

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ
ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์

STUDY ON EFFICIENT APPLICATION OF
SOLAR CELLS BY SOLAR TRACKING SYSTEM



โดย
นางสาว ศิริพร เพิ่มพูล รหัส 47015185
นางสาว นภัทัย ศรีสุข รหัส 47015210
นาย พุฒิพร ชัญไพศาล รหัส 46010545

รฟ.
64637
2549

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. สมเกียรติ ศุกเดช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72022
วัน,เดือน,ปี..... 7. ส.ย. 2550

b. 117619A5
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ศิริพร เพิ่มพูล รหัส 47015185
2. นางสาว นันทิพย์ ศรีสุข รหัส 47015210
3. นาย พุฒิพร รัชฎไพศาล รหัส 46010545



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. สมเกียรติ สุภเดช)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์

นางสาว ศิริพร เพิ่มพูล รหัส 47015185
 นางสาว นันทิพย์ ศรีสุข รหัส 47015210
 นาย พุฒิพร ชัญไพศาล รหัส 46010545
 รศ.ดร. สมเกียรติ สุกเดช อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันนิยมติดตั้งแผงเซลล์ให้อยู่กับที่ สำหรับประเทศไทย นิยมติดตั้งโดยทำมุมประมาณ 15° กับทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด แต่การติดตั้งแผงเซลล์แบบอยู่กับที่ จะทำให้ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่เฉพาะช่วงเวลาประมาณ 10.00 น.-14.00 น. เท่านั้น ซึ่งถ้าสามารถทำให้แผงเซลล์ปรับเปลี่ยนตำแหน่งโดยหันตามดวงอาทิตย์ ก็จะทำให้แผงเซลล์รับพลังงานจากดวงอาทิตย์อย่างได้เต็มที่ตลอดทั้งวัน ดังนั้น ปริชญานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking System) เพื่อให้แผงเซลล์หันตามและตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยใช้แบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แนวแกน คือ แนวอัลติจูดและแนวอะซิมูธ ซึ่งใช้วงจรตรวจจับความเข้มแสงมีแอลติอาร์ (Light Dependence Resistor) เป็นตัวตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากแผงเซลล์ที่อยู่กับที่และทำมุม 15° กับทิศเหนือ-ใต้ กับระบบแผงเซลล์ที่หันตามดวงอาทิตย์ พบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์จะได้รับพลังงานเฉลี่ยรวมทั้งวันสูงกว่าแผงเซลล์แบบอยู่กับที่ประมาณ 30%-50%

STUDY ON EFFICIENT APPLICATION OF SOLAR CELLS BY SOLAR TRACKING SYSTEM

Miss. Siripom Permpool ID. 47015185

Miss. Namthip Srisuk ID. 47015210

Mr. Puttipom Chatpaisarn ID. 46010545

Assoc. Prof. Dr. Somkiat Supphadat

Educational Year 2006

Abstract

At present, the solar cells installations usually fixed at the angle of 15° to North-South for mostly installation in Thailand. This way of installation helps save cost and convenient, but the cells will get fully energy from 10 a.m. to 2 p.m. If the cells can be moved according to the movement of the sun, it will get most energy continually all day. Thus, this thesis studied the solar tracking system that makes the solar cells tracking and faces 90° to the sun all the time. The solar tracking system model with two dimension, altitude and azimuth is used. The solar density detector circuit is set in the model. LDR (Light Dependence Resistor) will detect the solar density. The energy got from the 15° stabilized cells and the solar tracking system model are compared. The solar tracking system receives more energy per day than the stabilized cells about 30%-50%

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
บทที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	3
2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก.....	4
2.1.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์.....	6
2.1.4 รังสีของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก.....	8
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.2.1 ประวัติความเป็นมา.....	10
2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.2.4 พิลล์แพคเตอร์และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน.....	23
2.2.5 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	25
บทที่ 3 ระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	29
3.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	29
3.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....	31
3.2.1 มุมเคลติเนชัน.....	31
3.2.2 มุมของชั่วโมง.....	33
3.2.3 มุมอัลติจูดและมุมอะซิมูท.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 เส้นศูนย์สูตร ละติจูดและลองจิจูด	35
3.2.5 ฤดูกาลของโลก.....	36
3.2.6 ฤดูกาลของประเทศไทย.....	38
3.2.7 เวลามาตรฐาน	40
บทที่ 4 หลักการและการออกแบบ.....	46
4.1 หลักการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	47
4.1.1 ลักษณะฐานที่ใช้วางแผงเซลล์.....	47
4.1.2 ชุดตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์.....	47
4.1.3 วงจรที่ใช้ในระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	49
4.1.3.1 วงจรไอซี 555.....	50
4.1.3.2 วงจรอปแอมป์.....	57
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	60
5.1 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ และแบบที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	60
5.1.1 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ และทำมุมกับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้.....	60
5.1.1.1 วิธีการทดลอง.....	60
5.1.1.2 ผลการทดลอง.....	61
5.1.2 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ที่มุม 15 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	66
5.1.2.1 วิธีการทดลอง.....	66
5.1.2.2 ผลการทดลอง.....	67
5.2 การศึกษาการทำงานของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้ โดยอัตโนมัติ.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.1 การศึกษาการใช้กำลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์	
ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ.....	74
5.2.1.1 วิธีการทดลอง.....	74
5.2.1.2 ผลการทดลอง.....	75
5.2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการติดตามแสงอาทิตย์	
โดยที่แผงเซลล์ยังคงได้รับพลังงานใกล้เคียงกับแผงเซลล์	
ขณะที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์.....	76
5.2.2.1 วิธีการทดลอง.....	76
5.2.2.2 ผลการทดลอง.....	77
5.2.3 การศึกษาสิ่งที่มีผลกระทบต่อการได้รับแสงของแอลดีอาร์.....	77
5.2.3.1 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์	
ที่เกิดจากความสูงของฉากกั้น.....	78
5.2.3.2 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์	
ที่เกิดจากระยะห่างของฉากกั้นกับแอลดีอาร์.....	78
5.2.3.3 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์	
ที่เกิดจากสีของวัสดุที่ไร้อากาศ.....	78
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	79
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	79
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	81

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งานของอุปกรณ์ในวงจรติดตามดวงอาทิตย์

ภาคผนวก ข. การใช้งานของแอลดีอาร์

ภาคผนวก ค. คุณสมบัติเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่ใช้วัด

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์เมื่อมองจากพื้น โลก ณ จุดใดๆ.....	3
2.2 พลังงานแสงอาทิตย์สู่โลก.....	4
2.3 ลักษณะการแผ่รังสีแบบต่างๆ.....	6
2.4 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก.....	6
2.5 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	7
2.6 แสดงปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์.....	8
ที่มีผลต่อวัตถุนบน โลก	
2.7 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อ โลก.....	9
2.8 การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.9 ระบบการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	12
2.10 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว.....	13
2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป.....	14
2.12 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟิซิลิคอน.....	16
2.13 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น.....	17
2.14 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันของรอยต่อพี-เอ็น.....	18
2.15 ลักษณะแถบพลังงานของรอยต่อพี – เอ็นขณะได้รับแสง.....	20
2.16 คุณสมบัติของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
ในขณะได้รับแสงและยังไม่ได้รับแสง	
2.17 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
2.18 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
3.1 ตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่.....	30
3.2 ตัวอย่างแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยว.....	30
3.3 ตัวอย่างแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน.....	30
3.4 การพิจารณามุมต่างๆเพื่อหามุมเคลื่อนชั้น.....	32
3.5 ตำแหน่งมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับ โลกในรอบ 1 ปี.....	32
3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเคลื่อนชั้นภายในช่วง 1 ปี.....	33
3.7 แสดงมุมของชั่วโมง.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 แสดงมุมอัตรัดิจิต.....	34
3.9 แสดงมุมอะซิมุท	34
3.10 ขั้วโลกเหนือ-ใต้และเส้นศูนย์สูตร.....	35
3.11 เส้นละติจูดและเส้นลองจิจูด.....	35
3.12 แนววงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	37
3.13 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆ	39
3.14 แสดงโซนเวลามาตรฐานและเวลามาตรฐานของประเทศต่างๆ.....	41
3.15 ตัวอย่างเว็บ ไซด์ที่ใช้ในการคำนวณค่าในตาราง.....	41
4.1 ลักษณะการวาง ตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง ที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแสง.....	48
4.2 หลักการทำงานของตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแสง.....	49
4.3 ลักษณะหน้าที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	50
4.4 ลักษณะสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 ในโหมดโม โนสเตเบิลจะได้สัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น.....	51
4.5 วงจร ไอซี 555 ในโหมด โม โนสเตเบิลจะได้สัญญาณTrigger จากการกดสวิทช์.....	52
4.6 ลักษณะTiming Diagram ของ ไอซี 555 เมื่อมีสัญญาณ Trigger มากระทำ.....	53
4.7 วงจร โม โนสเตเบิลจะแสดงให้เห็นว่าส่วนของ R ₁ และ C ₁ มีความสำคัญต่อเวลา.....	53
4.8 ลักษณะผังวงจรของระบบติดตามดวงอาทิตย์ในหนึ่งแนวแกนจะประกอบไปด้วย ไอซี555 จำนวน 2 ชุด มอเตอร์ 1 ชุด.....	55
4.9 ลักษณะของลายวงจร ที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Protel 99SE.....	56
4.10 ลักษณะรูปแบบพื้นฐานของอปแอมป์.....	57
4.11 ลักษณะผังวงจรของระบบติดตามดวงอาทิตย์ในหนึ่งแนวแกน จะประกอบไปด้วยอปแอมป์ 2 ชุด มอเตอร์ 1 ชุด	59
5.1 วงจรที่ใช้ทำการทดลอง.....	60
5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10°, 15° และ 20° กับพื้นระนาบ และหัน ไปทางทิศใต้ ในวันที่ 4 กันยายน 2549.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 1 กันยายน 2549.....	64
5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549.....	65
5.5 แบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	66
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 4 กันยายน 2549.....	70
5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 1 กันยายน 2549.....	70
5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างดัชนีหักเห (n) ของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง.....	27
3.1 แสดงมุมของลำแสงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิว โลกที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาล.....	37
3.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า อัลติจูด (β) และ อะซิมูท (ϕ).....	42
ณ ละติจูดที่ 13.72 องศาเหนือ (สจล.) เวลา 12.00 น. ของทุกปีที่เดือน	
กุมภาพันธ์มี 28 วัน โดย http://www.susdesign.com/sunposition/index.html	
3.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า Declination (δ) ณ ละติจูดที่ 13.72 องศาเหนือ.....	44
(สจล.) เวลา 12.00 น. ของทุกปีที่เดือนกุมภาพันธ์มี 28 วัน	
โดย http://www.susdesign.com/sunposition/index.html	
4.1 เปรียบเทียบหน่วยของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อคุณสมบัติของเวลา.....	51
5.1 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 4 กันยายน 2549.....	61
5.2 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 1 กันยายน 2549.....	62
5.3 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549.....	63
5.4 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์	
ในวันที่ 4 กันยายน 2549.....	67
5.5 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์	
ในวันที่ 1 กันยายน 2549.....	68
5.6 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์	
ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549.....	69
5.7 แสดงการเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่	
และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้.....	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.8 แสดงการเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ และแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	73
5.9 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังงานที่ใช้ในวงจรที่ 1.....	75
5.10 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังงานที่ใช้ในวงจรที่ 2.....	75
5.11 ค่ากระแสและแรงดันของแผงเซลล์ในช่วงเวลาต่างๆ.....	77
6.1 การปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามมุมของลำแสงดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาล.....	82
6.2 การปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเดือน.....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการพยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่ทั่วโลกกำลังเร่งศึกษา วิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐานทั้งทางตรงและทางอ้อมของการเกิดและดำรงอยู่ของชีวิตทั้งหลาย รูปแบบของพลังงานที่ใช้กันมากส่วนใหญ่อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแหล่งกำเนิดพลังงานหลักๆ ในปัจจุบัน คือ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ พลังงานจากเชื้อเพลิงต่างๆ เหล่านี้ นอกจากจะมีปริมาณจำกัดแล้ว ยังสร้างปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงทำลายชั้นบรรยากาศของโลกด้วย ส่วนพลังงานไฟฟ้าจากเขื่อนกั้นน้ำนั้นได้พัฒนาไปถึงจุดอิ่มตัวแล้วสำหรับเกือบทุกประเทศ โดยปัจจุบันโลกใช้พลังงานจากฟอสซิล 95% (น้ำมัน 42% ถ่านหิน 28% ก๊าซธรรมชาติ 25%) พลังงานทดแทนประเภทพลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ลม คลื่น ชีวมวล 3% และพลังงานนิวเคลียร์ 2% ในขณะที่พลังงานสำรองของโลกประเภทน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินยังคงเหลือให้ใช้ไปได้อีกเพียง 40, 62 และ 218 ปีตามลำดับ

ในประเทศไทยพลังงานไฟฟ้าได้มาจากการผลิตจากกระบวนการต่างๆ คือ ไฟฟ้าพลังความร้อน (จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง) 80% ไฟฟ้าพลังน้ำ 10% ส่วนพลังงานสำรองในประเทศ คือ ก๊าซธรรมชาติเราจะมีต่อ ไปอีกเพียง 20 ปี ถ่านหิน 60 ปี จะเห็นว่าเราต้องอาศัยการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งต้องอาศัยน้ำมันดิบจากต่างประเทศประมาณ 95% ของปริมาณการใช้ทั้งหมด และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในระยะกลางและระยะยาว แนวทางแก้ปัญหา คือ การพยายามหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน การพยายามใช้แหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศตนเอง เช่น ความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสร้างไฟฟ้ารวมทั้งความร้อน ในกลุ่มพลังงานใหม่เหล่านี้ พลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างเด่นกว่าชนิดอื่น เพราะมีอยู่ทั่วไปและมีไม่จำกัด สะอาด ติดต่อดังแวดล้อม ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจึงเป็นสิ่งที่หลายประเทศกำลังพยายามพัฒนาให้สำเร็จทั้งในด้านเทคโนโลยีและเศรษฐกิจ เพราะนอกจากจะแก้ปัญหาข้อจำกัดของเชื้อเพลิงธรรมชาติแล้ว ยังจะแก้ปัญหาในด้านมลพิษด้วย ซึ่งการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยตัวเปลี่ยนพลังงานที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (solar cells)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง ปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ และคาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการคือ

1. พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีอยู่ทุกที่ทั่วไป มิไม่จำกัด เป็นพลังงานที่สะอาด และดีต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้จะช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดของเชื้อเพลิงธรรมชาติแล้ว ยังจะแก้ปัญหาในด้านมลพิษอีกด้วย อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นประเทศที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2. เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทันทีหรือจะมีอุปกรณ์ร่วมเพื่อเก็บหรือแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น มากกว่า 95 % ทำจากซิลิคอนซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบน โลกรองจากออกซิเจน นั่นคือ เป็นวัตถุดิบที่มีมากมายเหลือใช้

4. ซิลิคอนเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน ทำให้ในแง่ของเทคโนโลยีและกระบวนการสร้างมีภาคอุตสาหกรรมรองรับ

5. มีกระบวนการสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

จากความสำคัญดังกล่าวปริญญานิพนธ์นี้จึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนากระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น ซึ่งกระบวนการหนึ่งที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นได้นั้นก็คือ การใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แนวแกน คือ แนวแกนฮอดติจูดและแนวแกนอะซิมูธ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้จึงสามารถรับรังสีจากแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ตลอดทั้งวัน เพราะเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจำเป็นต้องมีแสงมากระตุ้นให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานสูงพอที่จะเป็นอิสระและทิ้งโฮลให้เกิดขึ้น ดังนั้นหากแสงที่มากกระทบมีความเข้มสูงหรือก็คือปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนมีค่าสูงก็จะทำให้เกิดคู่ประจุพาหะอิเล็กตรอน-โฮล เป็นจำนวนมากผลที่ได้ก็คือ จะทำให้ปริมาณกระแสเนื่องจากแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มแสงด้วย

