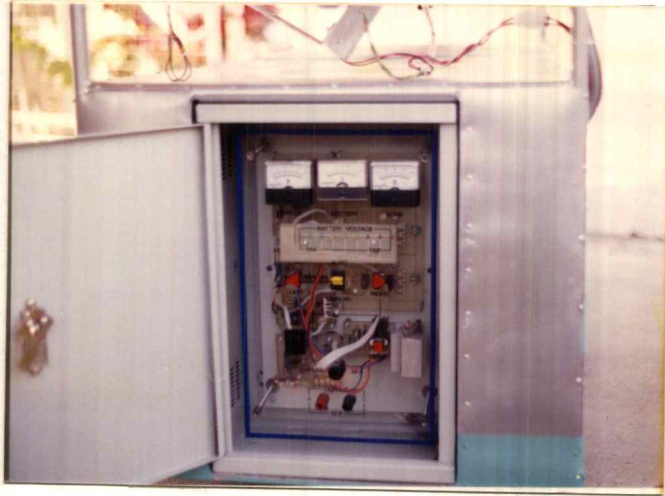
รูปที่ ข.4 วงจรตัดต่อสแต็ปปีงมอเตอร์ และชี้คแผงเซลล์แสงอาทิตย์



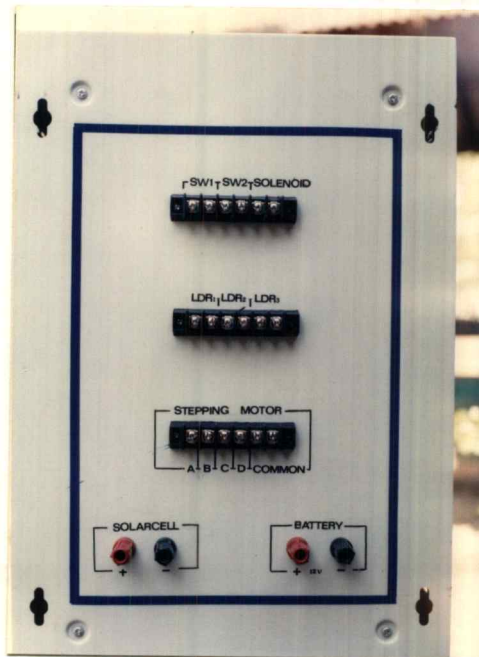
รูปที่ ข.7 วงจรรวมที่สมบูรณ์



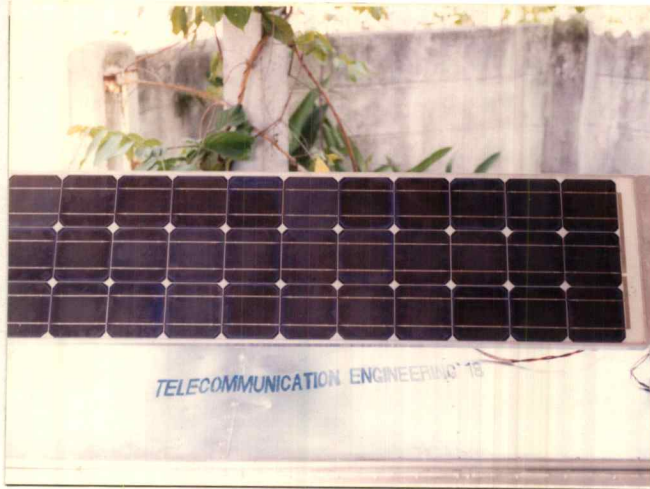
รูปที่ ข.8 หน้าปัทม์ผู้ควบคุม



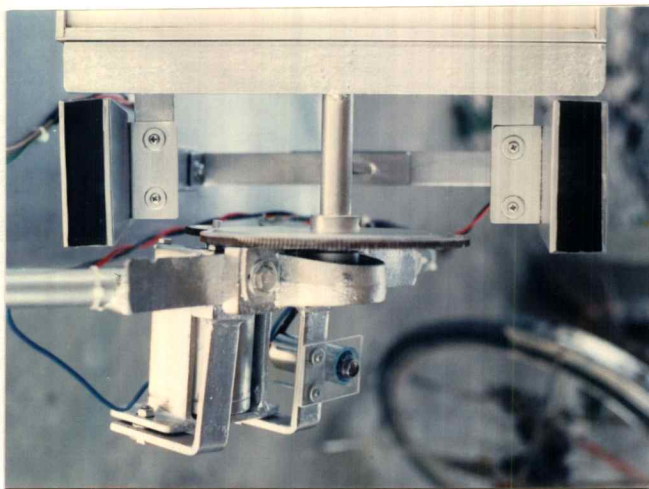
รูปที่ ข.9 ตู้ควบคุม



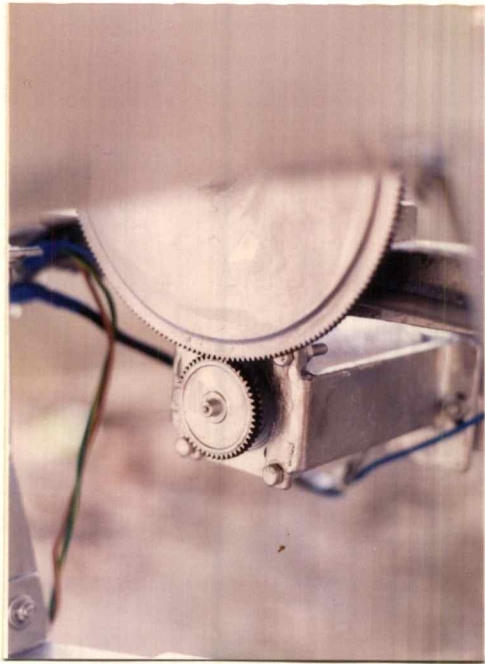
รูปที่ ข.10 ด้านหลังของตู้ควบคุม



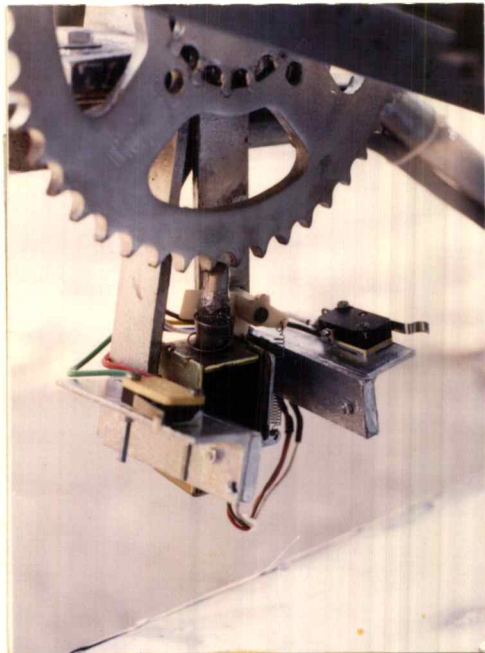
รูปที่ ข.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ข.12 ชุดตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์



รูปที่ ข.13 ชุดสแต็ปปีงมอเตอร์ขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ข.14 ชุดกลไกยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ข.15 แบตเตอรี่



