

ปริญญาานิพนธ์

ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

**CONTROL SYSTEM OF SOLARCELL DEGREE ADJUSTMENT
WITH SUN TRACKING**



ภาณุมาศ สุนทามรัตน์
วันชัย พุ่มพัว
สมพงษ์ ชูช่วย
वासัน ศรีเกลี้ยง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 66705
วัน,เดือน,ปี..... - 8 พ.ย. 2549

b. 11260969
i.

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
 Control System of Solarcell Degree Adjustment with Sun Tracking

ชื่อนักศึกษา 1. นายภาณุมาศ สุนทามรัตน์ รหัสประจำตัว 47035317
 2. นายวันชัย พุ่มพัว รหัสประจำตัว 47035323
 3. นายสมพงษ์ ชูช่วย รหัสประจำตัว 47035326
 4. นายวาสน์ ศรีเกลี้ยง รหัสประจำตัว 47035624

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.วรวิทย์ สมหา

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.ประเสริฐ เคนพันค้อ	
2. อ.พรพิมล ฉายรัตน์	
3. อ.สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี	
4. อ.วรวิทย์ สมหา	
5. อ.อมรชัย ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันอังคารที่ 9 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 เวลา 15.00 น.
 สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....
 (ผศ.สุรสิทธิ์ รัตรี)



<BT482392>

ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม
 วันที่...1...เดือน...4...พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

Control System of Solarcell Degree Adjustment With Sun Tracking

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์, หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
2. เพื่อออกแบบระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
3. เพื่อสร้างระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์, วงจรควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ และวงจรอินเวอร์เตอร์
4. เพื่อทดสอบการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์
5. เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานจริงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจ การนำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์, หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
2. ออกแบบระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ได้
3. ได้ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์, วงจรควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ และวงจรอินเวอร์เตอร์
4. ได้ผลการทดสอบการปรับองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
5. ได้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
นักศึกษา	นายภาณุมาศ สุนกามรัตน์ นายวันชัย พุ่มพัว นายสมพงศ์ ชูช่วย นายवासัณ ครกเกลี้ยง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์รววิทย์ สมหา
หลักสูตร	ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการศึกษาและทดลองคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีชุดควบคุมให้เป็นระบบการปรับองศาตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยทดลองเปรียบเทียบการรับพลังงานในแต่ละเวลาตลอดทั้งวันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ที่มุมที่ได้รับพลังงานที่มากที่สุด แหล่งพลังงานที่นำมาใช้ขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมาจากพลังงานที่ได้จากการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอง โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์นี้ จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคริสตอลไลน์ ซิลิกอนเซลล์ ขนาด 120 วัตต์ 17.2 โวลต์ จำนวน 2 แผงต่อขนานกัน ซึ่งสามารถปรับองศาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้ง 1 แนวแกน และใช้ ดีซี มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งและทิศทางดวงอาทิตย์นี้ จะใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงและใช้หลักการบังเงาในการตรวจจับตำแหน่งระบบจะถูกควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS เบอร์ AT89S51 พลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบการปรับองศาตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ จะถูกเก็บพลังงานสะสมในแบตเตอรี่ชนิด กรด-ตะกั่ว ขนาด 120 Ah โดยผ่านวงจรอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Control System of Solarcell Degree Adjustment With Sun Tracking
Students	Mr. Panumas Soonkamrat Mr. Wanchai Pumpour Mr. Sompong Choochuay Mr. Wasan Sonkleang
Advisor	Mr. Surapong Siripongdee
Co-Advisor	Mr. Worawit Somha
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Telecommunication Engineering
Academic Year	2005

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study a characteristic of the solar cell degree adjustment with sun tracking system. This experiment, let us the maximum power between maximum power fixed-position solar system and stand alone solar tracking system. Which is the maximum power transform from 120 Watt 12 Volt photovoltaic panel (we used 2 of them), and stored by charger circuit through a 120 Ah 12 Volt lead-acid battery. We can drive the photovoltaic panel in one direction by using DC motors. LDR (Light Decrease Resistor) and shading method take place in order to be sensing part of this system. It will operation when the dark is came. The microcontroller MCS AT89S51 is the central control unit for this system.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดีนั้นเนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี อาจารย์วรวิทย์ สมหา อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพรัชภูมิ สุวรรณจันทร์ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนถึงข้อมูล และอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงการ และในการจัดพิมพ์ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สำนักหอสมุดกลาง และศูนย์วิจัยอินเทอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยอำนวยความสะดวก และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทางด้านการศึกษาตลอดจนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

อนึ่ง ประโยชน์ และคุณความดีใดๆ ก็ตามที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แต่ บิดา มารดาซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด และครู อาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้น จนมีวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการทำงาน	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.2.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์	5
2.3.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์	5
2.3.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก	6
2.3.3 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลก	7
2.3.4 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์	8
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์	9
2.4.1 การดูดซับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	9
2.4.2 การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน	10
2.4.3 บล็อกกึ่งไดโอด	11
2.4.4 บายพาสไดโอด	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ	14
2.4.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.4.8 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง	14
2.4.9 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.4.10 ข้อควรระวัง	15
2.4.11 การดูแลรักษา	16
2.5 แบตเตอรี่	16
2.5.1 การเลือกแบตเตอรี่	17
2.5.2 ทฤษฎีและหลักการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่	17
2.5.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่	17
2.5.4 แรงเคลื่อนของของเซลล์	18
2.5.5 ปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่	19
2.5.6 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า	19
2.5.7 แรงดันกับความต้านทาน	19
2.5.8 กำลังงานต่อชั่วโมง	20
2.5.9 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่	21
2.5.10 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด	22
2.5.11 การประจุกลับเข้าไปใหม่ของตะกั่วกรด	23
2.6 ตัวต้านทานไวแสง	24
2.6.1 โครงสร้าง	24
2.6.2 สมบัติทางแสง	24
2.6.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า	26
2.7 ออปแอมป์	27
2.7.1 คุณสมบัติทั่วไป	27
2.7.2 ลักษณะการทำงาน	28
2.7.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์	30
2.7.4 ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจ	35
2.7.5 ชนิดและรูปแบบต่างๆ ของออปแอมป์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	36
2.8.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	36
2.8.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	37
2.8.3 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	39
2.8.4 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	40
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	42
3.1 กล่าวนำ	42
3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	44
3.3 วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์	45
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์	46
3.5 วงจรเรกติไฟเออร์	47
3.6 ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	48
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	53
4.1 กล่าวนำ	53
4.2 ทดลองการประจุแบตเตอรี่	53
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 บทสรุป	60
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	60
5.2.1 โครงสร้าง	60
5.2.2 ระบบขับเคลื่อน	60
5.2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	61
5.2.4 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง	61
5.3 แนวทางการพัฒนา	61
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	64
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	77
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	83
ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	87
ภาคผนวก จ ผังการทำงาน	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ฉ รหัสต้นฉบับของโปรแกรม	124
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งาน	126
ประวัติผู้แต่ง	131



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งชนิดของออปแอมป์ออกเป็นกลุ่มหรือตระกูล	36
4.1 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 1	53
4.2 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 2	54
4.3 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 3	55
4.4 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 4	56
4.5 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 5	57
4.6 ผลการทดลองการวัดกระแสเฉลี่ยรวม	58
4.7 ประสิทธิภาพกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์รับรองค่าตามดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหน้ากับพื้นโลก	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์	6
2.2 ผลงานงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก	7
2.3 คำจำกัดความของแอร์แมส	8
2.4 ลักษณะการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน	10
2.5 บล็อกกึ่งไดโอด	11
2.6 บายพาสไดโอด	12
2.7 กราฟแสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.8 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาหน้าหนึ่งด้วย	20
2.9 การต่อแบตเตอรี่	21
2.10 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการกระจายไฟฟ้าออก	21
2.11 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการประจุ	22
2.12 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากแอโนด	23
2.13 โครงสร้าง LDR	24
2.14 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเปรียบเทียบกับความไวของตาคน	25
2.15 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	26
2.16 ฟังก์ชันการทำงานของวงจรภายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์	27
2.17 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์	28
2.18 ลักษณะของวงจรในอุดมคติของออปแอมป์	29
2.19 ขั้วต่างๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์	30
2.20 วงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้ออปแอมป์	31
2.21 อัตราสลับที่มีผลต่อการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต	33
2.22 อัตราขยายของออปแอมป์เทียบกับความถี่	34
2.23 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	37
2.24 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	39
2.25 ลักษณะภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Pin	40
3.1 โครงสร้างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	43
3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	44
3.3 วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์	46
3.5 วงจรเรคตีไฟเออร์	47
3.6 โครงสร้างด้านหน้าขนานกับพื้นโลก	48
3.7 โครงสร้างด้านหน้าทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก	49
3.8 โครงสร้างด้านข้างขนานกับพื้นโลก	50
3.9 โครงสร้างด้านข้างทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก	51
3.10 ส่วนประกอบของหลอด LDR1	52
3.11 ส่วนประกอบของหลอด LDR2	52
4.1 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 1	54
4.2 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 2	55
4.3 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 3	56
4.4 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 4	57
4.5 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 5	58
ก.1 วงจรเรคตีไฟเออร์	65
ก.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	65
ก.3 วงจรปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์	66
ก.4 วงจรอินเวอร์เตอร์	66
ก.5 วงจรรวมที่สมบูรณ์	67
ก.6 การวางวงจรรวมในตู้ควบคุม	67
ก.7 หน้าปัดตู้ควบคุม	68
ก.8 หน้าปัดตู้ควบคุมด้านใน	68
ก.9 มอเตอร์ปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์	69
ก.10 การติดตั้งมอเตอร์ปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์	69
ก.11 การติดตั้งแกนมอเตอร์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	70
ก.12 แกนเลื่อนปรับองศาแผงเซลล์แสงอาทิตย์	70
ก.13 การติดตั้ง LDR	71
ก.14 การติดตั้ง LDR1 และ LDR2	71
ก.15 การติดตั้ง Limit Switch	72
ก.16 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.17 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์	73
ก.18 แบตเตอรี่	73
ก.19 ประตูดักควบคุม	74
ก.20 เครื่องต้นแบบด้านข้างทำมุม 0 องศา	74
ก.21 เครื่องต้นแบบด้านหน้าทำมุม 0 องศา	75
ก.22 เครื่องต้นแบบด้านข้างทำมุม 15 องศา	75
ก.23 เครื่องต้นแบบด้านข้างทำมุม 15 องศา	76
ก.24 เครื่องต้นแบบด้านหน้าทำมุม 15 องศา	76
ข.1 แผงวงจรพิมพ์วงจรเรกติไฟเออร์	79
ข.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรเรกติไฟเออร์	79
ข.3 แผงวงจรพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	80
ข.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	80
ข.5 แผงพิมพ์วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์	81
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงพิมพ์วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์	81
ข.7 แผงวงจรพิมพ์วงจรอินเวอร์เตอร์	82
ข.8 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงพิมพ์วงจรอินเวอร์เตอร์	82
ช.1 สวิตช์ควบคุมด้านในของระบบควบคุมการป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์	128
ช.2 สวิตช์ควบคุมด้านหน้าของระบบควบคุมการป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์	129

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ณ ปัจจุบัน พลังงานนับว่ามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตประจำวัน หากแต่การให้ได้มาซึ่งพลังงานนั้นจำเป็นต้องสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ มากมาย เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ฯลฯ ซึ่งทรัพยากรต่างๆ เหล่านี้มีอยู่อย่างจำกัด

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์นั้นได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ๆ เพื่อที่จะได้ไม่สูญเสียพลังงานเหล่านั้น ซึ่งได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ฯลฯ โดยจะเห็นว่า สิ่งต่างๆ เหล่านั้น ได้เริ่มมีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น หากแต่ยังไม่ถึงระดับที่ดีที่สุด โดยกล่าวกันว่าถ้าหากในอดีต 50-60 ปีที่แล้ว ไม่ได้มีการพัฒนาทางด้านเครื่องยนต์แล้ว พลังงานแสงอาทิตย์คงมีความก้าวหน้าไปถึงระดับที่ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอีก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่แปรรูปมาจากรังสีของดวงอาทิตย์และได้มีการพัฒนารูปแบบพลังงานขึ้นนี้กันอย่างแพร่หลาย

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้สร้างระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ขึ้นมาเพื่อให้ผู้สนใจศึกษาการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ และวิธีการที่จะทำให้อุปกรณ์แสงอาทิตย์มากที่สุดในแต่ละวันว่า ในช่วงเวลาสายเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องทำมุมกี่องศาถึงจะได้ความเข้มของแสงสูงสุด และช่วงเวลาที่บ่ายเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องทำมุมกี่องศาถึงจะได้ความเข้มของแสงสูงสุด และเพื่อความสะดวกในการนำไปติดตั้งด้วยตลอดจนวิธีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานแทนไฟฟ้าด้านต่างๆ เช่น สัญญาณไฟจราจร โคมไฟหน้าบ้าน และนำไปใช้งานในพื้นที่ชนบท

1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าเริ่มน้อยลงทุกคนก็ให้ความสำคัญกับเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงน่าจะเป็นผลดีกับโครงการ ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ จนสามารถนำไปใช้งานจริงได้

1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 0-15 องศา และปรับองศาตามความเข้มของแสงได้
2. สามารถนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุลงในแบตเตอรี่ได้
3. สามารถนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ มาจ่ายให้ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ได้
4. สามารถนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ มาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ได้
5. สามารถนำพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ มาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 120 วัตต์ ได้

1.5 ขั้นตอนของการทำงาน

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ซอฟต์แวร์และโหลด ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มต้นจากการสร้างโหลดหลังจากสร้างโหลดเสร็จแล้วก็เริ่มต้นสร้างฮาร์ดแวร์เมื่อสร้างฮาร์ดแวร์ได้ระดับหนึ่งเพียงพอสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมได้ก็จะเริ่มเขียนโปรแกรมทดสอบพร้อมกับการสร้างฮาร์ดแวร์ส่วนอื่นเพิ่มเติม และเมื่อสร้างโครงการเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานินพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีและหลักการต่างๆ ประกอบด้วยเนื้อหาทางทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ตัวต้านทานไวแสง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับบออปแอมป์ ทฤษฎีหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน ประกอบด้วยการวงจรต่างๆ ดังต่อไปนี้ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจจับความเข้มแสง วงจรเรกติไฟเออร์ วงจรอินเวอร์เตอร์ และโครงสร้างชุดปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ประกอบด้วยขั้นตอนการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบผลระหว่างการประจุกระแสโดยใช้โครงการนี้กับการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานกับพื้น ว่ามีผลการทดลองแตกต่างกันอย่างไร และแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนาขีดความสามารถของโครงการ
บรรณานุกรม

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโครงการดังต่อไปนี้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผงวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายการละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ ผังการทำงาน

ภาคผนวก ฉ รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งาน

ประวัติผู้แต่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริิญาานิพนธ์ในบทนี้ เป็นทฤษฎีและหลักการ ที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน ประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ตัวต้านทานไวแสง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับออปแอมป์ ทฤษฎีหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เปรียบเสมือนทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ไปเป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปรวมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าถึงประมาณ 80-90%

2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีหลักการทำงาน โดยวิธีการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ผ่านไปที่ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งจะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กผลัดกันกัน อาร์เมเจอร์จึงหมุนไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า สนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่าจะขึ้นอยู่กับกระแส และกำลังของสนามแม่เหล็ก โดยที่พลังแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะเกิดจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้น ที่ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดติดกับตัวถังได้พอดีเพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วย

2.2.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตมาใช้งานมีโครงสร้าง และส่วนประกอบคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกันมีรูปร่างลักษณะภายนอกคล้ายกัน แตกต่างกันในการนำไปใช้งาน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อทำให้เพลลาหมุนก็จะให้กำเนิดไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟตรงออกมา ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนเกิดพลังงานกลขึ้นมา

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีดังนี้

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงของมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงของมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3. โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วน (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ให้อยู่กับที่ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กกระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4. อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วย ที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเซาะร่องออกเป็น ส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดที่อาบน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่ และมีลึ้มไฟเบอร์อัดแน่นยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ทำหน้าที่ให้กำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา เมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้ตัวมอเตอร์เพื่อให้เกิดแรงผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสองทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งเหล็กทองแดงแข็งประกอบเข้ากันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) และถูกแยกออกจากเพลาด้วยฉนวนไมก้าเช่นกัน ตอนปลายของคอมมิวเตเตอร์ต่อเข้ากับขดลวดอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

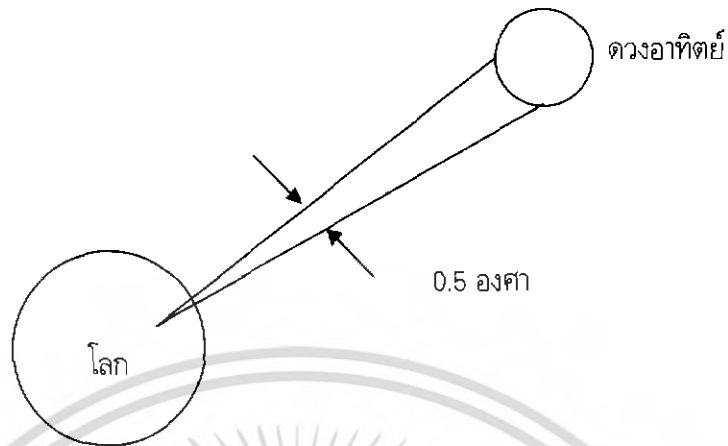
6. แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากแท่งคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

2.3.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนในปริมาณ 75% ที่เหลือเป็นธาตุฮีเลียมและธาตุหนักอื่นๆ เช่น เหล็ก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.39×10^6 กิโลเมตร มีมวลเท่ากับ 1.99×10^{30} กิโลกรัม และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1,410 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ณ จุดใดๆ บนพื้นโลกเมื่อมองขึ้นไปยังดวงอาทิตย์จะเห็นดวงอาทิตย์ครอบคลุมขนาดไปประมาณครึ่งองศา ดังรูปที่ 2.1 และจากที่เราทราบว่าโลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตำแหน่งไป 1 องศาใช้เวลา 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์

2.3.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก

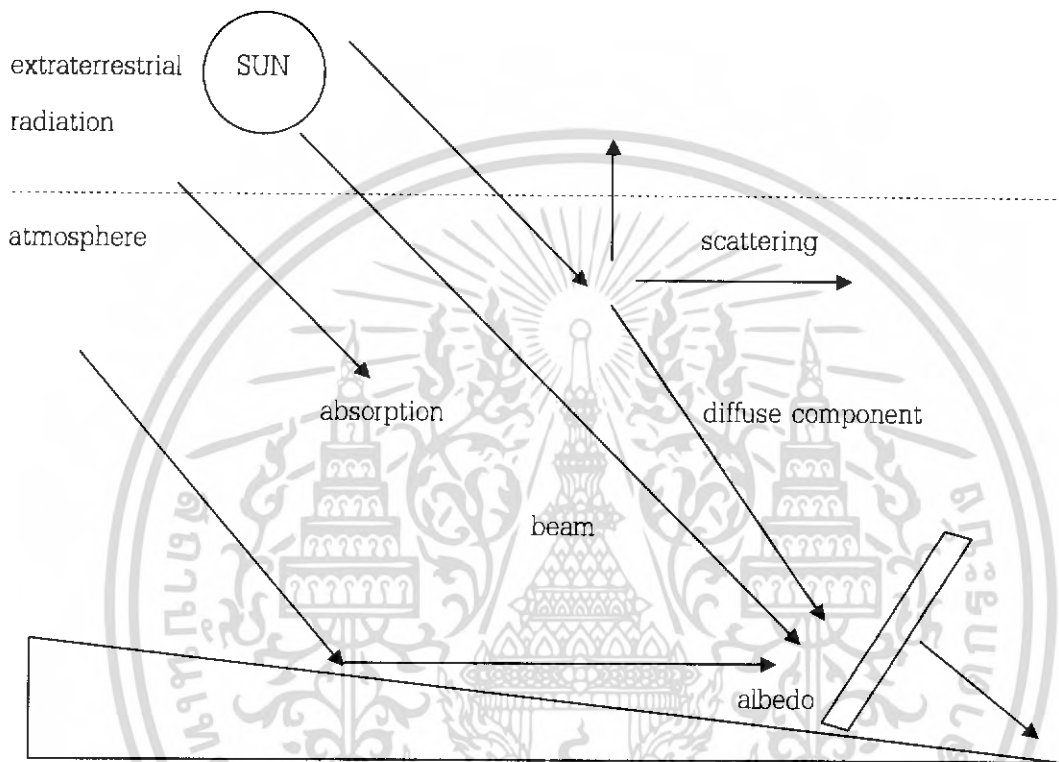
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาล พลังงานที่เกิดบนดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชัน (Thermonuclear Fusion) ของไฮโดรเจน 4 อะตอม (Atom) คือ พลังงานเท่ากับมวลคูณด้วยความเร็วกำลังสอง ($E = mc^2$) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมาแล้ว 4.5 พันล้านปี และคาดว่าจะยังมีไฮโดรเจนเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยานี้อีกประมาณ 4.5 พันล้านปี สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศเรียกว่าเป็นสเปกตรัมแบบ AMO (Air Mass Zero) ส่วนสเปกตรัมบนพื้นโลกที่วัดที่เส้นศูนย์สูตรระดับน้ำทะเล ขณะที่ฟ้าแจ่มใสและดวงอาทิตย์อยู่เหนือหัวเรียกว่า สเปกตรัมแบบ AM1 (Air Mass One) หากเป็นการวัดที่ตำแหน่งอื่นๆ สภาพอากาศที่สเปกตรัมที่ได้จะเป็นแบบ AM2, AM3 แล้วแต่ปริมาณและสภาพบรรยากาศที่แสงผ่านตลอดจนทางยาวของทางผ่านของแสงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยกำลังงาน 3.85×10^{23} กิโลวัตต์และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับ 1.725×10^{14} กิโลวัตต์เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ 1.51×10^{18} กิโลวัตต์ชั่วโมง

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะแปรปรวนอยู่ในช่วง 1.51×10^8 กิโลเมตร $\pm 1.7\%$ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับนอกบรรยากาศที่ระยะห่างดังกล่าวค่าสูงสุดเท่ากับ 1,400 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,305 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม โดยเฉลี่ยแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับรายปีเท่ากับ 1,367 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลก

โลกประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่างๆ ฝุ่นละอองและไอน้ำ เมื่อดวงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศของโลก พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับโดยอนุภาคของอากาศ เมฆ ฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งเราสามารถ



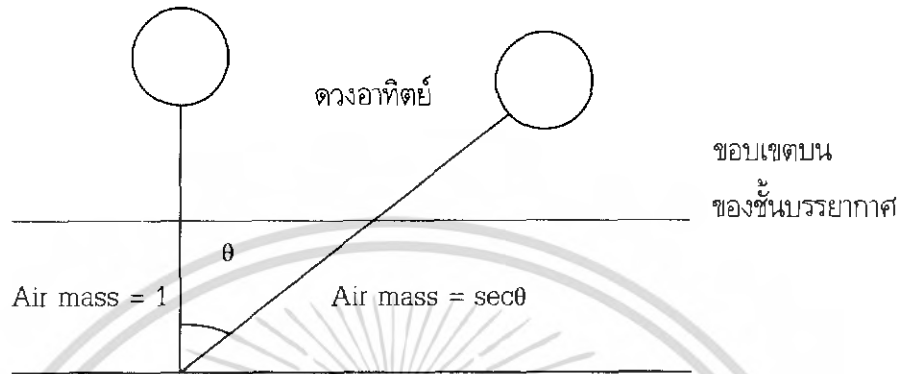
รูปที่ 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก

แยกประเภทพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ออกได้เป็นดังนี้

1. ลำแสงที่ตกกระทบพื้นโลกโดยตรง
2. ลำแสงที่สะท้อนมาจากพื้นโลก
3. ลำแสงที่สะท้อนมาจากฝุ่นละอองต่างๆ ในอากาศ (Diffuse Radiation)
4. ลำแสงทั้งหมดที่สะท้อนมาจาก 3 ส่วนข้างต้น (Global)

ระยะทางที่แสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ฉายลงบนพื้นโลก ถ้าระยะทางที่แสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศยาว เช่น ในช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็น ปริมาณแสงอาทิตย์ที่รับได้จะลดลง โดยนิยามค่าศัพท์ "แอร์แมส" (Air Mass) ขึ้นเพื่อใช้ระบุระยะทางสัมพันธ์ที่แสงอาทิตย์ฉายผ่านบรรยากาศ โดยกำหนดให้ตำแหน่งซึ่งดวงอาทิตย์ตรงศีรษะมีค่าแอร์แมสเป็น 1 ที่ตำแหน่งอื่นแอร์แมสมีค่าเท่ากับ $\sec \theta$ เมื่อ θ คือ มุมที่แนวแสงอาทิตย์ทำกับเส้นตั้งดังที่แสดงใน รูปที่ 2.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่แอร์แมสต่างๆ เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกบรรยากาศ (แอร์แมส เท่ากับ 0)



รูปที่ 2.3 ค่าจำกัดความของแอร์แมส

2.3.4 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เนื่องจากวงโคจรของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ เป็นวงรี และโลกมีการโคจรรอบตัวเองทำให้มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับตำแหน่งเดียวกันในแต่ละวันเปลี่ยนไปในทุกๆ วัน ซึ่งสามารถคำนวณมุมเอียงของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับแต่ละตำแหน่งในแต่ละวันได้โดยใช้สูตรเอมพิริคัลที่ใช้คำนวณมุมเดคลิเนชัน

$$\theta = 23.45^\circ \sin \left[\left(\frac{284 + N}{Ny} \right) \times 360 \right]$$

θ : มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกในแต่ละวันซึ่งมีค่าตั้งแต่ 23.45° จนถึง -23.45°

N : จำนวนนับตั้งแต่ 1 มกราคมจนถึงวันที่ต้องการหา

Ny : จำนวนวันในปีนั้นๆ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 1 ปีนั้น ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นโลกตามแนวตั้งตั้งแต่ 23.45 องศา ถึง -23.45 องศา

ดังนั้นมุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้สามารถรับพลังงานมากที่สุดจะคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \varphi - \theta$$

เมื่อ β : มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

φ : มุมเส้นละติจูดที่ของสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นหน่วยย่อยพื้นฐานของระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายคือ คริสตัลไลน์ ซิลิกอนเซลล์ (Crystalline silicon cell) สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิดแต่ประเภทที่มีประสิทธิภาพสูงคือ แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) มีการนำไปติดตั้งบนดาวเทียมแต่เนื่องจากใช้ต้นทุนสูงจึงไม่มีการใช้โดยทั่วไป

ขณะการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ประสบปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือ ต้นทุนสูงแต่มีข้อดีหลายประการเช่น

1. มีความสามารถในการใช้งานที่ถาวร (อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปีขึ้นไป)
2. เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้า ต่อพื้นที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่น
3. นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง หรือโดยทางอ้อม ทำให้หมดปัญหาเรื่องระบบกำลังส่ง
4. เครื่องกำเนิดพลังงานโดยใช้แสงอาทิตย์ไม่ต้องมีอุปกรณ์ส่วนใดเคลื่อนไหวหรือโยกย้ายทำให้การบำรุงรักษาและดูแลสะดวก
5. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ
- 6.ปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินในระหว่างใช้งาน เช่น ไม่ก่อให้เกิดปัญหาไฟไหม้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็ก และบุคคลทั่วไปเหมือนกับการใช้เครื่องกำเนิดพลังงานแบบอื่น
7. ใช้งานได้ในทุกสภาพพื้นที่ที่มีแสงแดด เช่น กลางทะเล หุบเขา ทะเลทรายหรืออวกาศ เป็นต้น
8. มีความเชื่อถือได้สูง
9. ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับด้านวัตถุดิบเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

2.4.1 การดูดซับพลังงานแสงของสารกึ่งตัวนำ

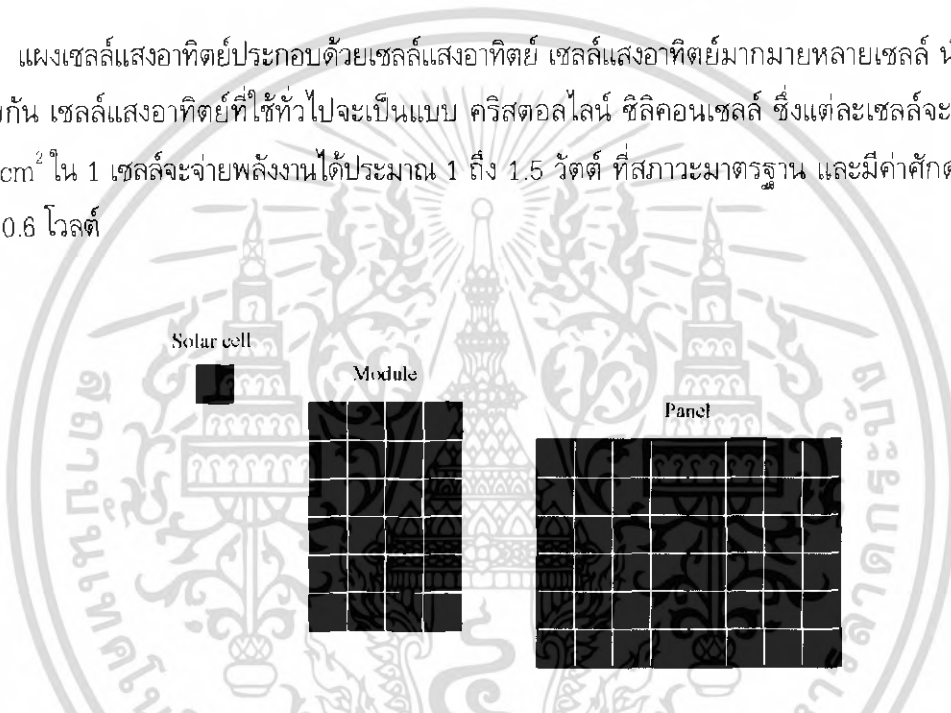
ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยหลักการของทฤษฎีควอนตัมที่ว่า แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคที่มีพลังงานเรียกว่า โฟตอน (Photons)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวันที่อากาศปลอดโปร่งจะมีปริมาณโฟตอน 4.4×10^{17} โฟตอนตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร บนผิวโลกทุกวินาที แต่จะมีพลังงานน้อยนิดเท่านั้นที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้

การเปลี่ยนรูปพลังงานเริ่มต้นจากเมื่อโฟตอนตกกระทบลงบนสารกึ่งตัวนำ จะทำให้วาเลนอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานเพิ่ม ถ้าวาเลนอิเล็กตรอนตัวไหนได้รับพลังงานมากเพียงพอก็จะข้ามไปอยู่ยังแถบนำ เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระและตำแหน่งที่เดิมของอิเล็กตรอนตัวนั้นจะเกิดโฮลขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดอิเล็กตรอนแพร่ (Electron hole pairs) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์มากมายหลายเซลล์ นำมาต่อเข้าด้วยกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทั่วไปจะเป็นแบบ คริสตอลไลน์ ซิลิคอนเซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีขนาด $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ใน 1 เซลล์จะจ่ายพลังงานได้ประมาณ 1 ถึง 1.5 วัตต์ ที่สภาวะมาตรฐาน และมีค่าศักดาไฟฟ้า 0.5 ถึง 0.6 โวลต์



รูปที่ 2.4 ลักษณะการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน

2.4.2 การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน

เราสามารถนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ศักดาไฟฟ้าตามที่เรากำหนดไว้ ส่วนขนาดของกระแสที่ต้องการก็สามารถทำได้โดยการนำมาต่อขนานกัน เมื่อเราได้จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมแล้วก็จะนำมาประกอบรวมกันเป็นแผงเรียกว่า โมดูล (Module) แผงเซลล์ (Panel) ดังรูปที่ 2.4 โมดูลหลายๆ โมดูลนำมารวมกันเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการนั่นเอง

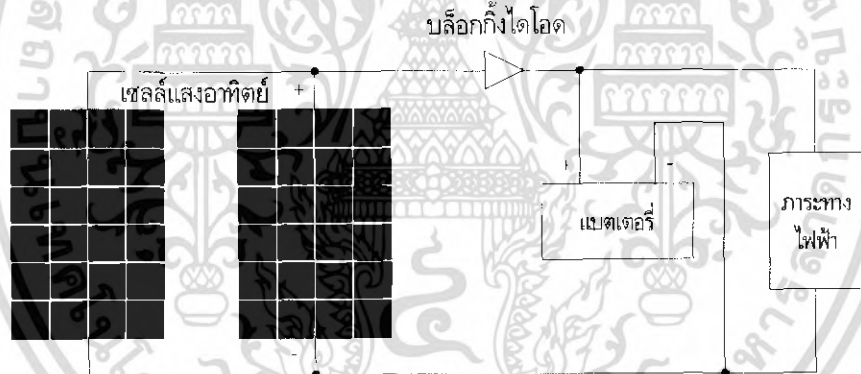
ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากจะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว ยังต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ช่วยในการทำงานของระบบเป็นไปอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking diode) และ บายพาสไดโอด (By-pass diode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 บล็อกกิ้งไดโอด

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้พลังงานจากที่ผลิตมาได้ (Stand alone) ส่วนมากมักจะ มีระบบแบตเตอรี่สำรองไว้สำหรับจ่ายภาระทางไฟฟ้า ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำการจ่ายพลังงานให้กับ อุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่นั้นก็จะทำการประจุแบตเตอรี่ไปด้วย ซึ่งจะมีตัวบล็อกกิ้งไดโอดต่ออยู่ระหว่างแผงเซลล์ แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ที่มีลักษณะการต่อดังรูปที่ 2.5 ช่วงแรกขณะที่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำกว่า แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานก็จะไหลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปประจุในแบตเตอรี่ จนกระทั่งเมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวบล็อกกิ้งไดโอด จะทำหน้าที่ในการป้องกันการจ่ายพลังงานกลับของแบตเตอรี่ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแรงดันไฟฟ้า ต่ำกว่าแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในเวลากลางคืนหรือขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้

ตัวบล็อกกิ้งไดโอดจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายพลังงานกลับของแบตเตอรี่ไปสู่แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ เนื่องจากตัวบล็อกกิ้งไดโอดจะอยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบแอส ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไปจ่ายให้ อุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้น



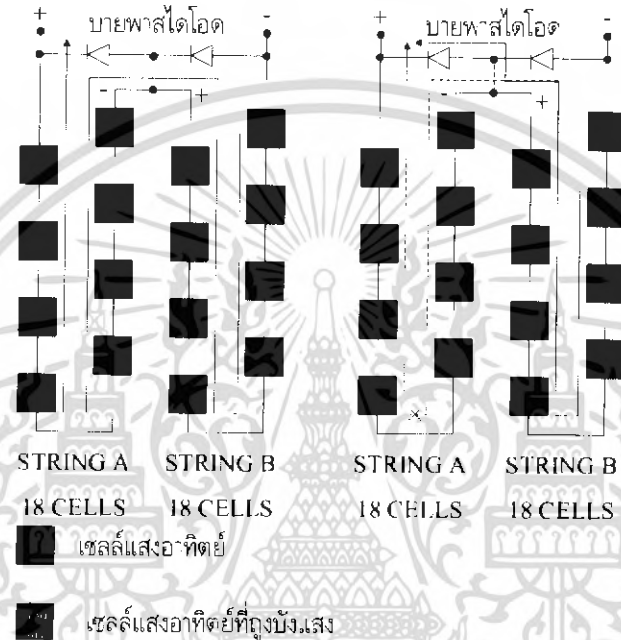
รูปที่ 2.5 บล็อกกิ้งไดโอด

2.4.4 บายพาสไดโอด

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าตามต้องการ จะต้องนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรม กัน ถ้าเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในสายที่ต่ออนุกรมกันอยู่เกิดไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ เซลล์นั้นจะมี สภาพเหมือนกับไดโอดที่อยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบแอส (Reverse bias) มีผลทำให้ตลอดทั้งสายนั้นไม่สามารถ จ่ายพลังงานได้ และตัวเซลล์เองก็จะเกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้ในกรณีที่เซลล์นั้นถูกเงาบัง ทำให้ไม่ได้รับแสงอาทิตย์ เป็นต้น สามารถแก้ไขได้โดยการต่อบายพาสไดโอดคร่อมเซลล์ได้แสดงดังรูปที่ 2.6 เพื่อที่ว่าเมื่อเซลล์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ พลังงานจากเซลล์อื่นๆ ก็สามารถผ่านตัวบายพาสไดโอดไปได้ทำให้ไม่เกิดความเสียหายเพียงแต่พลังงานที่ได้จะลดลงไปบ้าง เมื่อเซลล์นั้นได้รับแสงอาทิตย์อีกครั้งก็จ่ายพลังงานได้ต่อไป