ดังนั้นจึงถือได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพของการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

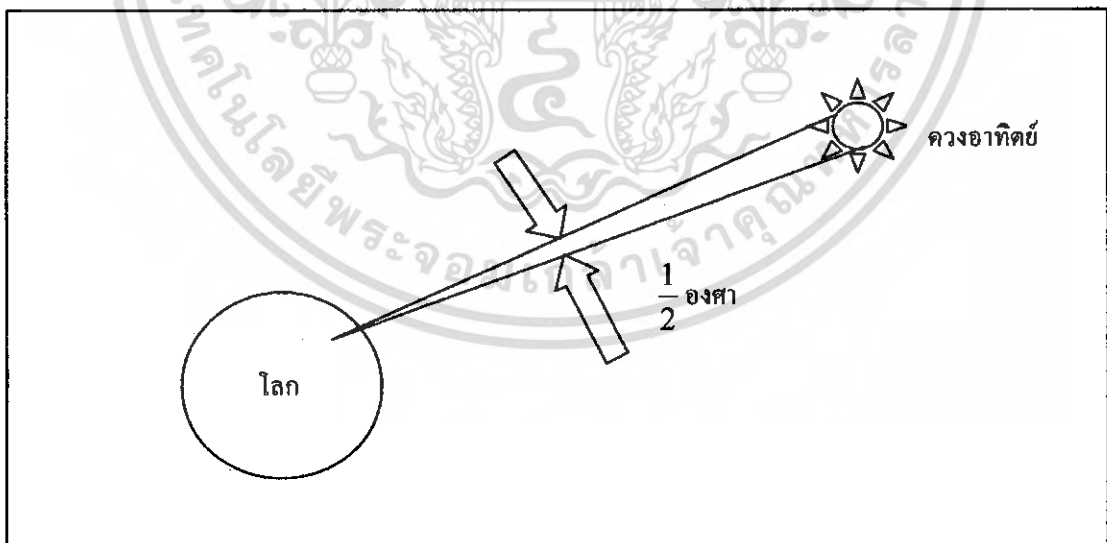
บทที่ 2

พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนในปริมาณ 75% ที่เหลือเป็นธาตุฮีเลียมและธาตุหนักอื่นๆ เช่น เหล็ก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.39×10^6 กิโลเมตร มีมวลเท่ากับ 1.99×10^{30} กิโลกรัม และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1,410 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ณ จุดใดๆบนพื้นโลกเมื่อมองขึ้นไปยังดวงอาทิตย์จะเห็นดวงอาทิตย์ครอบคลุมขนาดไปประมาณครึ่งองศา ดังรูปที่ 2.1 และจากที่ทราบว่าโลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นดวงอาทิตย์จะใช้เวลา 4 นาที ในการเคลื่อนตำแหน่งไป 1 องศา ชั้นนอกของดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่แบบ differential rotation กล่าวคือ ณ บริเวณเส้นศูนย์สูตร ดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลา 25.4 วัน แต่บริเวณขั้วหมุนหนึ่งรอบใช้เวลาถึง 36 วัน

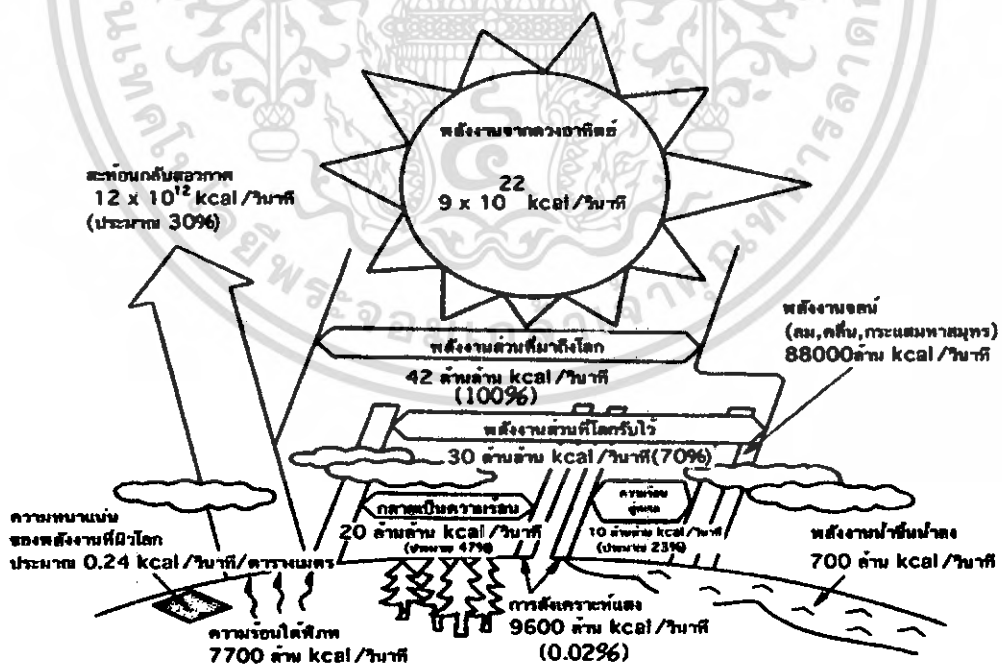


รูปที่ 2.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์เมื่อมองจากพื้นโลก ณ จุดใดๆ

2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาล พลังงานที่เกิดบนดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชั่น (Thermonuclear Fusion) ของไฮโดรเจน 4 อะตอม (Atom) คือ พลังงานเท่ากับมวลคูณด้วยความเร็วกำลังสอง ($E = mc^2$) ปฏิกิริยานี้เกิดมาแล้ว 4.5 พันล้านปีและคาดว่าจะยังมีไฮโดรเจนเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยานี้อีกประมาณ 4.5 พันล้านปี

ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร และจากการที่แสงเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 300,000 กิโลเมตร/วินาที ดังนั้นจะต้องใช้เวลาประมาณ 8 นาที แสงจากดวงอาทิตย์จึงจะเดินทางมายังโลกได้ ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยกำลังงาน 3.85×10^{23} กิโลวัตต์ และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับกำลังงาน 1.725×10^{14} กิโลวัตต์ เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ 1.51×10^{18} กิโลวัตต์/ชั่วโมง โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จะแปรปรวนอยู่ในช่วง 1.5×10^8 กิโลเมตร $\pm 1.7\%$ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนบรรยากาศที่ระยะห่างดังกล่าวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,400 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,305 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม โดยเฉลี่ยแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับรายปีเท่ากับ 1,367 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์สู่โลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานจากปฏิกิริยาฟิวชั่นออกสู่ภายนอกในระดับ 9×10^{22} kcal/วินาที ซึ่งเป็นพลังงานที่มากมายมหาศาล พลังงานนี้กระจายไปในอวกาศและส่วนที่มาถึงโลกนั้น จะมีความเข้มข้นที่บริเวณนอกเขตบรรยากาศของโลกในระดับ 1,380 วัตต์/ตารางเมตร (0.33 kcal/วินาที) คิดเป็นพลังงานที่โลกได้รับเป็น 42×10^{12} kcal/วินาที โดยในนี้ 30% จะสะท้อนกลับออกนอกบรรยากาศโลกที่เหลือ 70% จะมาถึงโลก ซึ่งเมื่อเทียบกับพลังงานที่มนุษย์ทั้งโลกใช้ในปี 1988 คือ 10^{17} kcal จะเห็นว่าเทียบเท่ากับพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงโลกเพียงแค่ประมาณ 40 นาทีเท่านั้น

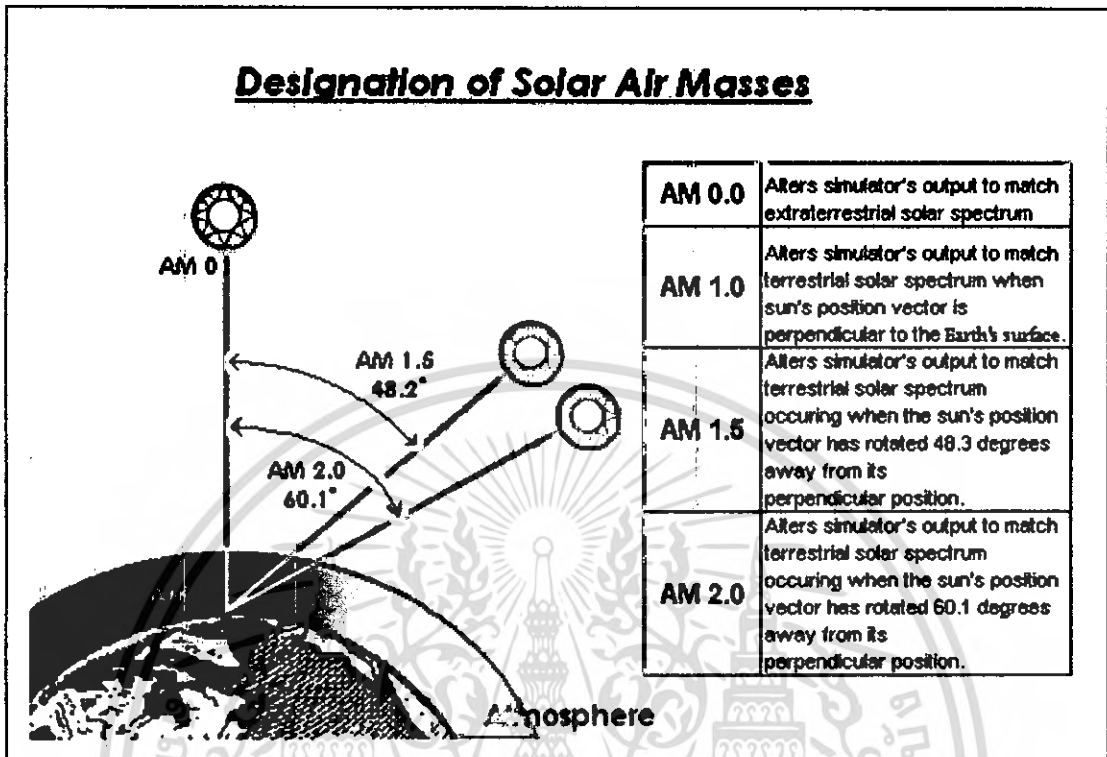
พลังงานจากการแผ่รังสีต่อพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ความเข้มของการแผ่รังสีนี้เราเรียกว่า Solar Constant หรือที่นิยมเรียกกันว่า Air Mass Zero เขียนย่อๆ ได้เป็น AM0 ซึ่งในงานโฟโตโวลตาอิก การแผ่รังสีแบบ AM0 กำหนดว่ามีค่าเท่ากับ 1,360 วัตต์/ตารางเมตร แต่ที่ตำแหน่งอื่นๆ ของภายนอกชั้นบรรยากาศโลกที่ไม่ได้อยู่ตรงกับบริเวณด้านรับแสงของดวงอาทิตย์ พลังงานที่ได้รับต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าน้อยกว่าค่านี้นี้ สำหรับบนพื้นผิวโลก พลังงานจากแสงอาทิตย์จะสูญเสียไปในชั้นบรรยากาศของโลก เนื่องจากชั้นของก๊าซต่างๆ เช่น O_2 , O_3 , ไอน้ำ, CO_2 เป็นต้น ดังนั้นความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะลดลงและองค์การนาซ่า (NASA) แห่งสหรัฐอเมริกาได้เป็นผู้กำหนดมาตรฐานของพลังงานที่ได้รับในระดับน้ำทะเล เมื่อแสงอาทิตย์มีทิศทางตั้งฉากกับผิวโลกมีค่า 1,000 วัตต์/ตารางเมตร และกำหนดว่าเป็นการแผ่รังสีแบบ Air Mass 1 หรือเขียนย่อๆ ได้เป็น AM1 ค่าของพลังงานนี้ถูกนำมาใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความสามารถ หรือประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าลักษณะการแผ่รังสีแบบต่างๆ อาจพิจารณาได้ดังนี้คือ

$$air\ mass = \frac{1}{\cos \theta} = \sec \theta \quad (2.1)$$

เมื่อ θ คือ มุมที่ลำแสงจากดวงอาทิตย์ทำกับทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวโลกบริเวณที่ทำการวัด (Solar Zenith Angle)

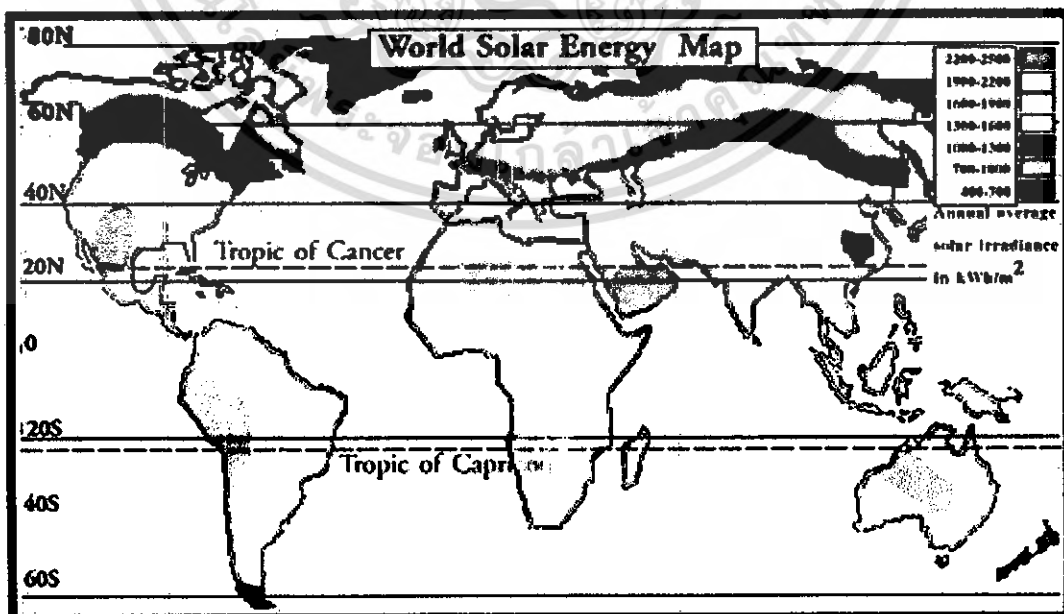
ดังนั้น ถ้าดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับ โลกเป็นมุม 60° ลักษณะของการแผ่รังสีนี้จะเรียกว่าเป็นแบบ AM2

ยิ่งค่าของ Air Mass มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เงื่อนไขอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง พลังงานแสงอาทิตย์ที่มายังผิวโลกก็จะยังมีค่าลดลง ค่าพลังงานมาตรฐานบนพื้นโลกที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางอีกค่าหนึ่งคือ ลักษณะการแผ่รังสีแบบ AM1.5 ที่มุม $\theta = 48.20^\circ$ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการแผ่รังสีแบบต่างๆ