รูปที่ ข.16 ช่องสำหรับเก็บแบตเตอรี่



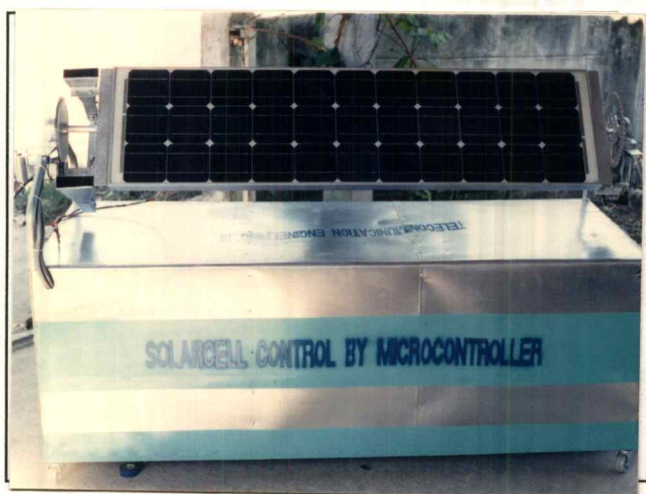
รูปที่ ข.17 เครื่องต้นแบบด้านข้าง



รูปที่ ข.18 เครื่องต้นแบบด้านข้าง



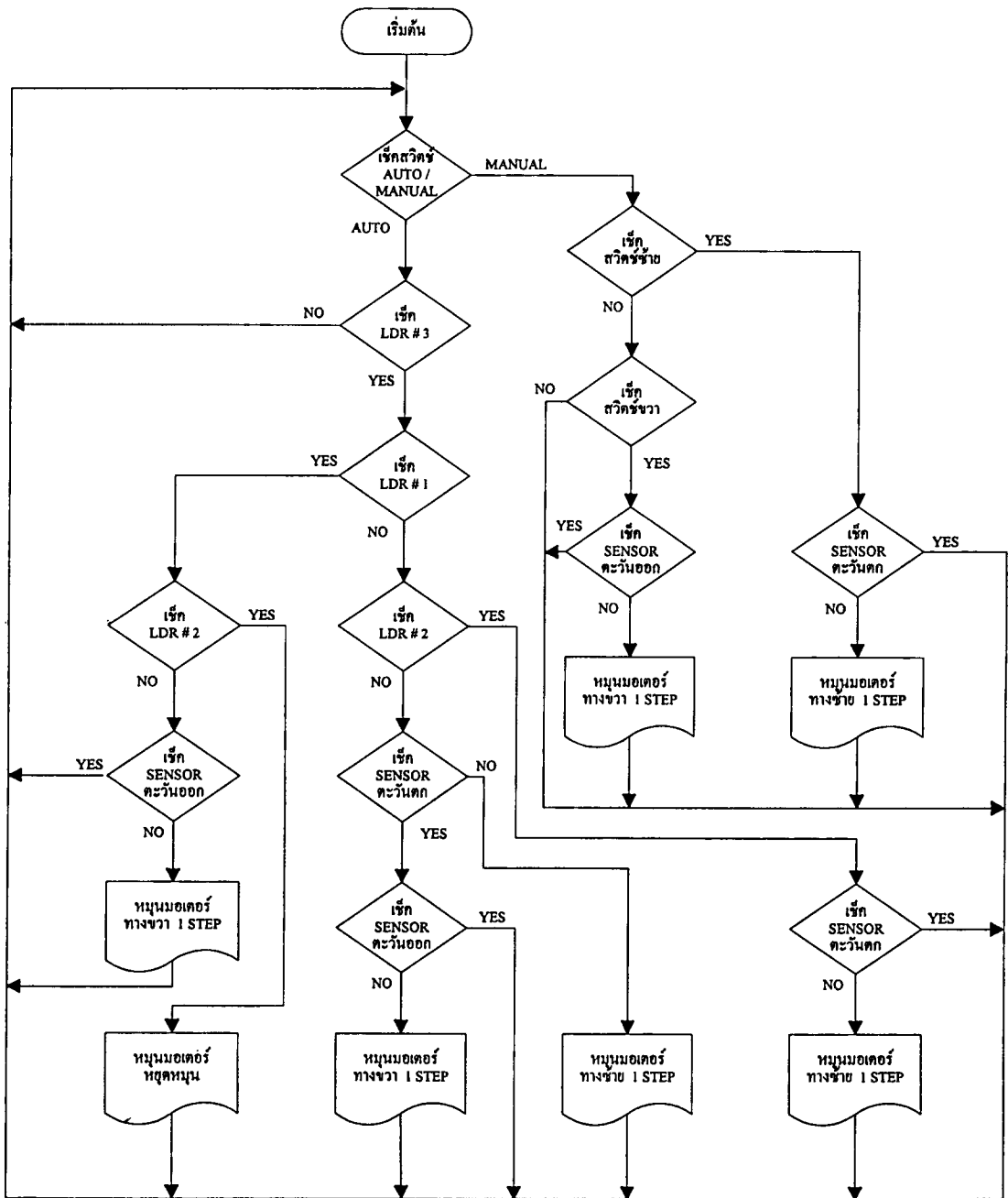
รูปที่ ข.19 เครื่องต้นแบบด้านหน้า



รูปที่ ข.20 เครื่องต้นแบบที่สมบูรณ์

ภาคผนวก ค.

ผังการทำงาน และโปรแกรม



รูปที่ ค.1 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมการทำงาน

```
;FILENAME      SOLAR.ASM
;HARDWARE      PROJECT SOLAR CELL
;ASSEMBLER     SXA51
;START-DATE    27/10/40
;SOFTWARE ENG. SOLAR GROUP
```

```
ORG 0000H
```

```
;***** VARIABLE SET *****
```

```
LDR1 EQU P1.4
LDR2 EQU P1.5
LDR3 EQU P1.6
SW1 EQU P1.7
SW2 EQU P3.5
SWA_M EQU P3.2
SWL EQU P3.3
SWR EQU P3.4
```

```
;***** MAIN *****
```

```
MAIN: SETB P1.0
      SETB P1.1
      SETB P1.2
      SETB P1.3
      SETB P3.0
      LCALL RES
```

```
;***** SCANKEY SUB. *****
```

```
SCAN1: JB SWA_M,SUB  
        JB SWL,SCAN2  
        JNB SW2,MAIN  
        LCALL LEFT  
        SJMP SCAN1
```

```
SCAN2: JB SWR,MAIN  
        JNB SW1,MAIN  
        LCALL RIGHT  
        SJMP SCAN1
```

```
;***** LDR SENSOR SUB. *****
```

```
SUB: JNB LDR3,MAIN  
      JNB LDR1,CASE1  
      JB LDR2,MAIN  
      JNB SW1,MAIN  
      LCALL RIGHT1  
      SJMP MAIN
```

```
CASE1: JNB LDR2,CASE2  
        JNB SW2,MAIN  
        LCALL LEFT1  
        SJMP MAIN
```

```
CASE2: JNB SW2,CASE3  
        LCALL LEFT1  
        SJMP MAIN
```

```
CASE3: JNB SW1,MAIN
        LCALL RIGHT1
        JNB SW1,MAIN
```

```
;***** AUTO SENSOR SUB. *****
```

```
LOOP1: JB SWA_M,LOOP4
        JB SWL,LOOP2
        JNB SW2,MAIN
        LCALL LEFT
        SJMP LOOP1
```

```
LOOP2: JB SWR,MAIN
        JNB SW1,MAIN
        LCALL RIGHT
        SJMP LOOP1
```

```
LOOP4: JNB LDR3,MAIN
        JNB LDR1,LOOP5
        JB LDR2,MAIN
        JNB SW1,MAIN
        LCALL RIGHT1
        LJMP MAIN
```

```
LOOP5: JNB LDR2,LOOP6
        JNB SW2,SS
        LCALL LEFT1
```

```
SS: LJMP MAIN
```

```
LOOP6: SJMP CASE3
```