รูปที่ 2.6 บายพาสไดโอด

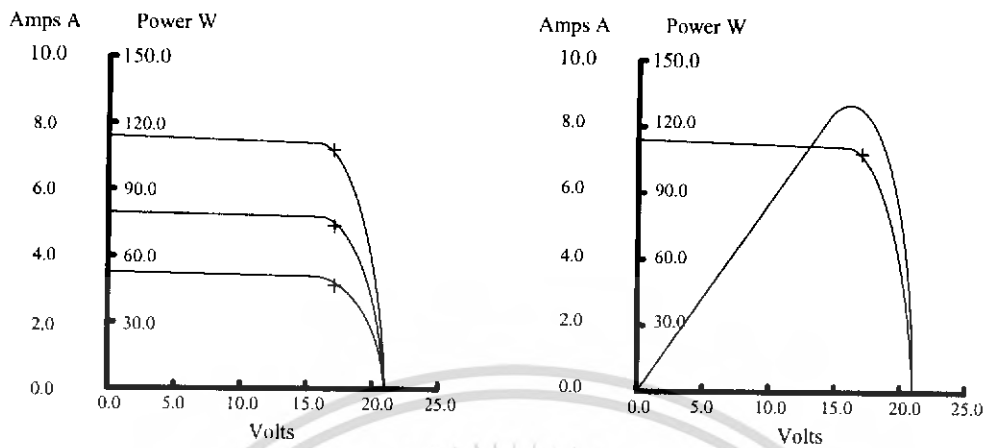
2.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังจะเห็นได้ว่าขณะเซลล์ได้รับแสงเซลล์จะสามารถจ่ายกระแสได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจรซึ่งมีค่ากระแสขณะเปิดวงจร โดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้วขนาดของกระแสไฟฟ้ลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมแปร์

เซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันขณะเปิดวงจรกระแสที่เกิดจากเซลล์ขณะที่ได้รับแสงนี้ถูกเรียกว่า "กระแสไฟฟ้าแสง" (Photo Current) สำหรับเซลล์เดี่ยวจะมีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่คร่อมแผงขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่ออนุกรม เพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประยุกต์ไปใช้งานจริง

จากรวงจรรความต้านทานถ้าเราเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆ โดยที่แต่ละครั้งในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ให้บันทึกค่าศักดาที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสที่ไหลในวงจรเมื่อนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ถ้าพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถหาได้จากกราฟคักตาไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า โดยจะแยกพิจารณาทีละตัวดังต่อไปนี้

1. ขนาดของคักตาไฟฟ้าเปิดวงจรคือ ขนาดของคักตาไฟฟ้าขณะที่ความต้านทานมีค่าเป็นอนันต์ แยกพิจารณา ดังนี้
 - 1.1 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยวจะมีค่าแรงดันเปิดวงจรไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้ เนื่องจากค่าคักตาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) นั้นเอง
 - 1.2 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่แผงขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่ม คักตาไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประยุกต์ไปใช้งานจริง
2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรมีลักษณะทำนองเดียวกันกับแรงดันเปิดวงจร โดยทั่วไป สำหรับเซลล์เดี่ยวแล้วขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมแปร์
3. กำลังไฟฟ้าสูงสุดหาได้จากตำแหน่งของกราฟที่ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าแรงดันไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้จะเป็นค่าที่มากที่สุด
4. ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mW)} \times 100\%}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mW/cm}^2\text{)} \times \text{พื้นที่รับแสง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ได้จากแสงโดยทั่วไปแล้วจะคิดเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 100 mW/cm^2

2.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิด ขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ อะตอมในคริสตัล (Crystal Lattice) จะสั่นสะเทือนแรงขึ้นเมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นในการที่อิเล็กตรอน (Electron) จะหลุดออกมาก็ต้องใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลง ซึ่งก็คือ พลังงานในแสงแดดที่มีความเข้มเท่ากันแต่มีอุณหภูมิสูงกว่า แต่พร้อมกันนั้นพวกอิเล็กตรอน (Electron) และโฮล (Hole) จะมีพลังงานมากขึ้นพอที่จะข้ามแดน และวิ่งในทางตรงข้ามซึ่งจะมีผลให้กระแสไฟฟ้าลดลงในเวลาเดียวกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าแบบลัดวงจรเราจะได้กระแสไฟฟ้ามากกว่าตอนที่แผงมีความเย็นอยู่ แต่เมื่อมีภาระทางไฟฟ้าที่มีความต้านทานมากขึ้น จะมีการสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงและกระแสไฟฟ้าจะลดลงด้วย

2.4.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวมีแรงดันไฟฟ้าเพียง 0.5 โวลต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน และ 1 โวลต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง ในกรณีใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแผ่นเดียวทำได้โดยจัดกลุ่มแถวลำดับซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์จำนวนหนึ่งซึ่งมีแรงดันและกำลังไฟฟ้าเท่าๆ กันทุกแผง ในการใช้ประโยชน์จะออกแบบโมดูลตามที่ต้องการใช้งาน เช่น โมดูลที่มีแรงดันมาตรฐาน 1.5 โวลต์, 6 โวลต์, 12 โวลต์ 24 โวลต์ และ 48 โวลต์ เป็นต้น ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าจำเพาะขนาดหนึ่งก็อาจนำโมดูลจำนวนหนึ่งที่พอเหมาะมาต่อในรูปแบบอนุกรมหรือขนาน ก็เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับภาระโดยอาศัยหลักการคือ ถ้าต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าก็ต่อเซลล์แบบอนุกรม และถ้าต้องการกระแสสูงๆ ก็ต่อเซลล์แบบขนานซึ่งคล้ายกับการต่อแบตเตอรี่แต่การต่อเซลล์ในรูปแบบอนุกรมหรือขนานจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการคือ เซลล์บางตัวเกิดชำรุด (เซลล์มีการเปิดหรือลัดวงจร) หรือเกิดเงาบังเซลล์บางส่วนของเซลล์ตัวอย่าง เช่น เซลล์ให้แรงดัน 0.5 โวลต์ กระแส 2 แอมป์ นำเซลล์ 200 ตัวต่ออนุกรมเป็น 1 สตริงค์ (String) ได้แรงดัน 100 โวลต์ และต่อสตริงค์นี้ ขนานกัน 50 สตริงค์ จะได้กระแส 100 แอมป์ ต่อ 200 ซับโมดูล (Sub modules) อนุกรมกันได้แรงดัน 100 โวลต์ รวมได้กำลังไฟฟ้า 10,000 วัตต์ เช่นเดียวกันกับวิธีแรกในทางปฏิบัติแล้ว การต่อเซลล์ด้วยเทคนิคต่างกันจะให้ผลต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อเกิดปัญหาเงาบังเซลล์หรือเซลล์ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งในแถวลำดับเกิดชำรุด

2.4.8 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง

อุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อเอาต์พุตของเซลล์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าศักดาไฟฟ้าของเอาต์พุตลดลง โดยในคริสตัลไลน์ ซิลิกอนเซลล์ ค่าศักดาไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 2.3 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาแต่จะไม่ค่อยมีผลมากนักต่อกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้ค่าการส่องสว่างต่างๆ จะพบว่าปริมาณกระแสจะเป็นสัดส่วนกับค่าของการส่องสว่างคือ เมื่อค่าของการส่องสว่างเพิ่มขึ้น ปริมาณกระแสก็จะเพิ่มขึ้นด้วยแต่จะไม่ค่อยมีผลมากนักต่อศักดาไฟฟ้า

2.4.9 ข้อจำกัดบางประการของการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ใช้แผงเซลล์ใหญ่เพียงอันเดียว แต่จะใช้โมดูลย่อยซึ่งมีระดับแรงดันมาตรฐานมาต่ออนุกรมหรือขนาน เพื่อให้ได้แรงดันและกำลังไฟฟ้าตามระบบที่ต้องการ

ซึ่งมีข้อควรจำในการต่อเซลล์โดยสังเขปดังนี้

1. เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า และแรงดันสูงๆ จะต้องนำเซลล์จำนวนหนึ่งมาต่ออนุกรม
2. การเลือกเซลล์ให้เหมาะสมกัน ควรมีแรงดันวงจรเปิดเท่ากันทุกตัว และที่สำคัญที่สุดคือเซลล์ทุกตัวจะต้องมีแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ส่วนเซลล์ที่จะนำมาต่ออนุกรมควรมีกระแสลัดวงจรเหมือนกัน และมีกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากัน ถ้าหากใช้เซลล์ที่ไม่คู่ควรกัน ผลก็คือจะได้แผงที่ไม่มีประสิทธิภาพเพราะเซลล์ที่มีแรงดันและกระแสสูงกว่าจะเกิดการส่งถ่ายกำลังมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองกำลังไฟในเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพผลลัพธ์ก็คือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อันนี้ กำลังไฟจะเปลี่ยนไปตามเซลล์ที่ไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเกิดกำลังสิ้นเปลืองในเซลล์ ก็จะทำให้กำลังไฟที่ออกจากแผงลดลงโยงกันเป็นลูกโซ่
3. การป้องกันการเกิดปัญหา "จุดร้อน" ให้ใช้เซลล์ต่อขนานจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แล้วจึงต่ออนุกรมกันเป็นสตริง มีเซลล์ขั้วชุด 1 ตัว กำลังไฟจะตกไม่มากถ้าการต่อเซลล์ขนานจำนวนมากๆ เป็นไปได้ยากอาจแก้ปัญหา โดยการต่อไดโอดเบี่ยงคร่อมเซลล์ขนานในหนึ่งสตริง (คร่อมทุกๆ ขั้วโมดูล) มันจะให้กระแสกลับจำนวนมากผ่านที่แรงดันกลับต่ำ เมื่อเซลล์ 1 ตัวขั้วชุด

2.4.10 ข้อควรระวัง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณสมบัติในการรับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสตรง ดังนั้นในการติดตั้งถ้านำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกันมากกว่า 2 แผงขึ้นไป จะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงขึ้นจึงควรใช้วัสดุที่บดแสงมาปิดทับบริเวณผิวด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า
2. ในระหว่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 2 แผง ขึ้นไปไม่ควรให้ส่วนหนึ่งส่วนของร่างกายสัมผัสชั่วคราว-ลบ ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพราะอาจเกิดอันตรายจากไฟฟ้าได้
3. ไม่ควรให้เด็กเล็กๆ อยู่ใกล้บริเวณที่กำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นิกเกิล - เหล็ก (Nickel - iron)
4. โซเดียม - กำมะถัน (Sodium - sulphur)

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

1. มีวงจรชีวิตสำหรับดีฟไซเคิลสูง (Deep cycle) คือ ช่วงเวลาที่มีการประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนที่ใช้ไปในแต่ละวัน
2. ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ
3. ประสิทธิภาพการประจุสูง
4. ความสามารถในการคายประจุสมบูรณ์
5. มีอัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
6. เชื่อถือได้
7. มีการเปลี่ยนแปลงต่ำในช่วงอุณหภูมิสูง

2.5.1 การเลือกแบตเตอรี่

ในการเลือกแบตเตอรี่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือว่าภาระที่ใช้เป็นอะไร มีขนาดเท่าไรและต้องการจะสำรองไฟไว้กี่ชั่วโมง ซึ่งการพิจารณาสิ่งเหล่านี้จะมีประโยชน์มากคือ จะช่วยให้ลดต้นทุนใช้งานอย่างได้มีประโยชน์คุ้มค่าที่สุด และต้องคำนึงถึงเสถียรภาพด้วย

2.5.2 ทัศนวิสัยและหลักการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

การอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้น กระทำได้โดยให้ระดับแรงดันวงจรอัดประจุสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของวงจรอัดประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยที่กระแสที่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ จะมีทิศทางตรงกันข้ามของทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา และเมื่อแรงดันแบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันอัดประจุกระแสจะถูกจ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ กระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์มโดยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการอัดประจุแบตเตอรี่ ถ้ากระแสในการอัดประจุมีปริมาณมากเกินไป แบตเตอรี่จะหนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การลดปริมาณกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลง ทำได้โดยนำความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อจำกัดปริมาณกระแสไหลได้ตามต้องการ

2.5.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

2.5.3.1 เซลล์ (Cell)

ดังได้กล่าวแล้วว่าเซลล์ประกอบด้วยน้ำยาและแผ่นธาตุอยู่ในเปลือกหุ้ม แต่ละเซลล์มีฝาปิด (Vent Plug or Filler Cap) ซึ่งมีรูระบาย (Air Vent) เพื่อระบายแก๊สซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีและไฟฟ้า การเติมน้ำกลั่นทำได้โดยเปิดฝาปิดนี้ออกแล้วเติมให้ท่วมแผ่นธาตุ การต่อกันเป็นอันดับ (ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับขั้วลบของเซลล์ถัดไป) ของแบตเตอรี่จะทำให้แรงเคลื่อนเท่ากับผลบวกของแรง

เคลื่อนแต่ละเซลล์ก็คือ จำนวนขนาดและการจัดลำดับของเซลล์เป็นตัวกำหนดแรงเคลื่อนของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นเปิดเว็บไซต์นี้เป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็น 66705 อาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 แผ่นธาตุ (Element)

แต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุแผ่นธาตุทำด้วยตะกั่วหล่อเป็นตะแกรง (Grids) ใช้ผงตะกั่วซึ่งผสมด้วยกาวยึด (Binding Material) อยู่กับตะแกรงซึ่งทำด้วยตะกั่วบริสุทธิ์ แผ่นธาตุมีสองชนิดคือ ชนิดแผ่นบวกและแผ่นลบสอดเข้าด้วยกัน ตามปกติแผ่นลบจะมีมากกว่าแผ่นบวก 1 แผ่น เช่น เซลล์หนึ่งมี 17 แผ่น จะมีแผ่นลบ 9 แผ่น แผ่นบวก 8 แผ่น นั่นคือ แผ่นบวกทุกแผ่นจะมีแผ่นลบอยู่ทั้งสองข้างของตัวมันเพราะว่าปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นกับแผ่นบวกมากกว่าแผ่นลบ แผ่นบวกจึงมีน้อยกว่าแผ่นลบได้ ระหว่างแผ่นธาตุแต่ละแผ่นจะมีฉนวนกัน (Insulator) คั่นอยู่ฉนวนกันนี้ทำด้วย ไม้, ยาง, แก้ว และเซลลูโลส (Cellulose) โดยกรรมวิธีทางเคมี

2.5.3.3 ฉนวนกัน (Insulator)

เป็นแผ่นฉนวนกันอยู่ระหว่างแผ่นบวกและแผ่นลบ ฉนวนกันจะอยู่ที่ด้านข้างแต่ละด้านของแผ่นบวกเพื่อป้องกันแผ่นบวกและแผ่นลบสัมผัสกันจริงๆ แต่ฉนวนกันมีขนาดเล็กมากๆ ดังนั้นของเหลวในเซลล์ (น้ำยา) รั่วซึมได้จึงสามารถวนเวียนระหว่างแผ่นธาตุได้ง่ายการหมุนเวียนของน้ำยาเป็นสิ่งจำเป็น เพราะน้ำยาต้องสามารถเข้าไปยังผิวหน้าแผ่นธาตุทุกแผ่น เพื่อการเกิดปฏิกิริยาของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่บางแบบอาจจะใช้ฉนวนกันมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น ใช้ทั้งแบบแก้ว และไม้ ตามปกติฉนวนกันจะทำเป็นลูกฟูกในการประกอบแบตเตอรี่ใช้ทางที่เป็นลูกฟูกหันไปทางแผ่นบวก เพื่อเพิ่มบริเวณหรือเนื้อที่สำหรับน้ำยาในการหมุนเวียนรอบแผ่นบวก

2.5.3.4 สะพานไฟ (Cell Connectors)

หรือเครื่องต่อระหว่างเซลล์ แต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่ต่อกัน ดังนั้นแรงเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นสะพานไฟเป็นแท่งตะกั่วหนายึดอยู่กับขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ แบตเตอรี่บางแบบสะพานไฟติดตั้งอยู่ข้างบนหรือในฝาครอบเซลล์ ถ้าอยู่ในฝาครอบเซลล์จะมีสารผสมกันป้องกันอยู่ด้วย การสร้างแบบนี้เป็นการลดการรั่วไหลของกระแสฟุ้งและความชื้นพยายามทำให้เกิดทางเดินขึ้นระหว่างขั้ว ทำให้เกิดการรั่วของกระแสไฟขึ้นช้าๆ และในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้าหรือเก็บไฟฟ้าไม่ได้

2.5.3.5 เปลือกหม้อ

ทำด้วยยางแข็ง (Hard Rubber) หล่อขึ้นรูปเปลือกหม้อนี้เป็นตัวรองรับอุปกรณ์อื่นๆ ของแบตเตอรี่ไว้ทั้งหมด

2.5.4 แรงเคลื่อนของเซลล์ (Cell Voltage)

เมื่อวัตถุทั้งสองคือ PbO_2 (Lead Dioxide) และ Pb (Lead) จุ่มอยู่ในส่วนผสมของกรดกำมะถัน (Sulfuric acid = H_2SO_4) และน้ำ (Water = H_2O) ย่อมทำให้เกิดกำลังดันไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์ ระหว่างวัตถุทั้งสองแม้ว่าจะมีแผ่นบวก 1 แผ่น และแผ่นลบ 1 แผ่น ก็จะมีค่า 2 โวลต์เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.5.5 ปฏิกริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ (Chemical Action in The Battery Cell)

กระแสเกิดขึ้นจากปฏิกริยาทางเคมีระหว่างวัตถุในแผ่นธาตุและกรดกำมะถันในน้ำยาวัตถุที่ไวต่อการเกิดปฏิกริยาในแผ่นบวกคือ PbO_2 และในแผ่นลบคือ Pb

เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟออกนั้นคือ ให้กระแสไฟปฏิกริยาทางเคมีเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.3 เมื่อเริ่มปฏิกริยาโมเลกุลของกรดกำมะถันแยกออกเป็น H_2 (Hydrogen) และ SO_4 (Sulphate) SO_4 อันหนึ่งร่วมกับ Pb ในแผ่นลบ ส่วน SO_4 อีกอันหนึ่งร่วมกับ Pb ในแผ่นบวกเกิดเป็น $PbSO_4$ หรือตะกั่วซัลเฟต (Lead-Sulphate) ในแผ่นธาตุแต่ละแผ่นปฏิกริยานี้ทำให้ออกซิเจน (O_2) 2 อะตอม เป็นอิสระจากแผ่นบวกจึงเข้ารวมกับไฮโดรเจนซึ่งเหลือภายหลังจาก SO_4 โดยเข้าไปรวมกับแผ่นธาต้ออกซิเจน และไฮโดรเจนรวมเข้ากันเป็นโมเลกุล (H_2O) ซึ่งก็คือน้ำธรรมดา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในระหว่างที่จ่ายไฟออกตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เกิดขึ้นเป็นแผ่นธาตุทั้งสอง ในขณะที่กรดกำมะถันในน้ำยาถูกน้ำ (H_2O) เข้ามาแทนที่

$PbO_2 + Pb + 2PbSO_4 + 2H_2O$ จากที่แสดงนี้เป็นเพียงไม่ก็โมเลกุลจริงๆ แล้วมีเป็นพันๆ ล้านโมเลกุลเป็นแผ่นธาตุและน้ำยา แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมดที่แยกตัวออกและรวมกันใหม่

2.5.6 ทิศทางการไหลของกระแสไฟ (Direction of Current Flow)

กระแสหรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดจากการเคลื่อนย้ายของ SO_4 และ O_2 ไปมาจากแผ่นธาตุในส่วนต่างๆ ของโมเลกุลที่เรียกว่าไอออนส์ (Ions) นำอิเล็กตรอนจากแผ่นบวกไปยังแผ่นลบจากผลอันนี้ทำให้ขั้วลบมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมากซึ่งในขณะที่ขั้วบวกทำการสร้างอิเล็กตรอนที่ขาดแคลนไปเมื่อวงจรภายนอกทั้งสองครบวงจร อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังวงจรมานอกและเข้าไปยังขั้วบวก

ปฏิกริยานี้สามารถเกิดขึ้นนานเท่าที่มีจำนวนโมเลกุลของ PbO_2 และ H_2SO_4 อยู่เพื่อแยกตัว และรวมตัวใหม่เป็นโมเลกุลของ $PbSO_4$ และ H_2O เมื่อโมเลกุลทั้งหมดนี้หมดไปไม่สามารถแยก และรวมตัวกันใหม่ได้ แบตเตอรี่นั้นจะไม่มีไฟฟ้าซึ่งต้องนำไปประจุไฟใหม่

2.5.7 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นจะเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Eletromotive Force : EMF) ค่าที่แน่นอนนั้น (โดยปกติจะอยู่ประมาณ 1.5 โวลต์) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นแอโนด และคาโทด และชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์สำหรับเซลล์ใหม่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดอยู่เล็กน้อยคือ ประมาณ 1.6 โวลต์ และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำประมาณ 1.2 โวลต์เมื่อเซลล์เก่าอายุประจุหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ไฟฟ้าซึ่งมีตัวกำเนิดแรงดันค่า 1.5 โวลต์ และมีค่าความต้านทานภายใน (R_1) มีค่า 10 โอห์มต่ออยู่กับความต้านทานซึ่งเป็นวงจรมานอกมีค่า 1.5 โวลต์ต่อกิโลโอห์ม เราสามารถคำนวณค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรโดยใช้กฎของโอห์มได้คือ

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

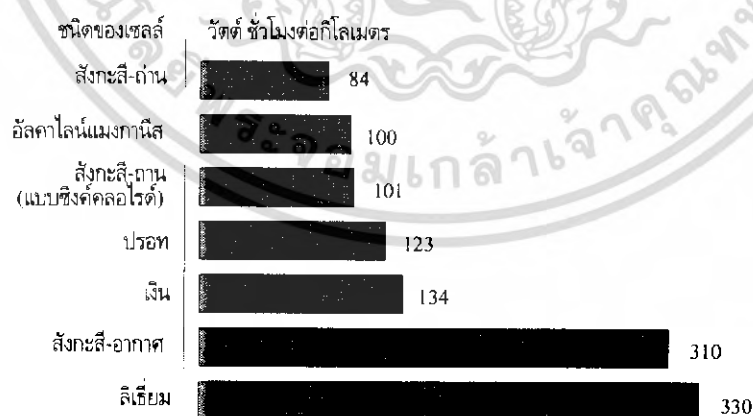
อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ออนุกรมอยู่ก็มีผลต่อค่ากระแส และต้องนำเข้ามาคิดด้วย เราจะเห็นตัวต้านทาน 2 ตัวต่อกันอยู่ในวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายนอกค่า 1.5 กิโลโอห์มนั้นเท่ากับ

$$\begin{aligned} VR_2 &= (R_2/R_1)+(R_2 \times 1.5) \\ &= (1,500/10)+(1,500 \times 1.5) \\ &= 1.49 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

ซึ่งต่ำกว่าที่คาดไว้ และค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานภายนอกเท่ากัน

2.5.8 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะที่สำคัญอีกอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาเพื่อจะทราบชนิดของเซลล์แบบต่างๆ นั่นก็คือ ค่าความจุของเซลล์ ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเซลล์หนึ่งสามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมแปร์ต่อชั่วโมง หมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์) เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมแปร์ เป็นระยะเวลาหนึ่งชั่วโมงหรือจ่ายกระแสได้ 100 มิลลิแอมแปร์เป็นเวลา 10 ชั่วโมงหรือจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมแปร์เป็นเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น

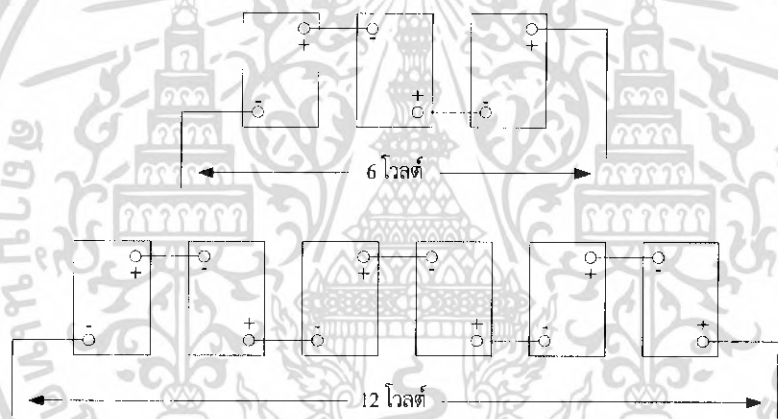
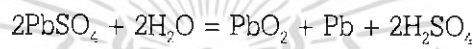


รูปที่ 2.8 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาน้ำหนักด้วย

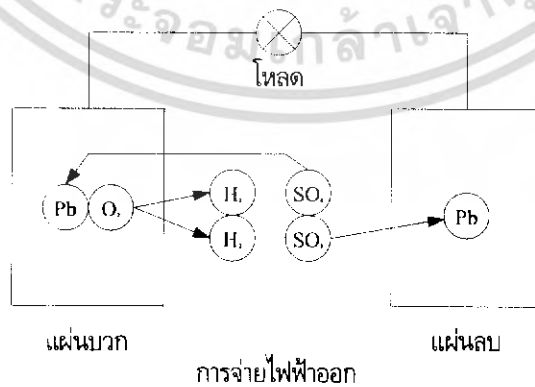
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.9 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่ (Recharging The Battery)

การประจุไฟใหม่ให้แบตเตอรี่จะต้องใช้แรงดันอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปในแผ่นลบและจำกัดมันจากแผ่นบวกหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าใช้กระแสไฟฟ้าดันผ่านแบตเตอรี่กระแสไฟฟ้านี้ จะต้องไหลผ่านแบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่กระแสไหลในระหว่างแบตเตอรี่จ่ายไฟออกในระหว่างการประจุไฟใหม่ ดังรูปที่ 2.11 น้ำ (H₂O) จะแตกตัวเป็นไฮโดรเจน (H₂) และออกซิเจน (O) ส่วน SO₄ เคลื่อนจากแผ่นธาตุกลับไปยังน้ำยา รวมตัวกับไฮโดรเจนเกิดเป็นกรดกำมะถัน (H₂SO₄) อีกครั้งหนึ่งในขณะเดียวกันอะตอมของออกซิเจนจะกลับไปยังขึ้นใหม่ในน้ำยาแทนน้ำ ส่วนตะกั่วซัลเฟตที่หายไปจากแผ่นธาตุทั้งสองจะทำให้แผ่นบวกกลายเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์แผ่นลบเป็นตะกั่วธรรมดาเมื่อตะกั่วซัลเฟตหายไปจากแผ่นธาตุหมดก็กล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ได้รับการประจุใหม่ สูตรทางเคมีเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุคือ

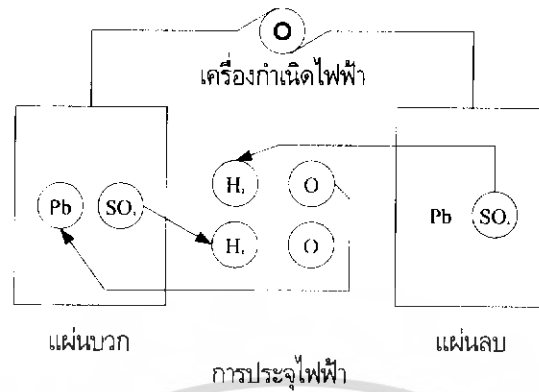


รูปที่ 2.9 การต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการจ่ายไฟฟ้าออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



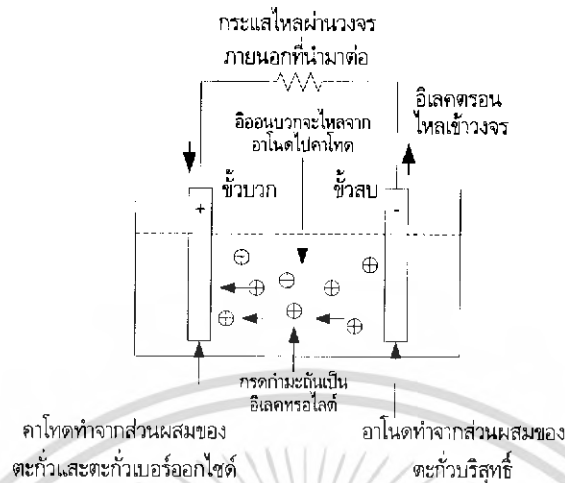
รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการประจุ

2.5.10 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ซึ่งเราจะประกอบด้วยแผ่นคาโทดและแผ่นแอนโนดวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ ที่ทำจากสารละลายกรด กำมะถันแผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์เท่าไร ปฏิกริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์ยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้ก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรดที่เป็นแอนโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของ ตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่เป็นประจุบวกและจะเข้าไปอยู่

ที่คาโทดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวกซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่แอนโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก



รูปที่ 2.12 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากแอโนด

2.5.11 การประจุกลับเข้าไปใหม่ของตะกั่วกรด

การประจุเซลล์แบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถทำได้โดยง่าย ๆ โดยการป้อนกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโทด (ขั้วบวก) และขั้วแอโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกจะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เป็นเซลล์เดี่ยวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปได้ด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ ถึง 2.5 โวลต์

เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปมีประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วยหรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (Cyclic) คือ จากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย

เราสามารถให้ประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับที่ประจุไว้และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมา ถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขการประจุเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมงถ้าเราไม่สามารถรักษา ระดับแรงดันในการประจุให้คงที่ได้อยู่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำ ความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจุน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ซึ่งจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ตัวต้านทานไวแสง

2.6.1 โครงสร้าง

ตัว LDR ว่าที่จริงแล้วมีเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (photoconductive cell) หรือตัวต้านทานไวแสง (LSR - light sensitive resistor) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือแคดเมียมซีไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา

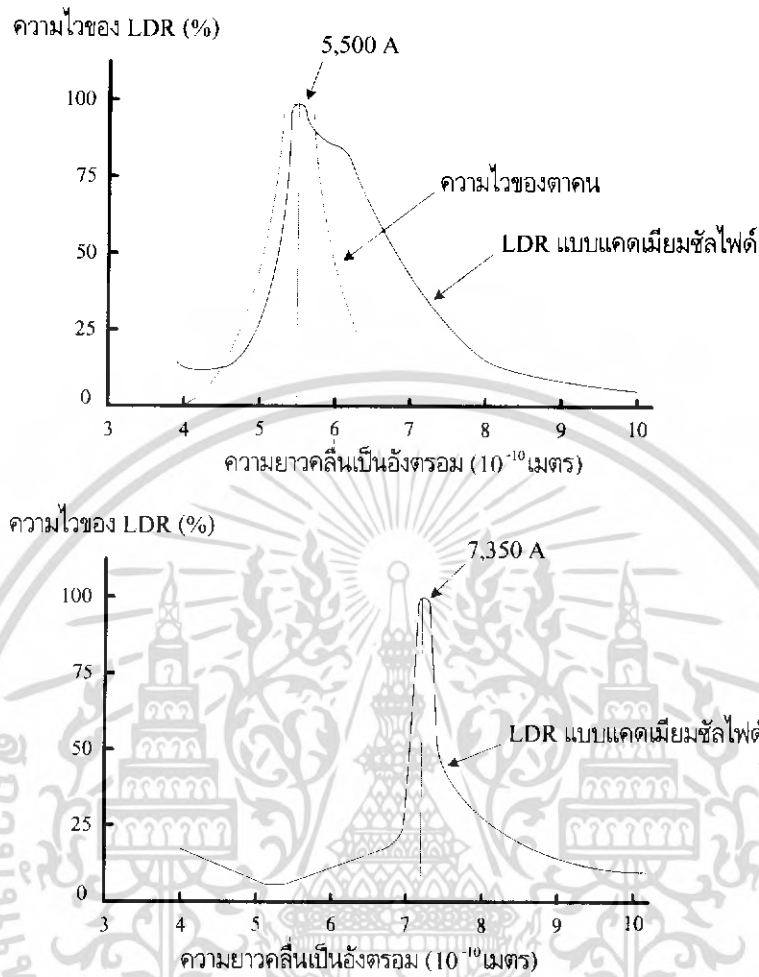


รูปที่ 2.13 โครงสร้าง LDR

รูปร่างของมันจะเห็นได้ในรูปที่ 2.13 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กๆ สี่ด้านนั้นแหละที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสี่ด้านนี้จะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดูของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสงเป็นที่ยึดเพื่อต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะใช้ฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมันซึ่งมีได้หลายแบบ

2.6.2 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR ก็ง่ายๆ เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับมีความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



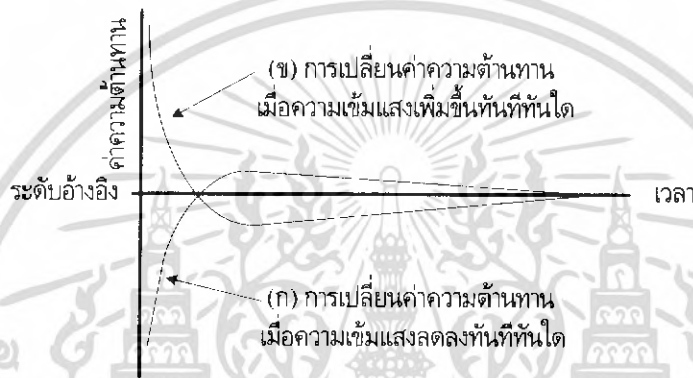
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้นมิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้น ที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้วก็มิได้อยู่หลายความยาวคลื่นโดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับบางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียม ซิลิไซด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่นแต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 เมกะโอห์ม ขึ้นไป ในที่มีดสันทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 เมกะโอห์ม และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20 กิโลโอห์ม ลงไป อาจจะไม่เหลือเพียงไม่กี่โอห์มหรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 โวลต์ และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 มิลลิวัตต์



รูปที่ 2.15 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.15 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกันถ้า เกือบมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังเส้น (ข) ความต้านทานก็จะลดลงต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียม ซีนีไนด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียม ซัลไฟด์ แต่ก็จะมีวงเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาทีเลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

2.7 ออปแอมป์

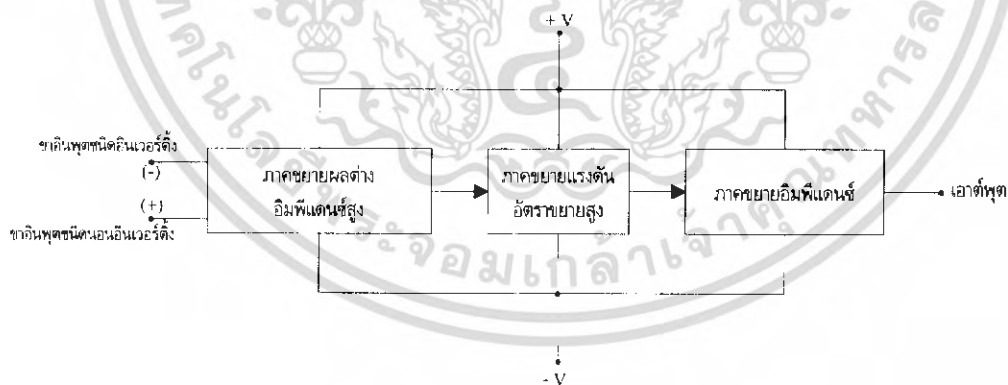
ออปแอมป์คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีตออปแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัว ที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะชิ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้ออปแอมป์มีขนาดใหญ่แล้วยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ปัจจุบันเราสามารถใช้ออปแอมป์ในรูปของวงจรรวม ได้ตามท้องตลาดและจากคุณสมบัติไอซีออปแอมป์ได้พัฒนาขึ้น ทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

2.7.1 คุณสมบัติทั่วไป

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่าไอซีออปแอมป์ คืออุปกรณ์โซลิดสเตท (Solidstate) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจสอบวัดระดับสัญญาณไฟตรงและไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรมายในภาคต่างๆ ดังนี้คือ

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือวงจรขยายผลต่างที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก
2. วงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายสูง

ดังในรูปที่ 2.16 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรมายในต่างๆ ของออปแอมป์ ดังกล่าวและจากรูปจะสังเกตว่าแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวก และลบเพื่อให้เอาต์พุต สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งซีกบวกและลบเทียบกราวด์



รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานของวงจรมายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติดังนี้

1. เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุตจะต่ำจนเกือบ

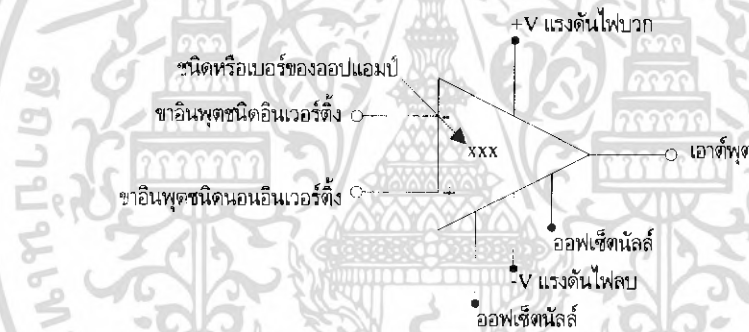
เท่ากับศูนย์หรืออีกนัยหนึ่งไม่มีกระแสอินพุตเข้าสู่ออปแอมป์เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับกระทรวงพาณิชย์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราขยายขณะเปิดรูป A (ขณะที่ยังไม่ป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมากซึ่งหมายความว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุตควรมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (เนื่องจาก $\frac{V_{out}}{A} = V_{in}$)

3. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาควงจรเอาต์พุตของวงจรขยาย รูปที่ 2.17 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาต์พุต 1 ขั้วและขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือการจ่ายค่าที่อีก 2 ขั้ว

ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกัันดังนี้คือ สำหรับขั้วลบเมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขนาดที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่งสัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุต 180 องศา ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุต ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อินพุตคือ การแสดงที่เอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซตหรือชดเชยความถี่นั้นโดยมากมักจะไม่มีถูกแสดงในวงจรทั่วไป



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

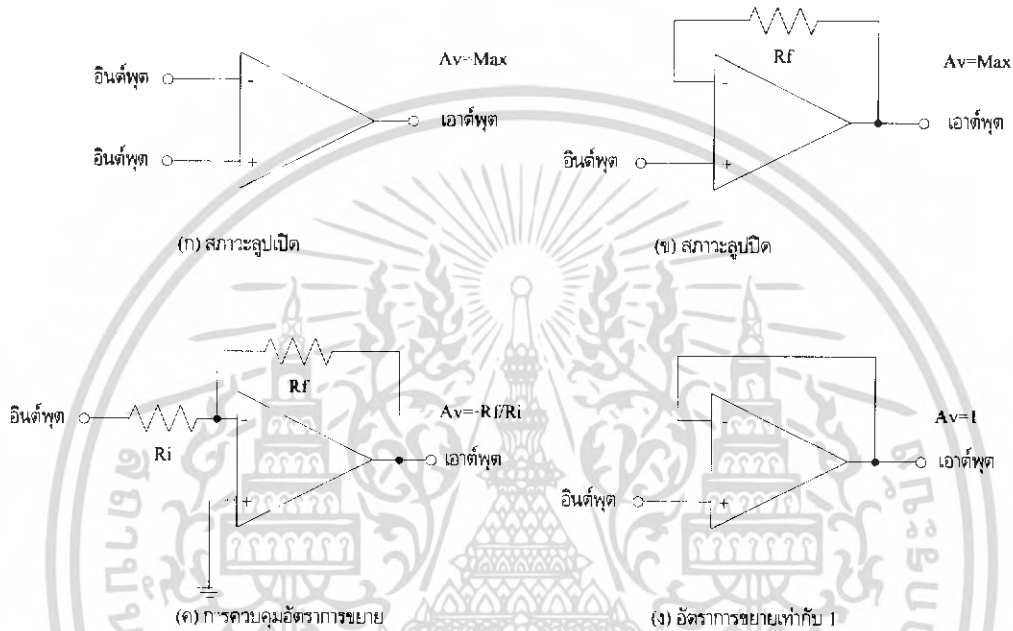
2.7.2 ลักษณะการทำงาน

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราขยายจะมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 หรือ 1,000,000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขนาดเปิดขณะเปิดรูป (A_v) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสองเอาต์พุต จะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย A_v) หากจะถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นเอาต์พุตก็สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริงทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าประมาณ 90% ของแรงดันแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถนำออปแอมป์ ในขนาดเปิดรูปใช้งานเป็นวงจรเทียบเท่าแรงดัน โดยจะเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันที เมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากจะพบว่าการใช้ของออปแอมป์ในลักษณะของลูบปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้นดังรูปที่ 2.20 (ข) การป้อนกลับในรูปตัวต้านทาน R_f เพียงตัวเดียวซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขนาดเดียวกัน อัตราขยายจะลดลงด้วย



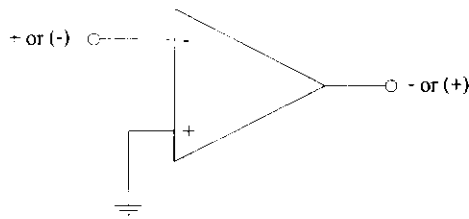
รูปที่ 2.18 ลักษณะของวงจรในอุดมคติของออปแอมป์

วงจรในรูปที่ 2.18 (ค) แสดงการใช้ของออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุต กลับมายังอินพุต นอกจากนี้ยังควบคุมอัตราขยายแรงดันได้ (ในขนาดปิดลูบ) โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้น ทำให้อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าดังสมการ

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

โดยที่เครื่องหมาย แสดงถึงการป้อนกลับเฟสของเอาต์พุตเมื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุต ส่วนวงจรในรูปที่ 2.18 (ง) แสดงการป้อนกลับในกรณีนี้ที่ $A_v = 1$ คุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดนี้คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ต่อไปและนอกจากนี้คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่เราควรศึกษาคือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้ในรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ขั้วต่างๆระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์

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

2.7.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

2.7.3.1 อินพุตอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์แต่ในความเป็นจริง อินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกะโอห์ม ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากเท่าใดออปแอมป์ตัวนั้นจะทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูงควรระวังผลจากอินพุตคาปาซิแตนซ์ของวงจรรด้วย ซึ่งมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด เมื่อขั้วอินพุตขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2.7.3.2 เอาต์พุตอิมพีแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามเรามักสมมติให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณและวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำออปแอมป์ จึงเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (Impedance Matching) ที่ดีตัวหนึ่ง

2.7.3.3 กระแสไบอัสด้านอินพุต

เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้นจึงมีกระแสค่าน้อยๆ (มีหน่วยเป็น นาโนแอมแปร์ถึง ไมโครแอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุตทั้งสองซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกเป็น "กระแสไบอัสด้านอินพุต" กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลต่อภาคเอาต์พุตด้วย ดังนั้นกระแสนี้ควรกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุตเป็น FET)

2.7.3.4 แรงดันออฟเซต (Offset) ที่เอาต์พุต

แรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตเกิดขึ้นที่กระแสไบอัสด้านอินพุต ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุตระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากันแรงดันที่เอาต์พุตควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้นคือ มักมีแรงค่านึงปรากฏที่เอาต์พุตขนาดที่อินพุตเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการป้อนแรงดันหรือกระแสออฟเซตที่

อินพุตแล้วปรับจนได้ $V_{out} = 0$ โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.5 กระแสออฟเซตที่อินพุต

ในการปรับแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุตทั้งสองขั้ว ควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่า ต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุตขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้กระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมแปร์

2.7.3.6 แรงดันออฟเซตที่อินพุต

ในอุดมคติแรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์ เมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเป็นศูนย์ เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติความไม่สมดุลภายในวงจร มักทำให้เราป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุตใดๆ เสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

2.7.3.7 การปรับออฟเซตให้เป็นศูนย์ (Offset Nulling)



รูปที่ 2.20 วงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้ออปแอมป์

ในการปรับแรงดันเอาต์พุตให้เป็นศูนย์ หรือการปรับแรงดันออฟเซตที่อินพุตให้เป็นศูนย์นั้นเราอาจใช้ขั้ว Offset Nulling ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้วโดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียดของออปแอมป์เบอร์นั้นๆ รูปที่ 2.20 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้ออปแอมป์ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็คอุปกรณ์ที่ต้องนำมาต่อ
2. ลดระดับสัญญาณอินพุตจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานอนุกรมกับอินพุตอยู่ให้ตรวจสอบดังนี้
 - 1.1 ถ้าตัวต้านทานนั้นมีค่าสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตตั้งแต่ 1% ขึ้นไป ปลดตัวต้านทานไว้เช่นเดิม
 - 1.2 หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุตเข้าแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3 ต่อโหลดเข้ายังขั้วเอาต์พุต
- 1.4 ป้อนไฟตรงให้วงจร
- 1.5 วัดแรงดันที่เอาต์พุตด้วยโวลต์มิเตอร์ หรือออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาต์พุตอาจมีค่าต่ำเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ดังนั้นควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม)
- 1.6 ปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์
- 1.7 ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไปแล้ว ต่อวงจรดั้งเดิมแต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

2.7.3.8 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิตสเทททุกชนิดรวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้นผลกระทบจากอุณหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอุณหภูมิว่า "ดริฟท์" ดังนั้นในขณะที่ทำงานควรตรวจสอบว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดมากน้อยเพียงใด หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

2.7.3.9 การชดเชยความถี่

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

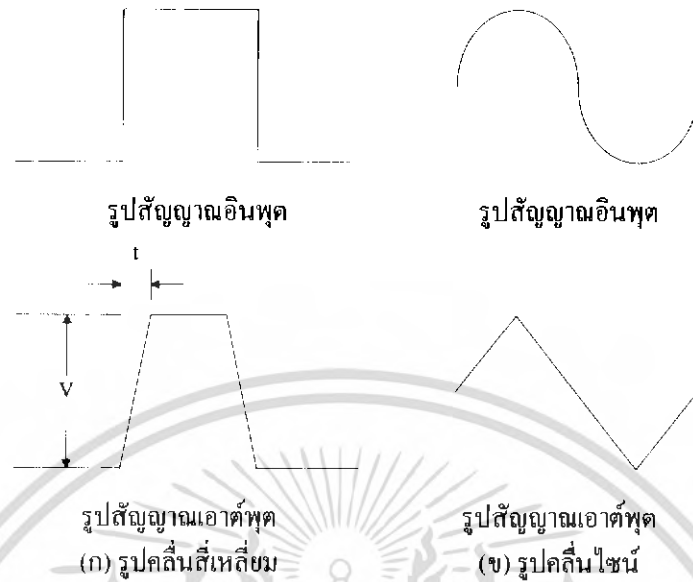
2.7.3.10 อัตราสลูว์ (Slew Rate)

อัตราสลูว์คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราสลูว์} &= \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุต}}{\text{การเปลี่ยนแปลงเวลา}} \\ &= \frac{\Delta V_{out} (\text{max})}{\Delta t} \end{aligned}$$

ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งมีอัตราสลูว์เท่ากับ 0.5 โวลต์ต่อไมโครวินาที แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตสำหรับออปแอมป์ตัวนี้มีค่า 0.5 โวลต์ ออปแอมป์ (ตัวเก็บประจุที่วางนี้อาจเป็นชนิดที่ต่อจากภายนอกหรือตัวเก็บภายในไอซีเองก็ได้) อัตราสลูว์ที่มีค่าต่ำจะเป็นผลให้แรงดันที่เอาต์พุตมีการตอบสนองเปลี่ยนแปลงช้าลงเมื่อเทียบกับอินพุตดังที่แสดงในรูป 2.21 เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่สูงขึ้นเท่าใดอัตราสลูว์จะมีบทบาทการตอบสนอง ณ เอาต์พุตอย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเอาต์พุตที่เพี้ยนมากขึ้น หากอัตราสลูว์มีค่าน้อยหรืออีกนัยหนึ่งออปแอมป์ที่มีอัตราสลูว์สูงจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

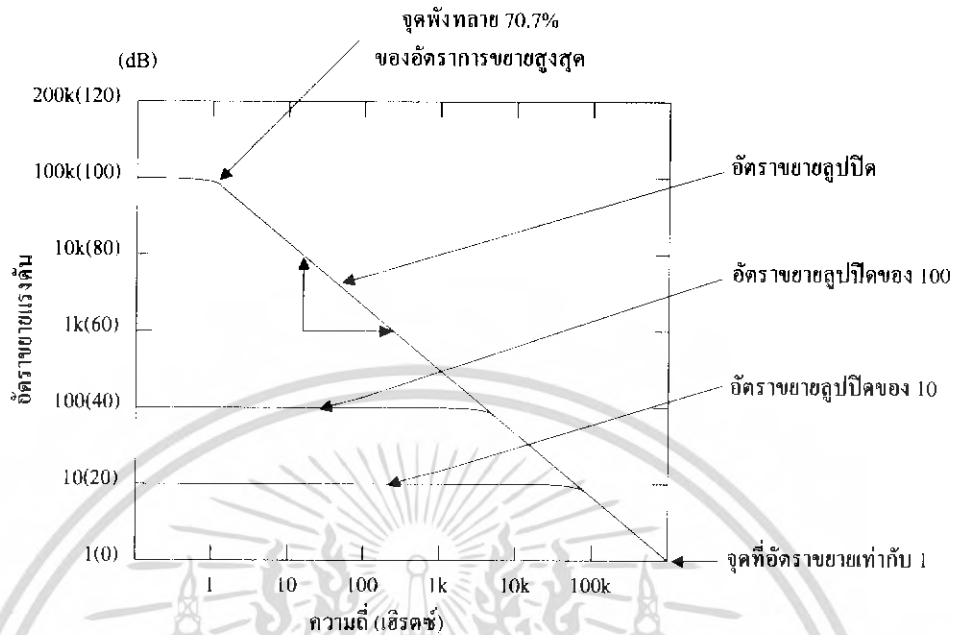


รูปที่ 2.21 อัตราสลับมีผลต่อการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต

2.7.3.11 การตอบสนองต่อความถี่

อัตราขยายของออปแอมป์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะพบว่าอัตราขยายที่ผู้ผลิตแสดงไว้ในดาต้าชีทจะเป็นอัตราที่ความถี่ 0 เฮิรตซ์ หรือไฟตรง (ซึ่งแสดงให้เห็นความสูงสุดของออปแอมป์) ในการทำงานแบบเปิดจะเห็นได้ว่าวงจรมีเสถียรภาพต่ำมากนั่นคือ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น 10 เท่า อัตราขยายจะลดลง 10 เท่าทันที

โดยทั่วไปแบนด์วิดท์ของวงจรมักหมายถึงช่วงความถี่ที่อัตราขยายมีค่า 70.7% ของอัตราขยายสูงสุด จากตัวอย่างในรูปที่ 2.22 แบนด์วิดท์ของออปแอมป์ขนาดเปิดรูป จะมีค่าประมาณ 10 เฮิรตซ์ ดังนั้นหากต้องการให้วงจรถูกออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ความถี่สูงๆ จะต้องลูบปิดลดลง แต่ในขนาดเดียวกันความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7% ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (Unity - Gain Point) จะแสดงถึงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง



รูปที่ 2.22 อัตราขยายของออปแอมป์เทียบกับความถี่

2.7.3.12 ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์

เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่าผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่เสมอไปและเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้จะหาได้จากรายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์) ผลคูณที่มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ ตัวอย่าง เช่น หากเราพบว่าความถี่ที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง (หาจากรายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติอุปกรณ์) มีค่าเป็น 1 เมกกะเฮิรตซ์ (ดังแสดงรูปที่ 2.22) และอัตราขยายของวงจรที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 100 ดังนั้นความถี่สูงสุดที่เราประมาณไว้ควรมีค่าประมาณ

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

2.7.3.13 อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (Common-Mode Rejection Ratio)

เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ที่ได้มาจากภาคอินพุตที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่าหากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุตทั้งสองมีเฟสตรงกัน และมีขนาดเท่ากันเอาต์พุตจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.14 หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใดๆ สามารถหาได้จากสมการ

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

โดยที่ X เป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยมหาอัตราขยายจากสมการ

$$dB = 20 \log A_v$$

2.7.4 ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจ

การนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งาน ผู้ใช้ควรศึกษารายละเอียดข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อน เพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุด หรือเสียหาย ค่าต่างๆ ที่ควรรู้ได้แก่

1. แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง $\pm V$ (Supply Voltage)
2. กำลังที่สูญเสียในตัวไอซี (Power Dissipation) ซึ่งแสดงกำลังสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถปลดปล่อยออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่สูง จนทำให้ไอซีพัง
3. แรงดันสูงสุดระหว่างขั้วอินพุต (Differential Input Voltage)
4. แรงดันสูงสุดที่อินพุตแต่ละขั้ว (Input Voltage)
5. ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาต์พุต (Output Short-Circuit Duration)
6. อุณหภูมิที่ใช้งาน (Operating Temperature)
7. อุณหภูมิที่ใช้เก็บอุปกรณ์ (Storage Temperature)
8. อุณหภูมิของขาอุปกรณ์ (Lead temperature) แสดงอุณหภูมิที่ไอซีสามารถทนได้ในขณะที่ถูกบัดกรี

2.7.5 ชนิดและรูปแบบต่างๆ ของออปแอมป์

ออปแอมป์ได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว แต่การนำออปแอมป์ในรูปแบบของไอซี ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีนั้นเพิ่งเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1963 เท่านั้น นำโดยการเสนอออปแอมป์เบอร์ μA 702 ของบริษัท Fairchild Semiconductor จนกระทั่งปัจจุบันออปแอมป์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีความสามารถสูงกว่าเดิมมาก แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งชนิดของออปแอมป์ได้เป็นกลุ่มหรือตระกูล ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของออปแอมป์ออกเป็นกลุ่มหรือตระกูล

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ได้ถูกคิดค้นเพื่อใช้ในงานควบคุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานควบคุมขนาดเล็ก งานควบคุมขนาดกลางจนถึงงานควบคุมขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนพอสมควร จากข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการนำวงจรพื้นฐานต่างๆ มารวมไว้ภายในชิปตัวเดียวกันทำให้วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก มีความสะดวกและคล่องตัวสูง จึงเป็นที่นิยมและแพร่หลายอย่างมาก

2.8.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
2. หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Program Memory) มีหลายขนาดขึ้นกับเบอร์ไอซี มีทั้งแบบรวม, อีพรอม และแบบแฟลช
3. หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Data Memory) เป็นแบบแรมในบางเบอร์มีหน่วยความจำอีอีพรอมเพิ่มเติม
4. อ้า่งตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบต์
5. อ้า่งตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์
6. หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลทำงานแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
7. มีพอร์ตรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต หรือใช้งานเป็นพอร์ตขนาน 1 บิต รวมทั้งหมด 32 บิต ทำงานแยกกันอย่างอิสระ
8. มีวงจรนับ/จับเวลา ขนาด 16 บิต ทำงานได้ 4 รูปแบบ
9. มีพอร์ตการสื่อสารอนุกรมรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน สามารถเลือกการส่งได้ 4 รูปแบบ
10. รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ 6 แหล่ง กระโดดไปทำงานตอบสนองได้ 5 ตำแหน่ง
11. มีวงจรถ้าเนดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน
12. ประมวลผลข้อมูลได้ทั้งแบบ 1 บิต และ 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากจอร์จกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเพื่อให้ทุกๆ ส่วนทำงานประสานกันอย่างถูกต้อง

2. หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ซึ่งในการนำข้อมูลเข้าและออกจากหน่วยความจำ เราจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของหน่วยความจำ (Address) ในการนำข้อมูลเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ เรียกว่า "การเขียนข้อมูล" และการนำข้อมูลออกจากหน่วยความจำ เรียกว่า "การอ่านข้อมูล" ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งจะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะสามารถเก็บข้อมูลซึ่งมีค่าระหว่าง 00000000_2 ถึง 11111111_2 หรือ 00H ถึง 0FFH ในการติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

1) ตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ซึ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลได้สูงสุดชนิดละ 65,536 ตำแหน่ง (64 kBytes) ดังนั้นการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้สายสัญญาณกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ 65,536)

2) ข้อมูลที่อ่านหรือเขียนกับหรือเขียนกับหน่วยความจำในตำแหน่งที่เราต้องการ

3) สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล ซึ่งวงจรถอดรหัสคำสั่งจะทำการสร้างสัญญาณควบคุมจากคำสั่งที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำโปรแกรม

3. อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Device) เป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือนำข้อมูลออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำให้สามารถติดต่ออุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ได้แก่

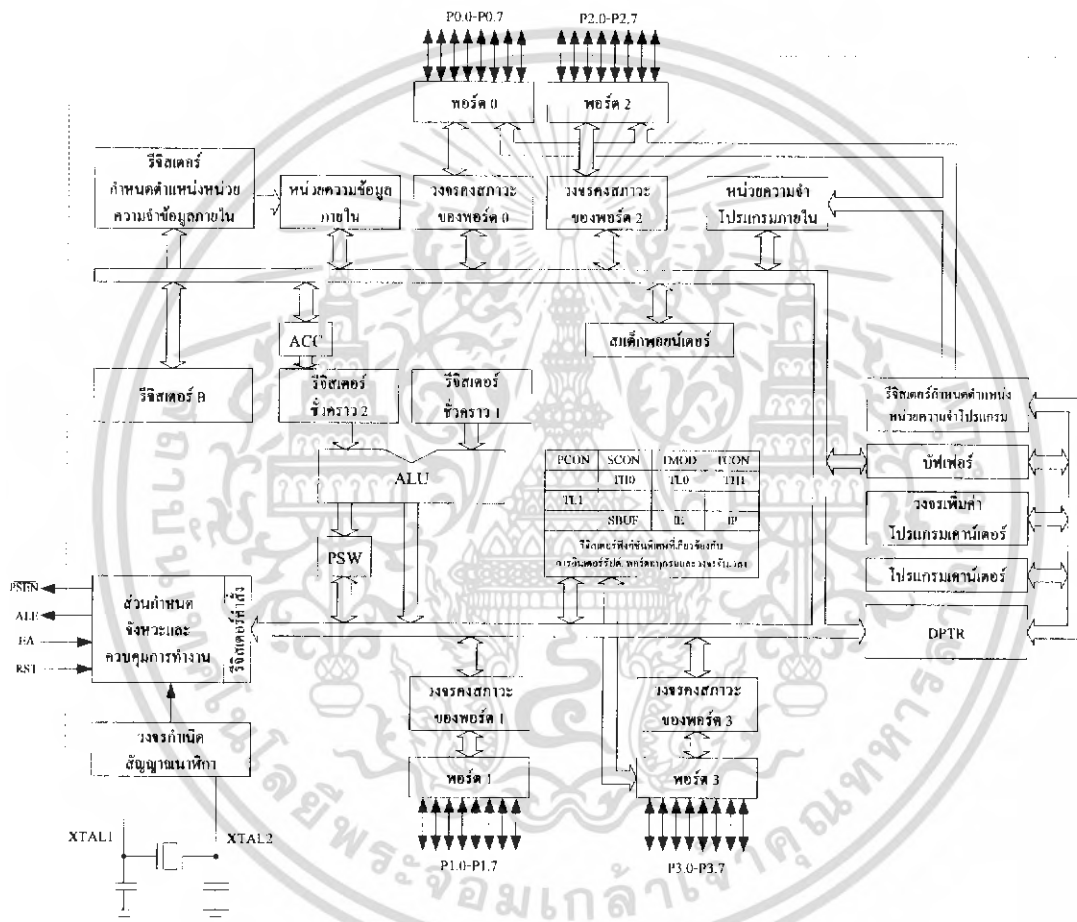
1) พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนาน มีทั้งหมด 4 พอร์ต ใช้รับส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยแต่ละพอร์ตจะรับส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ต P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ตจะใช้งานมากกว่า 1 หน้าที่

2) วงจรนับ/จับเวลา ทำงานได้ 2 หน้าที่ คือ ใช้เป็นวงจรรับหรือจับเวลา เมื่อเป็นวงจรรับจะทำการนับจำนวนรอบของสัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 หรือจำนวนรอบของสัญญาณที่อยู่ภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ก็ได้ สามารถตั้งค่าเริ่มต้นของการนับและอ่านค่าการนับได้โดยซีพียู เมื่อเป็นวงจรถับเวลาจะใช้หลักการเดียวกับวงจรรับเพียงแต่จะกำหนดค่าสูงสุดของการนับจะคำนวณมาจากค่าเวลาที่ต้องการจับเวลานั้นเอง

3) พอร์ตอนุกรม ซีพียูจะอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมเป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เรียงไปทีละบิตออกจากขา TxD และในการรับข้อมูลก็จะรับเข้ามาทีละบิตทางขา RxD แล้วจัดเรียงใหม่ทีละ 8 บิต เพื่อให้ซีพียูอ่านไปใช้งานต่อไป

2.8.3 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

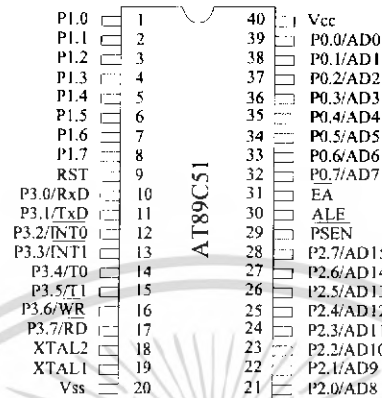
ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีพอร์ตใช้งานได้หลายแบบทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆ ได้มากมาย การจะนำพอร์ตไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุม จากโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น เราสามารถแยกส่วนต่างๆ ออกเป็นส่วนย่อยๆ ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.24 ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.24 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.25 ลักษณะภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Pin

ในรูปที่ 2.25 แสดงลักษณะภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Pin มี 40 ขา หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบตีนตะขาบ หรือแบบ Dual Inline Package (DIP) โดยแต่ละขามีหน้าที่การทำงาน ดังนี้

Vcc : (ขา 40) ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

Vss : (ขา 20) ต่อลงกราวด์

Port 0 : (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P0.0-P0.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตทั่วไป ใช้เป็นที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์ต่ำ (A0-A7) และรับข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอก

Port 1 : (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P1.0-P1.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตทั่วไป

Port 2 : (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P2.0-P2.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์สูง (A8-A15) เพื่อใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

Port 3 : (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P3.0-P3.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตทั่วไป และใช้งานเป็นที่พิเศษดังนี้

P3.0/RxD (Serial Input Port) : ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/TxD (Serial Output Port) : ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2/INT0 (External Interrupt) : ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณขัดจังหวะ

จากภายนอก

P3.3/INT1 (External Interrupt) : ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณขัดจังหวะ

จากภายนอก

P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) : ใช้เป็นอินพุตให้วงจรรนับ/จับเวลา ชุดที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) : ใช้เป็นอินพุตให้วงจรมับ/จับเวลา ชุดที่ 1
- P3.6/WR (External Data Memory Write Strobe) : ควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอก
- P3.7/RD (External Data Memory Read Strobe) : ควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอก
- RST : (ขา 9) Reset ใช้สำหรับรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิปเพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ ในการรีเซ็ตต้องป้อนลอจิก "1" นานอย่างน้อย 2 รอบการทำงานของคำสั่ง
- ALE : (ขา 30) Address Latch Enable เป็นขาส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการคงสถานะเดิมของค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์ต่ำจากพอร์ต 0
- PSEN : (ขา 29) Program Strobe Enable เป็นขาส่งสัญญาณเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเมื่อขานี้ Active มีลอจิกเป็น "0" จะอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และถ้าเป็นการอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายในขาจะไม่ Active
- EA : (ขา 31) External Address เป็นขาที่ใช้สำหรับเลือกให้ทำงานจากหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกชิป เมื่อขานี้ Active มีลอจิกเป็น "0" จะเป็นการทำงานตามคำสั่งในหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
- XTAL1 : (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่จรรยาเน็ตสัญญาณนาฬิกา
- XTAL2 : (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรรำเน็ตสัญญาณนาฬิกา

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

การออกแบบและการสร้างระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์มีส่วนประกอบสำคัญคือ การขับเคลื่อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามแนววงโคจรของดวงอาทิตย์ และการนำพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

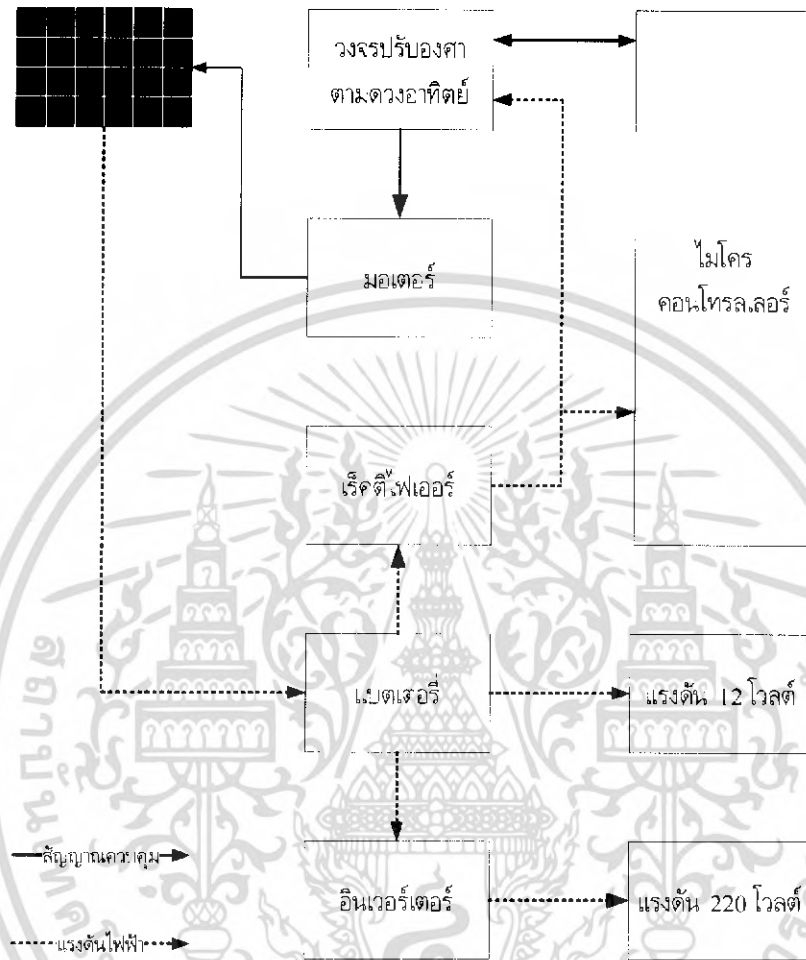
การขับเคลื่อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามแนววงโคจรของดวงอาทิตย์จะใช้การตรวจหาว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ที่ใดจะใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามความเข้มของแสง (LDR) ทั้งหมด 2 ตัว ในการตรวจจับโดย LDR1 จะเป็นตัวอ้างอิงในการทำงาน และใช้ LDR2 ในการปรับองศาในการรับแสง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานเมื่อ LDR1 และ LDR2 รับแสงไม่เท่ากัน และจะสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงานเมื่อ LDR1 และ LDR2 รับแสงเท่ากันทั้งคู่ การนำพลังงานมาประจุแบตเตอรี่จะใช้แบตเตอรี่ชนิดเซลล์เปียกขนาด 12 โวลต์ 120 แอมแปร์ เพื่อที่จะสามารถนำพลังงานไปใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้น

โครงการระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. วงจรปรับองศาตามดวงอาทิตย์
3. วงจรเรกติไฟเออร์
4. วงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ส่วนของโครงสร้างติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

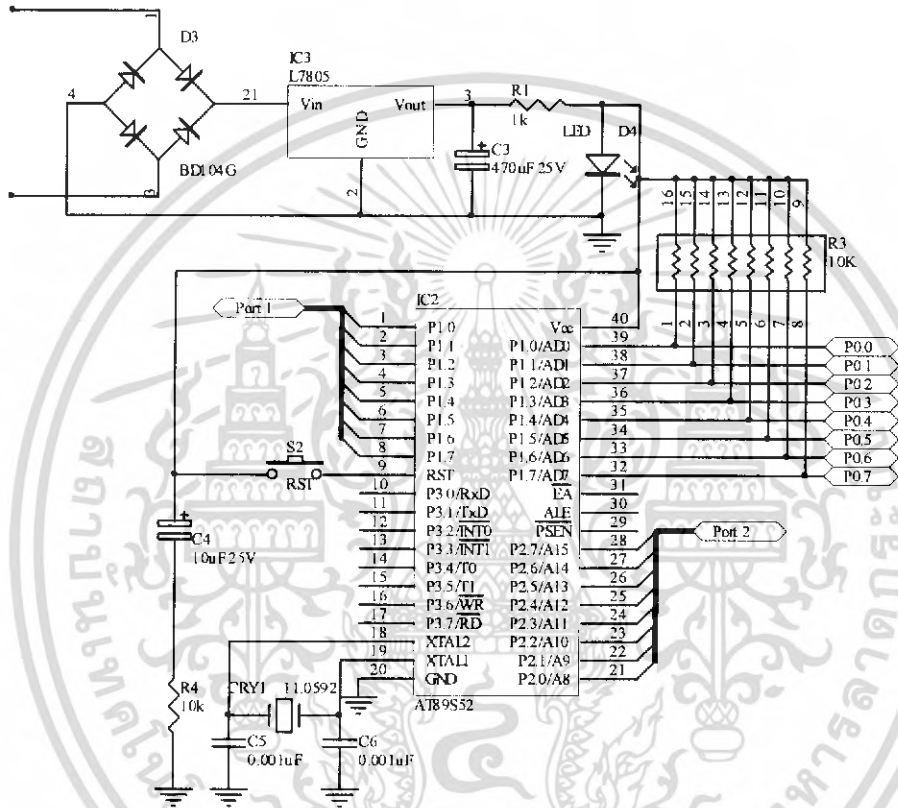


รูปที่ 3.1 โครงสร้างติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

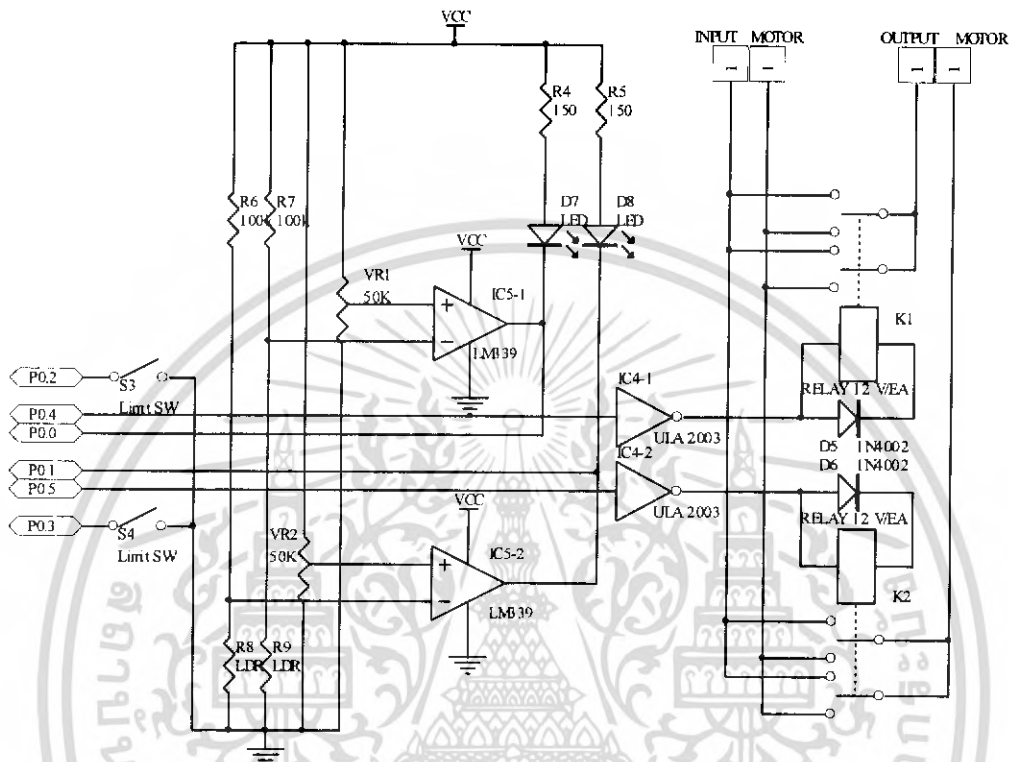
การควบคุมการทำงานของระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์นั้นจะใช้ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51