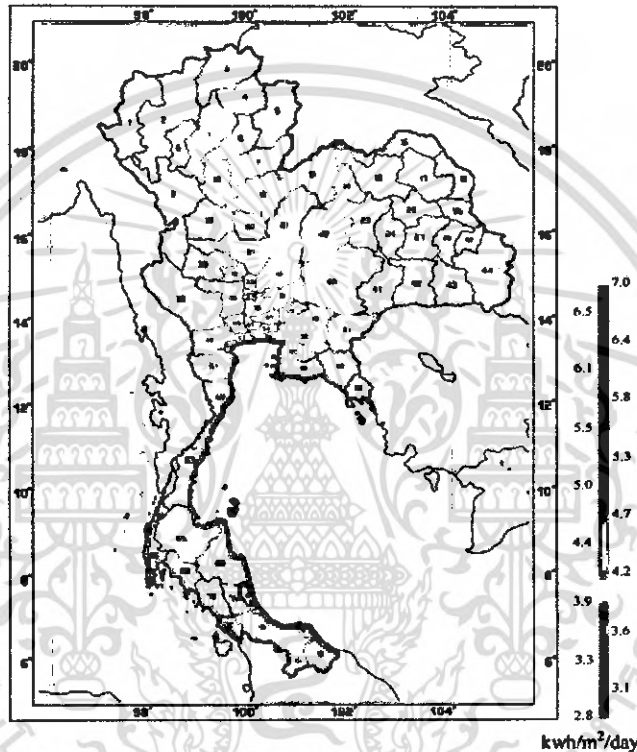
2.1.3 ตักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีของดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานสูง จากรูปที่ 2.4 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก พบว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ปานกลางแม่เป็นบริเวณกว้าง โดยได้รับพลังงานเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 1,300-1,600 กิโลวัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยพบว่า ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ในประเทศไทยแปรค่าตามพื้นที่และเวลาในรอบปี โดยได้รับอิทธิพลที่สำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อพิจารณาจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีพบว่าพื้นที่ที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดแม่เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา นูร์รัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานี รวมทั้งบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อุทรยา และลพบุรี โดยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีอยู่ในช่วง $19-20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

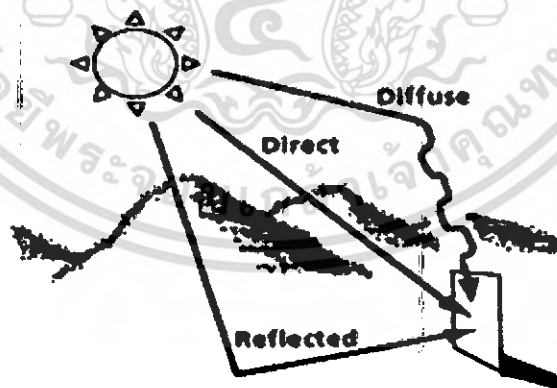
แสงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m²-day และมีเพียง 0.5% ของพื้นที่ที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่า 16 MJ/m²-day โดยค่าเฉลี่ยของรังสีรวมรายวันคิดเฉลี่ยต่อปีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day ซึ่งถือได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.1.4 รังสีของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก

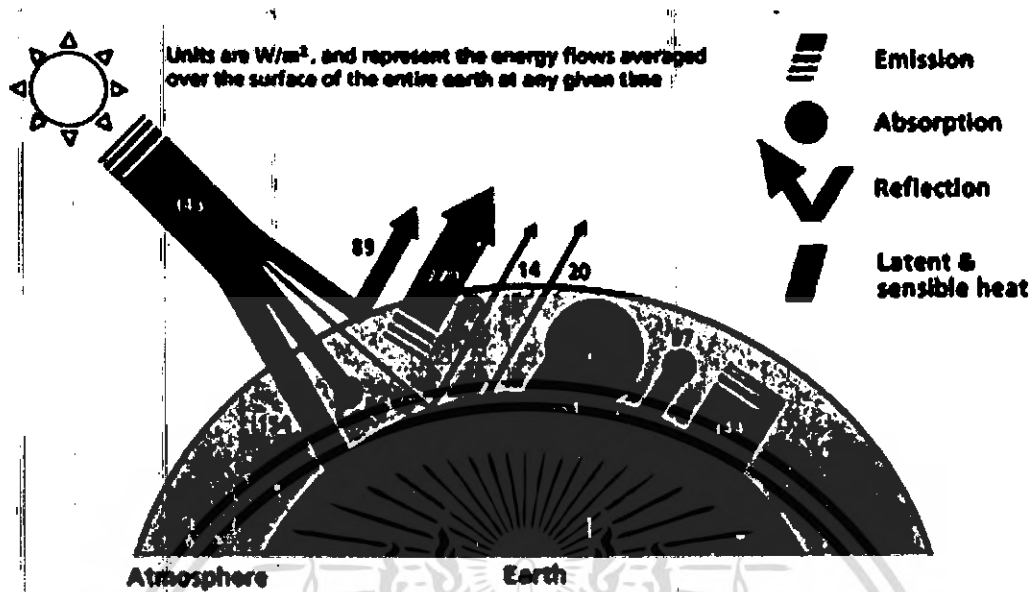
โลกประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่างๆ ฝุ่นละอองและไอน้ำ เมื่อดวงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศของโลก พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับ โดยอนุของอากาศ เมฆและฝุ่นละอองในอากาศ ระยะทางที่แสงอาทิตย์ฉายผ่านบรรยากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ฉายลงบนพื้นโลก ถ้าระยะทางที่แสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศยาว เช่น ในช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็น ปริมาณแสงอาทิตย์ที่รับได้จะลดลง ในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อวัตถุนบนโลก ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาคือ

1. การแผ่รังสีเป็นแนวตรงของดวงอาทิตย์ (Direct Sunlight)
2. การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ซึ่งถูกกระจายโดยชั้นบรรยากาศ (Diffused Sunlight)
3. การแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งแวดล้อม (Reflected Sunlight)

ผังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อวัตถุนบนโลก



รูปที่ 2.7 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก

จากรูปที่ 2.7 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก พลังงานบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับไปในอวกาศ บางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศของโลก และส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนที่สามารถส่งลงไปสู่พื้นโลกได้ ในขณะที่พื้นผิวของโลกและชั้นบรรยากาศก็สามารถแผ่พลังงานออกไปยังอวกาศได้เช่นกัน จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 343 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยนำพลังงานของแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบมายังโลกหารด้วยพื้นที่ของผิวโลกทั้งหมด โดยรวมทั้งพื้นที่ด้านที่หันออกจากดวงอาทิตย์ ซึ่งความร้อนจะถูกถ่ายเทในรูปของน้ำในบรรยากาศ ก๊าซและไอน้ำในอากาศจะดูดซับบางส่วน of พลังงานที่แผ่มาจากรังสีของดวงอาทิตย์

ค่าพลังงานสูงสุดของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวของโลกสามารถรับได้จะอยู่ที่ประมาณ 1 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเวลาเที่ยงวันของฤดูร้อนที่มีท้องฟ้าแจ่มใส และระนาบพื้นผิวโลกได้ถูกโคจรไปตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ สำหรับในช่วงเวลาอื่นของวัน หรือวันที่มีก้อนเมฆปกคลุมหนาแน่นในฤดูอื่น หรือในขณะที่พื้นผิวของโลกไม่ได้หันไปรับแสงจากดวงอาทิตย์ตรงๆ ที่สภาพแวดล้อมเหล่านี้จะมีค่าความหนาแน่นของพลังงานดวงอาทิตย์น้อย

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

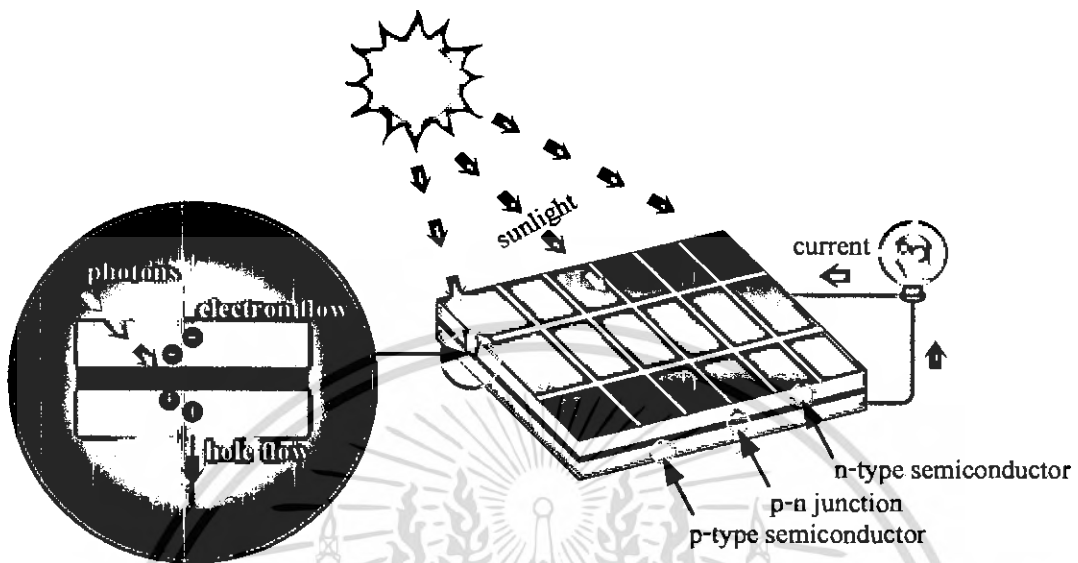
เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) หรือ เซลล์โฟโวลตาอิก (photovoltaic cell) คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็นคล้ายกับโครงสร้างของไดโอดแบบรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction diode) หากแต่เซลล์แสงอาทิตย์จะมีขนาดใหญ่กว่าไดโอดมาก การเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1839 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Alexandre-Edmond Becquerel ที่สังเกตเห็นกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อยๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุถูกแสง และเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า ปรากฏการณ์โฟโวลตาอิก (photovoltaic effect) ซึ่งเป็นภาษากรีก (Greek) โดย โฟโวลตา (photo) หมายถึง แสง และ โวลต์ (volt) มาจากชื่อของนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีชื่อ โวลตา (Volta) ใช้แทนกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อนำค่าทั้งสองรวมกันจึงหมายถึง ไฟฟ้าที่เกิดจากแสง

การสร้างรอยต่อพี-เอ็นในเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยวิธีการเดียวกันกับการสร้างไดโอด ซึ่งมักนิยมใช้วิธีการแพร่สารเจือปน (impurity) ชนิดเอ็นหรือชนิดพี เข้าไปในเนื้อของสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นชนิดตรงกันข้าม ในบทนี้จะได้กล่าวถึง ประวัติและความเป็นมา ทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น และแนวทางการพัฒนากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 ประวัติความเป็นมา

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ซึ่งประยุกต์ใช้คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะมีความสามารถในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1 บุคคลแรกที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็นของซิลิคอน คือ Gerald Pearson นักวิจัยแห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Laboratories) ในปี ค.ศ.1954 ซึ่งเป็นช่วงหลังจากการค้นพบทรานซิสเตอร์โดย William Shockley นักวิจัยจากห้องปฏิบัติการเดียวกันในปี ค.ศ.1949 ไม่นานนัก โดยในครั้งแรกนี้ เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพียง 6% เท่านั้น

เมื่อย้อนหลังกลับไปศึกษาถึงประวัติศาสตร์การค้นคว้าเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างแสง และ วัตถุในแง่ของไฟฟ้า จะทราบว่าในปี ค.ศ. 1839 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Alexandre-Edmond Becquerel เป็นคนแรกที่ค้นพบว่า เมื่อแสงตกกระทบวัตถุจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยเอาขั้วโลหะสองขั้วจุ่มในสารละลายอ็อกไซด์ แล้วให้แสงกระทบได้เพียงขั้วเดียว ปรากฏว่า มีกระแสไหลในสายไฟที่ต่อระหว่างขั้วทั้งสอง แสดงให้เห็นถึงการเกิดกระแสไฟฟ้าในวัตถุเมื่อมีแสงตกกระทบ และเขายังได้พบด้วยว่า เมื่อเปลี่ยนสี (ความยาวคลื่น, พลังงาน) ของแสง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนตามด้วย



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์

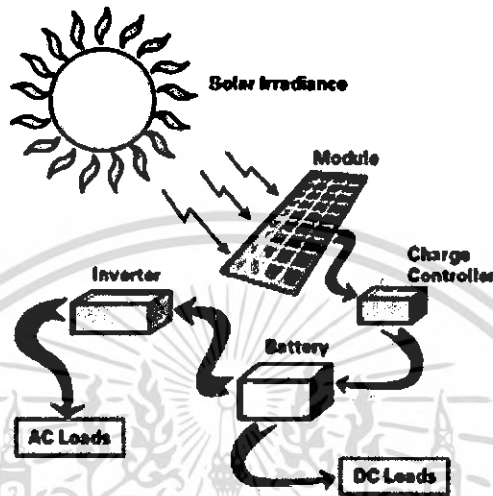
ในปี ค.ศ. 1873 Willoughby Smith พบว่า เมื่อส่องแสงใส่ซีลีเนียม (selenium) ความต้านทานของมันจะเปลี่ยนไป แสดงให้เห็นว่า เกิดไฟฟ้าในของแข็งเมื่อถูกแสงได้ (photo conductivity) ในปี ค.ศ. 1876 Adams และ Day พบว่า เมื่อส่องแสงถูกซีลีเนียมจะเกิดความต่างศักย์ขึ้น ซึ่งเป็นการค้นพบครั้งแรกของการเกิดศักย์ทางไฟฟ้าจากแสง ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานของซีลีเนียมนั้นต่ำแค่ประมาณ 1% เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สามารถนำเอาความรู้นี้ไปใช้ประโยชน์ในการวัดความเข้มของแสงในเครื่องถ่ายภาพเอกสารได้ เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 1883 Fritts อธิบายทฤษฎีการทำงานของโฟโตโวลตาอิกเซลล์แบบซีลีเนียมได้เป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1904 Hallwachs ได้ค้นพบคุณสมบัติทางแสงของสาร copper cupous oxide ปี ค.ศ. 1941 เริ่มมีการค้นพบเทคโนโลยีของการสร้างรอยต่อพี-เอ็น ด้วยวิธีการปลูกรอยต่อ (grown junction) และในปี ค.ศ. 1954 มีการค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็นแบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สาร (thermal diffusion) ซึ่งเป็นปีเดียวกันกับที่ห้องปฏิบัติการเบลล์สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมา

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเซลล์จะจ่ายไฟฟ้าออกมา ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์นี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) พลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทันที หรืออาจมีอุปกรณ์ร่วมเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสสลับ (Alternating Current : AC) แล้วจึงนำไปใช้เพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆทำงานได้ต่อไป ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระบบการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุซิลิคอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองจากออกซิเจน ทำให้ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ แต่การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน นั่นคือ ต้องมีค่าใช้จ่าย ซิลิคอนเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากโดยแทบจะเรียกได้ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบันก็ได้ ทรานซิสเตอร์ และ ไอซี (IC) แทบทั้งหมดสร้าง โดยใช้ซิลิคอน นั่นก็คือ การจะนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ในแง่ของวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมมีรองรับอยู่แล้ว

อย่างไรก็ดี จากผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า วัสดุสารกึ่งตัวนำซึ่งมีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการนำมาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ วัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีค่าของช่องว่างพลังงาน (energy gap) ประมาณ 1.5 eV ซึ่งสารกึ่งตัวนำชนิดแกเลียมอาเซนไนด์ (GaAs) มีค่าช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.43 eV และจากการทดลองสร้าง พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจาก GaAs ด้วยโครงสร้างที่เหมาะสม จะสามารถให้ประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานได้สูงถึง 30% แต่ทว่า GaAs เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีราคาแพงซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน

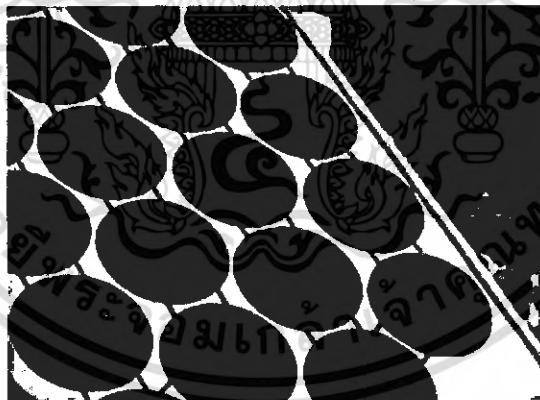
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมากกว่า 95% ทำมาจากซิลิคอน อันประกอบไปด้วยผลึกเดี่ยวของซิลิคอน (single crystalline Si) ผลึกหลายรูปของซิลิคอน (multi crystalline Si) และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous Si) ในที่นี้มากกว่า 90% อยู่ในรูปของผลึกซิลิคอนเพียงอย่างเดียว ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากผลึกของซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ผลึกรูปเดี่ยว (single crystal or monocrystalline wafers)

เป็นการนำเอาแผ่นผลึกเดี่ยวของซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ซึ่งได้จากการบวนการ โครทราลสกี (Czochralski process) มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์ประเภทนี้มีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็มีประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูง ในทางการค้าเซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 16-17% และสูงถึง 20% ในบางบริษัท (บริษัท Sunpower) เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้จะมีราคาสูงอีกทั้ง เมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์ หรือ โมดูล (modules) จะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของเซลล์ และในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นผลึกที่มีคุณภาพสูงเช่นนี้ จึงได้มีการนำเอาผลึกแบบหลายรูป (polycrystal) มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แทนเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.10



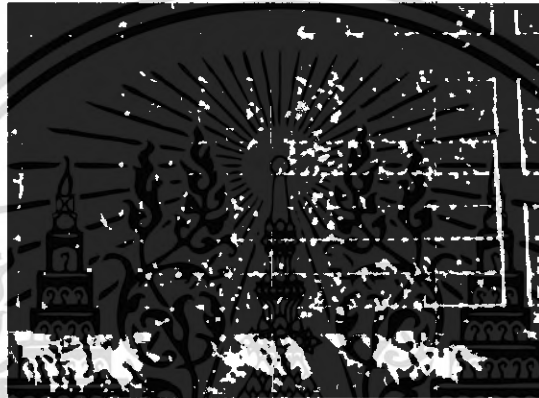
รูปที่ 2.10 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว

2. ผลึกหลายรูป (poly or multi crystalline)

ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวของซิลิคอน ผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนคือ แท่งซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตรถึงระดับมิลลิเมตร) ของซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมเหลวลงในเบ้าหลอม (crucible) แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ ซึ่งก็จะได้แท่งของโพลีซิลิคอนที่มีรูปร่างตามเบ้าหลอมที่ใช้ หลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกรูปเดี่ยว คือ นำไปตัดเป็นเวเฟอร์ (wafer) หนาขนาด 300 - 400 ไมโครเมตร แล้วนำไปสร้างรอยต่อพี-เอ็นต่อไป เซลล์ชนิดนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าแบบผลึกรูปเดี่ยวแต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าด้วย (ประมาณ 15 - 16%) อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของเซลล์แบบผลึกโพลี คือ รูปร่างของแผ่นเซลล์ซึ่งสามารถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ ทำให้มีช่องว่างบนแผงเซลล์น้อยกว่าแบบแผ่นกลม ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่าแบบแผ่นกลมถึง 25% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูปแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป

3. แบบริบบอน (ribbon silicon)

เทคโนโลยีของการสร้างแผ่นผลึกทั้งแบบผลึกรูปเดี่ยวที่เป็นแผ่นกลม และแบบผลึกหลายรูปที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมนั้น ยังคงเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองวัสดุอยู่ เนื่องจากต้องมีการตัดแผ่นผลึกทำให้ต้องเสียเนื้อของซิลิคอนไปส่วนหนึ่ง จึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผ่นซิลิคอนให้เป็นแผ่นบาง และยาว ที่เรียกว่า ริบบอน (ribbon) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหลายรูป ทำให้ไม่ต้องเสียเนื้อซิลิคอนในการตัดให้เป็นแผ่นบางๆ เทคนิคในการสร้างแผ่นผลึกแบบริบบอนมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีอีเอฟจี และเดนดริติก (dendritic)

อีเอฟจี (EFG) ย่อมาจาก Edge-defined film-fed growth เป็นวิธีการสร้างแผ่นผลึกที่คล้ายกับวิธีของโซคราลสกีที่ต้องใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องเล็กๆ บางๆ ที่ทำด้วยแกรไฟต์ เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมยาวตามที่ต้องการ แผ่นผลึกที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะมี ความหนา 150-300 ไมครอน มีความกว้างตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร ข้อเสียของริบบอนแบบอีเอฟจี นี้ คือ มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับวิธีของโซคราลสกีและการที่ซิลิคอนต้องถูกหลอมเหลวอยู่ภายในเบ้าหลอมแล้ว ยังต้องมีการดึงผ่านช่องแคบๆ ของแกรไฟท์อีก วิธีการเช่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้แผ่นผลึกที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูง เนื่องจากสิ่งแปลกปลอม และสารเจือปนต่างๆ จากเบ้าหลอมและแผ่นแกรไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อซิลิคอนได้ง่าย วิธีการที่สามารถจะลดความไม่บริสุทธิ์ของแผ่นผลึกแบบรีบบอนได้ก็คือ วิธีการแบบเคนคริติค

การดึงแผ่นผลึกรีบบอนแบบเคนคริติค จะใช้เมล็ดผลึก ปล่อยให้ดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องที่มีอยู่เฉพาะตรงขอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมในแบบรีบบอน แผ่นผลึกที่สร้างด้วยวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับวิธีของ โซคราลสกี เมื่อนำไปสร้างเซลล์จะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบฮีเอฟจี

ต้นทุนของเซลล์แบบรีบบอนนั้นถือว่าถูกกว่าแบบชนิดอื่นเพราะมีการสูญเสียซิลิคอนน้อยกว่าทุกวิธี แต่เซลล์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบอื่นคือประมาณ 13.5 - 15% และมีราคาจำหน่ายที่สูงเนื่องจากการผลิตที่ต่ำ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกของซิลิคอนทั้ง 3 แบบดังกล่าว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากแผ่นเวเฟอร์ (wafer-based manufacturing) เนื่องจากการนำแผ่นซิลิคอน หรือเวเฟอร์ (wafer) ที่มีความหนาระหว่าง 180-240 ไมโครเมตร มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อเชื่อมกันให้เป็นโมดูล (module) ก่อนนำไปใช้ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์จากฟิล์มบาง (thin film) ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากโมดูล หรือ แผงเซลล์ (module-based manufacturing) เพราะแผงเซลล์ที่เป็นฐานรองนั้นจะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการ และทำการตัดออกเป็นแต่ละเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ (laser scribe) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์มบางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon films) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเรน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีการกระตุ้น เช่น โดยใช้พลาสมา เพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซ เข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง โดยส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำให้การเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่น เกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้ หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน (boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดพี (p-type Si) และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (phosphorus) เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type Si) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้ เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส ก็คือ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมาก และอะมอร์ฟิสซิลิคอนมีช่องว่างพลังงาน (energy bandgap) 1.7 eV มากกว่าแบบผลึกซิลิคอน (1.1 eV) ทำให้อัตราการดูดแสงของอะมอร์ฟิสซิลิคอนสูงกว่าแบบผลึกมาก จึงสามารถลดความหนาของฟิล์มเป็นระดับ 1 ไมโครเมตรได้ ในขณะที่แบบผลึกต้องทำอย่างน้อยหนาประมาณ 300 ไมโครเมตรซึ่งทั้งนี้ก็เพื่อความแข็งแรงทางกลของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย นั่นก็คือ อะมอร์ฟิสซิลิคอนสามารถประหยัดปริมาณของซิลิคอนได้มากกว่า และยังนิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็น ไดโอด (diode) 2 ตัวเรียงต่อกันเป็นชั้น (tandem cell) ให้เซลล์ด้านบนเป็นอะมอร์ฟิสซิลิคอนเพื่อดูดกลืนแสงย่านที่ตามองเห็น (visible light) และปล่อยให้แสงย่านอินฟราเรด (infrared) ถูกดูดกลืนโดยเซลล์ด้านล่างซึ่งเป็นผลึกระดับนาโนเมตรของซิลิคอน (nanocrystalline Si) ที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากับผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟิสซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟิสซิลิคอน

จุดด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส คือ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ต่ำประมาณ 8% และเซลล์แบบนี้ยังมิใช่การใช้งานที่สิ้น เมื่อนำไปใช้กับแสงแดด ปัญหาการเสื่อมลงของเซลล์แบบอะมอร์ฟิสนี้ยังเป็นปัญหาหลักที่ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขกันต่อไปอีก

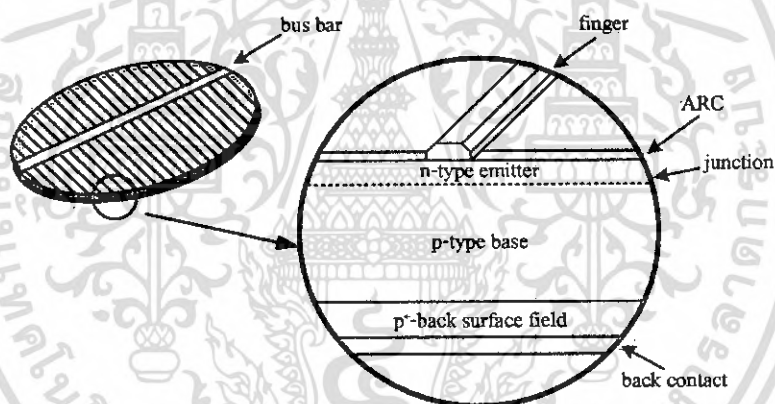
2. แบบซีไอเอส (CIS) เซลล์แสงอาทิตย์แบบซีไอเอสถูกสร้างขึ้นด้วยฟิล์มบางของธาตุที่ประกอบไปด้วย ทองแดง (copper) อินเดียม (indium) และ ซีลีเนียม (selenium) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ CuInSe_2 หรือ $\text{Cu}(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ ฟิล์มบางของเซลล์แบบซีไอเอสจะมีความหนา น้อยกว่าเซลล์แบบโพลีอยู่ประมาณ 10 เท่า ประสิทธิภาพของเซลล์แบบซีไอเอสนี้สูงถึง 11% แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนก็ยังมีราคาที่สูงอยู่มาก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Dye-sensitized (Dye-sensitized solar cells) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อีกแบบหนึ่งที่ใช้ปฏิกิริยาทางแสง-ไฟฟ้า-เคมี (photoelectrochemical cells) ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดย Michael Graetzel และคณะ เซลล์ชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Graetzel cells แนวความคิดของเซลล์แบบ ไคซ์-เซ็นซิไทซ์นั้นมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (process of photosynthesis) และกำลังอยู่ในขั้นตอนของการศึกษา วิจัย พัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดนี้สามารถขึ้นไปได้ถึง 33% ในทางทฤษฎี และมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2010 จะเริ่มมีเซลล์ชนิดนี้ออกวางจำหน่ายในทางการพาณิชย์

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างแบบรอยต่อพี-เอ็น ดังรูปที่ 2.13 ดังนั้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าจึงเหมือนกับคุณสมบัติของรอยต่อพี-เอ็นทุกประการ คือ



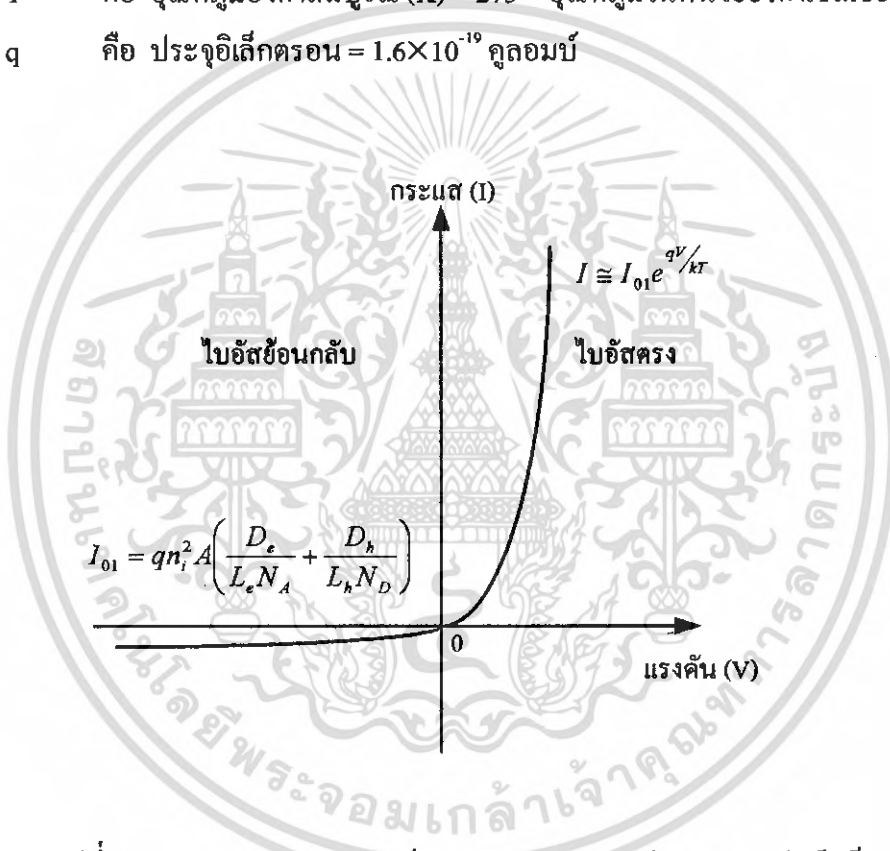
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น

ในภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสง

เมื่อรอยต่อ ได้รับแรงดัน ไบอัสตรงจะทำให้เกิดมีกระแสไหลผ่านรอยต่อเป็นจำนวนมาก และกระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงอย่างเอ็กโปเนนเชียลกับแรงดัน และในขณะที่ให้แรงดัน ไบอัสย้อนกลับ จะมีกระแสจำนวนน้อยไหลย้อนกลับผ่านรอยต่อ ดังนั้น จากความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดัน สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งกราฟนี้เราได้มาจากสมการไดโอด หรือเรียกว่า Shockley diode equation หรือ สมการเรกติไฟร์ ดังสมการที่ 2.2

$$I = I_{01} \left(e^{\frac{qV_A}{kT}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ	I_{01}	คือ กระแสมีดอิมิตัว
	V_A	คือ แรงดันไบอัสตรงภายนอก
	k	คือ ค่าคงตัวของโบสตันน์มีค่า = 8.62×10^{-5} eV/K
	T	คือ อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ (K) = 273 + อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส
	q	คือ ประจุอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์



รูปที่ 2.14 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันของรอยต่อพี-เอ็น

ลักษณะกราฟในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นคุณสมบัติในการเรกติไฟร์ (rectify) ของรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งกระแสมีดอิมิตัว (dark saturation current) I_{01} คือกระแสรั่ว (leakage current) ที่ไหลออกจากไดโอดขณะไม่ได้รับแสงภายใต้การไบอัสย้อนกลับ ดังสมการ

$$I_{01} = qn_i^2 A \left(\frac{D_e}{L_e N_A} + \frac{D_h}{L_h N_D} \right) \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อพี-เอ็น
	D_n	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของโฮล
	D_p	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเล็กตรอน
	N_A	คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้รับ (cm^{-3})
	N_D	คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้ให้ (cm^{-3})
	n_i	คือ ความหนาแน่นของประจุพาหะของสารกึ่งตัวนำ (cm^{-3})

ในภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง (Illumination)