;***** ROTATE LEFT MANUAL SUB. *****

LEFT: CLR P3.0
CLR P1.3
LCALL DELAY
SETB P1.3
CLR P1.2
LCALL DELAY
SETB P1.2
CLR P1.1
LCALL DELAY
SETB P1.1
CLR P1.0
LCALL DELAY
SETB P1.0
SETB P3.0
RET

;***** ROTATE RIGHT MANUAL SUB. *****

RIGHT: CLR P3.0
CLR P1.0
LCALL DELAY
SETB P1.0
CLR P1.1
LCALL DELAY
SETB P1.1
CLR P1.2
LCALL DELAY
SETB P1.2
CLR P1.3

LCALL DELAY

SETB P1.3

SETB P3.0

RET

;***** ROTATE LEFT AUTO SUB. *****

LEFT1: CLR P3.0

CLR P1.3

LCALL DELAY1

SETB P1.3

CLR P1.2

LCALL DELAY1

SETB P1.2

CLR P1.1

LCALL DELAY1

SETB P1.1

CLR P1.0

LCALL DELAY1

SETB P1.0

SETB P3.0

RET

;***** ROTATE RIGHT AUTO SUB. *****

RIGHT1: CLR P3.0

CLR P1.0

LCALL DELAY1

SETB P1.0

CLR P1.1

LCALL DELAY1

```
SETB  P1.1
CLR    P1.2
LCALL DELAY1
SETB  P1.2
CLR    P1.3
LCALL DELAY1
SETB  P1.3
SETB  P3.0
RET
```

```
;***** WATCH DOG SUB. *****
```

```
RES:   CLR    P3.1
        MOV    R3,#00H
        DJNZ   R3,$
        SETB   P3.1
        RET
```

```
;***** DELAY SUB. *****
```

```
DELAY: LCALL RES
        MOV    R1,#2FH
L1:     MOV    R0,#00H
        DJNZ   R0,$
        DJNZ   R1,L1
        RET
```

```
DELAY1: LCALL RES
        MOV    R2,#04H
LP2:    MOV    R1,#00H
LP1:    MOV    R0,#00H
```

```
DJNZ R0,$  
DJNZ R1,LP1  
DJNZ R2,LP2  
RET  
END
```

ภาคผนวก ง.

คู่มือการใช้งาน

คู่มือการใช้งาน

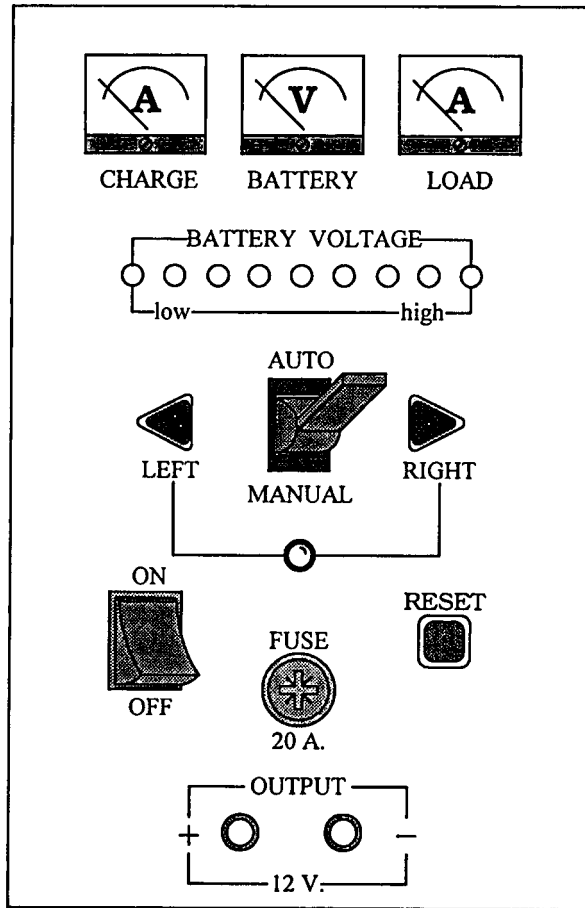
การใช้งานปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

1. การใช้งานให้เครื่องทำงานโดยอัตโนมัติ
 - 1.1 เปิดสวิตช์ ON / OFF (LED ของ BATTERY VOLTAGE จะติด)
 - 1.2 เลื่อนสวิตช์ AUTO / MANUAL มาที่ AUTO
2. การใช้งานโดยการควบคุมด้วยมือ
 - 2.1 เปิดสวิตช์ ON / OFF (LED ของ BATTERY VOLTAGE จะติด)
 - 2.2 เลื่อนสวิตช์ AUTO / MANUAL มาที่ MANUAL สังเกต LED จะติด
 - 2.3 กดสวิตช์ LEFT หรือ RIGHT เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ เมื่อปล่อยสวิตช์แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุดหมุน

หมายเหตุ

ก่อนการใช้งานต้องต่อสายแบตเตอรี่ก่อนทุกครั้ง

ส่วนประกอบต่างๆบนหน้าปัทม์



ON / OFF

สวิตช์ปิด / เปิดเครื่อง

CHARGE

แอมป์มิเตอร์แสดงค่ากระแสที่ประจุของเซลล์แสงอาทิตย์

BATTERY

โวลต์มิเตอร์แสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่

LOAD

แอมป์มิเตอร์แสดงค่ากระแสที่โหลดใช้งาน

BATTERY VOLTAGE LED แสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่

LED ดวงที่	ระดับแรงดัน (โวลต์)
1	9
2	9.6
3	10.2

LED ดวงที่	ระดับแรงดัน (โวลต์)
4	10.8
5	11.4
6	12
7	12.6
8	13.2
9	13.8

AUTO / MANUAL สวิตช์เลือกโหมดการทำงาน

AUTO ให้หมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยอัตโนมัติ

MANUAL ให้หมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการควบคุมด้วยมือ