รูปที่ 3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์

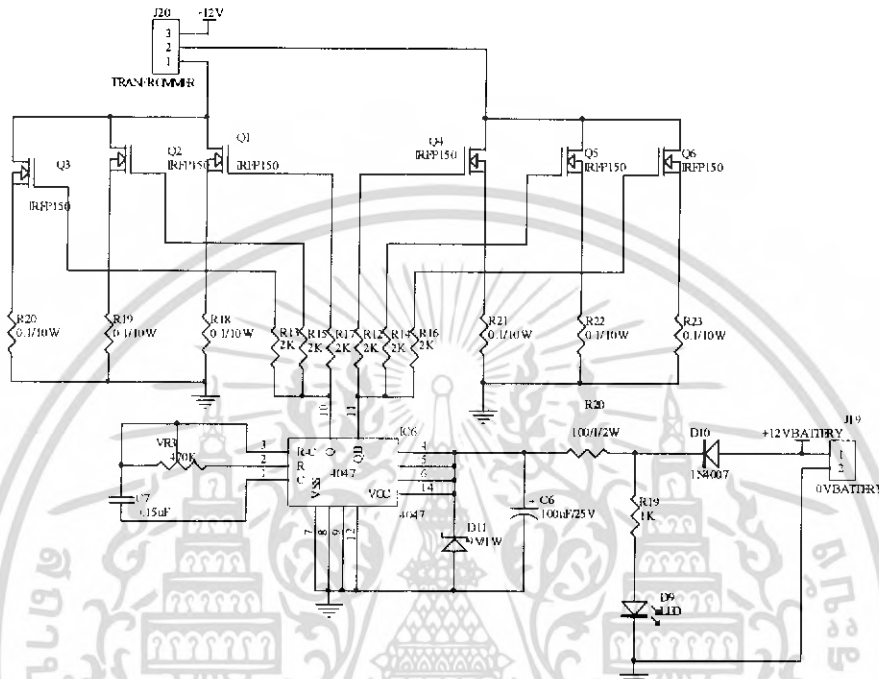


รูปที่ 3.3 วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรป้องกันตามดวงอาทิตย์ใช้ LDR 2 ตัว คือ LDR1 และ LDR2 ในการรับแสงโดยใช้ LDR1 เป็นตัวอ้างอิงในการทำงานคือ วงจรจะทำงานในสภาวะที่ LDR1 รับแสง ก็เปรียบเสมือนวงจรจะทำงานเฉพาะช่วงเวลากลางวันเท่านั้น และใช้ LDR2 ในการป้องกันในการรับแสง เมื่อ LDR1 รับแสงวงจรจะทำการตรวจสอบว่า LDR2 ได้รับแสงหรือไม่ โดยการรับแสงของ LDR2 จะออกแบบให้สามารถรับแสงเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น เพื่อใช้ในการป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตรงกับวงโคจรของดวงอาทิตย์ และในสภาวะที่ LDR1 และ LDR2 รับแสงทั้งคู่จะทำให้มอเตอร์หยุดทำงานเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงที่มีความเข้มของแสงสูงที่สุด วงจรจะสลับสภาวะการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนองศาของดวงอาทิตย์จนกว่า Limit SW2 อยู่ในสภาวะ "Off" มอเตอร์จะหมุนกลับทิศทาง และมอเตอร์จะหยุดจนกว่า Limit SW1 อยู่ในสภาวะ "Off" เป็นการเสร็จสิ้นการทำงานของวงจรใน 1 วัน โดยส่วนที่ควบคุมการทำงานของวงจรคือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และใช้มอเตอร์ DC ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12-36 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์



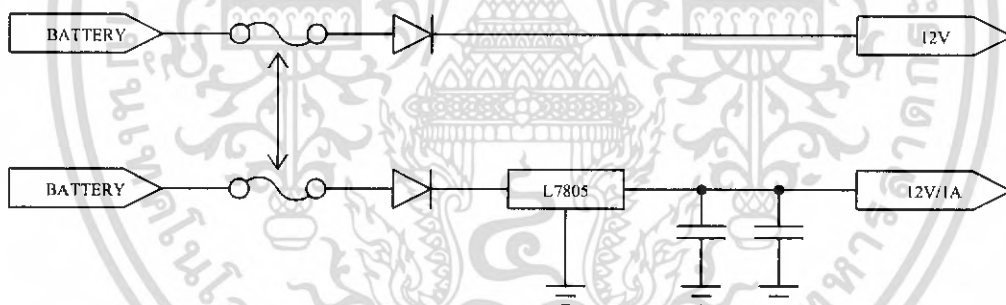
รูปที่ 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์มีอุปกรณ์หลักคือหม้อแปลงซึ่งจะใช้หม้อแปลงแกนเหล็กขนาด 12V-0-12V เป็นอินพุต (Primary) และ 220 โวลต์ เป็นเอาต์พุต (Secondary) ซึ่งใช้ไอซี เบอร์ CD4047BE และมอสเฟสเบอร์ IRFP150N เป็นอุปกรณ์หลักในการทางานไอซี เบอร์ CD4047BE ซึ่งเป็น IC-CMOS แบบโมนอสเตเบิลและอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งจะให้อาต์พุตออกมาที่ขา 10 และขา 11 ไอซีเบอร์ CD4047BE ใช้ไฟเลี้ยง 9 โวลต์ ป้อนให้กับขา 14 แต่แรงดันที่มาจากแบตเตอรี่มีค่า 12 โวลต์ จึงจำเป็นต้องใช้ R20 มีค่า 100 โอห์ม เพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ไหลไปยังไอซีมากเกินไป และยังใช้ซีเนอร์ไดโอด 9 โวลต์ 1 วัตต์ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 9 โวลต์ ป้องกันไม่ให้ไอซีเกิดความเสียหาย สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากขา 10 ของไอซีจะเป็นพัลส์บวก และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากขา 11 ของไอซีจะเป็นพัลส์ลบ สัญญาณทั้ง 2 ขานี้มีเฟสต่างกัน 180 องศา ซึ่งความถี่ที่ออกมาจากขา 10 และขา 11 ของไอซีสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการปรับค่า VR3 ที่มีค่า 470 กิโลโอห์ม และ C6 มีค่า 0.15 ไมโครฟารัด โดยปกติแล้วความถี่จะถูกปรับไว้ที่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งมีความถี่เท่ากับไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทย ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ นี้จะนำไปไบแอสมอสเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ IREFP150N โดยมีตัวต้านทานค่า 2 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมอยู่ และที่ขา D ต่ออยู่กับขั้วบวก 12 โวลต์ ของหม้อแปลง ส่วนขา S ของมอสเฟสแต่ละตัวต่ออยู่กับตัวต้านทานค่า 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ ลงกราวด์ และขั้ว 0 โวลต์ ของหม้อแปลงจะถูกต่ออยู่กับขั้วบวกของแบตเตอรี่โดยตรง ดังนั้นเมื่อจ่ายไฟ 9 โวลต์ ให้ไอซี เบอร์ CD4047BE ไอซีจะผลิตพัลส์บวกออกมาที่ขา 10 และผลิตพัลส์ลบออกมาที่ขา 11 ดังนั้นเมื่อพัลส์บวก ออกมาจากขา 10 ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R13, R15 และ R17 ไปไบแอสขา G ของ Q1, Q2 และ Q3 ทำให้ มอสเฟสทั้ง 3 ตัว นำกระแส เมื่อมอสเฟสทั้ง 3 ตัว นำกระแสทำให้ขดลวดของด้านที่ Q1, Q2 และ Q3 ที่ต่ออยู่ทำให้เกิดการพองตัวของขดลวดขึ้น จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเกิดการเหนี่ยวนำข้ามขดไปยังขด 220 โวลต์ และเมื่อพัลส์ลบมาจากขา 11 จะทำให้มีกระแสไหลผ่าน R14, R16 และ R18 ทำให้ Q4, Q5 และ Q6 ทำงานทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดการพองตัวของขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำข้ามขดไปยังขด 220 โวลต์ โดยที่ Q1, Q2 และ Q3 จะสลับกันทำงานกับ Q4, Q5 และ Q6 ทำให้มีแรงดันออกมาจากขด (Secondary) 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์

3.5 วงจรเรกติไฟเออร์



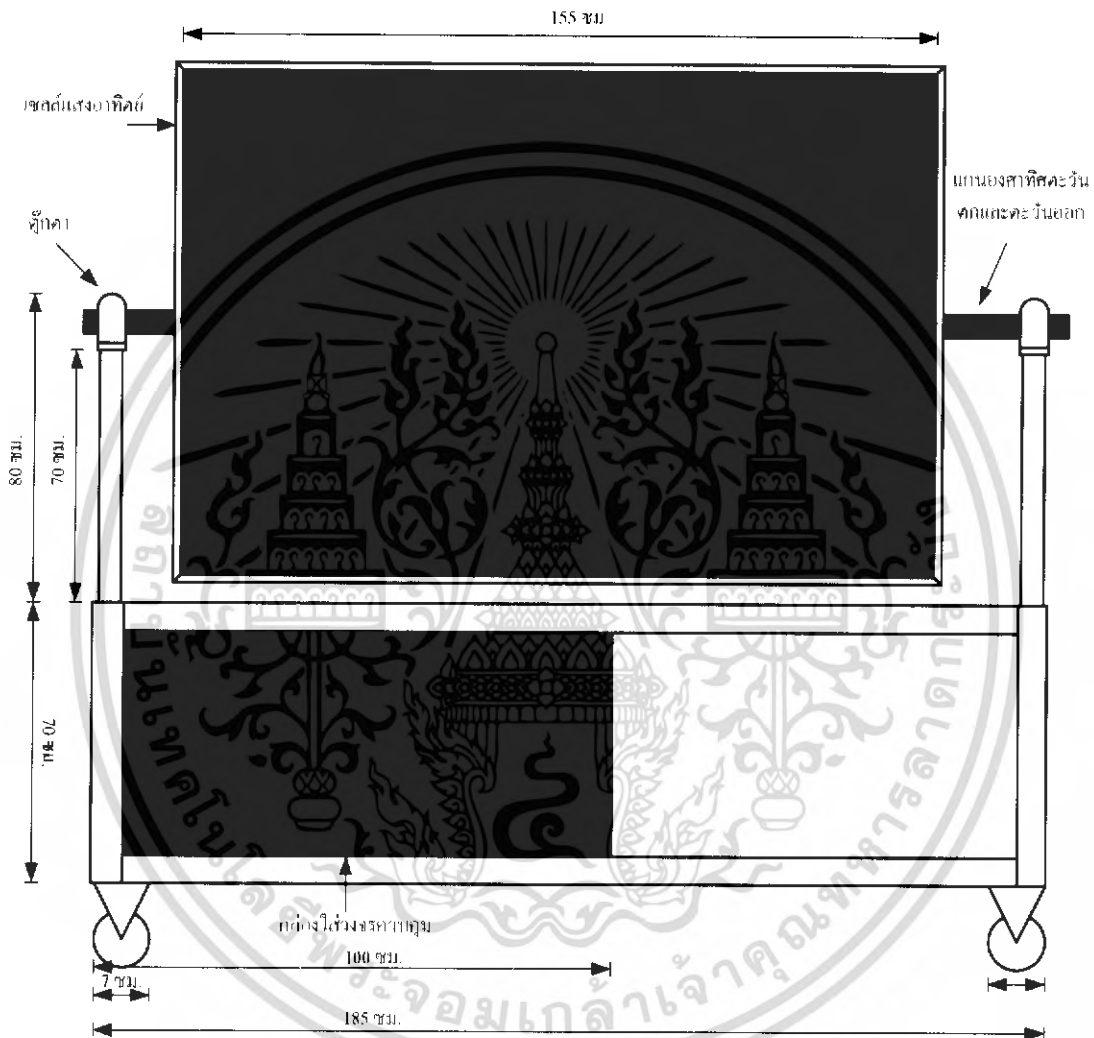
รูปที่ 3.5 วงจรเรกติไฟเออร์

ชุดจ่ายไฟแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดไฟเลี้ยง 12 โวลต์ที่มาจากแบตเตอรี่โดยตรง เพื่อนำไปจ่ายให้กับวงจรขั้วมอเตอร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ ชุดที่สองเป็นจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ 1 แอมแปร์ ใช้ไอซีเรกติไฟเออร์เบอร์ L7805 โดยทางด้านเอาต์พุตของไอซีมี C1 ค่า 1000 ไมโครฟารัด ต่อขนานอยู่ทำหน้าที่ฟิลเตอร์ C2 ค่า 0.1 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนต่างๆ ลงกราวด์ ชุดไฟเลี้ยง 5 โวลต์ 1 แอมแปร์ นำไปจ่ายให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนของโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

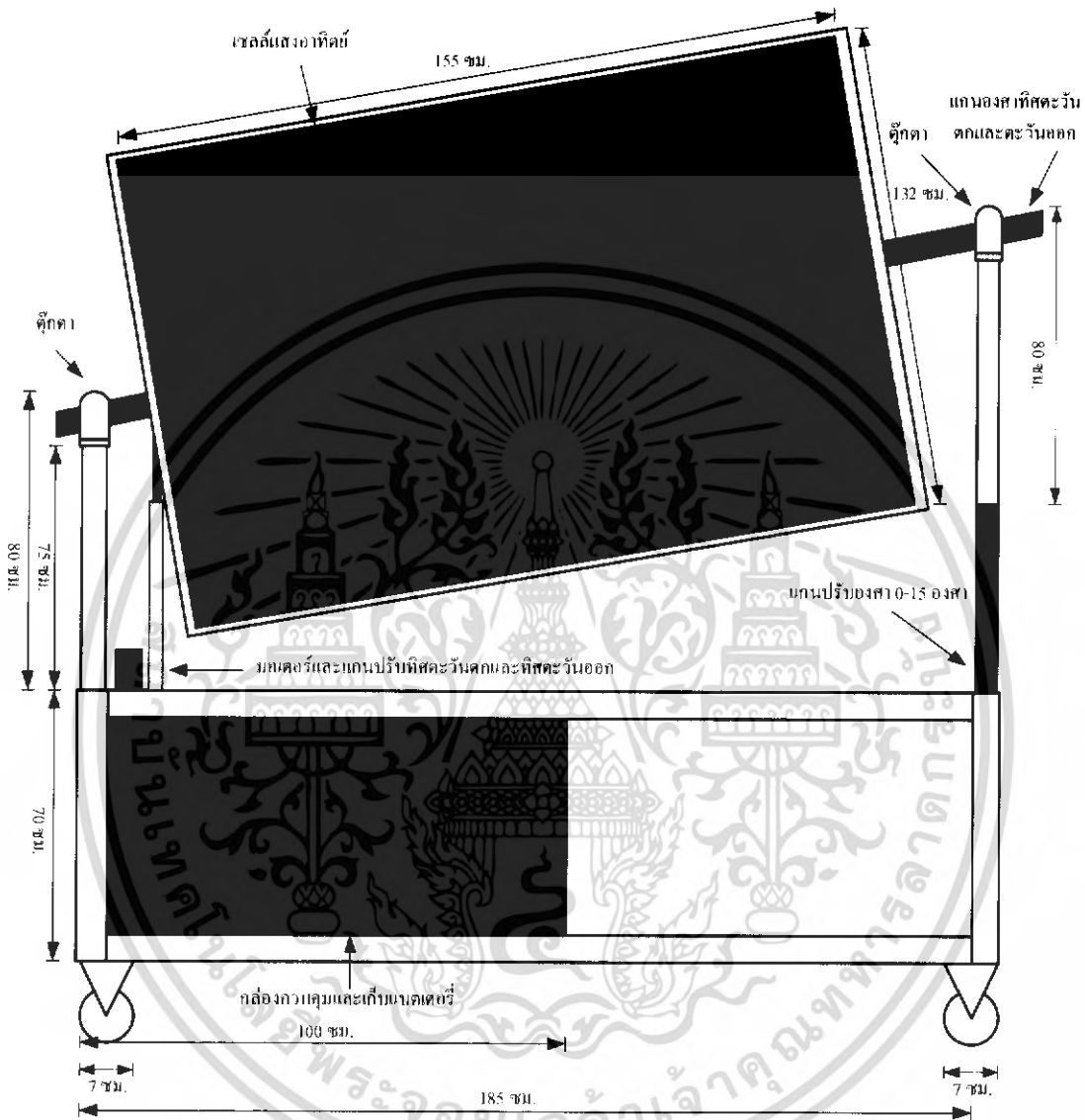
1. ส่วนโครงเหล็กด้านหน้าขนานกับพื้นโลก



รูปที่ 3.6 โครงสร้างด้านหน้าขนานกับพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

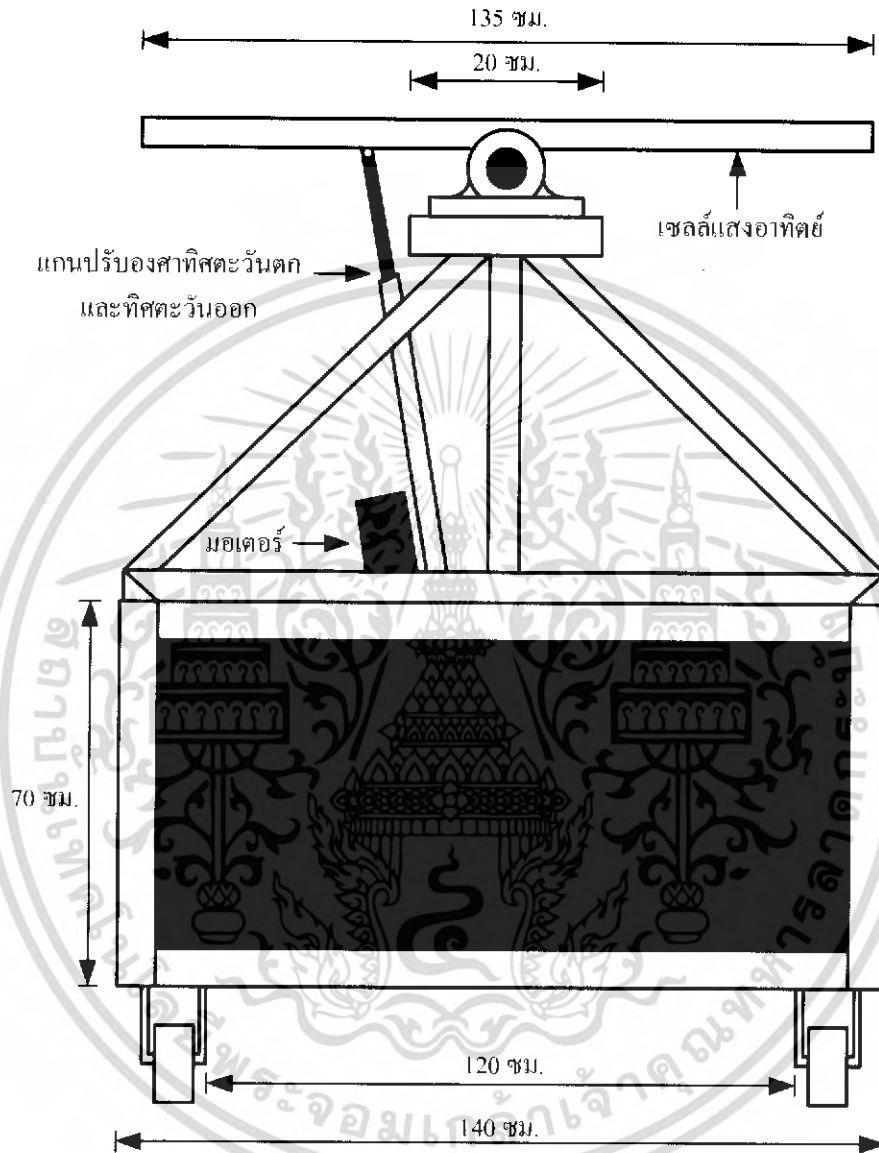
2. ส่วนโครงเหล็กด้านหน้าทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก



รูปที่ 3.7 โครงสร้างด้านหน้าทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

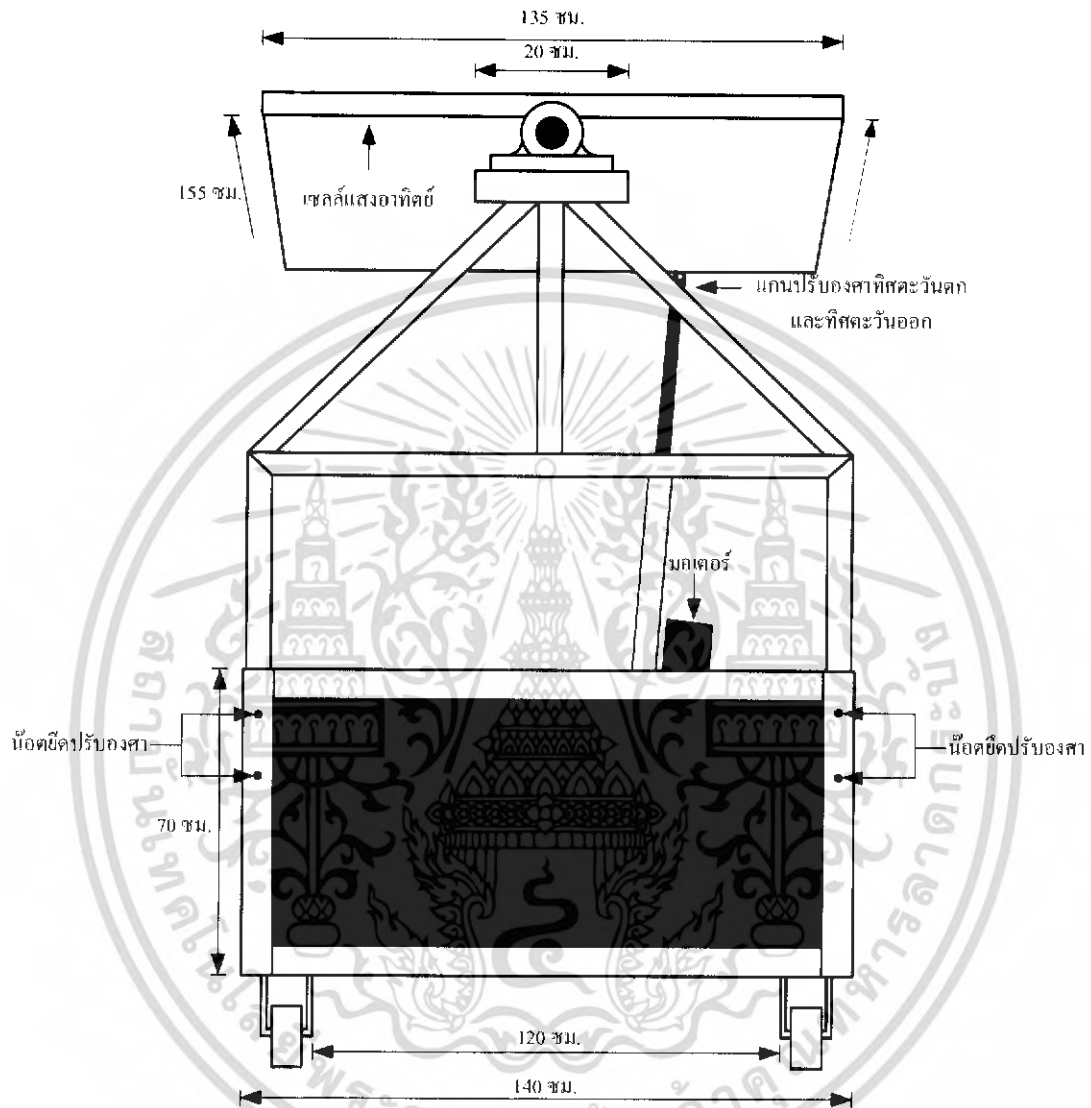
3. ส่วนโครงเหล็กด้านข้างขนานกับพื้นโลก



รูปที่ 3.8 โครงสร้างด้านข้างขนานกับพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่วนโครงเหล็กด้านข้างทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก



รูปที่ 3.9 โครงสร้างด้านข้างทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ส่วนของกล่องตัวตรวจจับแสง



รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบของกล่อง LDR1

รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบของกล่อง LDR2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

จากการออกแบบและประกอบเป็นเครื่องสำเร็จ เครื่องสามารถทำงานได้โดยปรับองศาตามดวงอาทิตย์ซึ่งนำมาทดสอบประสิทธิภาพโดยการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

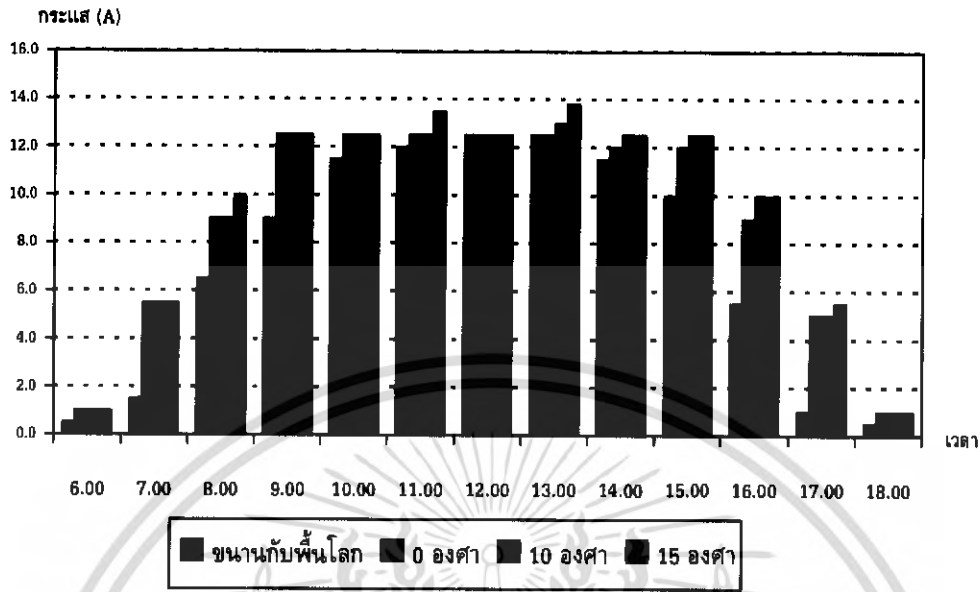
4.2 ทดลองการประจุแบตเตอรี่

ในการทดลองประจุแบตเตอรี่ เป็นการทดลองการประจุแบตเตอรี่เปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์ทำมุม 0 องศา 10 องศา และ 15 องศา กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้นโลก โดยแบตเตอรี่ที่ใช้มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กระแส 120 แอมแปร์ และเซลล์แสงอาทิตย์เป็นรุ่น SP 120 จำนวน 2 แผง สามารถจ่ายกระแสได้ 14.00 แอมแปร์ กำลังงาน 240 วัตต์ แรงดันขณะไม่มีโหลด 21.70 โวลต์ การทดลองได้ทดสอบการประจุของแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 5 วัน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 1 วันที่ 10 พฤษภาคม พุทธศักราช 2549

เวลา นาฬิกา	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์						เซลล์แสงอาทิตย์ ขนานกับพื้นโลก		อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	สภาพอากาศ
	0 องศา		10 องศา		15 องศา		แรงดัน (V)	กระแส (A)		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)				
6.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	0.5	26.4	ไม่มีแดด
7.00	20.0	5.5	20.0	5.5	20.0	5.5	19.0	1.5	29.8	แดดอ่อน
8.00	20.0	9.0	20.0	9.0	20.0	10.0	19.0	6.5	32.0	แดดอ่อน
9.00	20.0	12.5	20.0	12.5	20.0	12.5	19.0	9.0	32.5	แดดอ่อน
10.00	19.0	12.5	19.0	12.5	19.0	12.5	18.5	11.5	33.0	แดดไม่จัด
11.00	19.5	12.5	19.5	12.5	19.5	13.5	19.5	12.0	33.5	แดดจัด
12.00	19.0	12.5	19.0	12.5	19.0	12.5	19.0	12.5	34.5	แดดจัด
13.00	19.5	12.5	20.0	13.0	20.0	13.8	19.5	12.5	35.0	แดดจัดมาก
14.00	19.0	12.0	19.5	12.5	19.5	12.5	19.0	11.5	34.0	แดดจัดมาก
15.00	19.0	12.0	19.5	12.5	19.5	12.5	19.0	10.0	33.0	แดดจัด
16.00	19.0	9.0	19.0	10.0	19.0	10.0	19.0	5.5	32.5	แดดไม่จัด
17.00	19.0	5.0	19.0	5.0	19.0	5.5	19.0	1.0	32.0	แดดอ่อน
18.00	17.0	1.0	17.0	1.0	17.0	1.0	17.0	0.5	30.5	ไม่มีแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

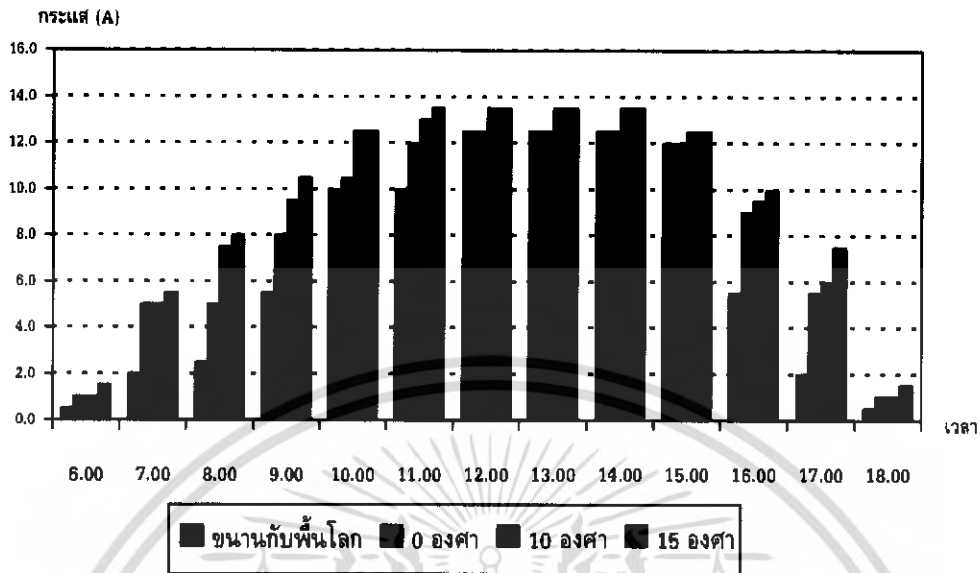


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 2 วันที่ 11 พฤษภาคม พุทธศักราช 2549

เวลา นาฬิกา	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์						เซลล์แสงอาทิตย์		อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	สภาพอากาศ
	0 องศา		10 องศา		15 องศา		ขนานกับพื้นโลก			
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)		
6.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.5	17.5	0.5	30.0	ไม่มีแดด
7.00	17.5	5.0	17.5	5.0	17.5	6.5	17.5	2.0	32.0	แดดอ่อน
8.00	19.1	5.0	19.0	7.5	19.0	8.0	19.0	2.5	32.5	แดดอ่อน
9.00	19.0	8.0	19.0	9.5	19.0	10.5	19.0	5.5	33.5	แดดอ่อน
10.00	19.5	10.5	19.5	12.5	19.5	12.5	19.5	10.0	33.5	แดดไม่จัด
11.00	19.5	12.0	19.5	13.0	20.0	13.5	19.5	10.0	34.5	แดดจัด
12.00	19.5	12.5	20.0	13.5	20.0	13.5	19.5	12.5	34.5	แดดจัด
13.00	19.5	12.5	20.0	13.5	20.0	13.5	19.5	12.5	35.0	แดดจัดมาก
14.00	19.0	12.5	20.0	13.5	20.0	13.5	19.5	12.5	35.0	แดดจัด
15.00	19.0	12.0	19.0	12.5	19.5	12.5	19.0	12.0	34.0	แดดจัด
16.00	19.0	9.0	19.0	9.5	19.5	10.0	19.0	5.5	33.0	แดดไม่จัด
17.00	19.0	5.5	19.0	6.0	19.0	7.5	19.0	2.0	33.0	แดดอ่อน
18.00	17.0	1.0	17.0	1.0	17.5	1.5	17.5	0.5	32.0	ไม่มีแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 2

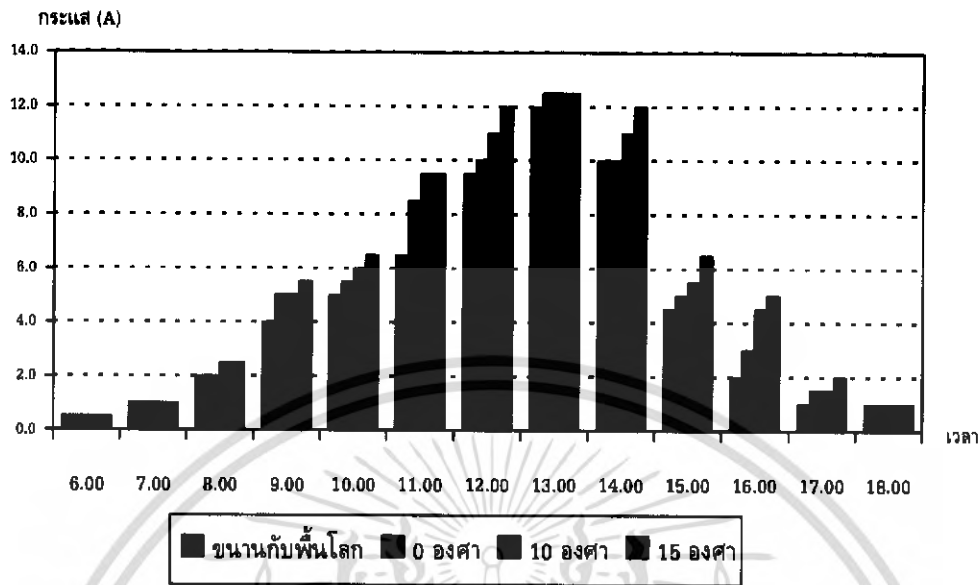
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเบ็ดครั้งที่ 3 วันที่ 12 พฤษภาคม

พุทธศักราช 2549

เวลา	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์						เซลล์แสงอาทิตย์		อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	สภาพอากาศ
	0 ๑ง๓		10 ๑ง๓		15 ๑ง๓		ขนาดกับพื้นโลก			
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)		
6.00	17.5	0.5	17.5	0.5	17.5	0.5	17.5	0.5	26.4	ไม่มีแดด
7.00	18.0	1.0	18.0	1.0	18.0	1.0	18.0	1.0	26.5	ไม่มีแดด
8.00	19.5	2.0	19.5	2.5	19.5	2.5	19.0	2.0	32.0	ไม่มีแดด
9.00	20.0	5.0	20.0	5.0	20.0	5.5	20.0	4.0	32.0	ไม่มีแดด
10.00	20.0	5.5	20.0	6.0	20.0	6.5	20.0	5.0	32.5	แดดอ่อน
11.00	20.0	8.5	20.0	9.5	20.0	9.5	20.0	6.5	33.5	แดดไม่จัด
12.00	20.0	10.0	20.0	11.0	20.0	12.0	20.0	9.5	34.0	แดดจัด
13.00	20.0	12.5	20.0	12.5	20.0	12.5	20.0	12.0	34.0	แดดจัด
14.00	20.0	10.0	20.0	11.0	20.0	12.0	20.0	10.0	33.5	แดดไม่จัด
15.00	19.5	5.0	20.0	5.5	20.0	6.5	20.0	4.5	33.0	แดดไม่จัด
16.00	18.0	3.0	18.0	4.5	19.5	5.0	19.5	2.0	32.5	แดดอ่อน
17.00	18.0	1.5	18.0	1.5	18.0	2.0	18.0	1.0	32.0	ไม่มีแดด
18.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.0	17.0	1.0	32.0	ไม่มีแดด

วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



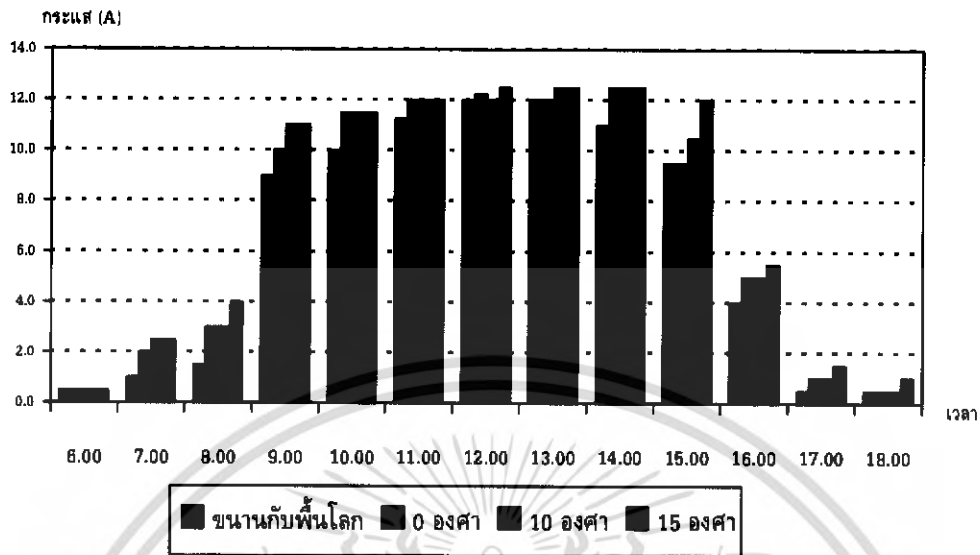
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 4 วันที่ 13 พฤษภาคม

พุทธศักราช 2549

เวลา	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์						เซลล์แสงอาทิตย์		อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	สภาพอากาศ
	0 ings		10 ings		15 ings		ขนานกับพื้นโลก			
นาฬิกา	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)		
6.00	17.5	0.5	17.5	0.5	17.5	0.5	17.5	0.5	30.0	ไม่มีแดด
7.00	17.5	2.0	17.5	2.5	17.5	2.5	17.5	1.0	32.0	ไม่มีแดด
8.00	19.0	3.0	19.0	3.0	19.0	4.0	19.0	1.5	32.0	แดดอ่อน
9.00	19.0	10.0	19.0	11.0	19.5	11.0	19.0	9.0	33.5	แดดอ่อน
10.00	19.0	11.5	19.5	11.5	19.5	11.5	19.0	10.0	33.5	แดดไม่จัด
11.00	19.0	12.0	19.5	12.0	19.5	12.0	19.0	11.25	34.0	แดดจัด
12.00	19.0	12.25	19.5	12.0	19.5	12.5	19.5	12.0	34.0	แดดจัด
13.00	19.0	12.5	19.5	12.0	19.5	12.5	19.0	12.0	35.5	แดดจัดมาก
14.00	20.0	12.5	20.0	12.5	20.0	12.5	19.0	11.0	34.0	แดดจัดมาก
15.00	19.0	9.5	19.0	10.5	19.0	12.0	19.0	9.5	32.5	แดดจัด
16.00	19.0	5.0	19.0	5.0	19.0	5.5	19.0	4.0	32.0	แดดไม่จัด
17.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.5	17.5	0.5	32.0	แดดอ่อน
18.00	17.0	0.5	17.0	0.5	17.0	1.0	17.0	0.5	31.5	ไม่มีแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 4