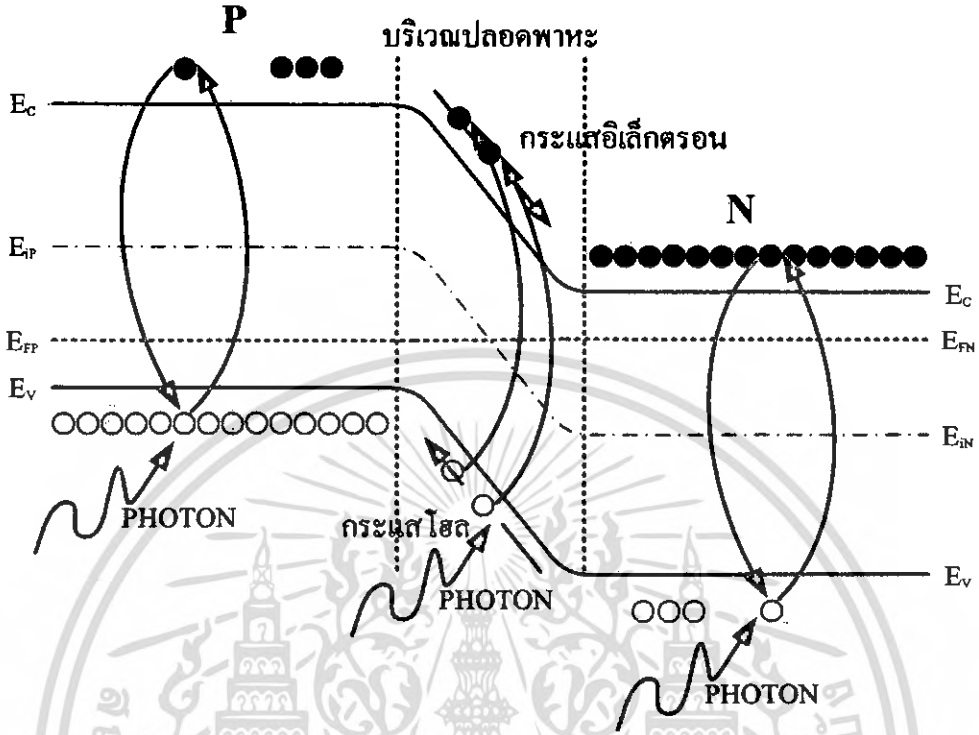
ในขณะที่รอยต่อพี-เอ็นได้รับแสง เราพิจารณากันว่า ในลำแสงประกอบไปด้วยกลุ่มของโฟตอน (photon) ซึ่งมีพลังงานค่าหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$E_{\text{photon}} = h\nu \quad (2.4)$$

เมื่อ	E_{photon}	คือ พลังงานของโฟตอน
	h	คือ ค่าคงตัวของพลังค์ = 6.624×10^{-34} joule-sec
	ν	คือ ค่าความถี่ของคลื่นแสง

เมื่อแสงตกกระทบบรอยต่อพี-เอ็นซึ่งเป็นเนื้อของสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ซึ่งอยู่ในแถบวาเลนซ์ให้สามารถออกไปเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในแถบความนำ (conduction band) ได้ และทิ้งให้เกิดโฮลซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกไว้ที่แถบวาเลนซ์ (valance band) ประจุพาหะคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่นี้ เป็นผลมาจากการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำด้วยแสง อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อหรือใกล้กับรอยต่อ จะถูกอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายใน ทำให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ โดยที่โฮลจะเคลื่อนที่ไปทางด้านพี และอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทางด้านเอ็น เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลในทิศตรงกันข้ามกับกระแสในขณะที่ยังไม่ได้รับไบอัสตรง ส่วนประจุพาหะคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีอิทธิพลของสนามไฟฟ้าก็จะเกิดการรวมตัว (recombination) ภายในเนื้อสาร ซึ่งคู่พาหะดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดกระแส

กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า กระแสแสง (photo current) หรือเขียนย่อๆ ว่า I_p หรือ I_{light} ลักษณะแถบพลังงานของรอยต่อพี-เอ็นขณะได้รับแสง แสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะแถบพลังงานของรอยต่อพี - เอ็นขณะได้รับแสง

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง กระแสแสง (I_{light}) ที่เกิดขึ้นจะมีทิศตรงข้ามกับกระแสมืด (I_{dark}) และกระแสที่ไหลออกมาจากขั้วของเซลล์สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$I = I_{dark} - I_{light} \tag{2.5}$$

$$I = -I_{light} + \left[I_{01} \left(e^{\frac{q(V-IR_s)}{kT}} - 1 \right) + I_{02} \left(e^{\frac{q(V-IR_s)}{nkT}} - 1 \right) + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \right] \tag{2.6}$$

โดยที่ I_{light} คือ กระแสเนื่องจากแสง (photo current) แสงที่ได้ดังสมการ

$$I_{light} = qAg_{op}(L_h + L_e) \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ q คือ ประจุของอิเล็กตรอน
 A คือ พื้นที่ของรอยต่อพี-เอ็นที่ถูกแสง
 G_{op} คือ อัตราการเกิดประจุพาหะคู่อิเล็กตรอน-โฮล เนื่องจากแสง (optical generation rate)
 L_p, L_n คือ ระยะการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ

ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร เมื่อเซลล์ได้รับแสงจะทำให้เกิดกระแสเนื่องจากแสงไหลออกมาจากเซลล์ผ่านวงจร ในภาวะนี้กระแสจะมีค่าสูงสุด และถูกเรียกว่า I_{sc} ค่าของกระแสลัดวงจรหาได้จากสมการ 2.6 และประมาณค่าได้ดังสมการ

$$I = -I_{sc} + I_0 \left(e^{qV/nkT} - 1 \right) \quad (2.8)$$

ซึ่งขณะลัดวงจร $V_A = 0$ ดังนั้นสมการที่ 2.8 จะเขียนใหม่ได้ว่า

$$I = -I_{sc} \quad (2.9)$$

โดยประมาณให้ ค่า $I_{light} = I_{sc}$

ในขณะที่เซลล์ถูกเปิดวงจรออก (open circuit) และที่รอยต่อได้รับแสง จะพบว่า กระแสที่ไหลในวงจรจะเป็นศูนย์ เนื่องจากวงจรถูกเปิด แรงดันที่ปรากฏคร่อมรอยต่อพี-เอ็นขณะนี้ถูกเรียกว่า แรงดันเปิดวงจร (open circuit voltage) เขียนย่อๆว่า V_{oc} ค่าของ V_{oc} นี้หาได้จากสมการที่ 2.8 โดยแทนค่า $I = 0$ และ $V = V_{oc}$ ซึ่งจะได้สมการ

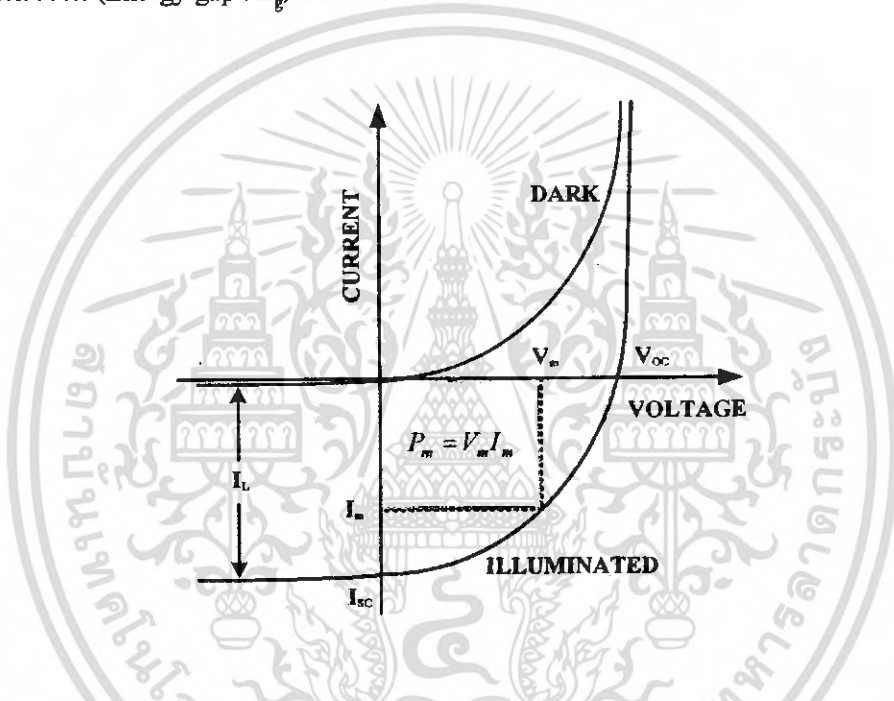
$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.10)$$

เพื่อให้แรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) มีค่ามากที่สุด กระแสรั่ว (I_0) ก็จะต้องมีค่าน้อยที่สุด และเพื่อให้ความเข้มกระแสขณะลัดวงจร (I_{sc}) มีค่ามากที่สุด การรวมตัวภายในเซลล์จะต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุด และการรวมตัวที่ผิว (surface recombination) ก็ต้องให้มีค่าน้อยที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน

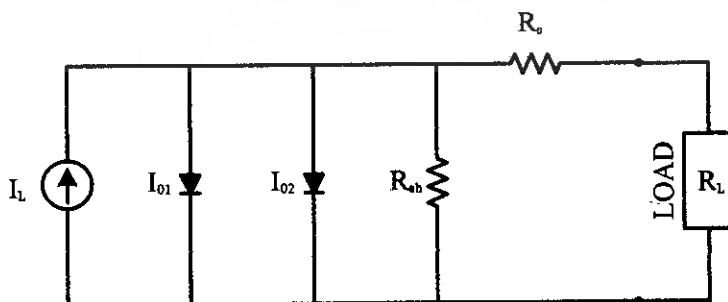
กระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงที่เกิดขึ้นจะมีขนาดมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ ขนาดของพื้นที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็นซึ่งได้รับแสง, สัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสงเพื่อให้เกิดประจุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาหะคู่อิเล็กตรอน-โฮล, ระยะความลึกของรอยต่อพี-เอ็น, ขนาดความกว้างของบริเวณปลอดพาหะ, ค่าความคล่องตัวของประจุพาหะในเนื้อสารกึ่งตัวนำ, ค่าความเร็วในการรวมตัวของประจุพาหะที่ผิว, และค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ โดยทั่วไป กระแสลัดวงจรในเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็นของซิลิคอน จะมีค่าประมาณ $35 - 40 \text{ mA/cm}^2$ และในกรณีของแกลเลียมอาเซนายด์ค่า I_{sc} จะอยู่ราว 20 mA/cm^2 โดยวัดที่ค่า air mass zero (AM0)

ส่วนค่าแรงดันเปิดวงจร (Open circuit voltage : V_{oc}) จะมีค่ามากขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างพลังงาน (Energy gap : E_g) ของสารกึ่งตัวนำที่ใช้

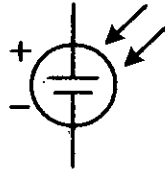


รูปที่ 2.16 คุณสมบัติของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
ในขณะ ได้รับแสงและยังไม่ได้รับแสง



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.4 พิลแฟคเตอร์และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน

อย่างไรก็ดีขณะที่นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน เซลล์จะไม่อยู่ในภาวะลัดวงจรหรือเปิดวงจร ทั้งนี้ เนื่องจากเซลล์จะต้องถูกต่อเข้ากับโหลด (load) ซึ่งมีค่าความต้านทานค่าหนึ่ง ดังนั้นแรงดันและกระแสที่เซลล์จ่ายออกมาให้แก่โหลดจะมีค่าน้อยกว่า ค่า V_{oc} และ I_{sc} โหลดซึ่งนำมาต่อ เมื่อมีค่าความต้านทานที่เหมาะสมค่าหนึ่ง จะทำให้ผลคูณของแรงดันและกระแสที่เซลล์จ่ายออกมามีค่าสูงสุด หรือที่เรียกว่า ค่ากำลังงานสูงสุด (maximum power) ที่เซลล์จ่ายให้แก่โหลดได้ เขียนย่อๆ ได้ว่า P_m ค่าของกระแสและแรงดันที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเขียนอักษรย่อแทนเป็น I_m และ V_m ตามลำดับ นั่นคือ

$$P_m = I_m V_m \quad (2.11)$$

และค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมหาได้โดยสมการ

$$R_{load} = \frac{V_m}{I_m} \quad (2.12)$$

ค่าของ P_m , V_m , และ I_m แสดงได้ดังกราฟคุณสมบัติของเซลล์ในรูปที่ 3.11

ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor) เขียนอักษรย่อเป็น FF ค่าของฟิลแฟคเตอร์ ถูกนิยามไว้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานสูงสุดที่เซลล์จะจ่ายให้แก่โหลดได้จริงกับค่าของพลังงานสูงสุดในทางอุดมคติที่เซลล์จ่ายได้ นั่นคือ

$$FF = \frac{P_m}{P_o} = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของฟิลแฟคเตอร์นี้จะไม่เกิน 1 ถ้าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกับเซลล์ในทางอุดมคติมาก เซลล์ที่ใช้งาน โดยทั่วไปค่าฟิลแฟคเตอร์จะมีค่าระหว่าง 0.6 - 0.8 นอกจากนี้คุณสมบัติประการสำคัญยิ่งของเซลล์แสงอาทิตย์ ก็คือ ค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงาน (energy conversion efficiency) เขียนตัวย่อเป็น η ประสิทธิภาพของเซลล์ ถูกนิยามว่าเป็น อัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ นั่นคือ

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{FF \cdot I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.14)$$

เมื่อ P_{in} คือ พลังงานที่ตกกระทบผิวหน้าของเซลล์ในหนึ่งวินาที หรือก็คือกำลังงานไฟฟ้าอินพุท นั่นเอง (input power)

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปที่ 2.12 พบว่า ยิ่งกระแสอิ่มตัวของไดโอดมีค่าสูงขึ้น ยิ่งค่าความต้านทานอนุกรมในวงจรมีค่าสูงขึ้น และความต้านทานขนานในวงจรมีค่ายิ่งต่ำลง ย่อมส่งผลถึงค่ากำลังงานของเซลล์ที่จ่ายได้ต่ำลง หรือประสิทธิภาพที่ลดลงของเซลล์ด้วย เพราะค่าความต้านทานอนุกรมที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานจากผลของ I^2R ค่าความต้านทานขนานที่ลดต่ำลง และ หรือการเพิ่มขึ้นของกระแสอิ่มตัว (I_{02}) จะส่งผลถึงค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) และแรงดันที่ลดต่ำลง การที่เซลล์มีความเร็วในการรวมตัวที่ผิว (surface recombination velocity) ต่ำและมีค่าเวลาชีวิตในเนื้อสาร (bulk lifetime) ที่สูง จะช่วยปรับปรุงค่า I_{01} และคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เซลล์ได้รับเกิดจากการดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่มีค่าสูงมากกว่า E_g ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_g จะไม่มีผลทำให้เกิดกระแสแสง และในโฟตอนบางส่วนที่มีพลังงานสูงกว่า E_g อาจไม่เกิดกระแส แต่จะกระจายพลังงานออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งหากเป็นกรณีนี้ ประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลง ดังนั้น ขนาดของ E_g จึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์และอาจสรุปได้ว่า

$$E_G \propto \frac{1}{I_m} \quad \text{และ} \quad E_G \propto V_m$$

แสดงว่า E_G ค่าหนึ่ง จะทำให้ผลคูณของ $I_m V_m$ มีค่าสูงสุด หรือประสิทธิภาพของเซลล์สูงสุด เราเรียก E_G ค่านี้นว่า E_G (optimum) หรือ Optimum Energy Gap

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น I_{sc} , V_{oc} , P_m , F.F และ η ซึ่งมีค่าสูงๆ อย่งไรก็ดี พารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ก็ถูกจำกัดด้วยแฟกเตอร์อื่นๆ มากมาย ซึ่งบางแฟกเตอร์ก็ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่บางแฟกเตอร์ก็สามารถที่จะปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้