LEFT หมุนจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก

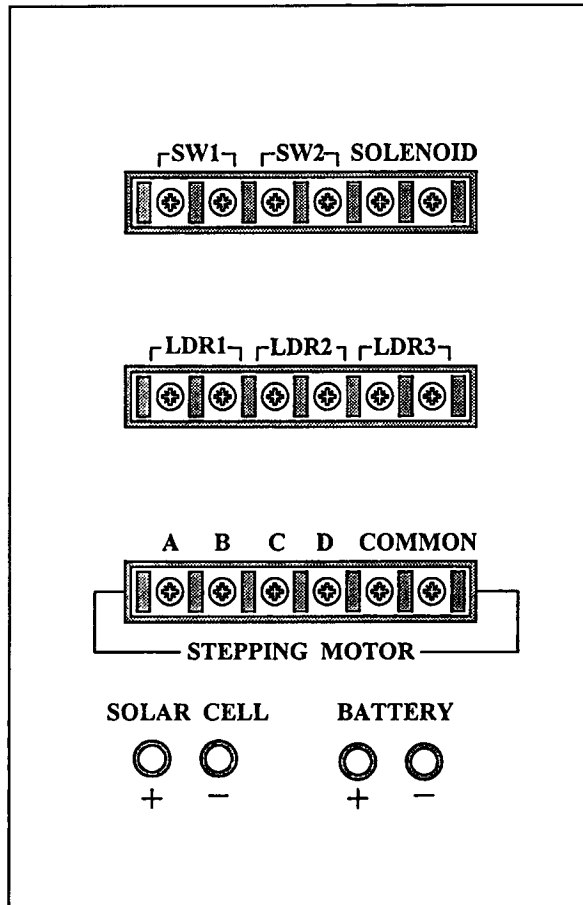
RIGHT หมุนจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก

RESET ใช้ RESET เครื่องให้ทำงานใหม่ เมื่อเกิดการทำงานผิดพลาด

FUSE ใช้ FUSE ขนาด 20 แอมแปร์ ใช้ป้องกันกระแสเกินที่โหลด

OUTPUT ขั้วต่อแรงดัน 12 โวลต์ไปใช้งาน

ส่วนประกอบต่างๆ ด้านหลังกล่อง



- | | |
|----------------|---|
| SW1 | สวิตช์ป้องกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนเกินทางทิศตะวันออก |
| SW2 | สวิตช์ป้องกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนเกินทางทิศตะวันตก |
| SOLENOID | โซลินอยด์ยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแผงหยุดหมุน |
| LDR1 | ตัวตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์ทางทิศตะวันออก |
| LDR2 | ตัวตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์ทางทิศตะวันตก |
| LDR3 | ตัวตรวจจับว่าสภะนั้นมีแสงหรือไม่ |
| STEPPING MOTOR | มอเตอร์ขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ |
| SOLAR CELL | ขั้วต่อแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ |
| BATTERY | ขั้วต่อแรงดันแบตเตอรี่ |

ภาคผนวก จ.

รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติอุปกรณ์

Features

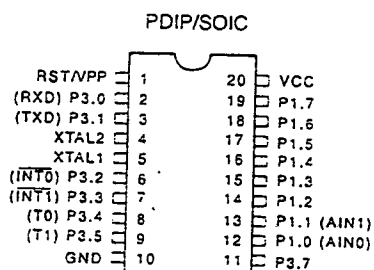
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-Chip Analog Comparator
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K Bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K Bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration



ATMEL

8-Bit
Microcontroller
with 2K Bytes
Flash

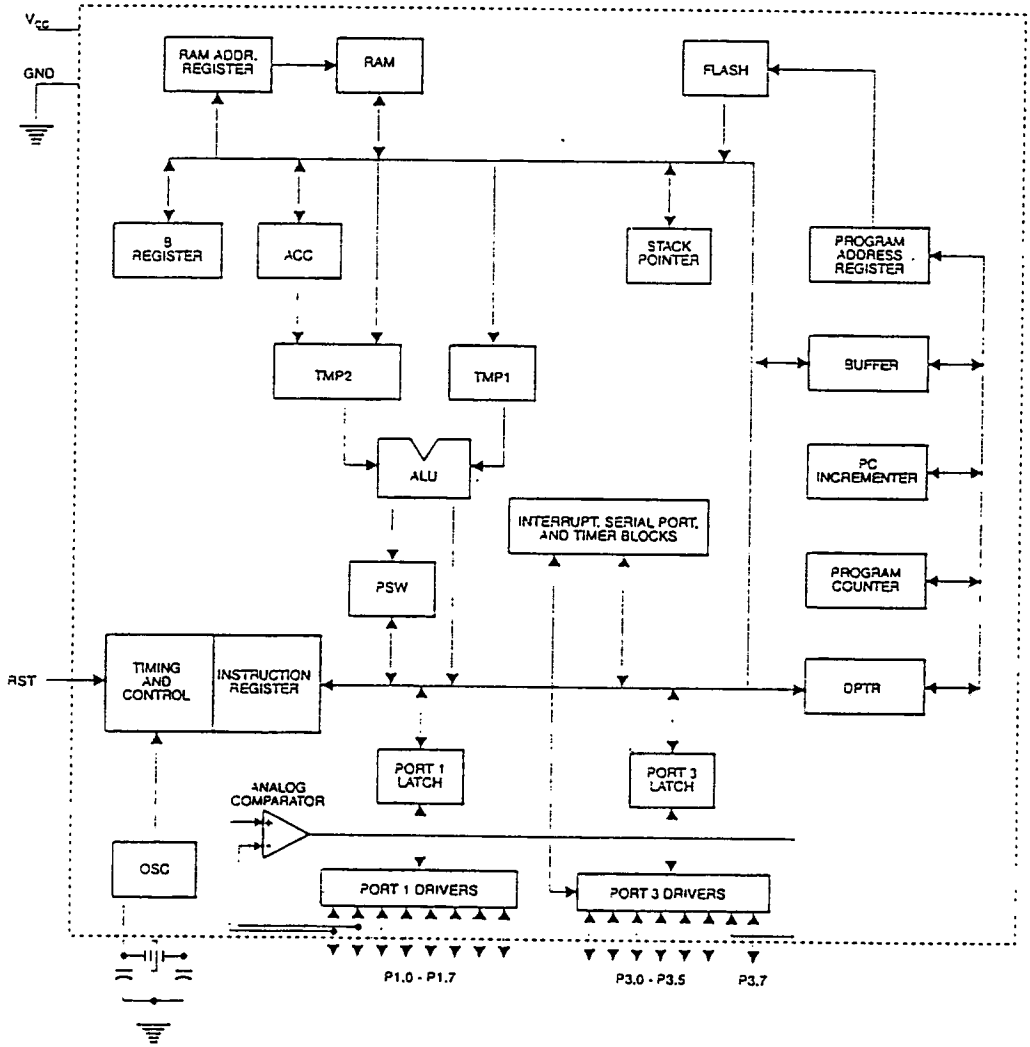
AT89C2051

03680-B-12/97

ATMEL



Block Diagram



Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bidirectional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

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

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

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

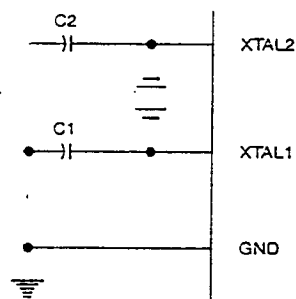
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

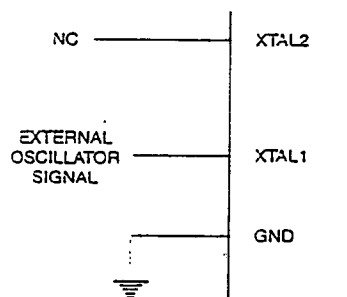
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



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

Figure 2. External Clock Drive Configuration





Special Function Registers

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

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

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

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B								0F7H
	00000000								
0E8H									0EFH
0E0H	ACC								0E7H
	00000000								
0D8H									0DFH
0D0H	PSW								0D7H
	00000000								
0C8H									0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP								0BFH
	XXX00000								
0B0H	P3								0B7H
	11111111								
0A8H	IE								0AFH
	0XX00000								
0A0H									0A7H
98H	SCON	SBUF							9FH
	00000000	XXXXXXXX							
90H	P1								97H
	11111111								
88H	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1			8FH
	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000			
80H		SP	DPL	DPH				PCON	87H
		00001111	00000000	00000000				0XXX0000	

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

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

Power Down Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.





Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
 2. Set pin RST to 'H'
Set pin P3.2 to 'H'
 3. Apply the appropriate combination of 'H' or 'L' logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.
- To Program and Verify the Array:
4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
 5. Raise RST to 12V to enable programming.
 6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
 7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic 'H' level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
 8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
 9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
 10. Power-off sequence:
set XTAL1 to 'L'.
set RST to 'L'
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from 'L' to 'H'.
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

Mode	RST/VPP	P3.2/ $\overline{\text{PROG}}$	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾	12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	12V		H	H	H
	Bit - 2	12V		H	H	L
Chip Erase	12V		H	L	L	L
Read Signature Byte	H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
 2. Chip Erase requires a 10-ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.
 3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

Figure 3. Programming the Flash Memory

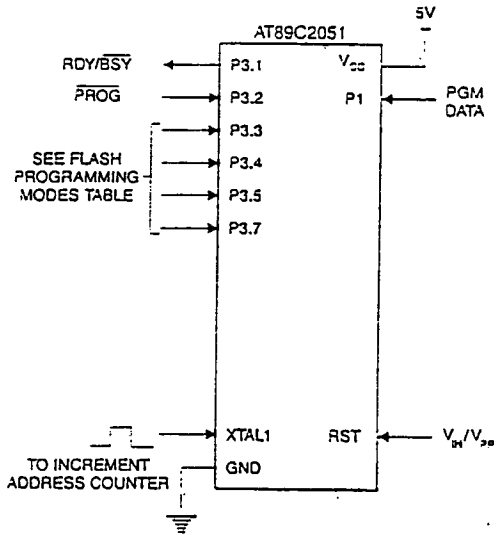
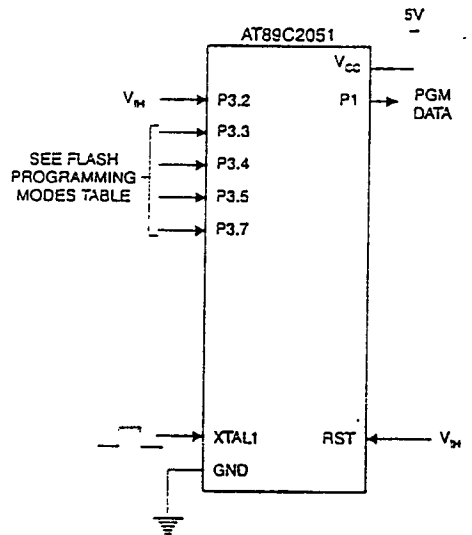


Figure 4. Verifying the Flash Memory





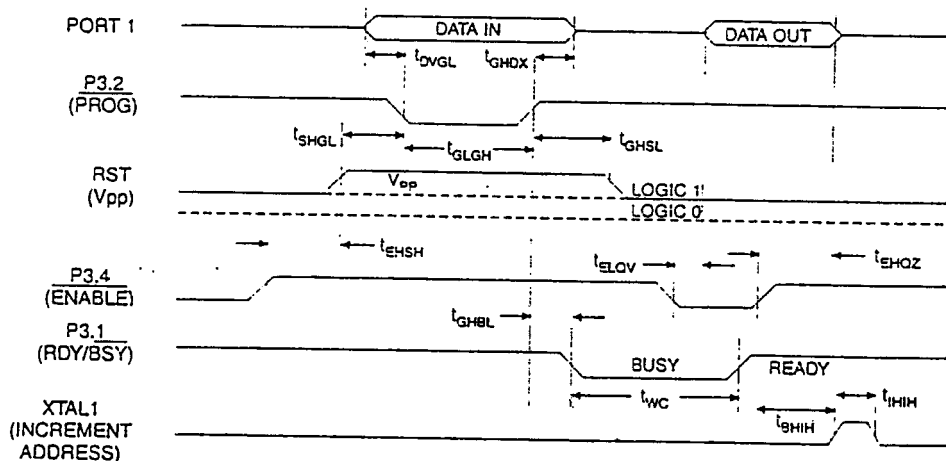
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{EP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{OVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{SLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHOZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHIH}	$\overline{\text{RDY}}/\overline{\text{BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{BHIL}	Increment Clock High	200		ns

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

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	25.0 mA

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

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.0\text{V}$ to 6.0V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} - 0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{V}$		0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-750	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
V_{OS}	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{k}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		5/1	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		20	μA

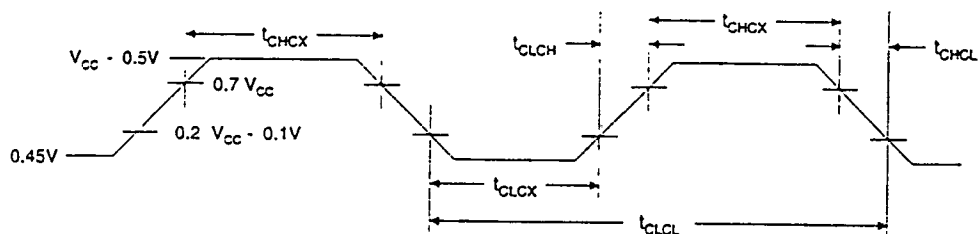
Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA
Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA
If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.





External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

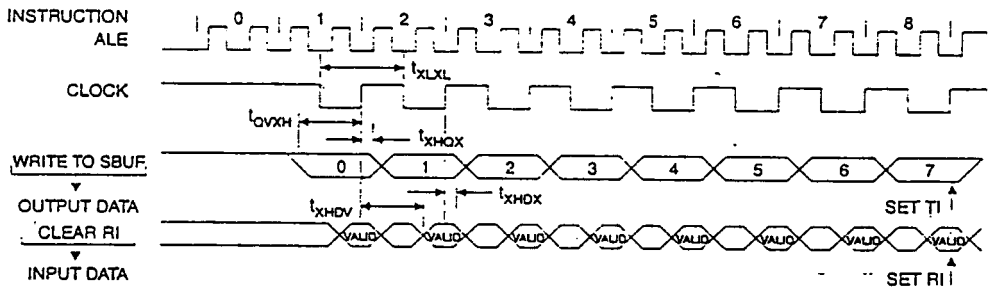
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

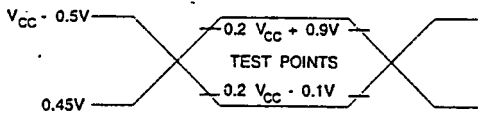
($V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