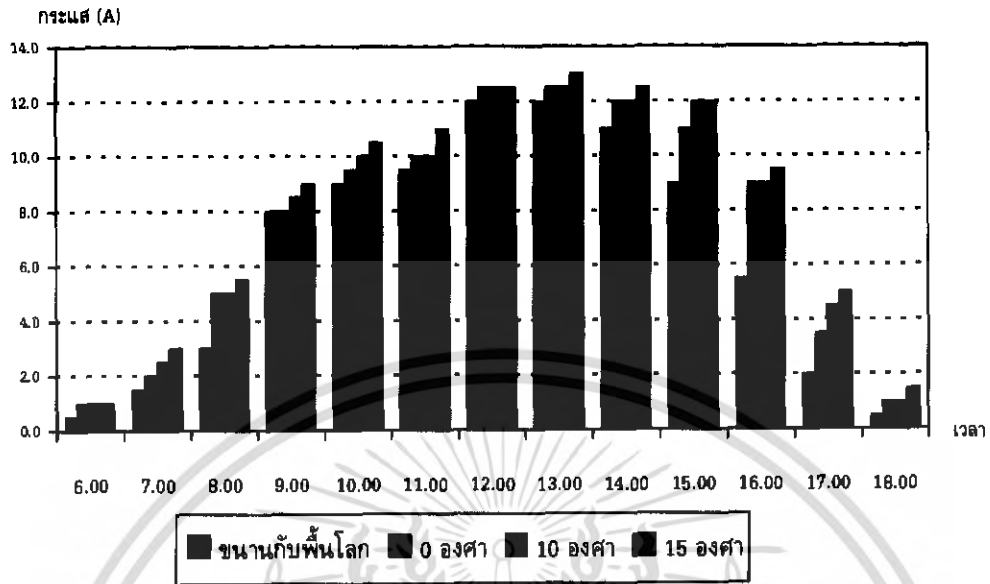
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดครั้งที่ 5 วันที่ 14 พฤษภาคม

พุทธศักราช 2549

เวลา	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์						เซลล์แสงอาทิตย์		อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	สภาพอากาศ
	0 ingsa		10 ingsa		15 ingsa		ขนาดกับพื้นโลก			
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)		
6.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	0.5	31.0	ไม่มีแดด
7.00	18.0	2.0	18.0	2.5	18.0	3.0	18.0	1.5	31.0	ไม่มีแดด
8.00	19.0	5.0	19.0	5.0	19.0	5.5	19.0	3.0	32.5	แดดอ่อน
9.00	19.0	8.0	19.0	8.5	19.0	9.0	19.0	8.0	32.5	แดดอ่อน
10.00	19.5	9.5	19.5	10.0	19.5	10.5	19.5	9.0	33.0	แดดไม่จัด
11.00	19.5	10.0	19.5	10.0	19.5	11.0	19.5	9.5	34.0	แดดจัด
12.00	19.5	12.5	19.5	12.5	19.5	12.5	19.5	12.0	35.0	แดดจัด
13.00	20.0	12.5	20.0	12.5	20.0	13.0	20.0	12.0	35.5	แดดจัดมาก
14.00	20.0	12.0	20.0	12.0	20.0	12.5	19.5	11.0	35.0	แดดจัดมาก
15.00	19.5	11.0	19.5	12.0	19.5	12.0	19.5	9.0	33.5	แดดจัด
16.00	19.5	9.0	19.5	9.0	19.5	9.5	19.5	5.5	33.0	แดดไม่จัด
17.00	18.5	3.5	18.5	4.5	18.5	5.0	18.5	2.0	32.5	แดดอ่อน
18.00	17.5	1.0	17.5	1.0	17.5	1.5	17.5	0.5	32.0	ไม่มีแดด

วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการวัดกระแสครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการวัดกระแสเฉลี่ยรวม

เวลา (นาฬิกา)	เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์			เซลล์แสงอาทิตย์ชานากับพื้นโลก
	0 องศา	10 องศา	15 องศา	กระแส
	กระแส (แอมแปร์)	กระแส (แอมแปร์)	กระแส (แอมแปร์)	(แอมแปร์)
6.00	0.8	0.8	0.9	0.5
7.00	3.1	3.3	3.5	1.4
8.00	4.8	5.4	6.0	3.1
9.00	8.7	9.3	9.7	7.1
10.00	9.9	10.5	10.7	9.1
11.00	11.0	11.4	11.9	9.85
12.00	11.95	12.3	12.6	11.7
13.00	12.5	12.7	13.06	12.2
14.00	11.8	12.3	12.6	11.2
15.00	9.0	10.6	11.1	9.0
16.00	7.0	7.6	8.0	4.5
17.00	3.3	3.6	4.3	1.3
18.00	0.9	0.9	1.2	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์} - \text{กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับพื้นโลก}}{\text{กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์}} \times 100$$

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับพื้นโลก

เวลา (นาฬิกา)	ประสิทธิภาพกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับพื้นโลก (%)		
	0 องศา	10 องศา	15 องศา
6.00	37.50	37.5	44.44
7.00	54.83	57.57	60.00
8.00	35.41	42.59	48.33
9.00	18.39	23.65	26.80
10.00	8.08	13.33	14.95
11.00	10.54	13.59	17.22
12.00	2.09	4.87	7.14
13.00	2.40	3.93	6.58
14.00	5.08	8.94	11.11
15.00	0.00	15.09	18.91
16.00	35.71	40.78	43.75
17.00	60.60	63.88	69.76
18.00	33.33	33.33	50.00

จากการทดลองการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 5 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์ทำมุม 0 องศา 10 องศา และ 15 องศา กับเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับพื้นโลก พอสรุปได้ดังนี้

1. กระแสในการประจุแบตเตอรี่ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้น จะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเวลา 11.00 นาฬิกา ถึง 13.00 นาฬิกา
2. กระแสในการประจุแบตเตอรี่ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้นโลก จะมีค่าต่างกันในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา ถึง 10.00 นาฬิกา และช่วงเวลา 14.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา
3. จากการทดลองตลอดทั้ง 5 วัน พบว่าช่วงเวลาเช้าและช่วงกลางวันในขณะมีแสงสว่าง แต่ไม่มีแสงแดด เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกระแสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
4. อุณหภูมิและสภาพอากาศจะมีผลต่อการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

โครงการระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ที่เสนอในปฏิญานีฉบับนี้จัดทำเพื่อศึกษา และพัฒนาเพื่อให้สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งในการทดลองจะพบว่าในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามดวงอาทิตย์กระแสที่ประจุแบตเตอรี่จะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขนานกับพื้นโลก การประจุกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น สภาพอากาศ ในสภาวะที่มีแดดจัดเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกระแสได้สูงสุด นอกจากสภาพอากาศแล้ว องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งได้แก่ เงาของสิ่งต่างๆ ที่มาบดบัง

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงการปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 โครงสร้าง

ปัญหา ของโครงสร้าง เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแผงขนาดใหญ่จำนวน 2 แผง แผงละ 120 วัตต์ ซึ่งมีขนาดความกว้างและความยาวรวมคือ กว้าง 120 เซนติเมตร และยาว 155 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อแผงมีขนาดใหญ่ โครงที่ใช้ก็ต้องมีขนาดใหญ่และแข็งแรงทำให้ต้องใช้เหล็กที่หนาจึงจะสามารถรับน้ำหนักของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จึงทำให้ยากต่อการเคลื่อนย้ายและใช้พื้นที่ในการติดตั้งกว้าง

แนวทางแก้ไข ออกแบบโครงให้มีขนาดเล็กลงแต่สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น และการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้ง่ายขึ้นเพราะใช้ระบบลูกปืนเข้ามาช่วย

5.2.2 ระบบขับเคลื่อน

ปัญหา ของระบบขับเคลื่อน เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก น้ำหนักรวม 2 แผง เท่ากับ 24 กิโลกรัม และย้งรวมน้ำหนักของกรอบแผงอีกประมาณ 10 กิโลกรัม รวมน้ำหนักทั้งกรอบและแผงโดยประมาณ 34 กิโลกรัม และน้ำหนักนี้จะตกมาอยู่ที่แกนกลาง ซึ่งแผงจะต่ออยู่กับมอเตอร์ที่นำมาปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ และมอเตอร์จะต้องมีแรงบิดสูง เมื่อมอเตอร์ที่ใช้มีแรงบิดกระแสที่ต้องจ่ายให้มอเตอร์ในการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ต้องใช้กระแสที่สูง และเมื่อวัตต์ที่มีน้ำหนัก 34 กิโลกรัม ถูกปรับองศาให้เคลื่อนที่ เป็นการยากที่จะทำให้หยุดในทันทีทันใด เนื่องจากวัตต์จะมีแรงเฉื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข ออกแบบระบบขับเคลื่อนเซลล์แสงอาทิตย์ให้ออกห่างจากแกนกลางรับน้ำหนักเพื่อลดการรับน้ำหนักและลดแรงบิดที่ใช้ในการปรับองศา ทำให้มอเตอร์ที่จะนำมาใช้ไม่ต้องใช้แรงบิดมาก และทำให้เกิดผลดีคือ เมื่อมอเตอร์มีแรงบิดไม่มากกระแสที่ใช้ก็จะลดลงไปด้วย ทำให้เหลือกระแสไปประจุแบตเตอรี่ได้มากขึ้น จึงได้นำมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจานดาวเทียม มาใช้เป็นตัวขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมอเตอร์นี้ใช้กระแสในการขับเคลื่อนน้อย แต่สามารถรับน้ำหนักได้มาก

5.2.3 อินเวอร์เตอร์

ปัญหา ของอินเวอร์เตอร์ คือ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบมาใช้งานนั้นหลายวงจรเล็กเกินไปเวลาทดลองใช้งานหลายวงจรร้อนและขาดและอุปกรณ์บางตัวร้อน

แนวทางแก้ไข ใช้ตะกั่วและสายไฟเคลือบหลายวงจรทั้งหมดและเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวที่สามารถทนกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า

5.2.4 วงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง

ปัญหา ของวงจรตรวจจับระดับความเข้มแสง วงจรชุดนี้จะใช้ LDR เป็นตัวตรวจจับความเข้มแสง โดยทำการวางไว้ในท่อกลมแต่เนื่องจากแต่ละฤดูกาลดวงอาทิตย์จะโคจรในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทำให้ LDR รับแสงได้ไม่ดี ทำให้การตรวจจับผิดพลาด

แนวทางแก้ไข ใช้ท่อกลมเหมือนเดิมแต่การติดตั้ง LDR จะต้องติดตั้งให้ LDR สามารถขยับขึ้นลงภายในท่อได้ เพื่อเป็นการปรับมุมมองค่าในการรับแสงของ LDR ในแต่ละฤดูกาล แต่ LDR ก็ยังคงได้รับแสงจากการสะท้อนของท่อกลมมาตกกระทบที่ตัว LDR จึงทำการแก้ไขโดยใช้ลวดพันภายในท่อกลมเพื่อลดการสะท้อนของแสง

5.3 แนวทางการพัฒนา

ในการพัฒนาโครงการเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถกระทำได้ดังนี้

1. ปรับปรุงระบบตรวจจับแนวโคจรของดวงอาทิตย์ให้สามารถตรวจจับได้ 4 ทิศทางคือ ในแนวทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก และ แนวทิศเหนือไปยังทิศใต้
2. เมื่อต้องการกระแสมากขึ้นเพื่อให้สามารถประจุแบตเตอรี่ได้เร็วขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากขึ้นโดยการต่อขนานแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแผงที่มีอยู่แล้ว
3. หากต้องการเก็บพลังงานให้มากขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ให้มากขึ้นโดยการต่อขนานกับแบตเตอรี่ที่มีอยู่แล้ว
4. การประจุแบตเตอรี่สามารถยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้โดยสร้างชุดชาร์ตมาช่วยในการประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หากต้องการนำแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ ที่ต้องการกำลังวัตต์สูงๆ สามารถทำได้โดยสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังวัตต์สูงๆ ให้กับโหลดได้

ซึ่งแนวทางในการพัฒนาทั้งหมดนี้ จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของโครงการเพิ่มขึ้นจนสามารถประยุกต์ใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และวราพจน์ การแก้ววัฒนกุล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.**

กรุงเทพฯ : บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2537. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.** กรุงเทพฯ : บริษัทโปรวิชั่นจำกัด.

นภัทร วัจนเพ็ญ. 2544. พิมพ์ครั้งที่ 5. **ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์.** กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.

บัณฑิต จามรภูติ. 2544. **คู่มือการใช้งาน Protel 99.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บัณฑิต.

ประทีป อ่องสร้อย. 2543. พิมพ์ครั้งที่ 3. **รวมวงจรจากมืออาชีพ.** กรุงเทพฯ : เอส แอนด์ จี กราฟฟิค.

ผจง ชมเชย. **คู่มือภาคปฏิบัติ Protel Design Explorer 99 se.** กรุงเทพฯ : PHAJONG OFFSET.

ฤทธิ ธีระโกเมน. 2538. **รวมบทความทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ :

บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

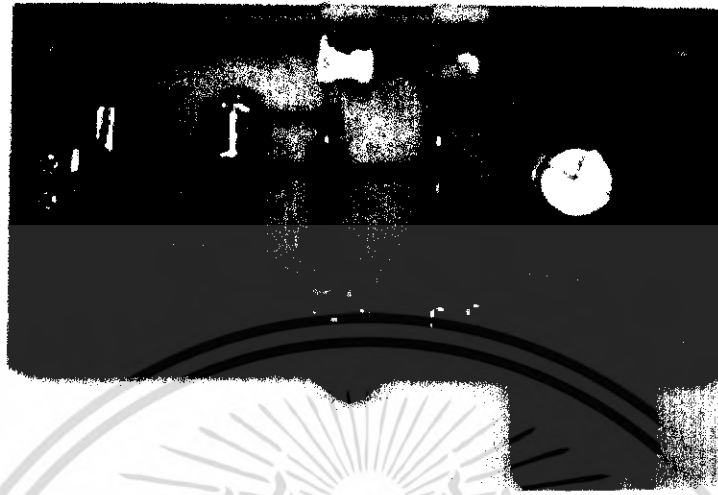
สมยศ จุณณะปิยะ. 2539. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.** กรุงเทพฯ :

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

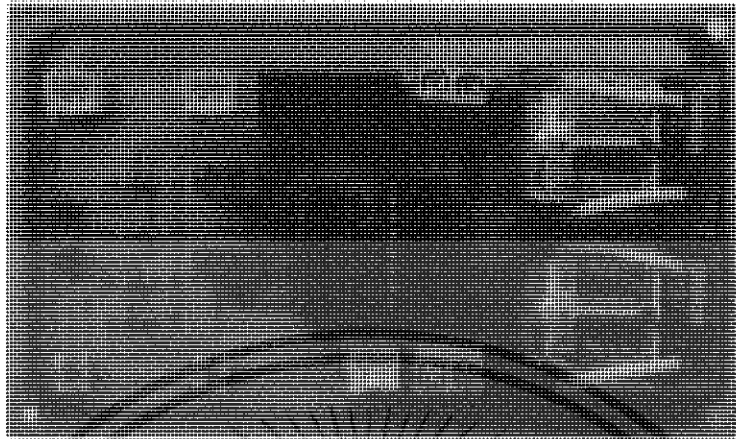


รูปที่ ก.1 มงจรเว็ลคตีไฟเออร์

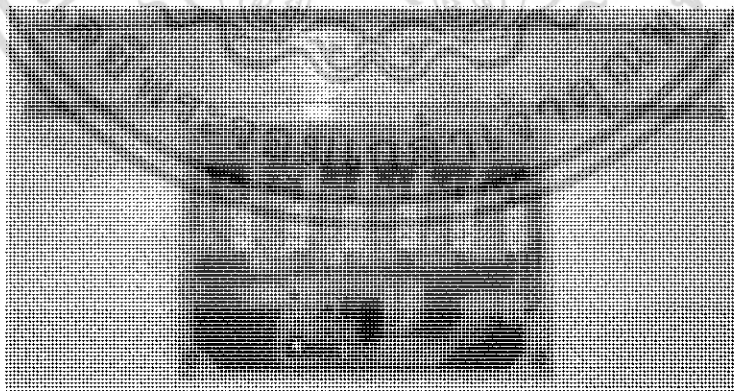


รูปที่ ก.2 มงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

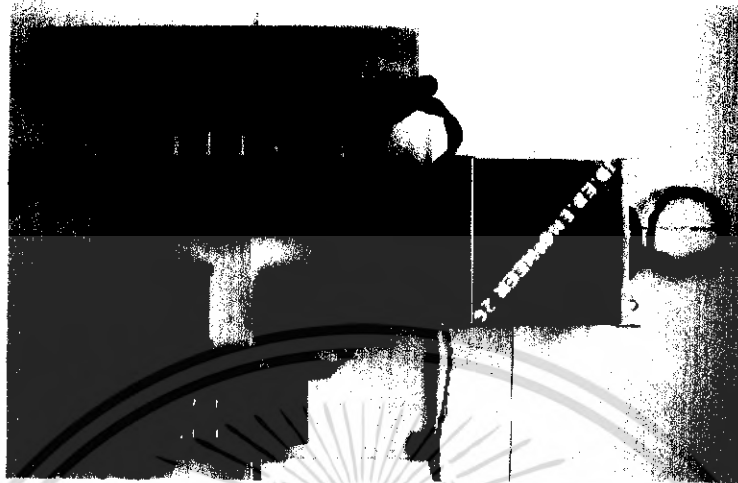


รูปที่ ก.3 วงจรรับรองคาเชลล์แสงอาทิตย์

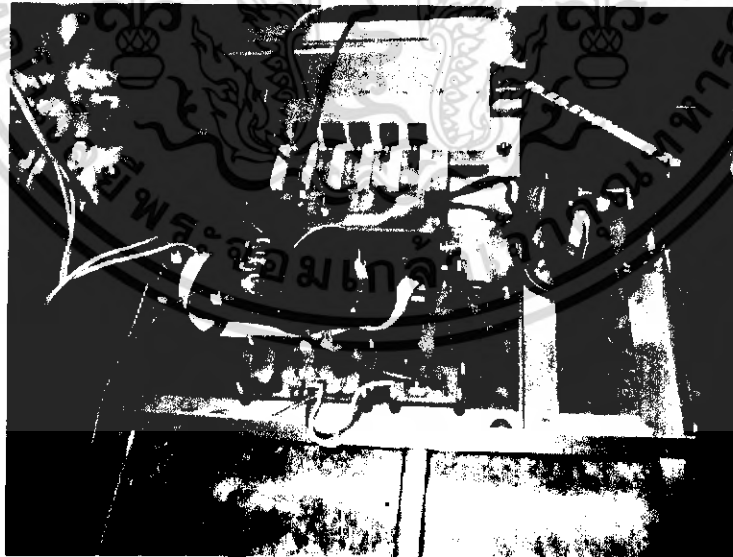


รูปที่ ก.4 อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 วงจรรวมที่สมบูรณ์

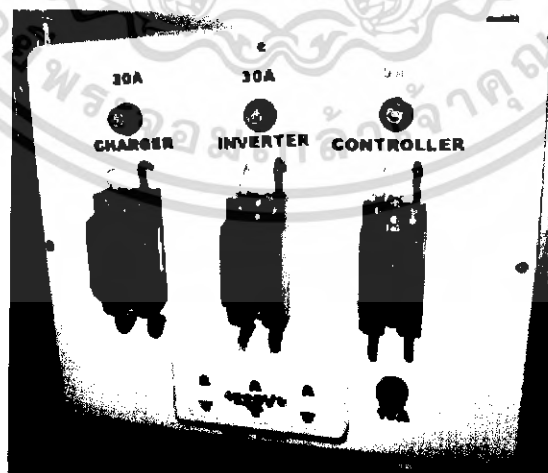


รูปที่ ก.6 การวางวงจรรวมในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 หน้าปัดตู้ควบคุม



รูปที่ ก.8 หน้าปัดตู้ควบคุมด้านใน

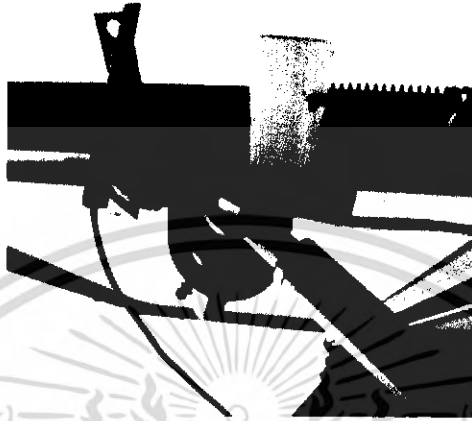
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 มอเซอร์ปรีดองศาเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ ก.10 การติดตั้งมอเซอร์ปรีดองศาเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 การติดตั้งแกนเมอเทอวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ก.12 แกนเลื่อนปรับองศาแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



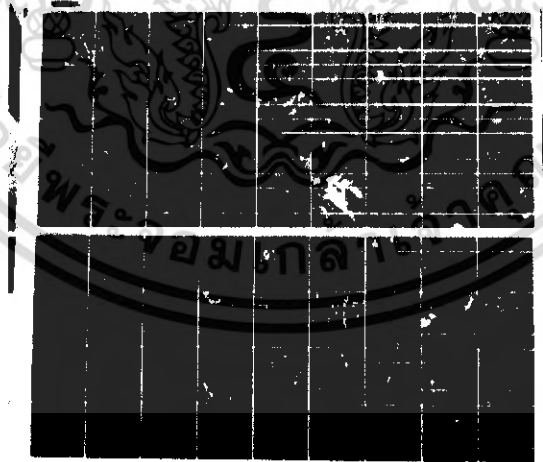
รูปที่ ก.13 การติดตั้ง LDR

รูปที่ ก.14 การติดตั้ง LDR1 และ LDR2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.15 การติดตั้ง Limit Switch



รูปที่ ก.16 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

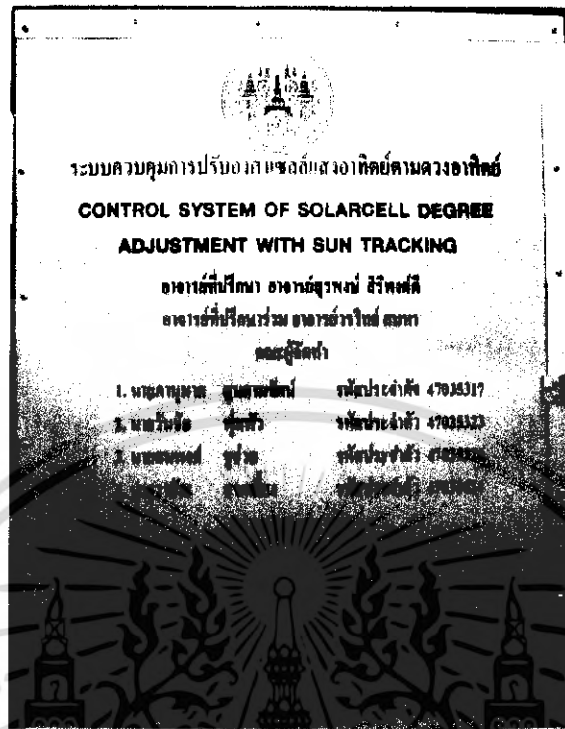


รูปที่ ก.17 กาวข้อเซลล์แสงอาทิตย์

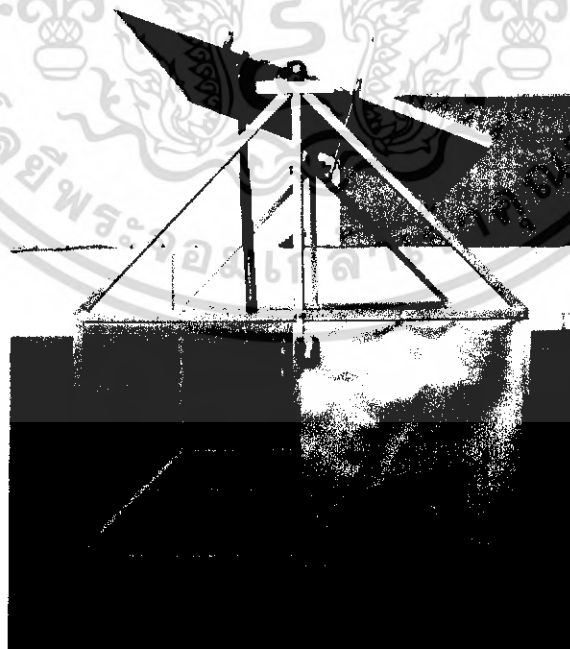


รูปที่ ก.18 แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

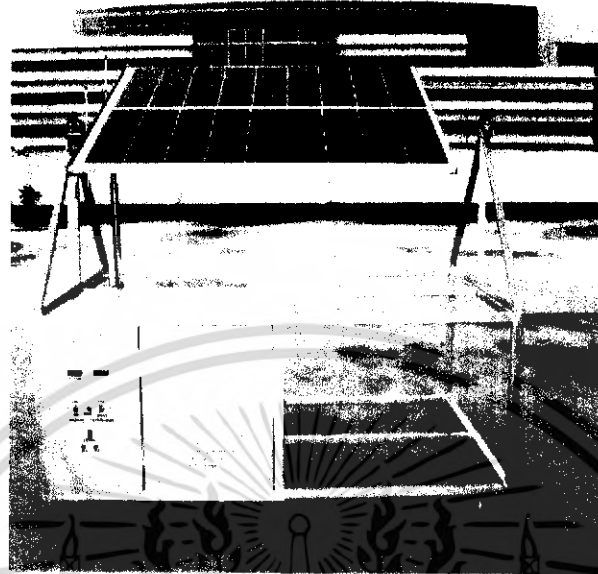


รูปที่ ก.19 ปวงชู้คณาคณ



รูปที่ ก.20 เครื่องตั้งองศา เซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

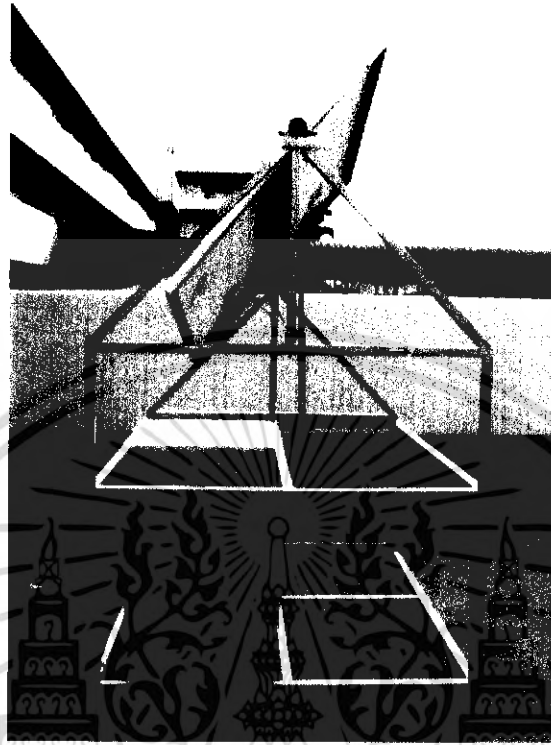


รูปที่ ก.21 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทำจาก 0 องศา

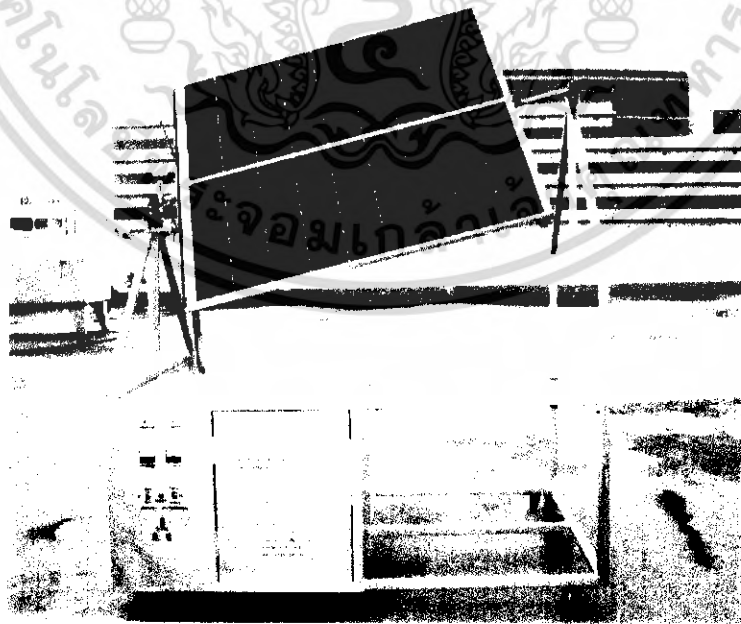


รูปที่ ก.22 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทำจาก 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.23 เค้าโครงต้นแบบคาน้ำรับน้ำหนัก 15 องศา



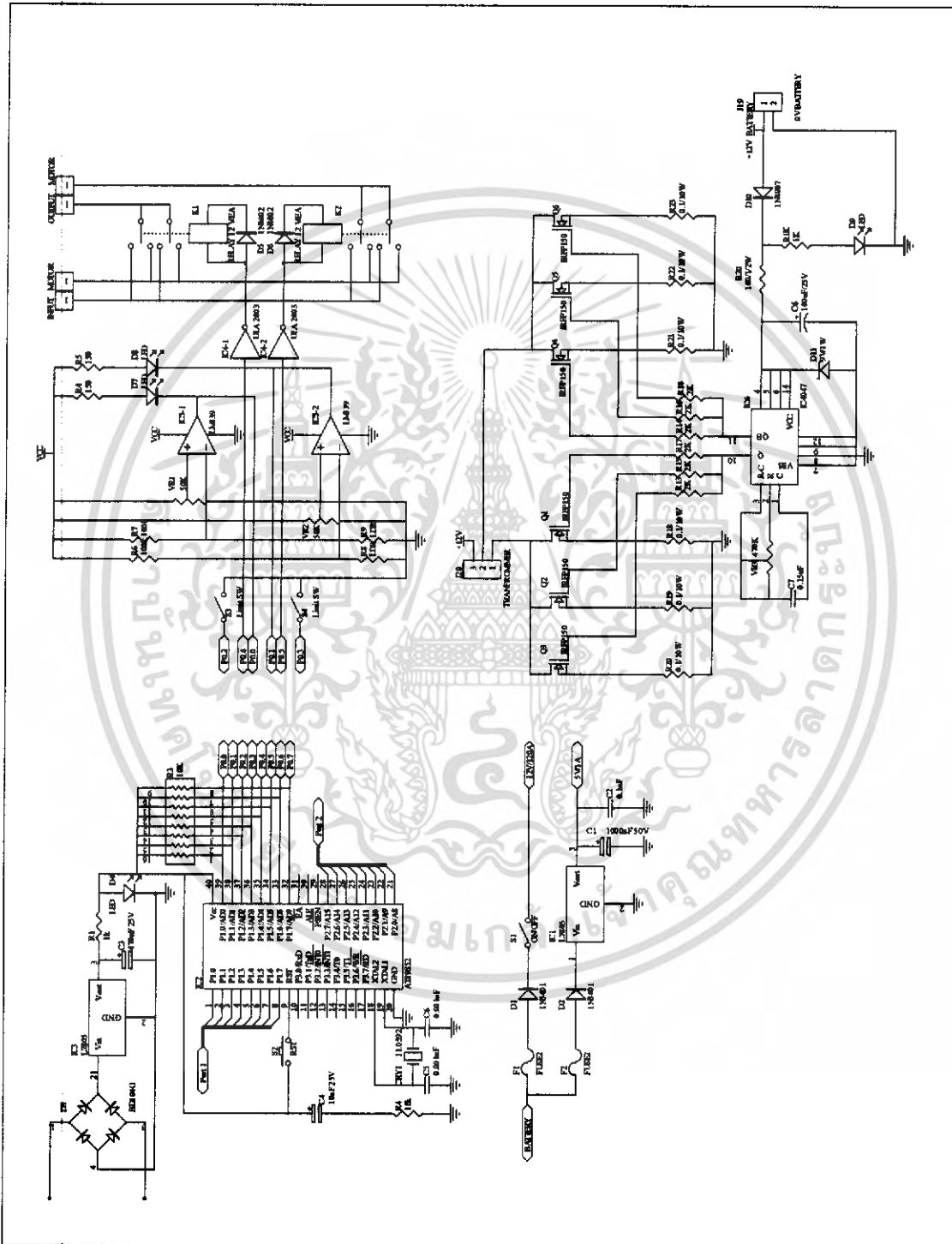
รูปที่ ก.22 เค้าโครงต้นแบบคาน้ำรับน้ำหนัก 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

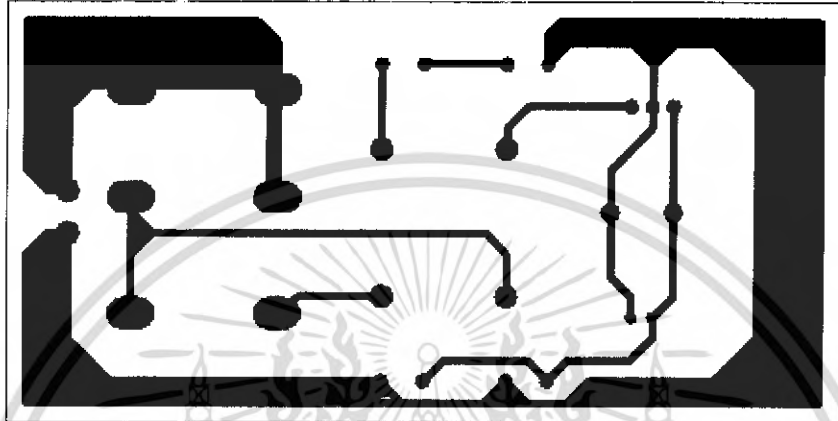


ภาคผนวก ข
วงจรและแผนวงจรพิมพ์

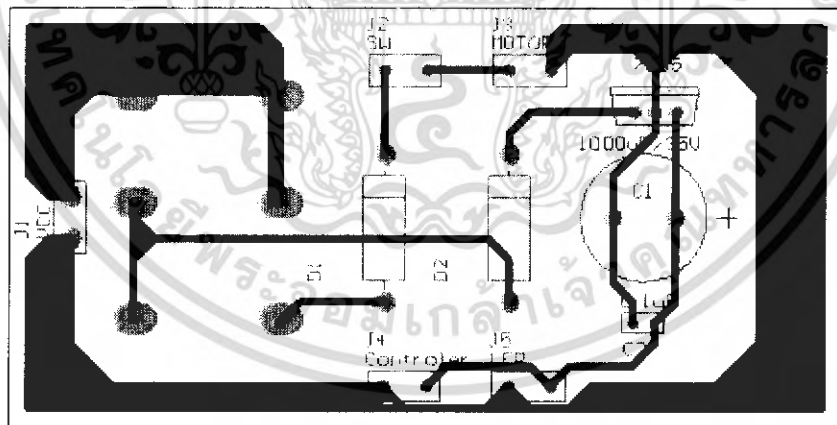
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

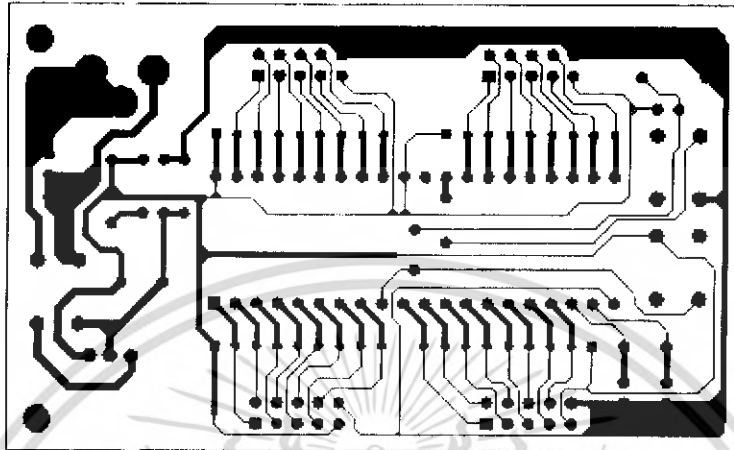


รูปที่ ๑.1 แผงวงจรพิมพ์วงจรเรกติไฟเออร์

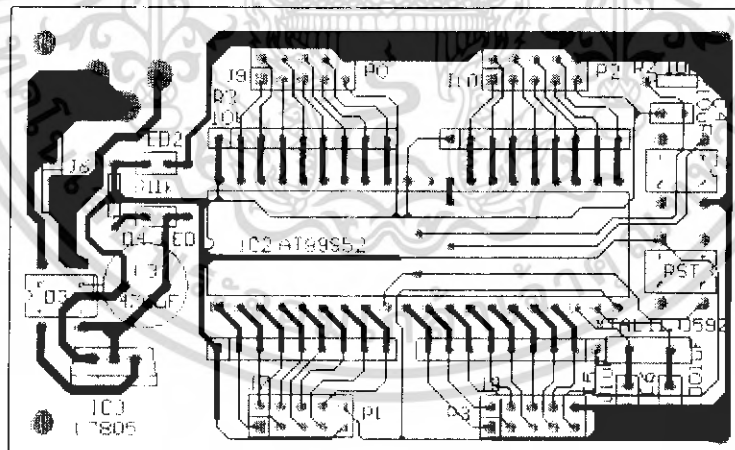


รูปที่ ๑.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรเรกติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