2.2.5 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

1. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน จำเป็นต้องมีแสงมากระตุ้นให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานสูงพอที่จะเป็นอิสระ และทิ้งให้โฮลเกิดขึ้น ดังนั้น ถ้าหากแสงที่มาตกกระทบมีความเข้มสูงมาก หรือก็คือ ปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนมีค่าสูง ก็จะทำให้เกิดคู่ประจุพาหะอิเล็กตรอน-โฮลเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้จะทำให้ปริมาณกระแสเนื่องจากแสง มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มแสง ทำให้มีการใช้เลนส์รวมแสงเพื่อเพิ่มความเข้มแสงให้มากขึ้น แล้วฉายลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์จ่ายกระแสได้สูง (เนื่องจากกระแสแสงแปร กับความเข้มแสงโดยตรง) โดยที่ประสิทธิภาพของเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้น ข้อดีของระบบรวมแสง (concentrating system) ก็คือ การเพิ่มกระแส โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าปกติ

2. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงนั้น เซลล์จะต้องได้รับความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์ด้วย ผลดังกล่าวจะทำให้ค่าของพลังงานที่เซลล์จะจ่ายได้มีค่าลดลง

3. ผลของความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะใช้งาน จะเห็นได้ว่า กระแสเนื่องจากแสง (photo current) แทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส (current source : I_L) ซึ่งจะจ่ายกระแสออกมาในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็นในทางอุดมคติ ค่าความต้านทานอนุกรม (series resistance : R_s) เกิดขึ้นได้เนื่องจากค่าความต้านทานของเนื้อสารกึ่งตัวนำ, ค่าความต้านทานของบริเวณรอยสัมผัสโอมิก (ohmic contact) ระหว่างโลหะกับส่วนพี และส่วนเอ็น และค่าความต้านทานของเส้นลวดตัวนำที่ใช้ต่อ ผลรวมของค่าความต้านทานอนุกรมทั้งหมด เขียนตัวย่อได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_s ส่วนค่าความต้านทานขนาน (parallel resistance หรือ shunt resistance : R_{sh}) เป็นค่าความต้านทานสมมติที่ขนานกับรอยต่อพี-เอ็น ในรอยต่อพี-เอ็นที่สมบูรณ์ หรือในทางอุดมคติ ค่าของ R_{sh} จะมีค่าเป็นอนันต์ (∞) และค่าของ R_s จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีจุดเสีย (defect) เกิดขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ความไม่สมบูรณ์ของรอยต่อ โดยเฉพาะรอยต่อที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ย่อมมีส่วนที่ไม่สมบูรณ์ปรากฏอยู่ จึงทำให้รอยต่อพี-เอ็นไม่สมบูรณ์ ดังนั้นค่า R_{sh} จึงไม่สูงเป็นค่าอนันต์ และค่า R_s ก็มีค่าไม่เป็นศูนย์ ผลของค่า R_s และ R_{sh} จะทำให้คุณสมบัติของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป เซลล์ที่มีค่า R_s สูงจะให้กระแสลัดวงจรน้อย และความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันลดลง เป็นผลให้พลังงานที่ได้จากเซลล์ลดน้อยลงไปมาก อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วจะพบว่า ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งาน ค่าความต้านทานขนาน R_{sh} จะมีค่าสูงพอที่จะไม่พิจารณาผลที่เกิดขึ้น แต่ค่าความต้านทานอนุกรม R_s จะมีผลและบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อคุณสมบัติของเซลล์ ในการออกแบบลักษณะ โครงสร้าง, การสร้าง จึงต้องพิจารณาผลของค่า R_s อย่างรอบคอบ และพยายามให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้

4. ผลของชั้นลดการสะท้อนแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ในการนำเซลล์ไปใช้งานเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงาน ไฟฟ้า นั้น เนื่องจากแสงที่ส่องมากระทบผิวหน้าเซลล์จะมีบางส่วนถูกดูดกลืนเอาไว้เพื่อนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า และมีส่วนสะท้อนไปจากผิวหน้าของเซลล์ แสงส่วนที่สะท้อนออกไปจากผิวหน้านั้นเองที่สูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์ เพื่อที่จะนำแสงส่วนนี้มาใช้ประโยชน์อีก จึงควรมีชั้นลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าของเซลล์ ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ยอมให้แสงผ่านเข้าไปยังผิวหน้าของเซลล์ได้ เมื่อแสงสะท้อนกลับออกจากผิวหน้าของเซลล์ ชั้นลดการสะท้อนแสงจะทำให้แสงบางส่วนสะท้อนกลับลงไปยังผิวหน้าของเซลล์อีก ช่วยให้เซลล์ได้รับความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม จึงทำให้เซลล์สามารถผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้สูงขึ้นตามไปด้วย ชั้นลดการสะท้อนแสงจะช่วยให้แสงสะท้อนกลับลงไปยังผิวหน้าของเซลล์ได้มากเพียงใด จะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหและความหนาของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างดัชนีหักเห (n) ของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

สาร	ดัชนีหักเห (n)
SiO ₂	1.5
Porous Si	1.25 - 3
SiO	1.9
SnO ₂	2.1
ZnS	2.3
TiO ₂	2.6

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิด จะมีแสงส่วนหนึ่งสะท้อนกลับและส่วนหนึ่งหักเหผ่านตัวกลาง สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับ (Coefficient of reflection : ρ) หาได้ดังนี้

$$\rho = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (2.15)$$

โดยที่ n_1 และ n_2 เป็นค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง 2 ชนิด

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแสง n_1 ไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแสง n_2 ถ้า $n_1 < n_2$ แสงส่วนใหญ่จะหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n_2 และแสงส่วนน้อยจะสะท้อนออกไปในทางตรงกันข้าม ถ้า $n_1 > n_2$ แล้วแสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับออกไป

ถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 3 ชนิด ที่มีดัชนีหักเหแสงเป็น n_1, n_2 และ n_3 ตามลำดับ ถ้า $n_1 < n_2 < n_3$ แสงส่วนใหญ่จะหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่ 2 และ 3 แสงส่วนที่สะท้อนออกจากผิวหน้าของตัวกลางที่ 3 เมื่อมาถึงผิวหน้าของตัวกลางที่ 2 แสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับลงมายังผิวหน้าของตัวกลางที่ 3 อีก และแสงส่วนน้อยหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่ 1 การสะท้อนกลับนี้เอง ที่ทำให้ผิวหน้าของตัวกลางที่ 3 ได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

ระบบติดตามดวงอาทิตย์

3.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. แบบตั้งอยู่กับที่ (Fixed)

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่ มีข้อดีคือติดตั้งง่าย สะดวกและไม่ยุ่งยากมากนัก แต่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถที่จะรับพลังงานจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาเช้าและเย็นได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะไม่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. แบบใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking System)

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้นกระบวนการติดตั้งอาจยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าแบบตั้งอยู่กับที่ แต่พลังงานที่ได้รับจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะเพิ่มขึ้นประมาณ 30%-50% เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จะสามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปตามแสงของดวงอาทิตย์ได้แม้แต่ช่วงเวลาเช้าและเย็นดังนั้นลำแสงของดวงอาทิตย์จึงตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 แบบคือ

1. ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว (One axis Tracker)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้วยระบบนี้สามารถเคลื่อนที่ได้เพียงแกนเดียว คือ ตั้งให้เอียงได้เพียงแกนใดแกนหนึ่ง เช่น แกนเหนือ-ใต้ หรือ แกนตะวันออก-ตะวันตก แล้วแต่ตำแหน่งที่ตั้งของแผงเซลล์นั้นๆ

2. ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแกน (Two axis Tracker)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้วยระบบนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แกนแกนคือ แกนอัลติจูดกับแนวอะซิมุท ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแกนนี้จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานเฉลี่ยต่อวันมากกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากสามารถที่จะรับพลังงานจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เนื่องจากวงโคจรของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและ โลกมีการโคจรรอบตัวเองทำให้มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับตำแหน่งเดียวกันในแต่ละวันเปลี่ยนไปในทุกๆวัน ซึ่งสามารถคำนวณมุมเอียงของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับแต่ละตำแหน่งในแต่ละวันได้โดยใช้สูตรเอ็มพิริคัล (Empirical) เพื่อใช้คำนวณหามุมเดคลิเนชัน (Declination)

3.2.1 มุมเดคลิเนชัน

มุมเดคลิเนชัน เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีของดวงอาทิตย์และเส้นศูนย์สูตรของโลก โดยเส้นศูนย์สูตรของโลกจะเอียงทำมุม 23.45° ตลอด เมื่อเทียบกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้น มุมเดคลิเนชัน จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 23.45° N ถึง 23.45° S นั่นคือประเทศที่มีที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 23.45° N ถึง 23.45° S จะมีโอกาสพบกับอุณหภูมิที่สูงสุดของโลก เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดฤดูกาลขึ้น

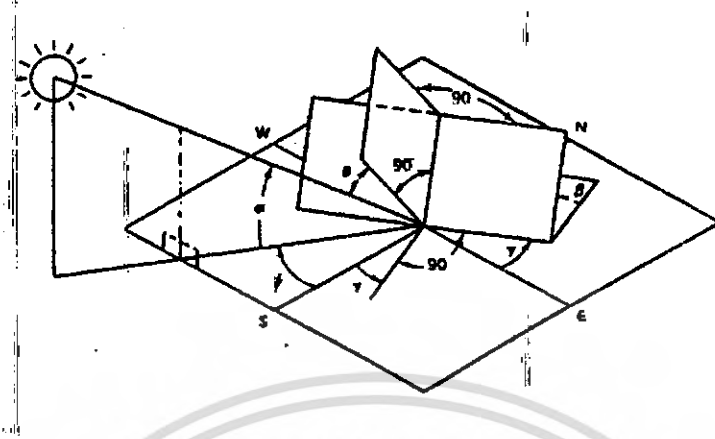
$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(\left(\frac{284 + N}{N_y}\right) \times 360\right) \quad (3.1)$$

เมื่อ δ คือ มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกในแต่ละวันซึ่งมีค่าตั้งแต่ 23.45° จนถึง -23.45°

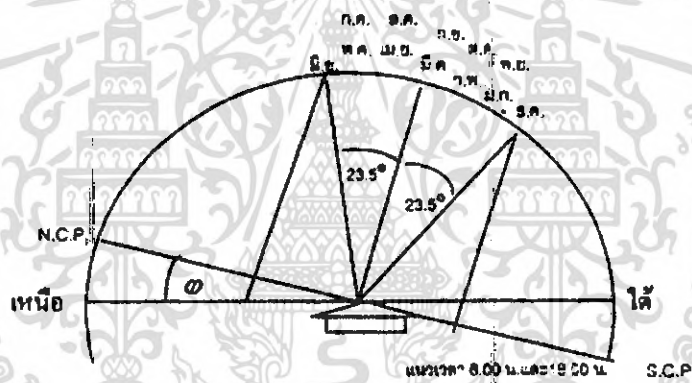
N คือ จำนวนนับตั้งแต่ 1 มกราคม จนถึงวันที่ต้องการหา

N_y คือ จำนวนวันในปีนั้นๆ

โดยวันที่ต้องการคำนวณจะกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม มีค่าเป็น 1 ดังนั้นหากต้องการคำนวณวันที่ 5 มีนาคม จะทำให้วันที่ต้องการคำนวณมีค่าเป็น 64 (มาจาก $31+28+5$) และ มุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จะมีค่าเป็นบวกเมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร และจะมีค่าเป็นลบเมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร



รูปที่ 3.4 การพิจารณามุมต่างๆเพื่อหามุมเคลื่นชั้น



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับ โลกในรอบ 1 ปี

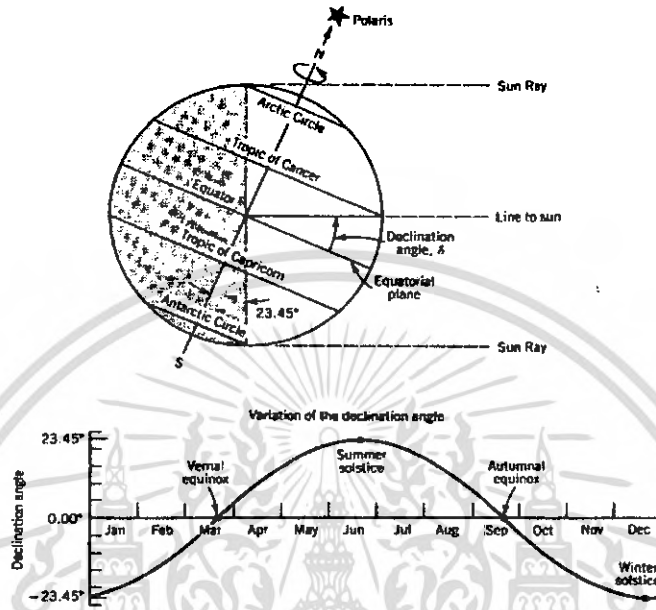
จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 1 ปีนั้น ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้น โลกตามแนวตั้งตั้งแต่ 23.45 องศา ถึง -23.45 องศา ดังนั้นมุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถรับพลังงานมากที่สุดจะคำนวณได้จาก

$$\beta = \phi \cdot \delta \tag{3.2}$$

- เมื่อ β = มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ϕ = มุมเส้นละติจูดของสถานที่ตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- δ = มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับ โลกในแต่ละวันซึ่งมีค่าตั้งแต่ 23.45° จนถึง 23.45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมุมเดคลิเนชัน ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ ดังรูปที่ 3.6

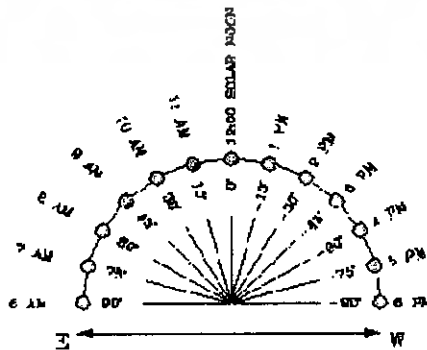


รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมเดคลิเนชันภายในช่วง 1 ปี

3.2.2 มุมของชั่วโมง (Hour Angle)

เป็นค่าของมุมระหว่างเส้นที่เชื่อมตรงมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับเส้นที่ลากมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง โดยมันจะมีค่าเท่ากับ 15° ต่อชั่วโมง (หรือ 1° ต่อ 4 นาที) ในขณะที่โลกหมุน 360° ทุกๆ 24 ชั่วโมง ค่ามุมของชั่วโมงจะเป็นค่าบวกก่อนเที่ยงและจะเป็นค่าลบหลังเที่ยง

$$H = (\text{เวลาหน่วยเป็นนาทีที่เหลื้ก่อนถึงเที่ยงวัน}) / 4 \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.7 แสดงมุมของชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 มุมอัตรัดิจูด (β) และ มุมอะซิมูท (ϕ)

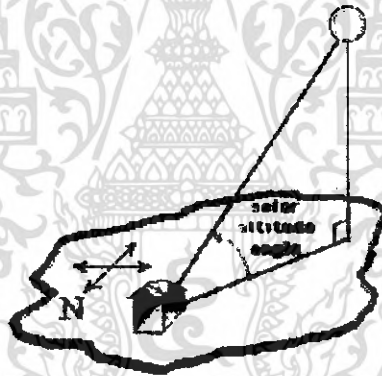
ทั้งค่ามุมอัตรัดิจูดและค่ามุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์สามารถใช้ระบุตำแหน่งที่แน่นอนของดวงอาทิตย์ได้มุมอัตรัดิจูด เป็นมุมที่วัดจากแนวระนาบ ไปยังความสูงของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า (มุมเงย) แต่มุมอะซิมูท เป็นมุมที่เกิดขึ้นในแนวอนระหว่างตำแหน่งเงาบนพื้นดินของดวงอาทิตย์กับทิศใต้ (องศาใต้-วทวนเข็มนาฬิกา) หรือทิศเหนือ (องศาเหนือ-ทวนตามเข็มนาฬิกา)