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

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



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

Float Waveforms⁽¹⁾

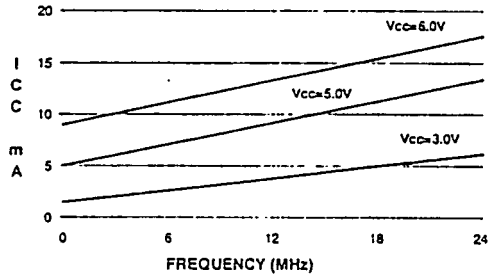


Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

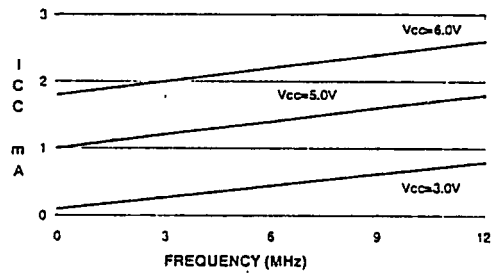




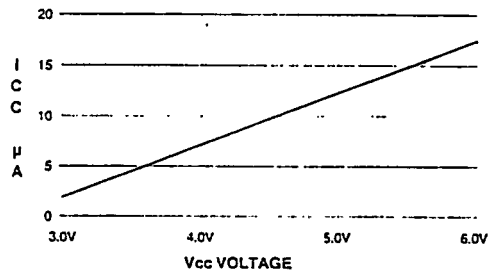
AT89C2051
TYPICAL ICC - ACTIVE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL ICC - IDLE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL ICC vs. VOLTAGE- POWER DOWN (85°C)



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power down)
 2. P1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
 3. Lock bits programmed

AT89C2051
Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
		AT89C2051-12PA	20P3	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C2051-12SA	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	

Package Type	
20P3	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)



MAXIM

MAX1232 Microprocessor Monitor

MAX1232

General Description

The MAX1232 microprocessor (μ P) supervisory circuit provides μ P "housekeeping" and power-supply supervision functions while consuming only 1/10th the power of the DS1232. The MAX1232 enhances circuit reliability in μ P systems by monitoring the power supply, monitoring software execution, and providing a debounced manual reset input. The MAX1232 is a plug-in upgrade of the Dallas DS1232.

A reset pulse of at least 250ms duration is supplied on power-up, power-down, and low-voltage brown-out conditions (5% or 10% supply tolerances can be selected digitally). Also featured is a debounced manual reset input that forces the reset outputs to their active states for a minimum of 250ms. A digitally-programmable watchdog timer monitors software execution and can be programmed for timeout settings of 150ms, 600ms, or 1.2sec. The MAX1232 requires no external components.

Applications

- Computers
- Controllers
- Intelligent Instruments
- Automotive Systems
- Critical μ P Power Monitoring

Features

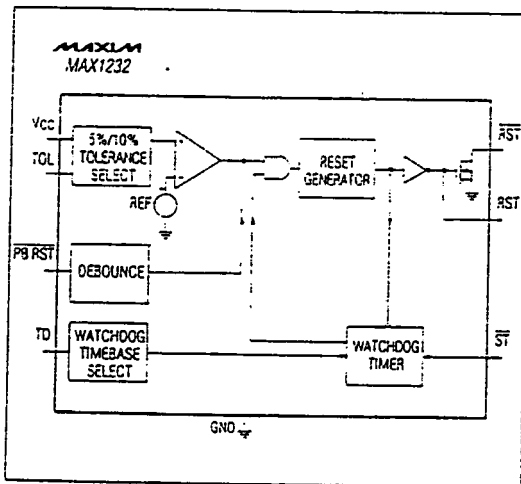
- ◆ Consumes 1/10th the Power of the DS1232
- ◆ Precision Voltage Monitor - Adjustable +4.5V or +4.75V
- ◆ Power OK/Reset Pulse Width - 250ms Min
- ◆ No External Components
- ◆ Adjustable Watchdog Timer - 150ms, 600ms, or 1.2sec
- ◆ Debounced Manual Reset Input for External Override
- ◆ Available in 8-pin DIP/Small Outline and 16-pin Wide Small Outline Packages

Ordering Information

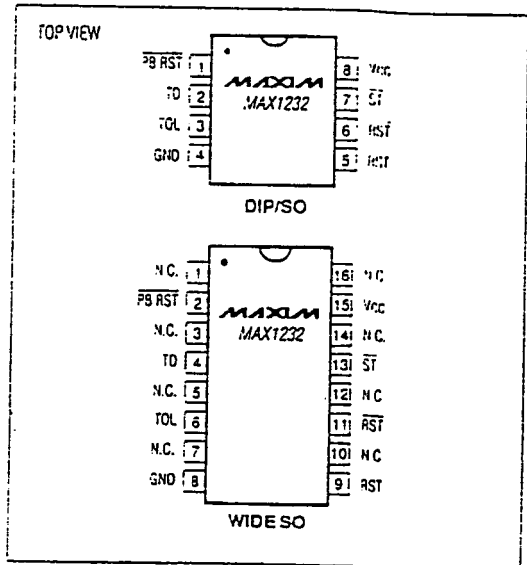
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX1232CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX1232CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX1232CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX1232C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX1232EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX1232ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX1232EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX1232MJA	-55°C to +125°C	8 CERDIP

* Contact factory for dice specifications.

Block Diagram



Pin Configuration



5

MAX1232 Microprocessor Monitor

MAX1232

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage on any pin (with respect to GND)	-1V to +7V	Storage Temperature Range	-55°C to +160°C
Operating Temperature Ranges:		Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	+300°C
MAX1232C	0°C to +70°C		
MAX1232E	-40°C to +85°C		
MAX1232M	-55°C to +125°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED D.C. OPERATING CONDITIONS

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX})

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	VCC		4.5	5.0	5.5	V
\overline{ST} and $\overline{PB-RST}$ Input High Level (Note 1)	V _{IH}		2.0		VCC + 0.3	V
\overline{ST} and $\overline{PB-RST}$ Input Low Level	V _{IL}		-0.3		+0.3	V

D.C. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; VCC = +4.5V to +5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage \overline{ST} , \overline{PCL}	I _{IL}		-1.0		+1.0	μ A
Output Current \overline{RST}	I _{OH}	V _{OH} = 2.4V	-1.0	-12		mA
Output Current \overline{RST} , \overline{PCL}	I _{OL}	V _{OL} = 0.4V	2.0	10		mA
Operating Current (Note 2)	I _{CC}			50	200	μ A
VCC 5% Trip Point (Note 3)	V _{CCTP}	TOL = GND	4.50	4.62	4.74	V
VCC 10% Trip Point (Note 3)	V _{CCTP}	TOL = VCC	4.25	4.37	4.49	V

MAX1232 Microprocessor Monitor

CAPACITANCE (Note 4)

(T_A = -25°C)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Capacitance ST, TOL	C _{IN}				5	pF
Output Capacitance RST, RST	C _{OUT}				7	pF

A.C. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(T_A = T_{MIN} TO T_{MAX}; V_{CC} = -5V to ±10%)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
PB RST (Note 5)	t _{PS}	Figure 3	20			ms
PB RST Delay	t _{PSD}	Figure 3		4	20	ms
Reset Active Time	t _{RST}		250	610	1000	ms
ST Pulse Width	t _{ST}	Figure 4	75			ns
ST Timeout Period	t _{TD}	Figure 4 TD cin = 0V	62.5	150	250	ms
		TD cin = open	250	600	1000	
		TD cin = V _{CC}	500	1200	2000	
V _{CC} Fall Time (Note 4)	t _F	Figure 5	10			μs
V _{CC} Rise Time (Note 4)	t _R	Figure 5	0			μs
V _{CC} Detect to RST High and RST Low	t _{RPO}	Figure 7, V _{CC} falling			100	ns
V _{CC} Detect to RST Low and RST Open (Note 6)	t _{RPU}	Figure 8, V _{CC} rising	250	610	1000	ms

Note 1: PB RST is internally pulled up to V_{CC} with an internal impedance of typically 40kΩ.