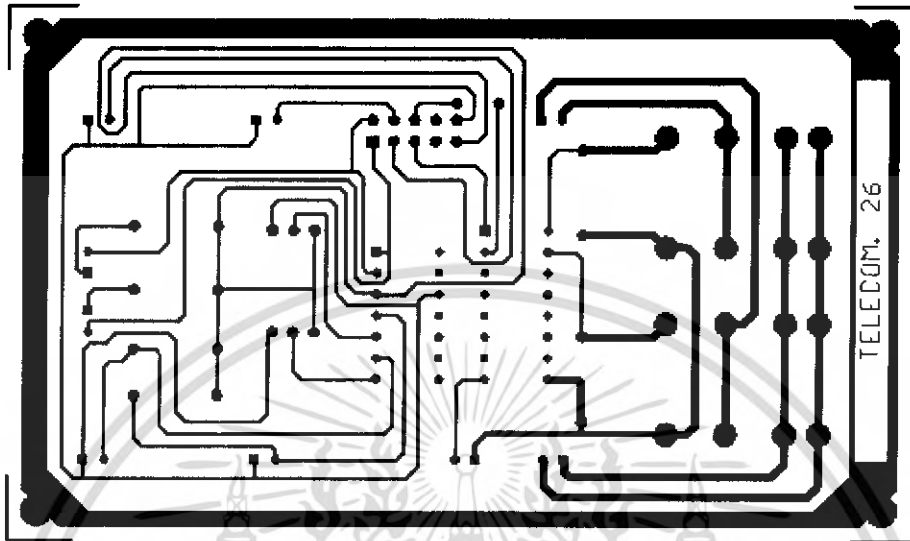


รูปที่ ๓.3 แผงวงจรพิมพ์พลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์

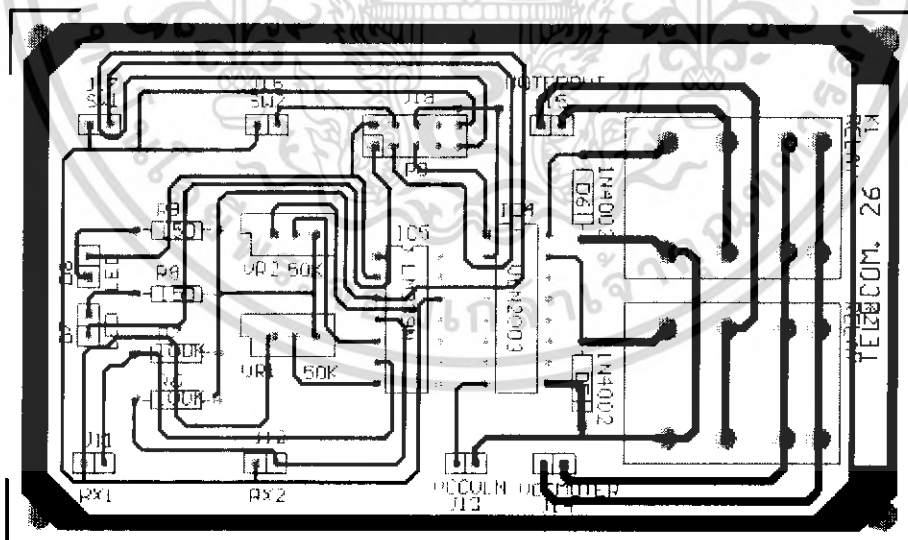


รูปที่ ๓.4 ภาพเหตุการณ์วางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์พลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

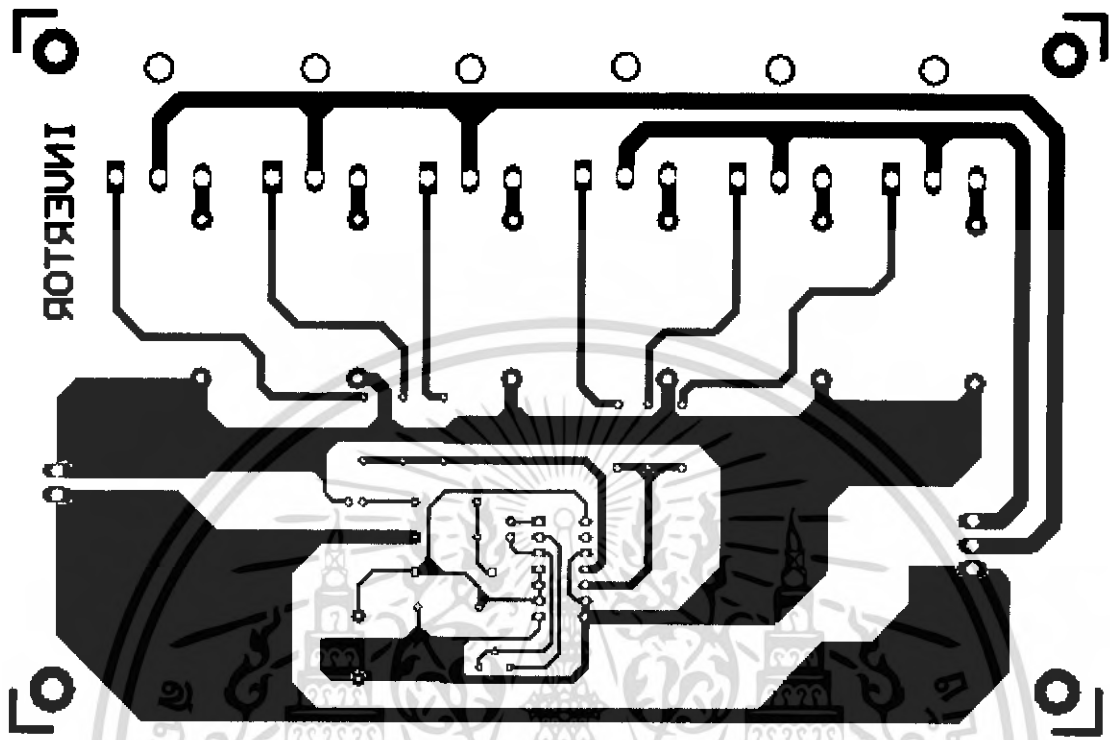


รูปที่ ๒.5 แผงวงจรพิมพ์วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์

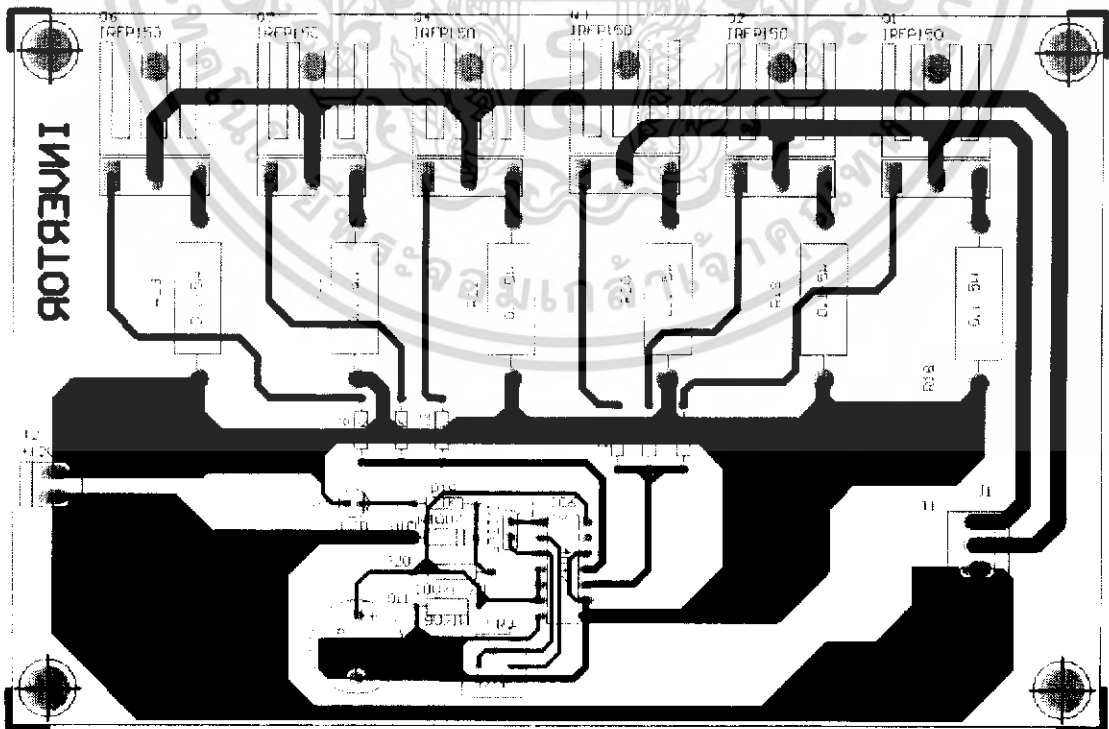


รูปที่ ๒.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๒.๗ แผงวงจรพิมพ์พ่วงจาวอินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปย่อสำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อเตรียมความพร้อมทางด้านความรู้ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ๒.๘ ใต้เห็นการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์พ่วงจาวอินเวอร์เตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรเรกติไฟเออร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC1	L7805	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ D1,D2	1N5401	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ C1	1000 μ F 50 V	1 ตัว
C2	0.1 μ F ไมโพลาร์	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ F1,F2	ฟิวส์ 30 A	2 ตัว
J1,J2,J3,J4,J5	Connecter 2 pin	5 ตัว
S1	ON/OFF	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC2	AT89S52	1 ตัว
IC3	L7805	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ D3	DB104G	1 ตัว
D4	LED ขนาด 3 มิลลิเมตร	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ C3	470 μ F 25 V	1 ตัว
C4	10 μ F 25 V	1 ตัว
C5,C6	0.001 μ F เซรามิค	2 ตัว
ตัวต้านทาน R1	1 k Ω 1/4 W 5%	1 ตัว
R2	10 k Ω 1/4 W 5%	1 ตัว
R3	10 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ J6	Connecter 2 pin	1 ตัว
J7,J8,J9,J10	Connecter 10 pin	4 ตัว
XTAL	11.0592	1 ตัว
S2	ไมโครสวิตช์	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC4	ULN 2003	1 ตัว
IC5	LM 339	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D5,D6	1N4002	2 ตัว
D7,D8	LED ขนาด 3 มิลลิเมตร	2 ตัว
ตัวต้านทาน		
R4,R5	150 Ω $\frac{1}{4}$ W 1%	2 ตัว
R6,R7	100 k Ω $\frac{1}{4}$ W 1%	2 ตัว
VR1,VR2	50 k Ω Trimpot	2 ตัว
R8,R9	LDR	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J11,J12,J13,J14 J15,J16,J17	Connecter 2 pin	7 ตัว
J18	Connecter 10 pin	1 ตัว
K1,K2	Relay 12 V/EA	2 ตัว
S3,S4	Limit switch	2 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC6	CD4047BE	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D9	LED ขนาด 3 มิลลิเมตร	1 ตัว
D10	1N4007	1 ตัว
D11	ZD 9 V	1 ตัว
Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6	IRFP 150N	6 ตัว
ตัวต้านทาน		
R10	100 Ω 2 W 0.5%	1 ตัว
R11	1 k Ω $\frac{1}{4}$ W 0.5%	1 ตัว
R12,R13,R14,R15,R16,R17	2 k Ω $\frac{1}{4}$ W 0.5%	6 ตัว
R18,R19,R20,R21,R22,R23	0.1 Ω 5 W	6 ตัว
VR3	470 k Ω	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C6	100 μ F 25 V	1 ตัว
C7	0.15 μ F โปลาร์	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
J19	Connector 2 pin	1 ตัว
120	Connector 3 pin	1 ตัว
แผ่นระบายความร้อน	ขนาด 11x 25 ซม.	1 แผ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047BM/CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator

General Description

CD4047B is capable of operating in either the monostable or astable mode. It requires an external capacitor (between pins 1 and 3) and an external resistor (between pins 2 and 3) to determine the output pulse width in the monostable mode, and the output frequency in the astable mode.

Astable operation is enabled by a high level on the astable input or low level on the $\bar{\text{astable}}$ input. The output frequency (at 50% duty cycle) at Q and \bar{Q} outputs is determined by the timing components. A frequency twice that of Q is available at the Oscillator Output; a 50% duty cycle is not guaranteed.

Monostable operation is obtained when the device is triggered by a low-to-high transition at $\bar{\text{trigger}}$ input or high-to-low transition at trigger input. The device can be retriggered by applying a simultaneous low-to-high transition to both the $\bar{\text{trigger}}$ and retrigger inputs.

A high level on Reset input resets the outputs Q to low, \bar{Q} to high.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- High noise immunity: $0.45 V_{DD}$ (typ.)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS

SPECIAL FEATURES

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Positive- or negative-edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

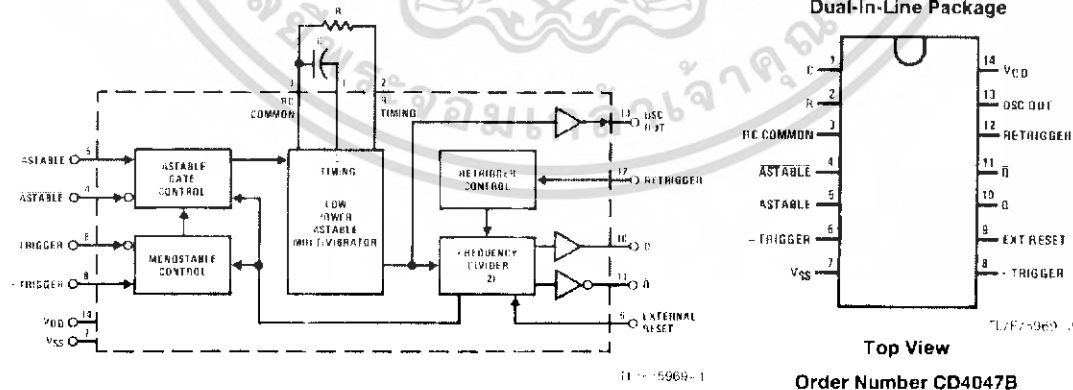
ASTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Free-running or gatable operating modes
- 50% duty cycle
- Oscillator output available
- Good astable frequency stability
 typical $\pm 2\% + 0.03\%/^{\circ}\text{C}$ @ 100 kHz
 frequency deviation $\pm 0.5\% + 0.015\%/^{\circ}\text{C}$ @ 10 kHz
 (circuits trimmed to frequency $V_{DD} = 10V \pm 10\%$)

Applications

- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications
- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division

Block and Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	0.5V to +18V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0.5V to V_{DD} + 0.5V _{DC}
Storage Temperature Range (T_{IS})	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_T)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V _{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4047BM	-55°C to +125°C
CD4047BC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4047BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	55°C		25°C			125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		5			5		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		10			10		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		20			20		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_{OL} = 1 \mu A$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_{OL} = 1 \mu A$		4.95		4.95	5		4.95	V
		$V_{DD} = 5V$		9.95		9.95	10		9.95	V
		$V_{DD} = 15V$		14.95		14.95	15		14.95	V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V		3.0		4.5	3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V		4.0		6.75	4.0		4.0	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V		3.5		3.5	2.75		3.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V		7.0		7.0	5.5		7.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V		11.0		11.0	8.25		11.0	V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$		0.64		0.51	0.88		0.36	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$		1.6		1.3	2.25		0.9	mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		4.2		3.4	8.8		2.4	mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$		0.64		0.51	-0.88		0.36	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$		1.6		1.3	-2.25		0.9	mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$		4.2		3.4	-8.8		2.4	mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		10 ⁻⁵	0.1		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	μA

DC Electrical Characteristics CD4047BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	40°C		25°C			85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		20			20		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		40			40		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		80			80		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_{OL} = 1 \mu A$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_{OL} = 1 \mu A$		4.95		4.95	5		4.95	V
		$V_{DD} = 5V$		9.95		9.95	10		9.95	V
		$V_{DD} = 15V$		14.95		14.95	15		14.95	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Electrical Characteristics CD4047B (Note 2) (Continued)										
Symbol	Parameter	Conditions	40°C		25°C			85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
V _{IL}	Low Level Input Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V or 4.5V		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V or 9V		3.0		4.5	3.0		3.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V or 13.5V		4.0		6.75	4.0		4.0	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5	2.75		3.5		V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V or 9V	7.0		7.0	5.5		7.0		V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0	8.25		11.0		V
I _{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		0.3	10 ⁻⁵	0.3		1.0		μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.3	10 ⁻⁵	0.3		1.0		μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

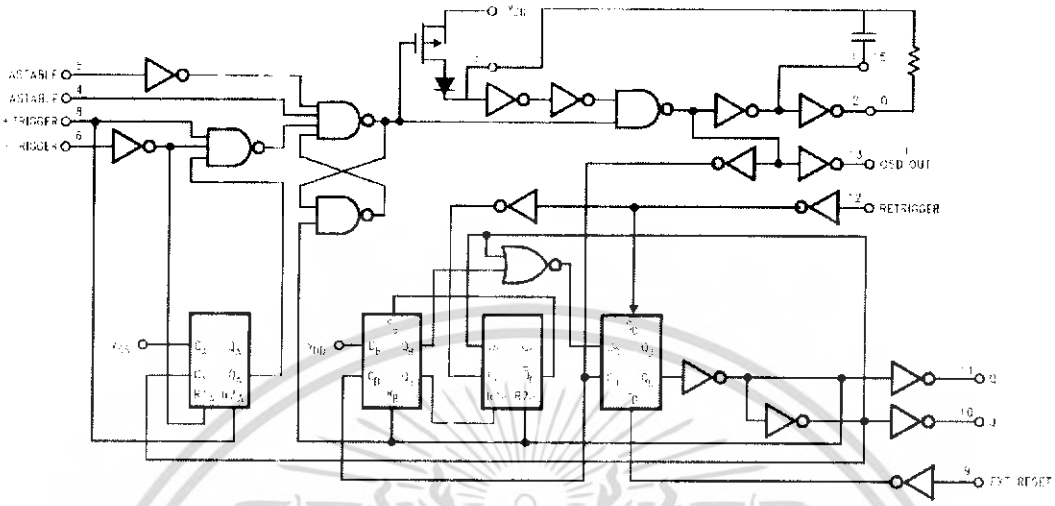
AC Electrical Characteristics* CD4047B
T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, input t_r = t_f = 20 ns, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{PHL} , t _{PLH}	Propagation Delay Time Astable, Astable to Osc. Out	V _{DD} = 5V		200	400	ns
		V _{DD} = 10V		100	200	ns
		V _{DD} = 15V		80	160	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	Astable to Astable to Q, \bar{Q}	V _{DD} = 5V		550	900	ns
		V _{DD} = 10V		250	500	ns
		V _{DD} = 15V		200	400	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	1 Trigger, Trigger to \bar{Q}	V _{DD} = 5V		700	1200	ns
		V _{DD} = 10V		300	600	ns
		V _{DD} = 15V		240	480	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	1 Trigger, Retigger to \bar{Q}	V _{DD} = 5V		300	600	ns
		V _{DD} = 10V		175	300	ns
		V _{DD} = 15V		150	250	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	Reset to Q, \bar{Q}	V _{DD} = 5V		300	600	ns
		V _{DD} = 10V		125	250	ns
		V _{DD} = 15V		100	200	ns
t _{PHL} , t _{PLH}	Transition Time: Q, \bar{Q} , Osc. Out	V _{DD} = 5V		100	200	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
t _{wL} , t _{wH}	Minimum Input Pulse Duration	Any Input				
		V _{DD} = 5V		500	1000	ns
		V _{DD} = 10V		200	400	ns
t _{rCL} , t _{fCL}	1 Trigger, Retigger, Rise and Fall Time	V _{DD} = 5V			15	μs
		V _{DD} = 10V			5	μs
		V _{DD} = 15V			5	μs
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Logic Diagram



*Special input protection circuit to permit logic input voltage swings.

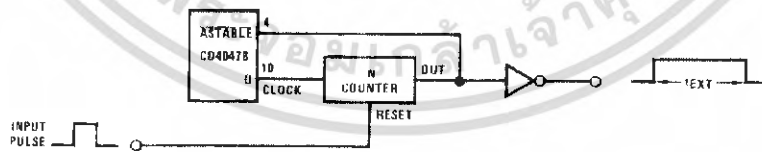
112F-5969-3

Truth Table

Function	Terminal Connections			Output Pulse From	Typical Output Period or Pulse Width
	To V _{DD}	To V _{SS}	Input Pulse To		
Astable Multivibrator	4, 7, 6, 14	7, 8, 9, 12		10, 11, 13	$t_A(10, 11) = 4.40 RC$
	4, 6, 14	7, 8, 9, 12	5	10, 11, 13	$t_A(13) = 2.20 RC$
	6, 14	5, 7, 8, 9, 12	4	10, 11, 13	
Monostable Multivibrator	4, 14	5, 6, 7, 9, 12	8	10, 11	$t_M(10, 11) = 2.48 RC$
	4, 11, 14	5, 7, 9, 12	6	10, 11	
	4, 14	5, 6, 7, 9	8, 12	10, 11	
	14	5, 6, 7, 8, 9, 12	(See Figure)	(See Figure)	

Note: External resistor between terminals 7 and 9. External capacitor between terminals 1 and 3.

Typical Implementation of External Countdown Option



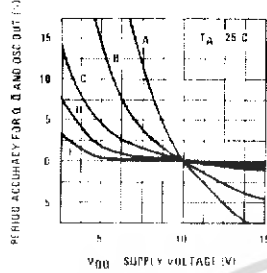
$$t_{EXT} = (N - 1)t_A = (N - 1)(4.4/2)RC$$

112F-5969-4

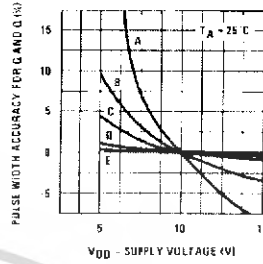
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

Typical Q, \bar{Q} , Osc Out Period Accuracy vs Supply Voltage (Astable Mode Operation)



Typical Q, \bar{Q} , Pulse Width Accuracy vs Supply Voltage Monostable Mode Operation

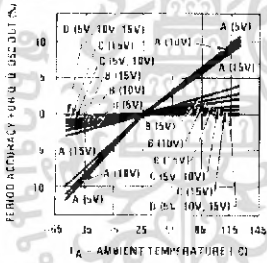


TLF 75969-5

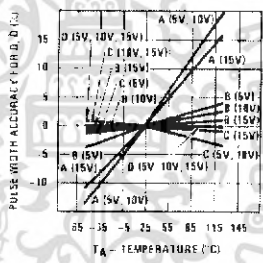
TLF 75969-5

$f_{Q, \bar{Q}}$	R	C	t_M	R	C
A 1000 kHz	22k	10 pF	A 2 μ s	22k	10 pF
B 100 kHz	22k	100 pF	B 7 μ s	22k	100 pF
C 10 kHz	220k	100 pF	C 60 μ s	220k	100 pF
D 1 kHz	220k	1000 pF	D 550 μ s	220k	1000 pF
E 100 Hz	2.2M	1000 pF	E 5.5 ms	2.2M	1000 pF

Typical Q, \bar{Q} and Osc Out Period Accuracy vs Temperature (Astable Mode Operation)



Typical Q and \bar{Q} Pulse Width Accuracy vs Temperature Monostable Mode Operation



TLF 75969-6

TLF 75969-6

$f_{Q, \bar{Q}}$	R	C	t_M	R	C
A 1000 kHz	22k	10 pF	A 2 μ s	22k	10 pF
B 100 kHz	22k	100 pF	B 7 μ s	22k	100 pF
C 10 kHz	220k	100 pF	C 60 μ s	220k	100 pF
D 1 kHz	220k	1000 pF	D 550 μ s	220k	1000 pF

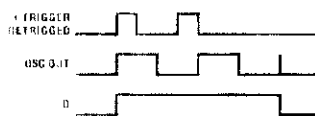
Timing Diagram



TLF 75969-10

TLF 75969-10

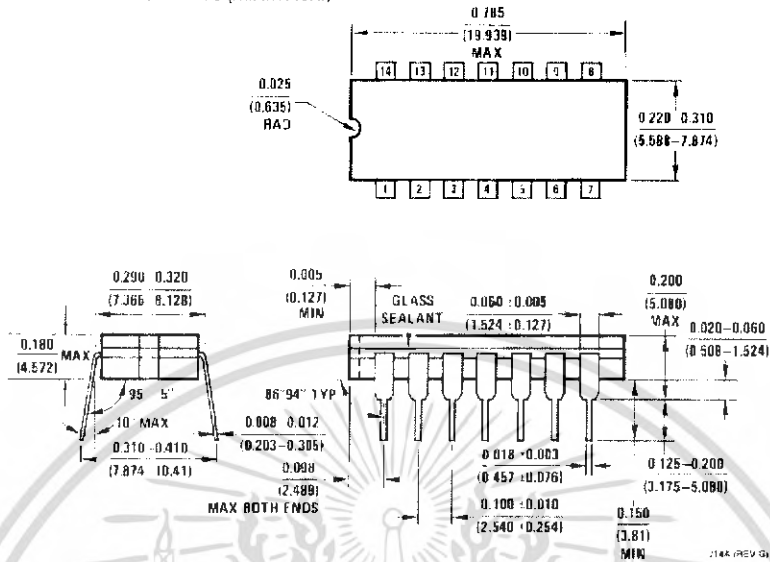
Retrigger Mode



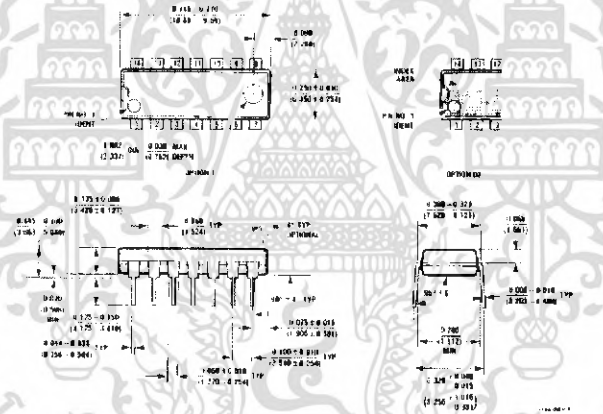
TLF 75969-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



Order Number CD4047BMJ or CD4047BCJ
NS Package Number J14A



Order Number CD4047BMN or CD4047BCN
NS Package Number N14A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
2111 West Garden Road
Arlington, TX 76017
Tel: (800) 272-9959
Fax: (800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Tel: (+43) 0 1 49 530 65 46
mail: onped@ns.com
Deutsch: Tel: (+49) 0 149 530 65 45
Français: Tel: (+33) 0 1 49 530 65 45
Italiano: Tel: (+39) 0 149 530 65 46

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737 1600
Fax: (852) 2738 9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2009
fax: 81-043-299-2406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44A, 100V, 0.030 Ohm, N-Channel Power MOSFET

Packaging

JEDEC TO-247



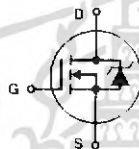
Features

- Ultra Low On-Resistance
- $r_{DS(ON)} = 0.030\Omega, V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
- Temperature Compensated PSPICE™ and SABER® Electrical Models
- Spice and SABER® Thermal Impedance Models
- www.fairchildsemi.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP150N	TO-247	IRFP150N

Symbol



Absolute Maximum Ratings $T_J = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	IRFP150N	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DSS} 100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR} 100	V
Gate to Source Voltage	V_{GS} ± 20	V
Drain Current		
Continuous ($T_C = 25^\circ C, V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	I_D 44	A
Continuous ($T_C = 100^\circ C, V_{GS} = 10V$) (Figure 2)	I_D 31	A
Pulsed Drain Current	I_{DM} Figure 4	
Pulsed Avalanche Rating	UIS Figures 6, 14, 15	
Power Dissipation	P_D 155	W
Derate Above $25^\circ C$	1.03	$W/^\circ C$
Operating and Storage Temperature	$T_{J,STG}$ -55 to 175	$^\circ C$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L 300	$^\circ C$
Package Body for 10s. See Techbrief TB334	T_{pk} 260	$^\circ C$

NOTES:

1. $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$.

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OFF STATE SPECIFICATIONS						
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 11)	100	-	-	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	1	μA
		$V_{DS} = 90\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{DS} = 120\text{V}$	-	-	± 100	nA
ON STATE SPECIFICATIONS						
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{DS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	2	-	4	V
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 44\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 9)	-	0.0255	0.030	Ω
THERMAL SPECIFICATIONS						
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-247	-	-	0.97	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	30	$^\circ\text{C/W}$
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10\text{V}$)						
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DS} = 50\text{V}$, $I_D = 44\text{A}$	-	-	130	ns
Turn-On Delay Time	$t_{D(ON)}$	$V_{GS} = 10\text{V}$	-	11	-	ns
Rise Time	t_r	$R_{GS} = 6.2\Omega$ (Figures 18, 19)	-	75	-	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{D(OFF)}$		-	37	-	ns
Fall Time	t_f		-	61	-	ns
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	150	ns
GATE CHARGE SPECIFICATIONS						
Total Gate Charge	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 10V		90	108	nC
Gate Charge at 10V	$Q_{g(10)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 10V		48	58	nC
Threshold Gate Charge	$Q_{g(TH)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 1V		3.1	3.8	nC
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}	$V_{DS} = 50\text{V}$, $I_D = 44\text{A}$, $I_{G(REF)} = 1.0\text{mA}$ (Figures 13, 16, 17)		6.5	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}			17	-	nC
CAPACITANCE SPECIFICATIONS						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$ (Figure 12)		1700	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}			460	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{riss}			145	-	pF

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Source to Drain Diode Voltage	V_{SD}	$I_{SD} = 44\text{A}$	-	-	1.25	V
		$I_{SD} = 22\text{A}$	-	-	1.00	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{SD} = 44\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	105	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$I_{SD} = 44\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	305	nC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

Typical Performance Curves

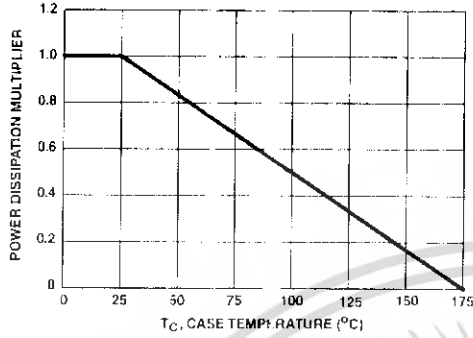


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

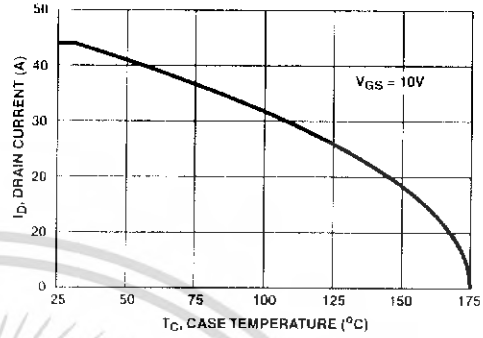


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

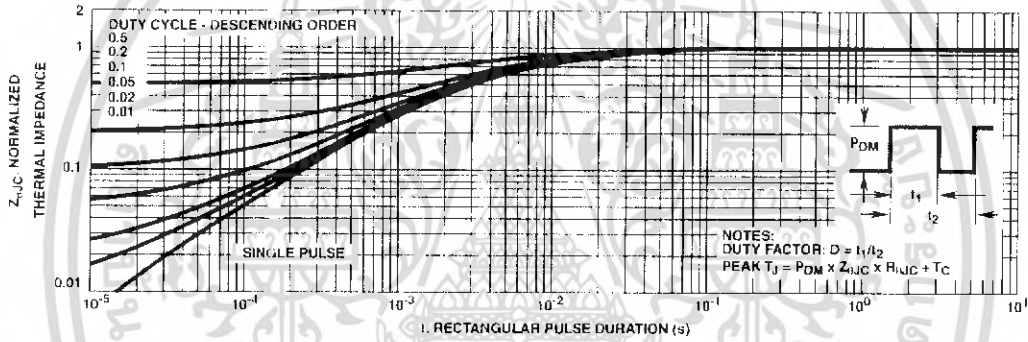


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

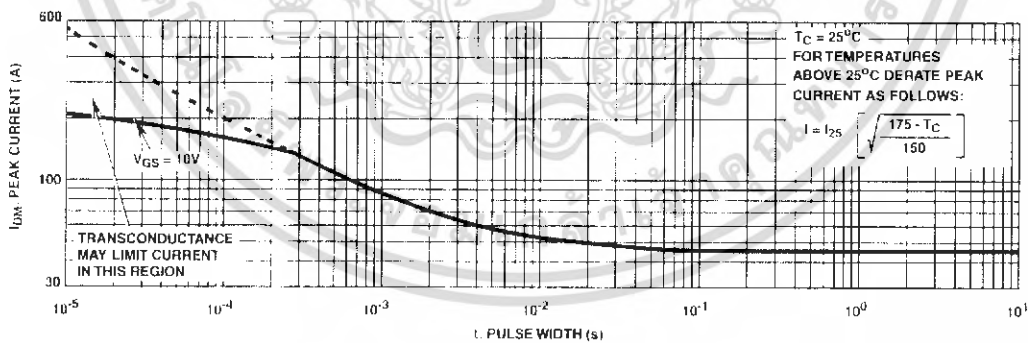


FIGURE 4. PEAK CURRENT CAPABILITY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

Typical Performance Curves (Continued)

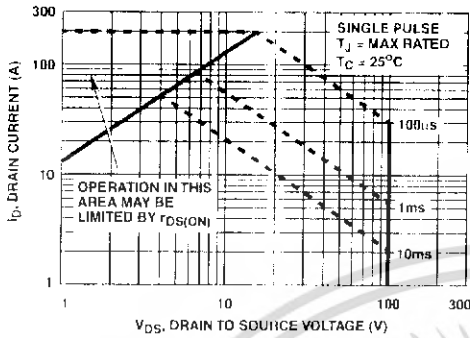
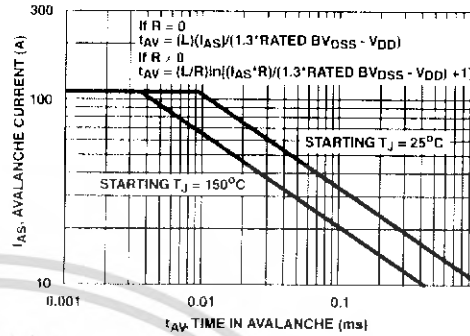


FIGURE 5. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA



NOTE: Refer to Fairchild Application Notes AN9321 and AN9322.