Solar Altitude Angle

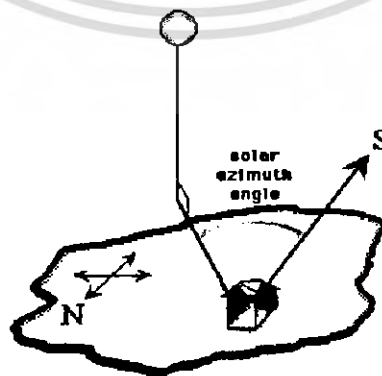
$$\beta = \sin^{-1} \{ [\cos(\text{ละติจูด}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(H)] + [\sin(\text{ละติจูด}) \cdot \sin(\delta)] \} \quad (3.4)$$

Solar Azimuth Angle

$$\phi = \cos^{-1} \{ \{ [\sin(\beta) \cdot \sin(\text{ละติจูด})] - \sin(\delta) \} \div \{ \cos(\beta) \cdot \cos(\text{ละติจูด}) \} \} \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.8 แสดงมุมอัตรัดิจูด



รูปที่ 3.9 แสดงมุมอะซิมูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการและการออกแบบ

รูปแบบในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งรูปแบบการติดตั้งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก ๆ นั่นคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยกำหนดค่ามุมคงที่ที่ทำกับพื้นระนาบไว้ ซึ่งมีการติดตั้งอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งแบบอยู่กับที่ในแนวระดับ
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งแบบอยู่กับที่ทำมุมเอียงกับพื้นระนาบตามตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานที่ติดตั้ง

กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนระนาบรับแสงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้

ซึ่งเมื่อนำประสิทธิภาพการรับพลังงานมาเปรียบเทียบกันแล้วผลที่ได้จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ทำมุมเอียงกับพื้นระนาบตามตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานที่ติดตั้งจะมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ในแนวระดับ แต่ประสิทธิภาพการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ในแนวระดับอาจจะมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบอยู่กับที่ทำมุมเอียงกับพื้นระนาบตามตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานที่ในบางวัน เนื่องมาจากมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกมีค่าเข้าใกล้ศูนย์องศา ซึ่งสามารถคำนวณมุมเคลื่อนขึ้นได้โดยใช้สูตรเอิมพิริกัล

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนหน้าสัมผัสรับแสงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนระนาบรับแสงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 1 แนวแกน โดยเคลื่อนที่ในแนวตะวันออกไปยังตะวันตก
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนระนาบรับแสงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 2 แนวแกน ซึ่งประกอบด้วย

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่เคลื่อนที่ได้อิสระตามทิศทางและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่เคลื่อนที่ตามการคำนวณจากสมการ ซึ่งกำหนดค่ามุมในแนวเหนือ – ใต้ไว้ โดยการคำนวณจากมุมเคลื่อนขึ้น (โดยจะนำค่ามุมเส้นละติจูดของตำแหน่งนั้นลบด้วยมุมเคลื่อนขึ้น) ซึ่งมุมเคลื่อนขึ้นนี้จะเปลี่ยนแปลงทุกวัน และให้ระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่จากแนวตะวันออกไปยังตะวันตก

ซึ่งเมื่อนำประสิทธิภาพในการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบแล้วผลที่ได้จะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเคลื่อนระนาบรับแสงได้ 2 แนวแกนจะมีประสิทธิภาพมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเคลื่อนระนาบรับแสงได้ 1 แนว และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนระนาบรับแสงได้อิสระตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพในการรับพลังงานมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เคลื่อนระนาบรับแสงตามการคำนวณจากสมการ

ในโครงการนี้เป็นการศึกษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงาน ได้มากที่สุด ระบบที่เลือกใช้นั้นจะเป็นระบบที่สามารถเคลื่อนระนาบรับแสงได้โดยอิสระ การเคลื่อนระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับพลังงานสูงสุดนั้นจำเป็นที่จะต้องให้ระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา แต่พลังงานที่ได้รับมานั้นส่วนหนึ่งจะต้องสูญเสียไปกับการขับเคลื่อนชุดคั่นกำลังเพื่อเคลื่อนระนาบรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยการทดลองหาประสิทธิภาพการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์นั้น ทำโดยทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่เก็บสะสมในแบตเตอรี่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ที่มุม ได้รับพลังงานมากที่สุดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำการทดลองในเวลาเดียวกันสถานที่เดียวกัน อุปกรณ์การทดลองที่ใช้มีประสิทธิภาพเท่ากัน เพื่อนำพลังงานที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

4.1 หลักการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์

4.1.1 ลักษณะฐานที่ใช้วางแผงเซลล์

ฐานตั้งแผงเซลล์เป็นสิ่งสำคัญเพราะในการใช้งานจริงสภาพแวดล้อมภายนอกล้วนแต่มีผลต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น ฐานตั้งแผงเซลล์ที่ดีควรมีความแข็งแรงทนทานเพื่อให้แผงเซลล์สามารถคงค่าองศาที่ต้องการ ไว้ได้ และทนต่อลม ฝน และความชื้น

4.1.2 ชุดตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์

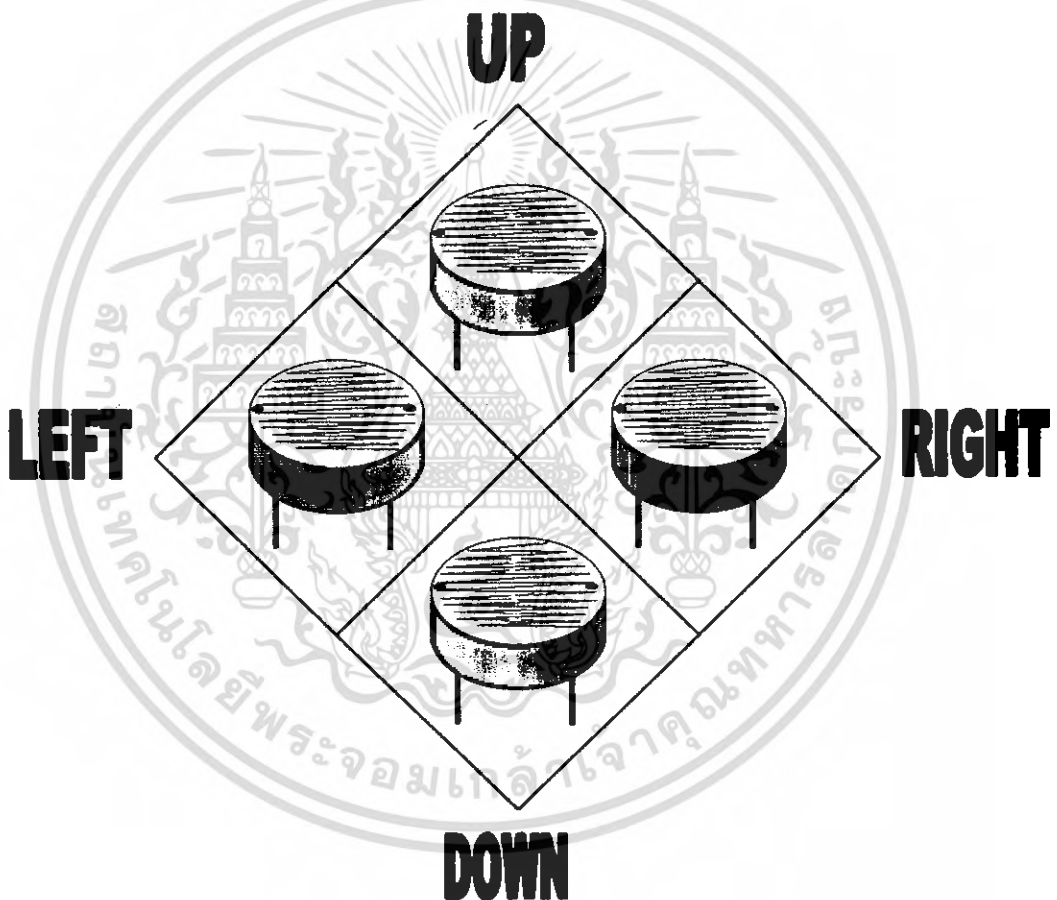
การตรวจจับทิศทางและตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “ตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง” หรือ แอลดีอาร์ โดยติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางของแผงรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกมาก รังสีตกกระทบลงบนพื้นโลกจึงมีลักษณะเกือบจะขนานกันหรือไม่สามารถอ้างว่าแสงเหล่านี้มาจากแหล่งกำเนิดจุดเดียว ดังนั้นสูตรที่อ้างว่าความเข้มแสงแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง จึงนำมาใช้ไม่ได้ ในการกลับกันถ้าถือว่าดวงอาทิตย์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงจุดเดียวระยะทางที่แสงตกลงมาบนชุดตรวจจับแสงเกือบเท่ากัน ดังนั้น เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเอียงไปเท่าไรความเข้มแสงของแสงบนตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงแต่ละตัวจะมีค่าเท่าๆกัน

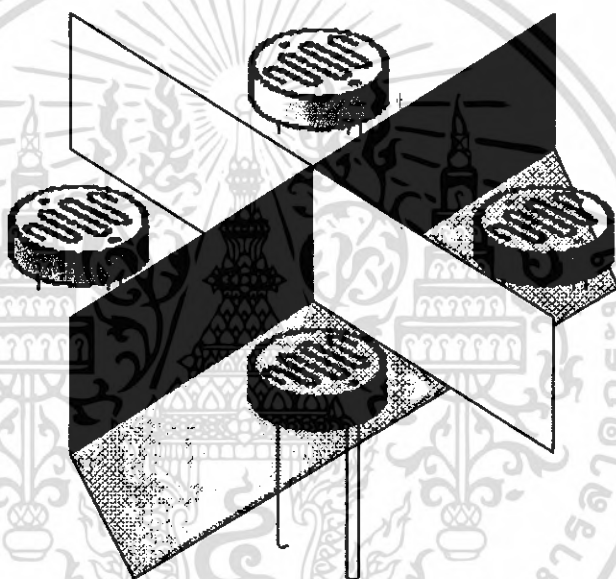
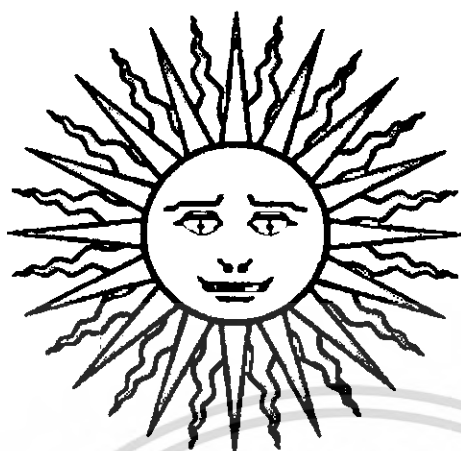
ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นๆ ที่ทำให้ความเข้มแสงบนตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการนำฉากกั้นมาบังตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงแต่ละตัวในแต่ละทิศทางเราจะได้ชุดตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่จะส่งสัญญาณเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบในแต่ละแนวแกน



รูปที่ 4.1 ลักษณะการวางตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแสง

หลักการออกแบบด้วยการใช้แอลซีอาร์ จำนวน 4 ชุด เป็นตัวตรวจจับแสง โดยจัดวางในแกนตั้งและแกนนอนและมีการออกแบบฉากกั้นบังแสงเพื่อให้เกิดเงา วงจรจะทำการปรับรอบศาโดยสั่งให้มอเตอร์ทำงานจนกว่าแอลซีอาร์ทั้งสองตัวได้รับแสงเท่ากัน กลไกการทำงานนี้ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหมุนไปตั้งฉากกับแสงของดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หลักการทำงานของตัวด้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแสง

4.1.3 วงจรที่ใช้ในระบบติดตามดวงอาทิตย์

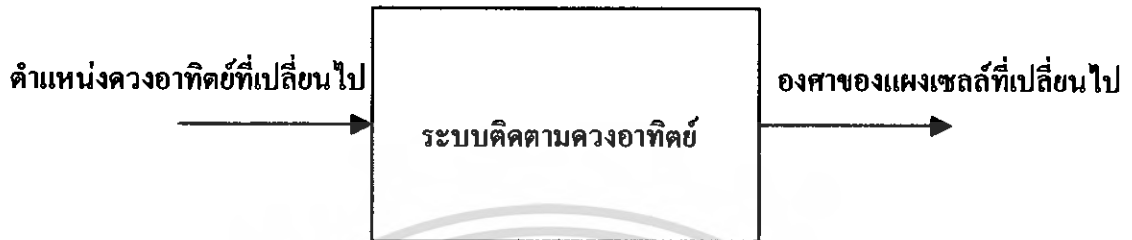
แนวคิดในการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้หลักการง่ายๆดังเช่นที่เคยเห็นในหุ่นยนต์ประเภท BEAM Robot มาเป็นกลไกหลัก

ซึ่งโดยรวมความหมายง่ายๆของ BEAM คือ เครื่องจักรกลอิเล็กทรอนิกส์ที่เลียนแบบพฤติกรรมธรรมชาติ เช่น หันตามแสง เป็นต้น โดยเอกลักษณ์ของ BEAM อีกอย่างหนึ่ง คือ ไม่มีการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่โปรแกรมคำสั่งต่างๆลงไป

เราจึงทำการออกแบบวงจรที่เหมาะสมคือเป็นวงจรง่ายๆ ที่สามารถทำงานร่วมกับการรับแสงของแอลดีอาร์ได้และสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ด้วย โดยสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ การทำงานภายใต้ช่วงเวลาที่ผ่านไปได้อย่างเรื่อยๆ ซึ่งก็คือวงจรที่สามารถสร้าง Timing ให้ตัวมันเองสามารถทำงานได้



รูปที่ 4.3 ลักษณะหน้าที่ของระบบติดตามควงอาทิตย์

4.1.3.1 วงจรไอซี 555

ไอซี เบอร์ 555 เป็น timer IC มีคุณสมบัติที่เด่นหลักๆคือ สามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาได้เอง จากค่า R และค่า C ที่เหมาะสมในโหมดการทำงานต่างๆเราสามารถแบ่งโหมดการทำงานของ IC 555 ได้ดังนี้

- ออสเตเบิล(Astable) – ใช้สร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave)
- โมโนสเตเบิล(Monostable) – ใช้สร้างสัญญาณหนึ่งลูกคลื่น เมื่อมีสัญญาณมากระตุ้น
- ไบสเตเบิล(Bistable) – ใช้เป็นหน่วยความจำอย่างง่ายๆทำงานเป็น Flip-Flop สามารถ Set และ Reset ได้
- Buffer(Schmitt trigger) – คือเมื่ออินพุต(Input)เปลี่ยนเอาต์พุต(Output)ก็จะเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม(Not Gate)

โดยในส่วนของระบบติดตามควงอาทิตย์จะใช้โหมดการทำงานคือ โหมด โมโนสเตเบิล และ โหมดออสเตเบิล(Timer)

โหมดโมโนสเตเบิลจะสร้างคลื่นสัญญาณพัลส์ออกมาเมื่อมีสัญญาณมา Triggered ที่ถูกเรียกว่า โมโนสเตเบิล ก็เพราะว่าจะสเตเบิล(Stable)หรือคงค่าไว้ได้แค่หนึ่งสถานะ คือช่วงที่ให้เอาต์พุตเป็นค่าศูนย์ ส่วนสถานะที่เอาต์พุตจ่ายไฟเท่ากับ V_{cc+} นั้นจะเกิดขึ้นแค่ชั่วคราว