Note 2: Measured with outputs open.

Note 3: All voltages referenced to GND.

Note 4: Guaranteed by design.

Note 5: PB RST must be held low for a minimum of 20ms to guarantee a reset.

Note 6: t_R = 5μs.

MAX1232 Microprocessor Monitor

Pin Description

NAME	FUNCTION
$\overline{\text{PB RST}}$	Pushbutton Reset Input. A debounced active-low input that ignores pulses less than 1ms in duration and is guaranteed to recognize inputs of 20ms or greater.
TD	Time Delay Set. The watchdog timebase select input: TD = 150ms for TD = 0V, TD = 600ms for TD = 0.5V, TD = 1.2sec for TD = VCC.
TOL	Tolerance Input. Connect to GND for 5% tolerance or to VCC for 10% tolerance.
GND	Ground
RST	Reset Output (Active High) - goes active: 1. If VCC falls below the selected reset voltage threshold. 2. If $\overline{\text{PB RST}}$ is forced low. 3. If $\overline{\text{ST}}$ is not strobed within the minimum timeout period. 4. During power-up.
$\overline{\text{RST}}$	Reset Output (Active Low, Open Drain) - see RST.
$\overline{\text{ST}}$	Strobe Input. Input for watchdog timer.
VCC	The +5V Power-Supply Input
N.C.	No Connect

Detailed Description

Power Monitor

A voltage detector monitors VCC and holds the reset outputs (RST and $\overline{\text{RST}}$) in their active states whenever VCC is below the selected 5% or 10% tolerance (4.62V or 4.37V typically). To select the 5% level, connect TOL to ground. To select the 10% level, connect TOL to VCC. The reset outputs will remain in their active states until VCC has been continuously in-tolerance for a minimum of 250ms (the reset active time) to allow the power supply and μP to stabilize.

The RST output both sinks and sources current, while the $\overline{\text{RST}}$ output, an open-drain MOSFET, sinks current only and must be pulled high.

Pushbutton Reset Input

The MAX1232's debounced manual reset input ($\overline{\text{PB RST}}$) manually forces the reset outputs into their active states. The reset outputs go active after $\overline{\text{PB RST}}$ has been held low for a time tPSD, the pushbutton reset delay time. The reset outputs remain in their active states for a minimum of 250ms after $\overline{\text{PB RST}}$ rises above V_{IH} (Figure 3).

A mechanical pushbutton or an active logic signal can drive the $\overline{\text{PB RST}}$ input. The debounced input ignores input pulses less than 1ms and is guaranteed to recognize pulses of 20ms or greater. The $\overline{\text{PB RST}}$ input has an internal pull-up to VCC of about 100 μA ; therefore, an external pull-up resistor is not necessary.

Watchdog Timer

The μP drives the $\overline{\text{ST}}$ input with an Input/Output (I/O) line. The μP must toggle the $\overline{\text{ST}}$ input within a set period (as determined by TD) to verify proper software execution. If a hardware or software failure keeps $\overline{\text{ST}}$ from toggling within the minimum timeout period - $\overline{\text{ST}}$ is activated only by falling edges (a high-to-low transition) - the MAX1232 reset outputs are forced to their active states for 250ms (Figure 2). This typically initiates the μP 's power-up routine. If the interruption continues, new reset pulses are generated each timeout period until $\overline{\text{ST}}$ is strobed. The timeout period is determined by the TD input connection. This timeout period is typically 150ms with TD connected to GND, 600ms with TD floating, or 1200ms with TD connected to VCC.

The software routine that strobes $\overline{\text{ST}}$ is critical. The code must be in a section of software that executes frequently enough so the time between toggles is less than the watchdog timeout period. One common technique controls the μP I/O line from two sections of the program. The software might set the I/O line high while operating in the foreground mode and set it low while in the background or interrupt mode. If both modes do not execute correctly, the watchdog timer issues reset pulses.

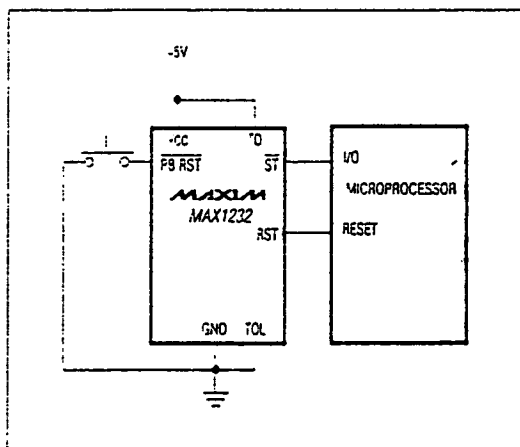


Figure 1. Pushbutton Reset

MAX1232 Microprocessor Monitor

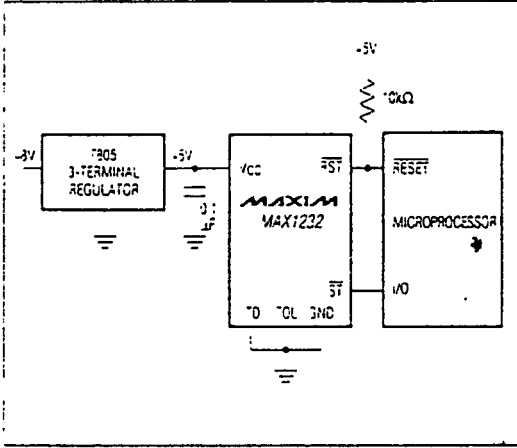


Figure 2. Watchdog Timer

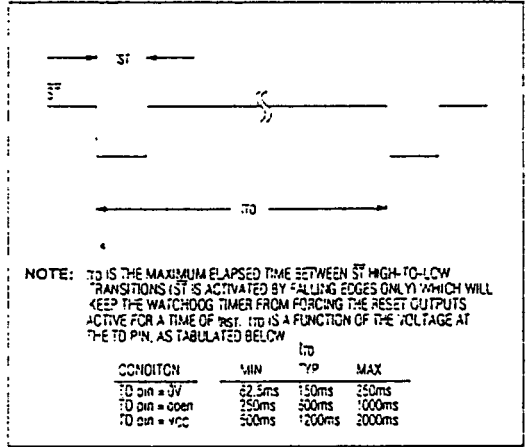


Figure 4. Watchdog Strobe Input

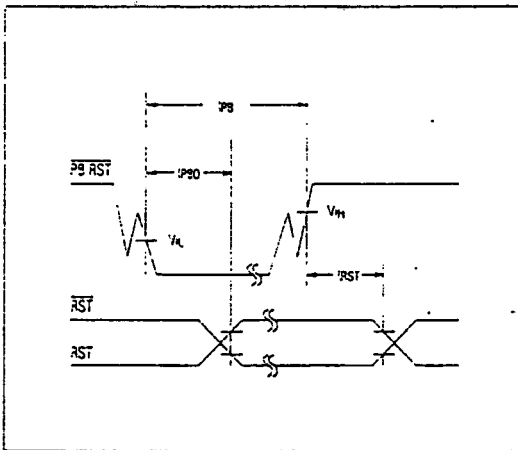


Figure 3. Pushbutton Reset. The debounced PB RST input ignores input pulses less than 1ms and is guaranteed to recognize pulses of 20ms or greater.