FIGURE 6. UNCLAMPED INDUCTIVE SWITCHING CAPABILITY

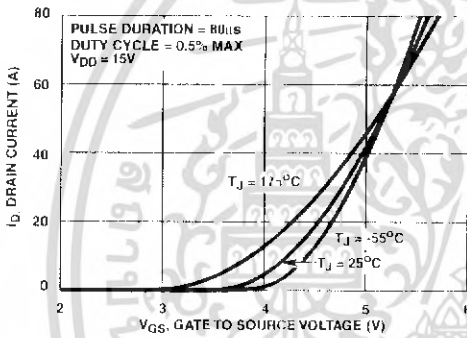


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

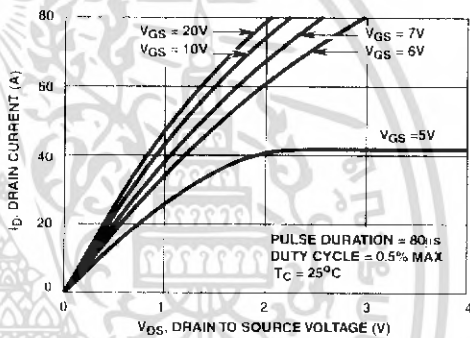


FIGURE 8. SATURATION CHARACTERISTICS

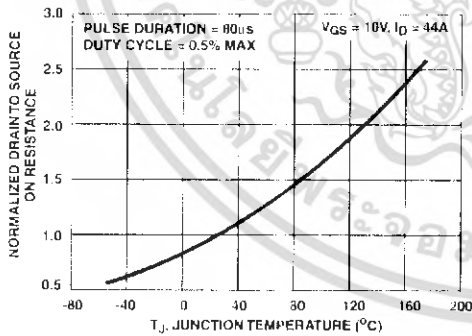


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

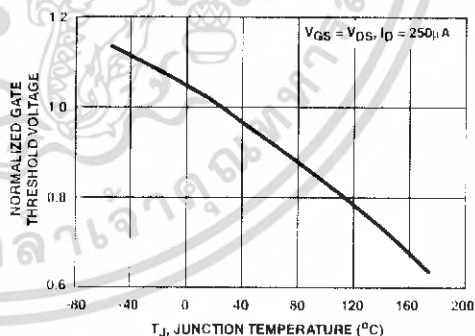


FIGURE 10. NORMALIZED GATE THRESHOLD VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

Typical Performance Curves (Continued)

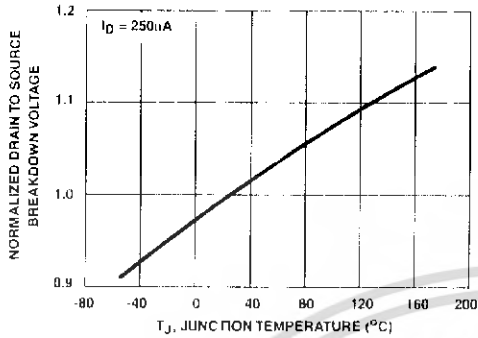


FIGURE 11. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

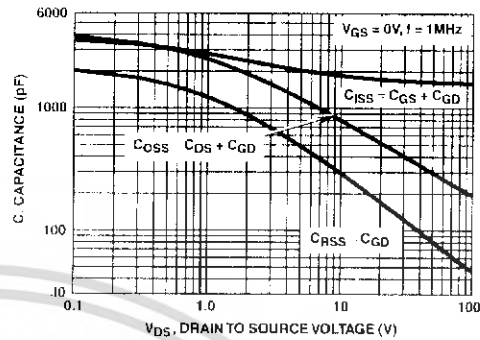
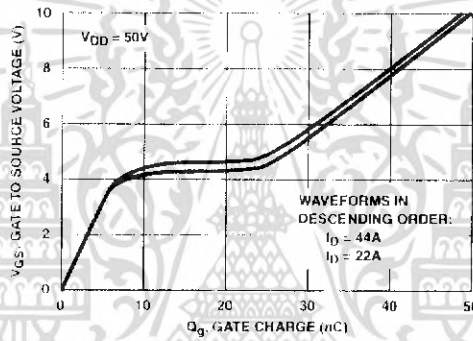


FIGURE 12. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE



NOTE: Refer to Fairchild Application Notes AN7254 and AN7260.

FIGURE 13. GATE CHARGE WAVEFORMS FOR CONSTANT GATE CURRENT

Test Circuits and Waveforms

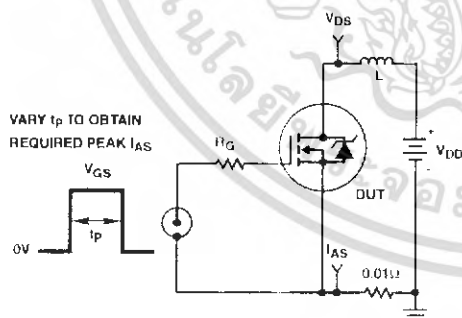


FIGURE 14. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

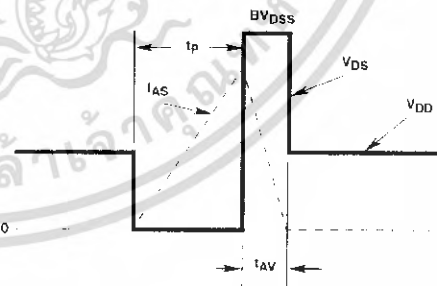


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

PSPICE Electrical Model

.SUBCKT IRFP150N 2 1 3 . rev 15 Jan 2000

CA 12 8 2.70e-9
 CB 15 14 2.70e-9
 CIN 6 8 1.56e-9

DBODY 7 5 DBODYMOD
 DBREAK 5 11 DBREAKMOD
 DPLCAP 10 5 DPLCAPMOD

EBREAK 17 17 18 113.5
 EDS 14 8 5 8 1
 ESG 13 8 8 8 1
 ESG 6 10 6 8 1
 EVTHRES 6 21 19 8 1
 EVTEMP 20 6 18 22 1

IT 8 17 1

LDRAIN 2 5 1.0e-9
 LGATE 1 9 6.5e-9
 LSOURCE 3 7 2.3e-9

MMED 16 6 8 8 MMEDMOD
 MSTRO 16 6 8 8 MSTROMOD
 MWEAK 16 21 8 8 MWEAKMOD

RBREAK 17 14 RBREAKMOD 1
 RDRAIN 5 0 16 RDRAINMOD 1 6.8e-2
 RGATE 9 20 0.86
 RLDRAIN 2 5 19
 RLGATE 1 9 26
 RLSOURCE 3 7 11
 RSLC1 5 51 RSLCMOD 1e-6
 RSLC2 5 50 1e3
 RSOURCE 8 7 RSOURCEMOD 1 6.5e-4
 RVTHRES 22 8 RVTHRESMOD 1
 RVTEMP 18 19 RVTEMPMOD 1

S1A 6 12 13 8 S1AMOD
 S1B 13 12 13 8 S1BMOD
 S2A 6 15 14 13 S2AMOD
 S2B 13 15 14 13 S2BMOD

VBAT 22 19 DC 1

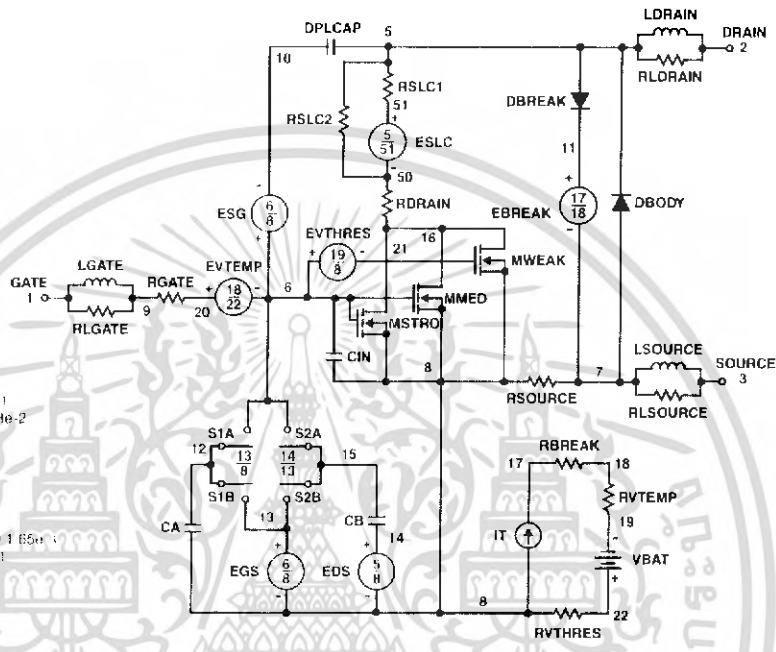
ESLC 51 50 VALUE=(V(5,51)/ARS(V(5,51)))*(PWR(V(5,51))^(1e-6)/81.3 5)

MODEL DBODYMOD D (RS = 1 10e-12 R1 = 19 RS = 2.86e-3 XT) - 5 (RS1 = 7.35e-5 THS2 = 1.00e-6 CJO = 1.90e-9 TT = 6.5e-8 M = 0.55)
 MODEL DBREAKMOD D (RS = 3.05e-1 KF = 1 TRS1 = 8e-4 TRS2 = 3e-6)
 MODEL DPLCAPMOD D (CJO 2.20e-9 S = 1e-30 M = 0.83)
 MODEL MMEDMOD NMOS (VTO = 3.21 KP = 5 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 11 Tu W = 1u RG = 0.86)
 MODEL MSTROMOD NMOS (VTO = 3.91 KP = 37.5 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 11 Tu W = 1u)
 MODEL MWEAKMOD NMOS (VTO = 2.81 KP = 0.97 IS = 1e-30 N = 10 TOX = 11 Tu W = 1u RG = 8.60)
 MODEL RBREAKMOD RES (TC1 = 1.08e-3 TC2 = -8.6e-7)
 MODEL RDRAINMOD RES (TC1 = 7.70e-3 TC2 = 2.20e-5)
 MODEL RSLCMOD RFS (TC1 = 4.25e-3 TC2 = 1.00e-6)
 MODEL RSOURCEMOD RES (TC1 = 1e-6 TC2 = 1e-6)
 MODEL RVTHRESMOD RES (TC1 = 7.07e-3 TC2 = 6.65e-4)
 MODEL RVTEMPMOD RES (TC1 = -3.25e-3 TC2 = 9.67e-7)

MODEL S1AMOD VSWITCH (RON = 1e-4 ROFF = 0.1 VON = -6.1 VOFF = 2.4)
 MODEL S1BMOD VSWITCH (RON = 1e-4 ROFF = 0.1 VON = -2.4 VOFF = 6.2)
 MODEL S2AMOD VSWITCH (RON = 1e-4 ROFF = 0.1 VON = -1.8 VOFF = 0.5)
 MODEL S2BMOD VSWITCH (RON = 1e-4 ROFF = 0.1 VON = 0.5 VOFF = -1.8)

ENDS

NOTE: For further discussion of the PSPICE model, consult **A New PSPICE Sub-Circuit for the Power MOSFET Featuring Global Temperature Options** IEEE Power Electronics Specialist Conference Records, 1991 written by William J. Hepp and C. Frank Wheatley.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

SABER Electrical Model

REV 15 Jan 2000

template IRFP150N n2,n11,n3

electrical n2,n11,n3

{

var i iscl

d..model dbodymod = (is = 1.30e-12, cjk = 1.90e-9, ti = 6.5e-8, xli = 5, m = 0.55)

d..model dbreakmod = {}

d..model dplcapmod = (cjo = 2.20e-9, is = 1e-30, vj = 1.0, m = 0.83)

m..model mmedmod = (type = n, vto = 3.21, kp = 5, is = 1e-30, tox = 1)

m..model mstrongmod = (type = n, vto = 3.58, kp = 37.5, is = 1e-30, tox = 1)

m..model mweakmod = (type = n, vto = 2.81, kp = 0.07, is = 1e-30, tox = 1)

sw_vcsp..model s1amod = (ron = 1e-5, roff = 0.1, von = -6.2, voff = -2.4)

sw_vcsp..model s1bmod = (ron = 1e-5, roff = 0.1, von = -2.4, voff = -6.2)

sw_vcsp..model s2amod = (ron = 1e-5, roff = 0.1, von = -1.8, voff = 0.5)

sw_vcsp..model s2bmod = (ron = 1e-5, roff = 0.1, von = 0.5, voff = -1.8)

c.ca n12 n8 = 2.70e-9

c.cb n15 n14 = 2.70e-9

c.cin n6 n8 = 1.56e-9

d.dbody n7 n71 = model=dbodymod

d.dbreak n72 n11 = model=dbreakmod

d.dplcap n10 n5 = model=dplcapmod

i.it n8 n17 = 1

l.ldrain n2 n5 = 1e-9

l.lgate n1 n9 = 6.5e-9

l.lsource n3 n7 = 2.3e-9

m.mmed n16 n6 n8 n8 = model=mmedmod, l=1u, w=1u

m.mstrong n16 n6 n8 n8 = model=mstrongmod, l=1u, w=1u

m.mweak n16 n21 n8 n8 = model=mweakmod, l=1u, w=1u

res.rbreak n17 n18 = 1, tc1 = 1.08e-3, tc2 = -8.6e-7

res.rbody n71 n5 = 2.86e-3, tc1 = 2.25e-3, tc2 = 1e-6

res.rubreak n72 n5 = 3.05e-1, tc1 = 8e-4, tc2 = 3e-6

res.rdrain n50 n16 = 1.66e-2, tc1 = 7.70e-3, tc2 = 2.20e-5

res.rgate n9 n20 = 0.86

res.rldrain n2 n5 = 10

res.rlgate n1 n9 = 26

res.rlsource n3 n7 = 11

res.rslc1 n5 n51 = 1e-6, tc1 = 4.25e-3, tc2 = 1.00e-6

res.rslc2 n5 n50 = 1e3

res.rsource n8 n7 = 1.65e-3, tc1 = 1e-3, tc2 = 1e-6

res.rvtemp n18 n19 = 1, tc1 = -3.20e-3, tc2 = 9.67e-7

res.rvthres n22 n8 = 1, tc1 = -2.07e-3, tc2 = -6.65e-6

spe.ebreak n11 n7 n17 n18 = 113.5

spe.eds n14 n8 n5 n8 = 1

spe.egs n13 n8 n6 n8 = 1

spe.esg n6 n10 n6 n8 = 1

spe.evtemp n20 n6 n18 n22 = 1

spe.evthres n8 n21 n19 n8 = 1

sw_vcsp.s1a n6 n12 n13 n8 = model=s1amod

sw_vcsp.s1b n13 n12 n13 n8 = model=s1bmod

sw_vcsp.s2a n6 n15 n14 n13 = model=s2amod

sw_vcsp.s2b n13 n15 n14 n13 = model=s2bmod

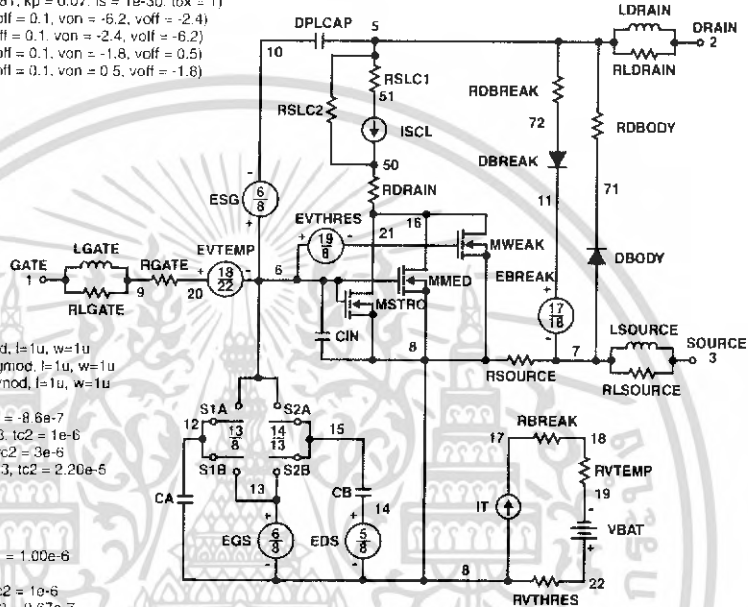
v.vbat n22 n19 = dc=1

equations {

i (n51->n50) += iscl

iscl: v(n51,n50) = ((v(n51,n50)/(1e-9+abs(v(n51,n50))))*(abs(v(n51,n50)/(1e6/98)))** 3.5))

}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP150N

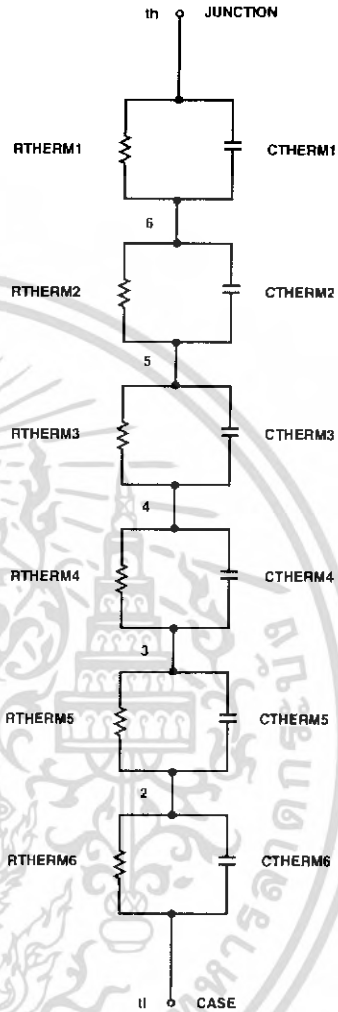
SPICE Thermal Model

REV 15 Jan 2000

IRFP150NT

CTHERM1 th 6 3.10e-3
 CTHERM2 6 5 1.60e-2
 CTHERM3 5 4 1.34e-2
 CTHERM4 4 3 1.22e-2
 CTHERM5 3 2 1.40e-2
 CTHERM6 2 ll 1.05e-1

RTHERM1 lh 6 1.20e-2
 RTHERM2 6 5 3.50e-2
 RTHERM3 5 4 5.20e-2
 RTHERM4 4 3 1.45e-1
 RTHERM5 3 2 2.62e-1
 RTHERM6 2 ll 2.64e-1



SABER Thermal Model

SABER thermal model IRFP150NT

```
template thermal_model lh ll
thermal_c th, ll
{
    ctherm.ctherm1 lh 6 = 3.10e-3
    ctherm.ctherm2 6 5 = 1.60e-2
    ctherm.ctherm3 5 4 = 1.34e-2
    ctherm.ctherm4 4 3 = 1.22e-2
    ctherm.ctherm5 3 2 = 1.40e-2
    ctherm.ctherm6 2 ll = 1.05e-1

    rtherm.rtherm1 th 6 = 1.20e-2
    rtherm.rtherm2 6 5 = 3.50e-2
    rtherm.rtherm3 5 4 = 5.20e-2
    rtherm.rtherm4 4 3 = 1.45e-1
    rtherm.rtherm5 3 2 = 2.62e-1
    rtherm.rtherm6 2 ll = 2.64e-1
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST [Ⓢ]	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FASTr™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOMET™	HiSeC™	PowerTrench [Ⓢ]	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E ² C MOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS**Definition of Terms**

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

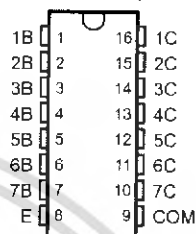
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

- 500-mA-Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay-Driver Applications

ULN2001A . . . D OR N PACKAGE
 ULN2002A . . . N PACKAGE
 ULN2003A . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE
 ULN2004A . . . D, N, OR NS PACKAGE
 ULQ2003A, ULQ2004A . . . D OR N PACKAGE

(TOP VIEW)



description/ordering information

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, and ULQ2004A are high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs can be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions of the ULN2003A and ULN2004A, see the SN75468 and SN75469, respectively.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-20°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	ULN2002AN	ULN2002AN
			ULN2003AN	ULN2003AN
			ULN2004AN	ULN2004AN
	SOIC (D)	Tube of 40	ULN2003AD	ULN2003A
			ULN2003ADR	
		Reel of 2500	ULN2004AD	ULN2004A
			ULN2004ADR	
	SOP (NS)	Reel of 2000	ULN2003ANSR	ULN2003A
			ULN2004ANSR	ULN2004A
	TSSOP (PW)	Tube of 90	ULN2003APW	UN2003A
Reel of 2500		ULN2003APWR		
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	ULQ2003AN	ULQ2003A
			ULQ2004AN	ULQ2004A
			ULQ2003AD	ULQ2003A
	SOIC (D)	Reel of 2500	ULQ2003ADR	ULQ2003A
			ULQ2004AD	ULQ2004A
		Tube of 40	ULQ2003AD	ULQ2003A
			ULQ2004ADR	ULQ2004A

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated. On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

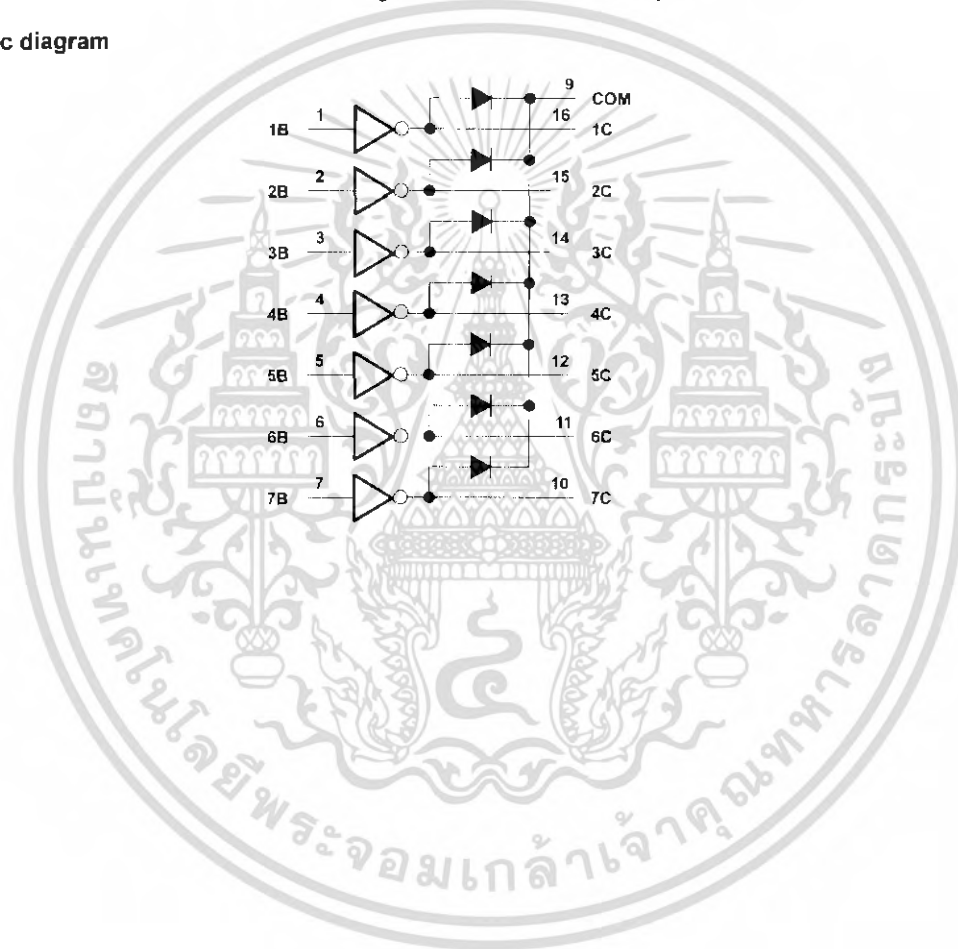
SLRSC27G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

description/ordering information (continued)

The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is designed specifically for use with 14-V to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a Zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A have a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A and ULQ2004A have a 10.5-k Ω series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 V to 15 V. The required input current of the ULN/ULQ2004A is below that of the ULN/ULQ2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

logic diagram



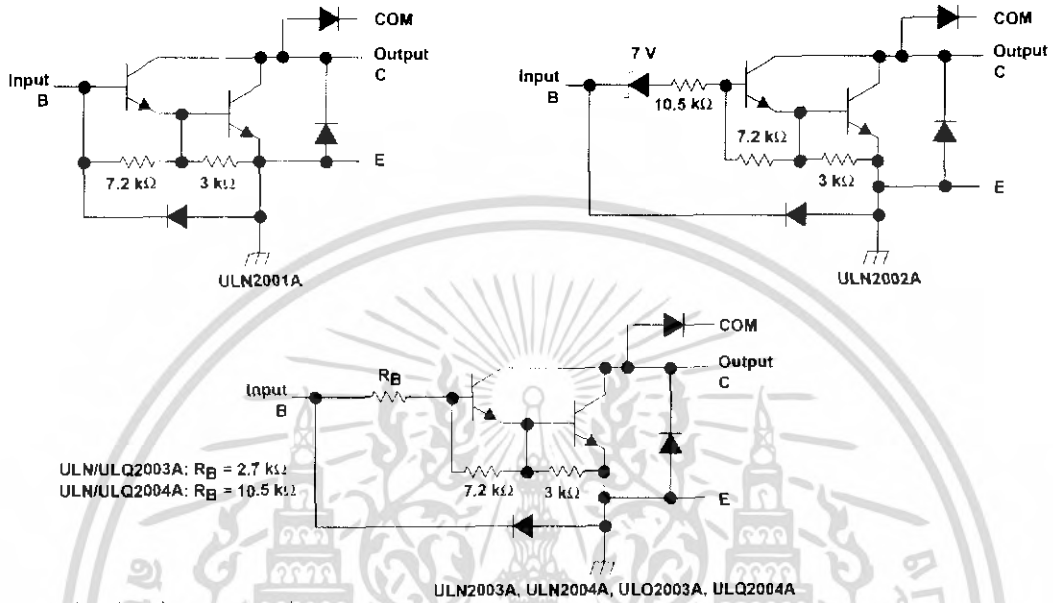
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY
 SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

schematics (each Darlington pair)



All resistor values shown are nominal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Collector-emitter voltage	50 V
Clamp diode reverse voltage (see Note 1)	50 V
Input voltage, V_I (see Note 1)	30 V
Peak collector current (see Figures 14 and 15)	500 mA
Output clamp current, I_{OK}	500 mA
Total emitter-terminal current	-2.5 A
Operating free-air temperature range, T_A , ULN200xA	-20°C to 70°C
ULQ200xA	-40°C to 85°C
ULQ200xAAT	-40°C to 105°C
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3): D package	73°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
PW package	108°C/W
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 4 and 5): D package	36°C/W
N package	54°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°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 under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.
 2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.
 4. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 5. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2001A			ULN2002A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$						13	V
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\ \mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$	0.9	1.1	0.9	1.1			V
		$I_I = 350\ \mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$		1	1.3	1	1.3		
		$I_I = 500\ \mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$		1.2	1.6	1.2	1.6		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2	1.7	2		V
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$			50		50		μA
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $V_I = 6\text{ V}$			100		100	500	μA
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_C = 500\ \mu\text{A}$	50	65	50	65			μA
I_I Input current	4	$V_I = 17\text{ V}$				0.82	1.25		mA
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$			100		100		μA
		$V_R = 50\text{ V}$			50		50		μA
h_{FE} Static forward-current transfer ratio	5	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1000						
C_i Input capacitance		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$		15	25		15	25	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2003A			ULN2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$					5	V
			$I_C = 200\text{ mA}$		2.4			6	
			$I_C = 250\text{ mA}$			2.7			
			$I_C = 275\text{ mA}$					7	
			$I_C = 300\text{ mA}$			3			
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\ \mu\text{A}, I_C = 100\text{ mA}$ $I_I = 350\ \mu\text{A}, I_C = 200\text{ mA}$ $I_I = 500\ \mu\text{A}, I_C = 350\text{ mA}$		0.9	1.1	0.9	1.1	V	
				1	1.3	1	1.3		
				1.2	1.6	1.2	1.6		
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_I = 0$			50		50	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_I = 1\text{ V}$			100		100		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2		1.7	2	V
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, I_C = 500\ \mu\text{A}$	50	65		50	65	μA	
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$ $V_I = 5\text{ V}$ $V_I = 12\text{ V}$		0.93	1.35			mA	
						0.35	0.5		
						1	1.45		
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$ $V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$			50		50	μA	
					100		100		
C_i Input capacitance		$V_I = 0, f = 1\text{ MHz}$		15	25		15	25	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

electrical characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULQ2003A			ULQ2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$					5	V
			$I_C = 200\text{ mA}$					6	
			$I_C = 250\text{ mA}$					7	
			$I_C = 275\text{ mA}$					7	
			$I_C = 300\text{ mA}$					8	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$		0.9	1.2	0.9	1.1	V	
			$I_I = 350\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$		1	1.4	1		1.3
			$I_I = 500\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$		1.2	1.7	1.2		1.6
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$					100	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $V_I = 1\text{ V}$					500		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2.3		1.7	2	V
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$		65		50	65		μA
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$		0.93	1.35				mA
		$V_I = 5\text{ V}$					0.35	0.5	
		$V_I = 12\text{ V}$					1	1.45	
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$			100			50	μA
		$V_R = 50\text{ V}$			100			100	
C_i Input capacitance		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$		15	25		15	25	pF

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		0.25	1	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		0.25	1	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}$, $I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10		$V_S - 20$		mV

switching characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULQ2003A, ULQ2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		1	10	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		1	10	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}$, $I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10		$V_S - 500$		mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

**HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**
SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2003A			ULN2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$					5	V
			$I_C = 200\text{ mA}$			2.4		6	
			$I_C = 250\text{ mA}$			2.7			
			$I_C = 275\text{ mA}$					7	
			$I_C = 300\text{ mA}$			3			
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$		0.9	1.1	0.9	1.1	V	
			$I_I = 350\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$	1	1.3	1	1.3		
			$I_I = 500\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1.2	1.6	1.2	1.6		
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$			50		50	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $V_I = 1\text{ V}$			100		100		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2	1.7	2	V	
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$	50	65		50	65	μA	
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$		0.93	1.35			mA	
		$V_I = 5\text{ V}$				0.35	0.5		
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 12\text{ V}$				1	1.45	μA	
		$V_R = 50\text{ V}$			50		50		
C_I Input capacitance		$V_I = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$			100		100	pF	
		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$		15	25	15	25		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

electrical characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULQ2003A			ULQ2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$					5	V
			$I_C = 200\text{ mA}$			2.7		6	
			$I_C = 250\text{ mA}$			2.9			
			$I_C = 275\text{ mA}$					7	
			$I_C = 300\text{ mA}$			3			
			$I_C = 350\text{ mA}$					8	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\text{ }\mu\text{A}, I_C = 100\text{ mA}$		0.9	1.2	0.9	1.1	V	
			$I_I = 350\text{ }\mu\text{A}, I_C = 200\text{ mA}$		1	1.4	1		1.3
			$I_I = 500\text{ }\mu\text{A}, I_C = 350\text{ mA}$		1.2	1.7	1.2		1.6
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_I = 0$			100		50	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_I = 0$					100		
							500		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2.3	1.7	2	V	
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$		65		50	65	μA	
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$		0.93	1.35			mA	
		$V_I = 5\text{ V}$				0.35	0.5		
		$V_I = 12\text{ V}$				1	1.45		
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$			100		50	μA	
		$V_R = 50\text{ V}$			100		100		
C_i Input capacitance		$V_I = 0, f = 1\text{ MHz}$		15	25	15	25	pF	

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		0.25	1	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		0.25	1	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}, I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10	$V_S - 20$			mV

switching characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULQ2003A, ULQ2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		1	10	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		1	10	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}, I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10	$V_S - 500$			mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
**HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
 DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**

The ULN2001A is obsolete
 and is no longer supplied.

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

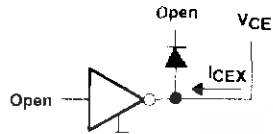


Figure 1. I_{CEX} Test Circuit

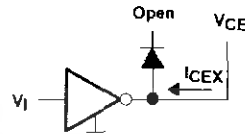


Figure 2. I_{CEX} Test Circuit

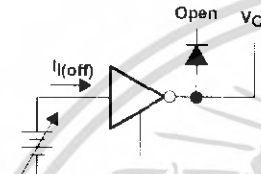


Figure 3. $I_{I(off)}$ Test Circuit

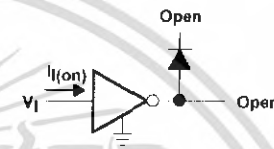
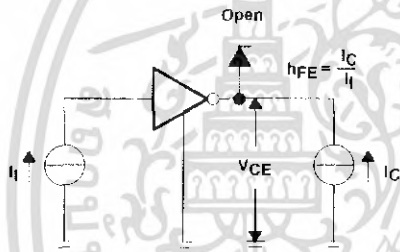


Figure 4. I_I Test Circuit



NOTE: I_I is fixed for measuring $V_{CE(sat)}$; variable for measuring h_{FE} .

Figure 5. h_{FE} , $V_{CE(sat)}$ Test Circuit

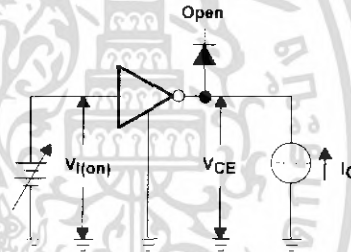


Figure 6. $V_{I(on)}$ Test Circuit

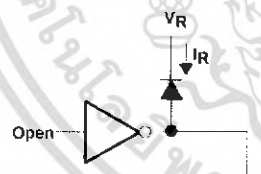


Figure 7. I_R Test Circuit

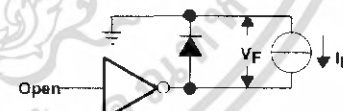


Figure 8. V_F Test Circuit

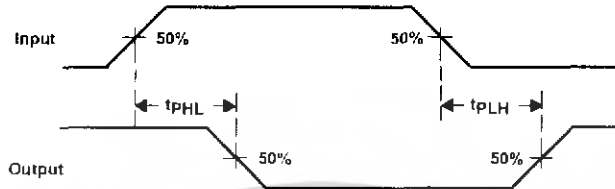
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

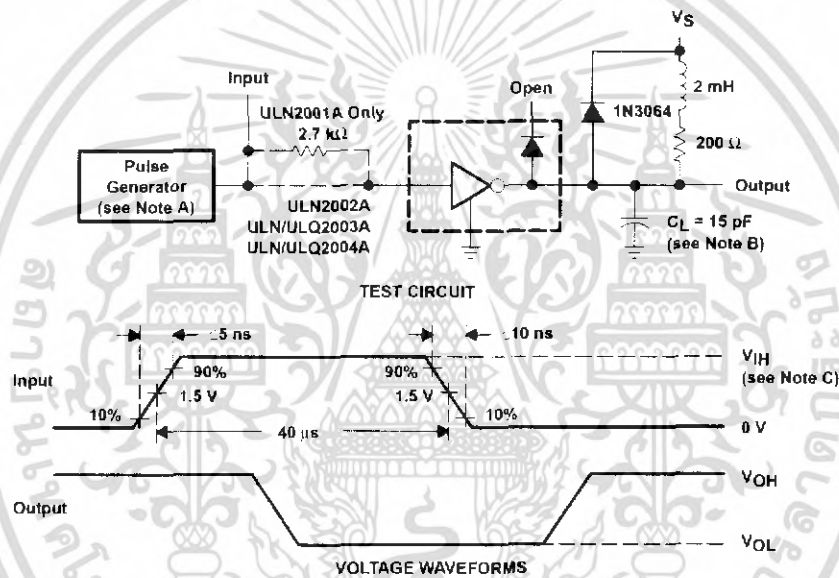
SLR5027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



VOLTAGE WAVEFORMS

Figure 9. Propagation Delay-Time Waveforms



- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: PRR = 12.5 kHz, $Z_0 = 50 \Omega$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. For testing the ULN2001A, the ULN2003A, and the ULQ2003A, $V_{IH} = 3 \text{ V}$; for the ULN2002A, $V_{IH} = 13 \text{ V}$; for the ULN2004A and the ULQ2004A, $V_{IH} = 8 \text{ V}$.

Figure 10. Latch-Up Test Circuit and Voltage Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
**HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
 DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**
 SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

The ULN2001A is obsolete
 and is no longer supplied.

TYPICAL CHARACTERISTICS

COLLECTOR-EMITTER
 SATURATION VOLTAGE
 vs
 COLLECTOR CURRENT
 (ONE DARLINGTON)

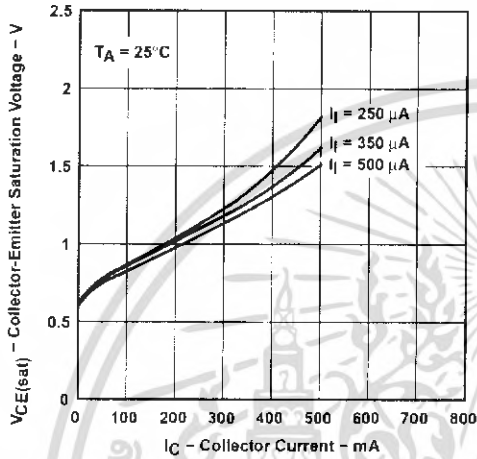


Figure 11

COLLECTOR-EMITTER
 SATURATION VOLTAGE
 vs
 TOTAL COLLECTOR CURRENT
 (TWO DARLINGTONS IN PARALLEL)

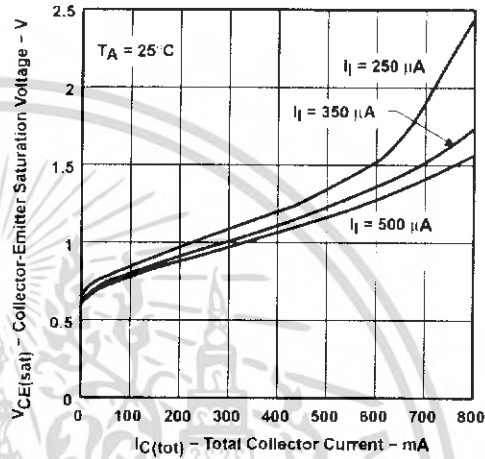


Figure 12

COLLECTOR CURRENT
 vs
 INPUT CURRENT

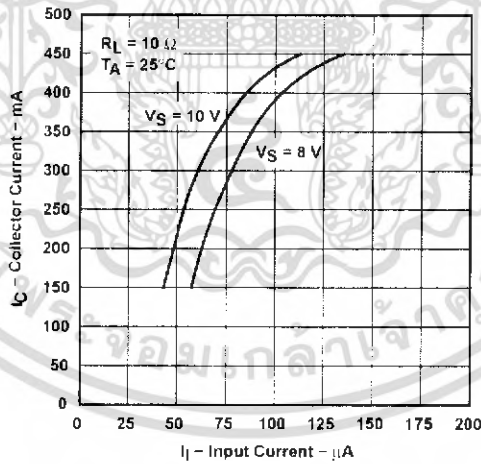


Figure 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY
SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

TYPICAL CHARACTERISTICS

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE vs COLLECTOR CURRENT (ONE DARLINGTON)

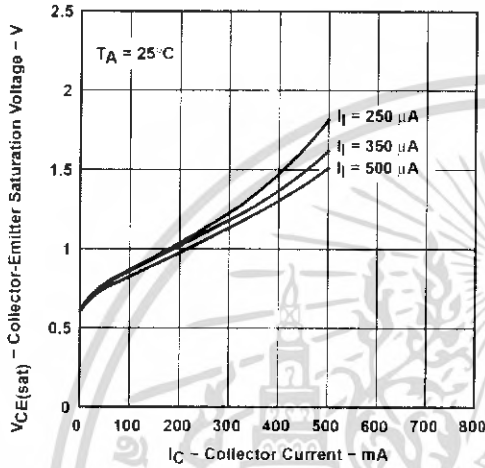


Figure 11

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE vs TOTAL COLLECTOR CURRENT (TWO DARLINGTONS IN PARALLEL)

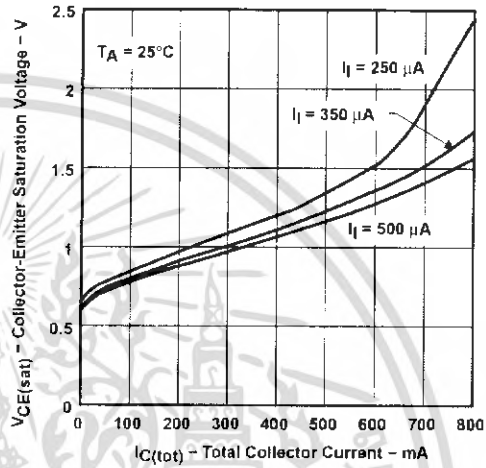


Figure 12

COLLECTOR CURRENT vs INPUT CURRENT

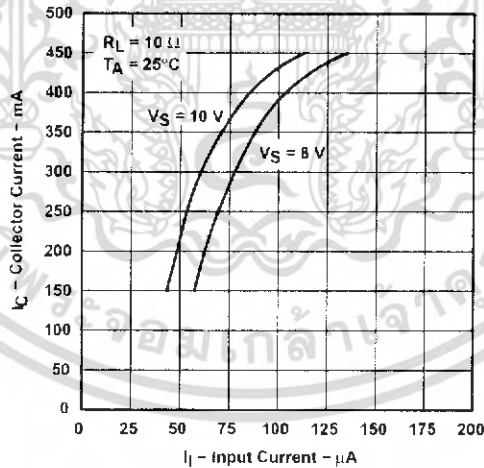


Figure 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

The ULN2001A is obsolete
 and is no longer supplied.

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

THERMAL INFORMATION

D PACKAGE
MAXIMUM COLLECTOR CURRENT
 vs
DUTY CYCLE

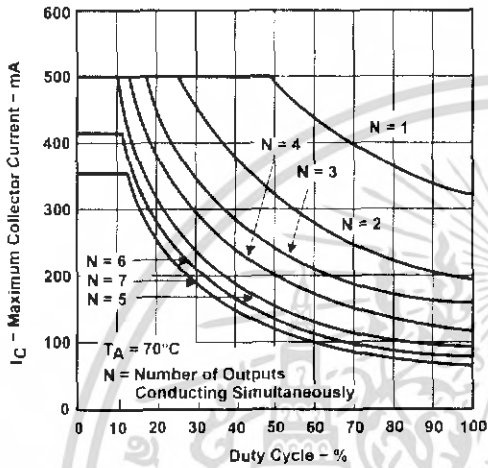


Figure 14

N PACKAGE
MAXIMUM COLLECTOR CURRENT
 vs
DUTY CYCLE

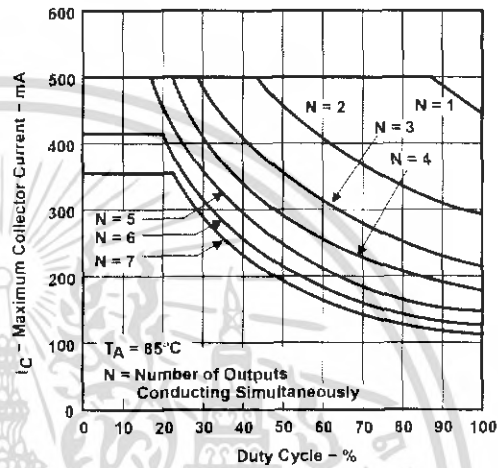


Figure 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS027G - DECEMBER 1976 - REVISED JUNE 2004

APPLICATION INFORMATION

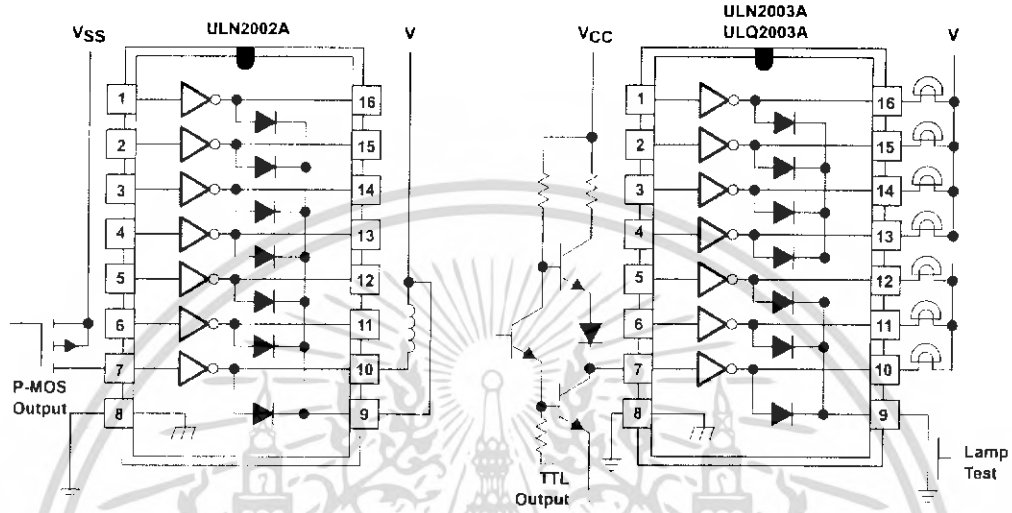


Figure 16. P-MOS to Load

Figure 17. TTL to Load

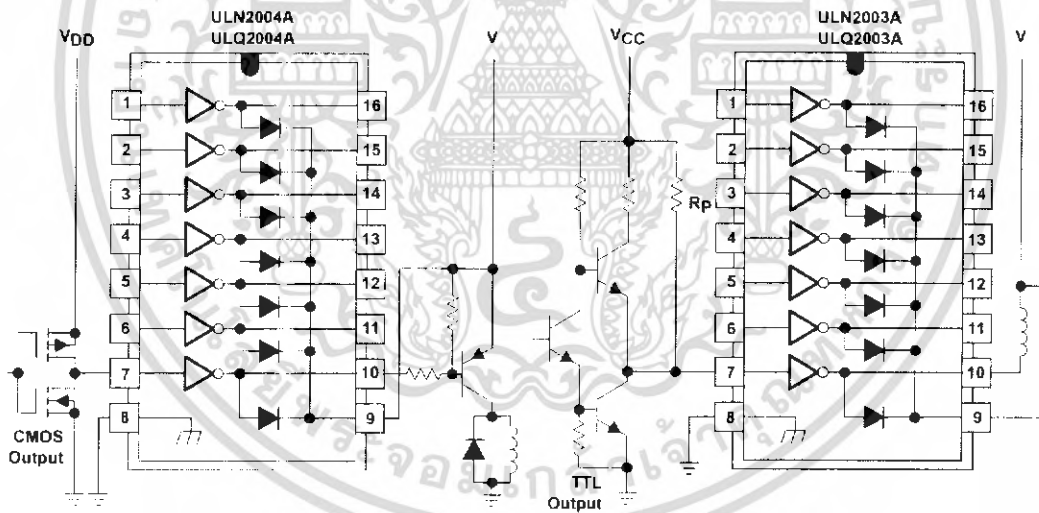


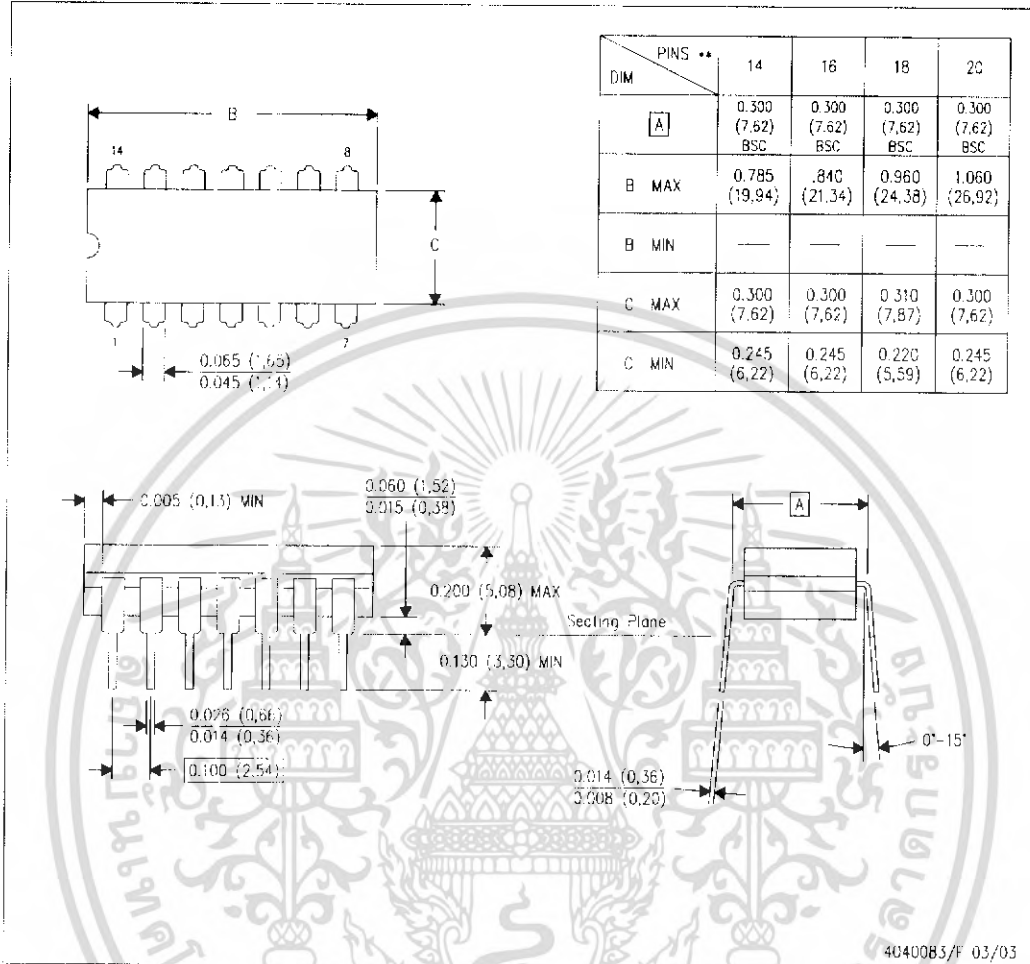
Figure 18. Buffer for Higher Current Loads

Figure 19. Use of Pullup Resistors to Increase Drive Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J (R-GDIP-T**)
14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE



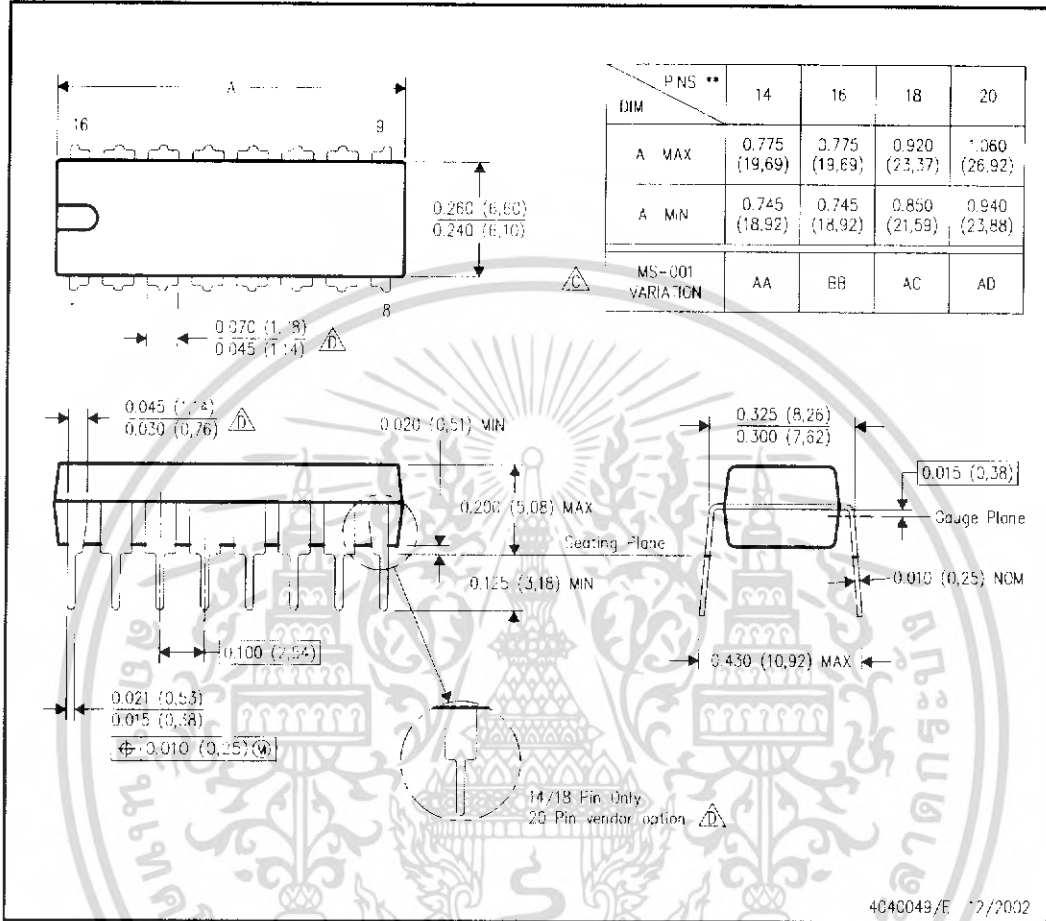
- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
 - Falls within MIL STD 1835 GDIP1-14, GDIP1-16, GDIP1-18 and GDIP1-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N (R-PDIP-T**)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN

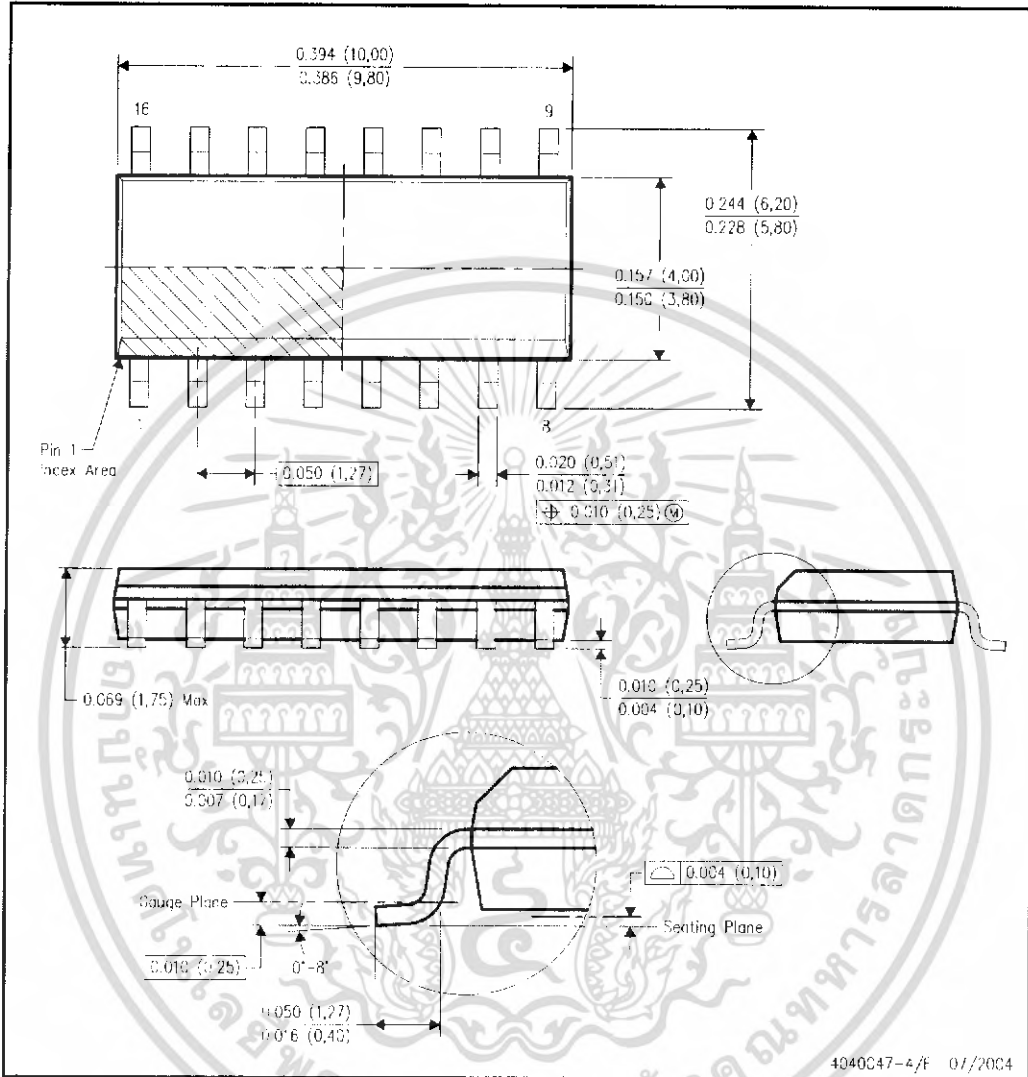


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
 - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040047-4/F 01/2004

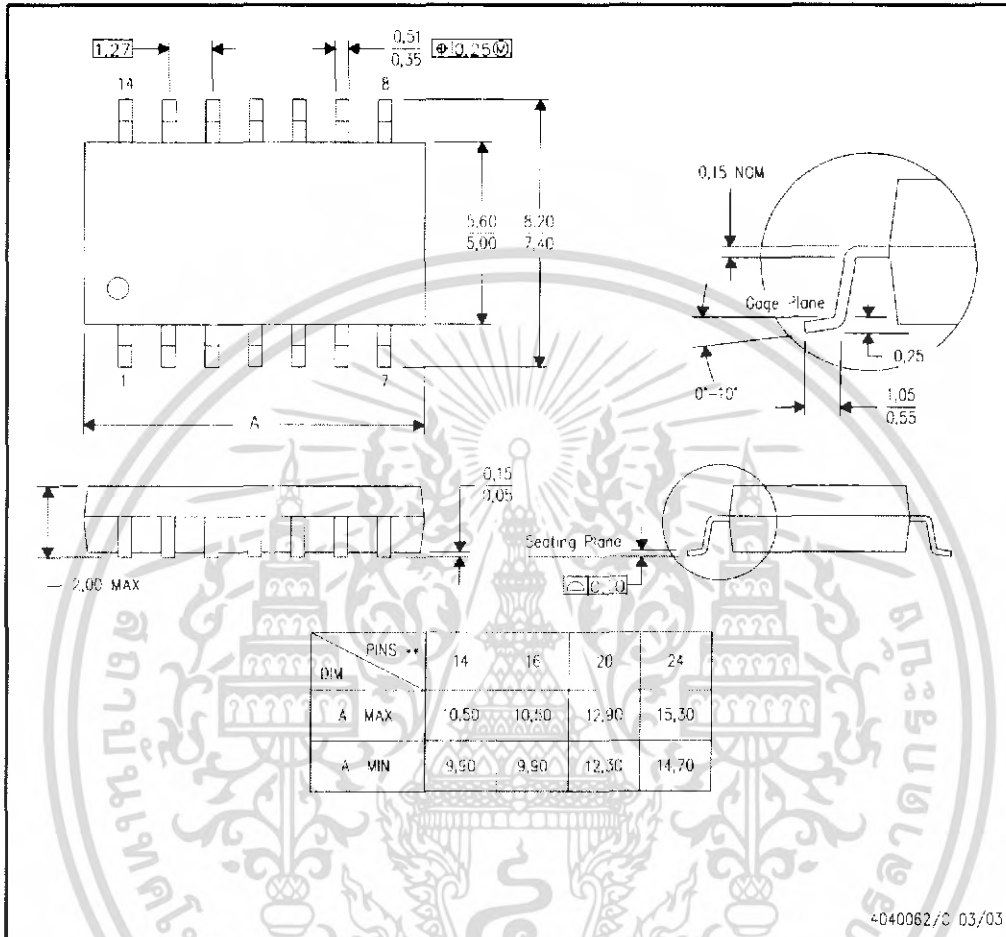
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0.15).
 - D. Falls within JEDEC M-12 variation AC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G**)
14-PINS SHOWN

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

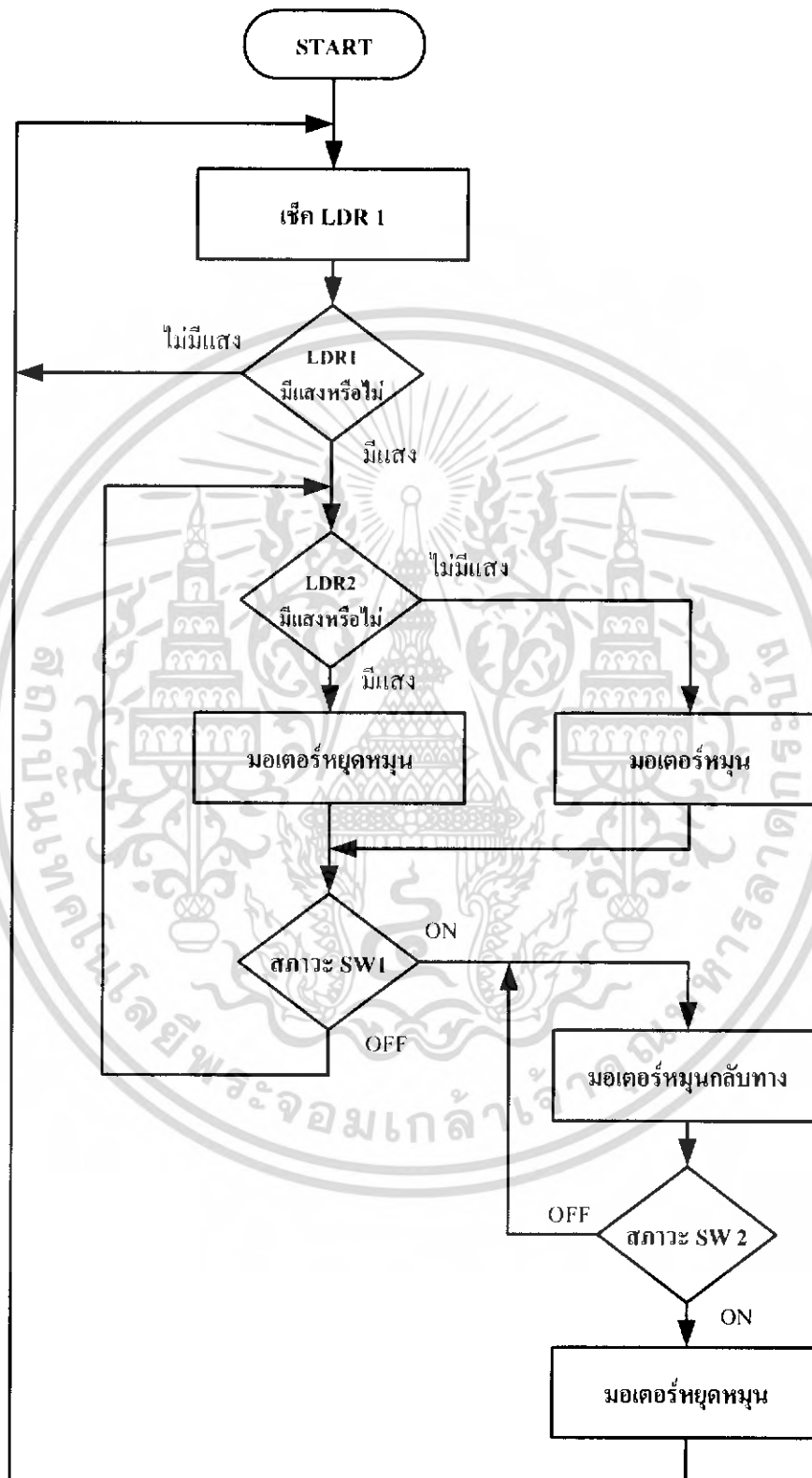


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0.15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง

```

org 0000h
main:    mov p0,#0ffh
start:   jb p0.1,sensor
         ljmp start
sensor:  clr p0.4
         jnb p0.3,motorback
loop:    jb p0.1,mosto
         ljmp sensor
mosto:   jb p0.0,motorstop
         ljmp start
motorstop: setb p0.4
         ljmp loop
motorback: setb p0.4
         clr p0.5
         jnb p0.3,stop
         ljmp motorback
stop:    setb p0.4
         setb p0.5
         jb p0.1,sensor
         ljmp stop
end

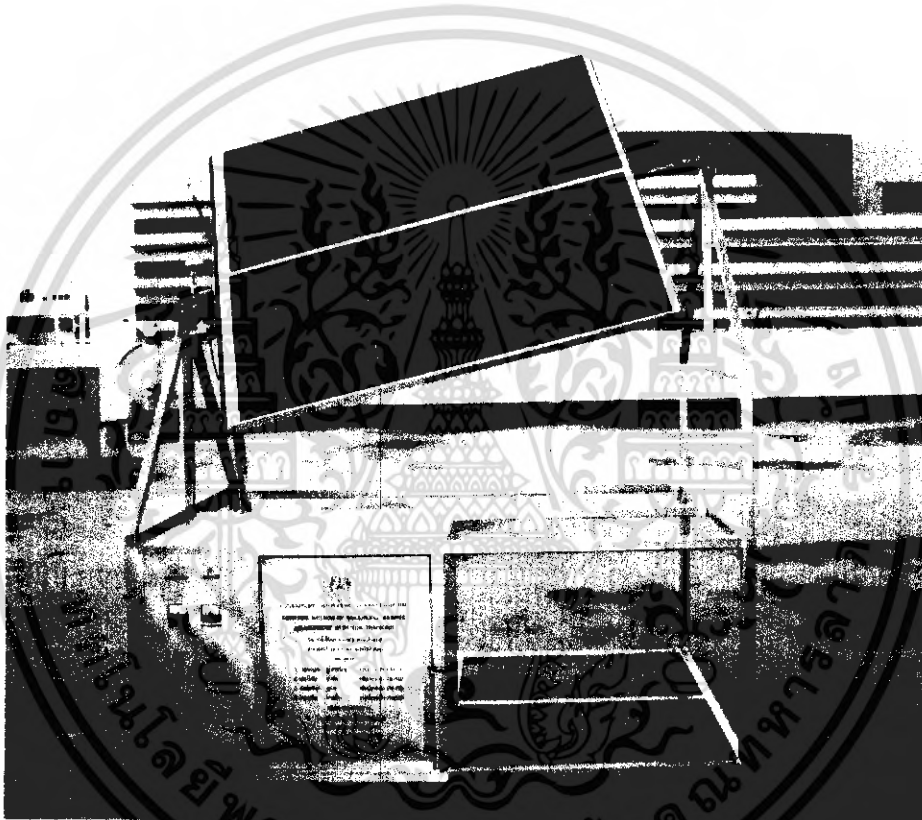
```





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
ระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

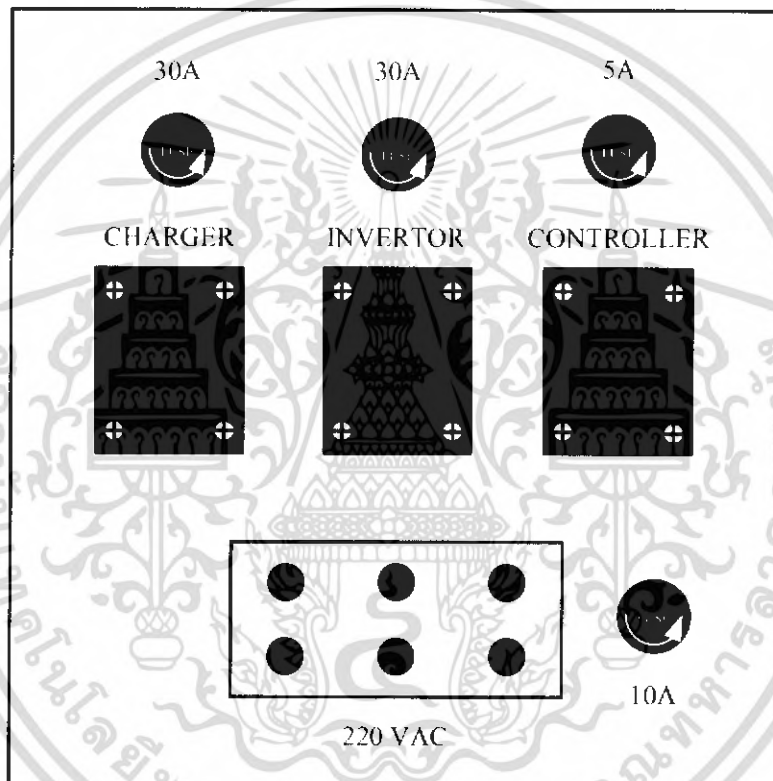
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อจะได้ใช้งานถูกต้องตามวัตถุประสงค์และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

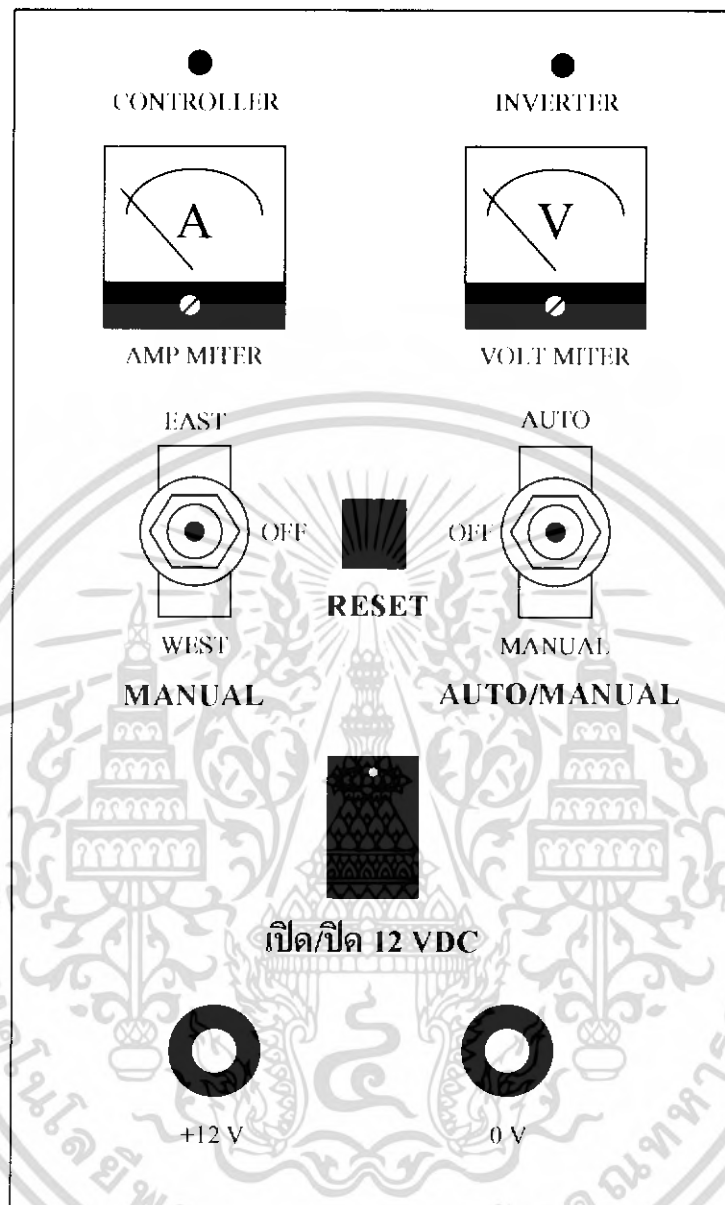
2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ ๕.1 ปุ่มควบคุมด้านในของระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

CHARGER	สวิตช์ปิด / เปิดการชาร์จแบตเตอรี่
INVERTOR	สวิตช์ปิด / เปิดไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
CONTROLLER	สวิตช์ปิด / เปิดระบบขับเคลื่อนเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๒ ปุ่มควบคุมด้านหน้าของระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์

AMP MITER แอมป์มิเตอร์แสดงค่ากระแสที่ประจุของเซลล์แสงอาทิตย์

VOLT MITER โวลต์มิเตอร์แสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่

MANUAL สวิตช์ควบคุมการปรับองศาด้วยมือ

AUTO/MANUAL สวิตช์เลือกฟังก์ชันการทำงานอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ

เปิด/ปิด 12 VDC สวิตช์เปิด / ปิดไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

+12 V ไฟฟ้ากระแสตรง +12 โวลต์

0 V ไฟฟ้ากระแสตรง 0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. การใช้งานระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์โดยอัตโนมัติ
 - 1.1 เปิดสวิตช์ CONTROL ให้อยู่ในตำแหน่ง ON
 - 1.2 ปรับสวิตช์ AUTO/MANUAL ให้อยู่ในตำแหน่ง AUTO
2. การใช้งานระบบควบคุมการปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์
 - 2.1 เปิดสวิตช์ CONTROL ให้อยู่ในตำแหน่ง ON
 - 2.2 ปรับสวิตช์ AUTO/MANUAL ให้อยู่ในตำแหน่ง MANUAL
 - 2.3 ปรับสวิตช์ MANUAL เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาตามความต้องการ เมื่อปรับองศาได้ตามต้องการแล้วให้ปรับสวิตช์มายังตำแหน่ง OFF
3. หากต้องการนำแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ไปใช้งานภายนอกสามารถนำไปใช้ได้ โดยต่อเข้ากับขั้วบวก (+12V) และขั้วลบ (0 V) แล้วเปิดสวิตช์ 12 VDC
4. หากต้องการนำแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ไปใช้งานให้ปรับสวิตช์ INVERTER ไปยังตำแหน่ง ON แล้วนำเครื่องใช้ไฟฟ้ามาต่อเข้ากับเต้ารับ

หมายเหตุ

1. ก่อนใช้งานต้องต่อสายแบตเตอรี่ก่อนทุกครั้ง
2. ก่อนใช้งานแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าต่อสายถูกขั้วแล้ว

ข้อควรระวัง

1. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาใช้กับแรงดัน 220 โวลต์ ไม่ควรมีกำลังไฟฟ้าเกินกว่า 150 วัตต์
2. แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ สามารถเป็นอันตรายกับผู้ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายภาณุมาศ สุนทามรัตน์	
วัน เดือน ปีเกิด	10 มีนาคม พุทธศักราช 2526	
ภูมิลำเนา	91/3 หมู่ที่14 ตำบลโมคลาน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านวังหิน	จังหวัดนครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพรหมคีรีพิทยาคม	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยการอาชีพพรหมคีรี	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ปริญญาตรี	สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	
ความสนใจพิเศษ	ดนตรี	
คติพจน์	ความมุ่งมั่น สู่ประสพการณ์แห่งความสำเร็จ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายวินชัย พุ่มพัว
วัน เดือน ปีเกิด	10 กันยายน พุทธศักราช 2526
ภูมิลำเนา	107/2 หมู่ที่4 ตำบลสนามชัย อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา 90190
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดเจ็ดยังาม จังหวัดสงขลา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิงหนครวิทยา จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	อ่านหนังสือ
คติพจน์	จะดี จะชั่ว อยู่ที่ตัวเราเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายสมพงศ์ ชูช่วย
วัน เดือน ปีเกิด	11 กรกฎาคม พุทธศักราช 2526
ภูมิลำเนา	75 หมู่ที่ 5 ตำบลป่าระกำ อำเภอปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดป่าระกำ จังหวัดนครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนโศภนคณภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือ นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือ นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	กีฬา
คติพจน์	ความพยายามคู่กับความสำเร็จ อย่ายี่ดติดกับอดิตจงมุ่งไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายวสันต์ ครกเลี้ยง	
วัน เดือน ปีเกิด	20 มีนาคม พุทธศักราช 2525	
ภูมิลำเนา	119 หมู่ที่12 ตำบลคลองน้อย อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80330	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านบางลึก	จังหวัดนครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปากพนัง	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือ นครศรีธรรมราช	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ปริญญาตรี	สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมวิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	
ความสนใจพิเศษ	กีฬา	
คติพจน์	คนเราอาจมีเป้าหมายเดียวกัน แต่การจะเดินไปสู่เป้าหมาย อาจมีวิธีแตกต่างกัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้