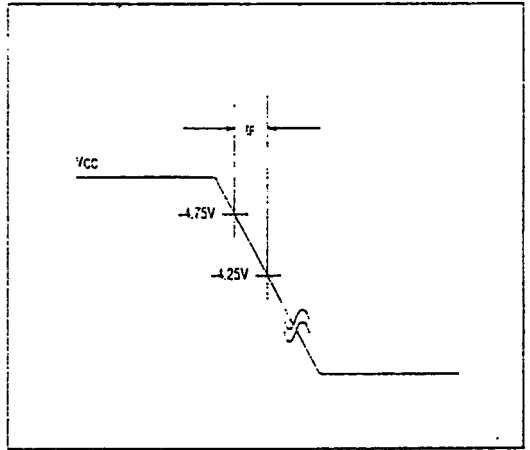


Figure 5. Power-Down Slew Rate

MAX1232

5

MAX1232

MAX1232 Microprocessor Monitor

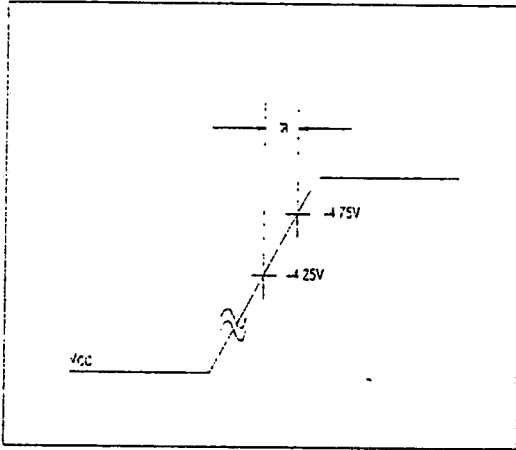


Figure 6. Power-Up Slew Rate

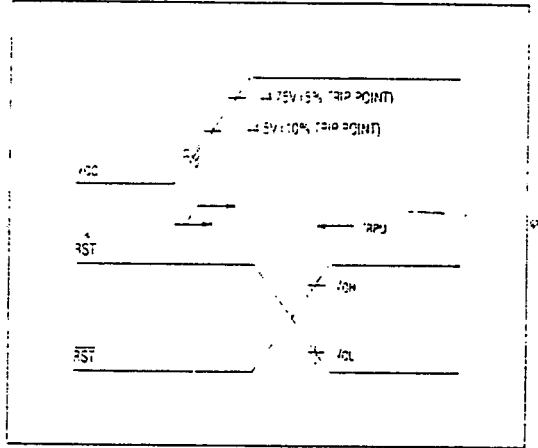


Figure 8. VCC Detect Reset Output Delay (Power-Up)

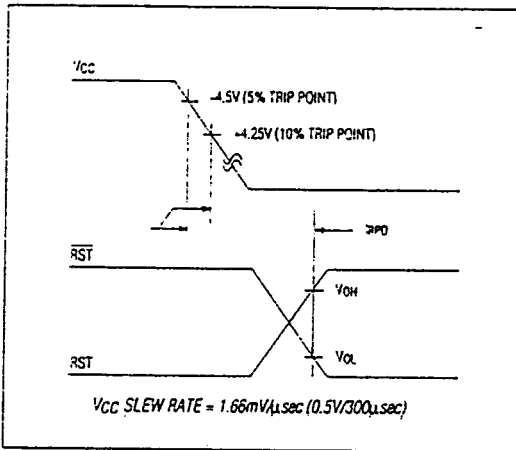
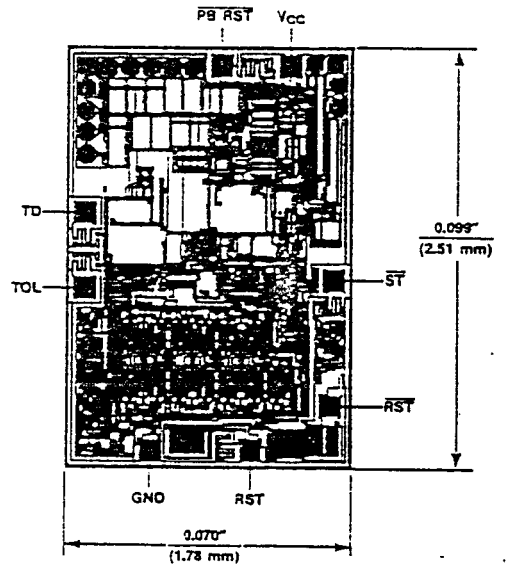


Figure 7. VCC Detect Reset Output Delay (Power-Down)

Chip Topography



Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

บรรณานุกรม

กลุ่ม CNS.“ออปแอมป์”. หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. กรุงเทพมหานคร.

วุฒิชัย สังขกุล.“การขับสเต็มเซลล์ในโหนดไมโครสเต็มต่อสัญญาณที่ได้จากการทดสอบโดยตรง”,ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2539.

สุนทร วิทสุรพจน์. “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 8051”. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน). กรุงเทพมหานคร, 2537.

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายเทอดศักดิ์ แก้วสิงห์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 22 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2516
สถานที่เกิด	จังหวัดร้อยเอ็ด
ภูมิลำเนาเดิม	18 หมู่ 8 ตำบลพนมไพร อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด 45140
ที่อยู่ปัจจุบัน	378/1 หมู่ 1 ซอยจินดาภิเษก ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	3268326 ต่อ ห้อง 2
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนคอนเสาโฮง (นิคมวิทยาการ)
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพนมไพรวิทยาการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ดาวร้ายแพ้พระเอกเสมอ

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาโท	นายอนุสรณ์ ชลศิริพงษ์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 22 เดือนมีนาคม พ.ศ.2519
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	18 ซอยเทศบาลประสาธ 5 ถนนเทศบาลประสาธ ตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170
ที่อยู่ปัจจุบัน	18 ซอยเทศบาลประสาธ 5 ถนนเทศบาลประสาธ ตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170
โทรศัพท์	038-444128

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัฒนคุณวิทย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนชลราษฎรอำรุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

ทุนการศึกษา

-

คติพจน์

ทำความดีให้มีความสุข

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นางสาวอมรรัตน์ แก้วช่วย
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ.2518
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ภูมิลำเนาเดิม	248/1 หมู่ 12 ตำบลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
ที่อยู่ปัจจุบัน	35/32 จรัญสนิทวงศ์ 19 แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนปทุมานุกูล
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนท่าศาลาประสิทธิ์ศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำสิ่งที่ถูกต้อง

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายเอกสิทธิ์ เทียงตรงดี
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2519
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
ภูมิลำเนาเดิม	78/3 หมู่ 4 ตำบลเนินพระ อ่างทองเมือง จังหวัดระยอง 21150
ที่อยู่ปัจจุบัน	629/1 หมู่ 1 ซอยจินดา แขวงคลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดกรอกยายชา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดป่าประดู่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	คนสามารถพัฒนาได้