ช่วงเวลาของเอาต์พุตพัลส์ที่เรียกว่า time period (T) นี้พิจารณาจากอุปกรณ์ RC (Timing Component) คือ ตัวต้านทาน R, และ ตัวเก็บประจุ C, ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = 1.1R_1C_1$$

- เมื่อ T = ช่วงคาบเวลา หน่วยเป็น วินาที (s)
 R_1 = ค่าความต้านทานมีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)
 C_1 = ค่าความจุหน่วยเป็นฟารัด (F)



รูปที่ 4.4 ลักษณะสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 ในโหมด โมโนสเตเบิลจะ ได้สัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น

การเลือกค่าอุปกรณ์ที่เหมาะสมนั้นต้องเลือกค่า R_1 และ ค่า C_1 ที่หน่วยสัมพันธ์กัน เช่นเมื่อค่า $R_1 = 1\text{ M}\Omega$ และ $C_1 = 1\text{ }\mu\text{F}$ ขนาดเอาต์พุตพัลส์จะคงอยู่เป็นระยะเวลา 1.1 วินาที เป็นต้น

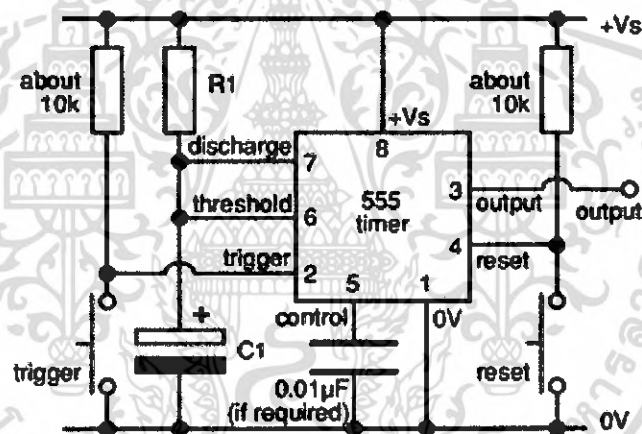
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบหน่วยของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อคุณสมบัติของเวลา

<i>resistance</i>	<i>capacitance</i>	<i>period</i>
Ω	F	s
$\text{M}\Omega$	μF	s
$\text{k}\Omega$	μF	ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

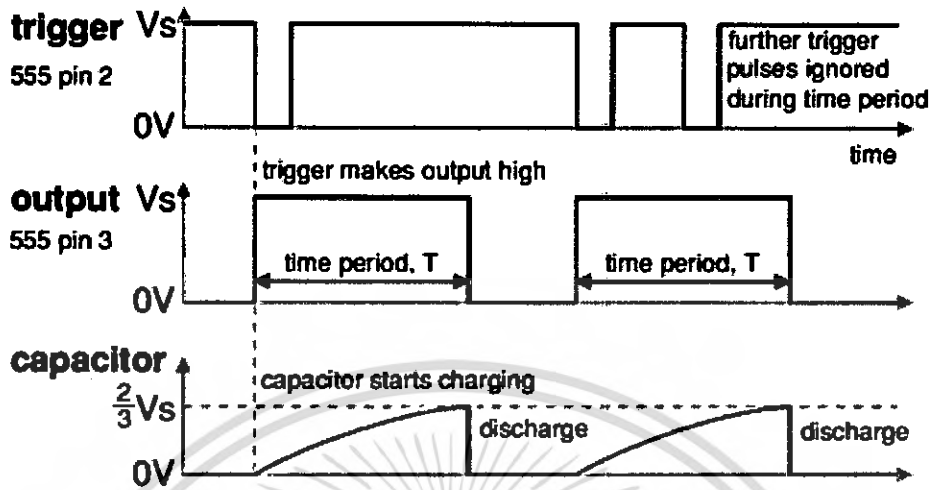
ข้อแนะนำในการเลือกค่าอุปกรณ์

1. ให้เลือกค่า C_1 ก่อน เพราะตัวเก็บประจุมีค่าให้เลือกน้อย
2. เลือกค่า R_1 เพื่อให้ได้เวลาตามช่วงที่ต้องการ ช่วงที่แนะนำควรอยู่ระหว่าง $1k\Omega$ ถึง $1M\Omega$ ถ้าใช้ R_1 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ควรใช้ตัวต้านทานธรรมดาที่มีค่าน้อย $1k\Omega$ มาต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้
3. สำหรับตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์นั้นค่าความจุจะมีค่าผิดพลาดมาก โดยปกติมีค่าผิดพลาดประมาณ 20%

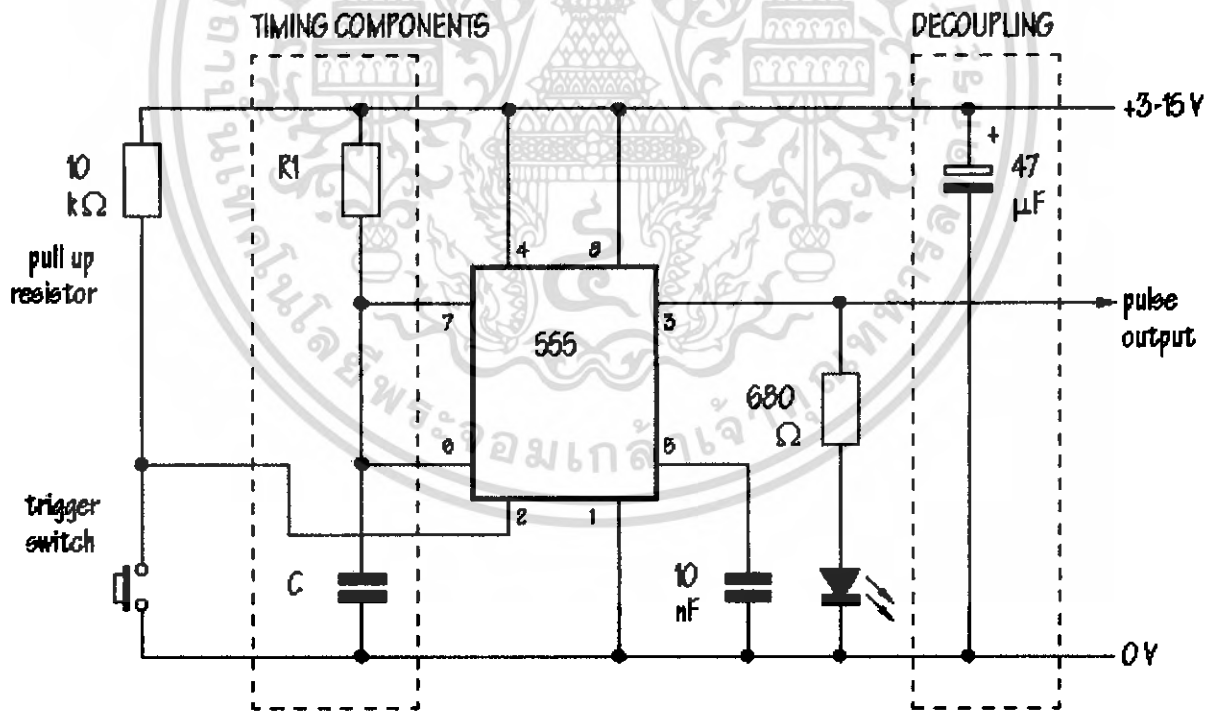


รูปที่ 4.5 วงจร ไอซี 555 ใน โหมด โม โนสเทเบิลจะ ได้สัญญาณTrigger จากการกดสวิตช์

การทำงานของไอซี 555 คือ เมื่อขา 2 มีการเปลี่ยนแปลง โวลต์จาก High มาเป็น Low ที่ขอมขา 2 จะมีเอาต์พุตออกไปที่ขา 3 เป็นช่วงเวลาเท่ากับ T



รูปที่ 4.6 ลักษณะ Timing Diagram ของไอซี 555 เมื่อมีสัญญาณ Trigger มากระทำ



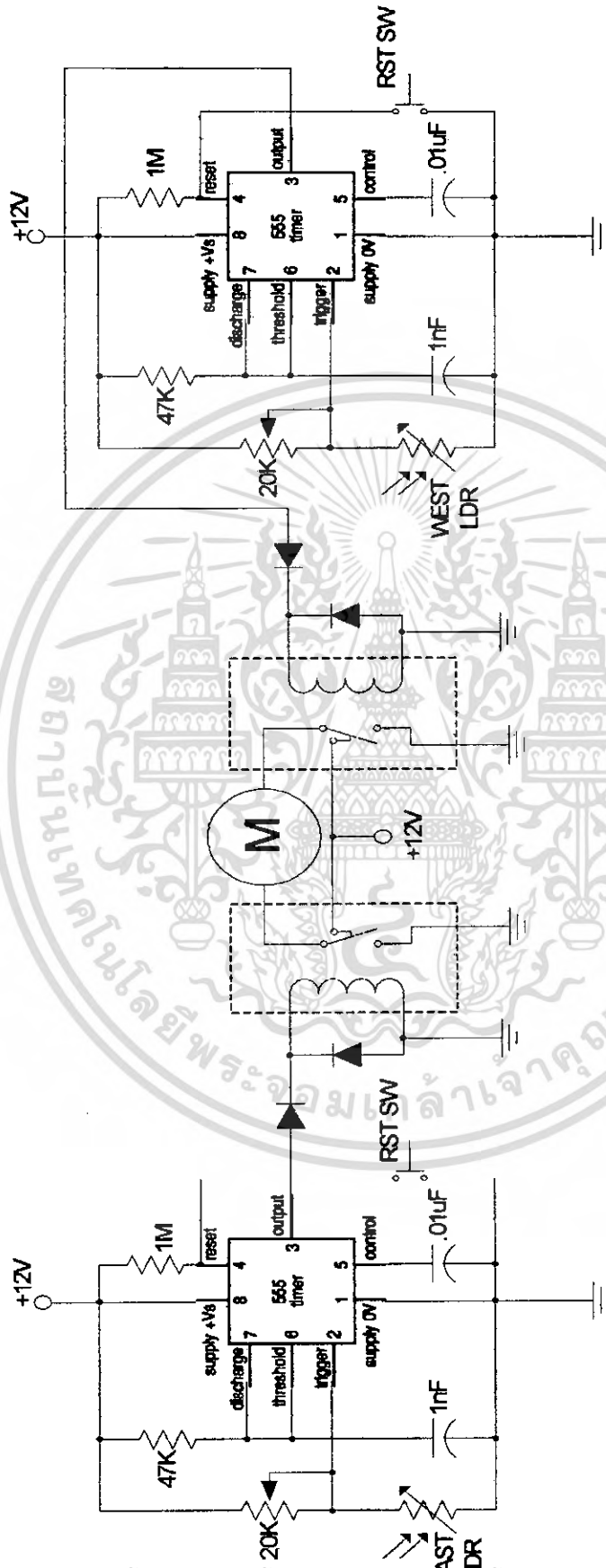
รูปที่ 4.7 วงจร โมโนสเตเบิลจะแสดงให้เห็นว่าส่วนของ R, และ C, มีความสำคัญต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบประยุกต์ใช้งานทำได้โดยเปลี่ยน trigger switch ด้วยอุปกรณ์รับแสง จากรูปวงจร จะเห็นได้ว่าที่ขา 2 ซึ่งเป็นขา trigger ของไอซี 555 มีส่วนของ pull up resistor ต่ออยู่ ซึ่งเมื่อทำการ กด trigger switch แล้ว trigger switch ซึ่งถือว่ามีค่าความต้านทานต่ำมากจะมีหน้าที่เป็นตัว pull down เสมือนการจับขา 2 ต่อดลงกราวด์ เราจึงใช้หลักการเดียวกันนี้ได้โดยเปลี่ยน trigger switch เป็นตัว ต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงหรือที่เรียกว่าแอลซีอาร์ ซึ่งเมื่อมีแสงที่สว่างมากความต้านทานของแอล ซีอาร์จะลดลงเสมือนการต่อดลงกราวด์ของขา 2 นั้นเอง

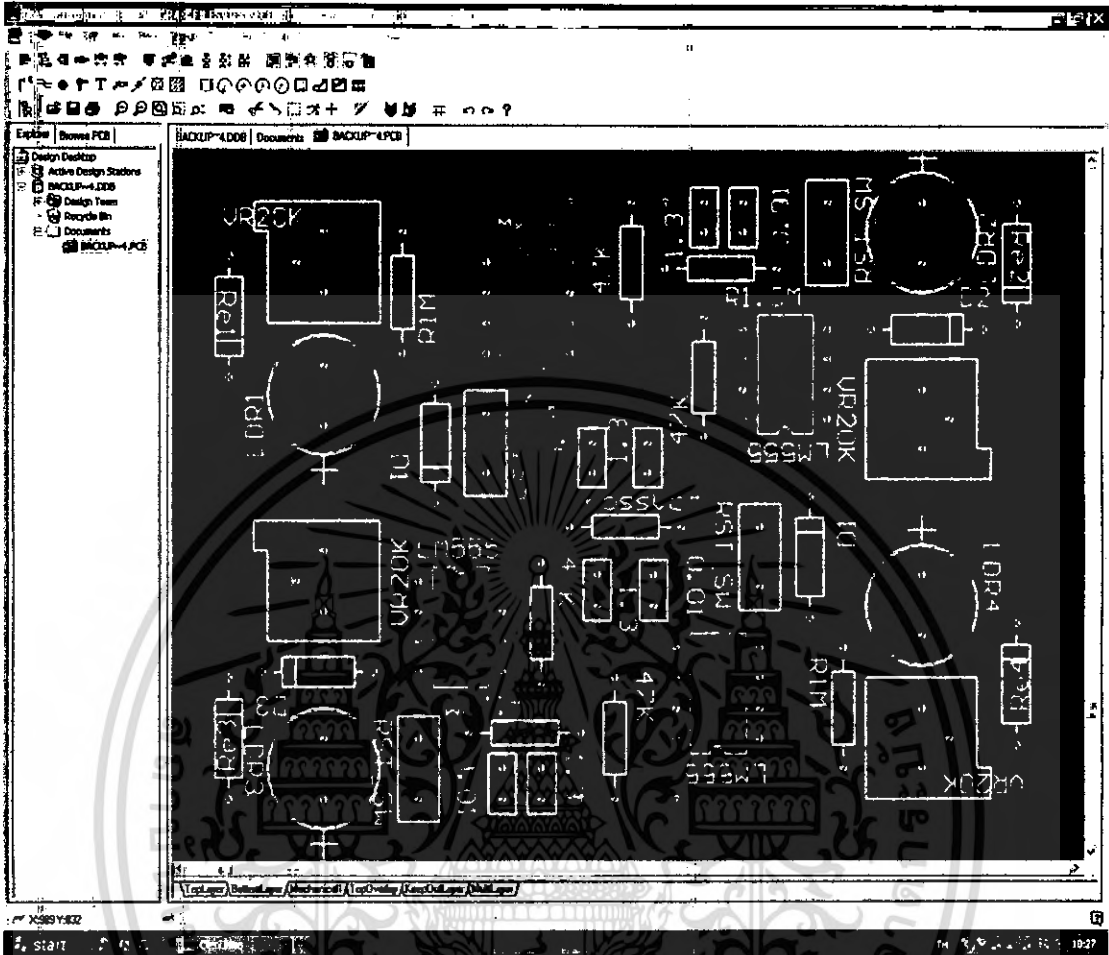
เมื่อมีเอาต์พุตที่ขา 3 ออกมาในช่วง T นั้น เราจะนำเอาต์พุตไปใช้ต่อโดยการนำไปจับมอเตอร์ อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในวงจรนี้คือรีเลย์ โดยรีเลย์จะทำงานเมื่อมีศักย์ไฟฟ้ามาครบคร่อมขดลวดของรีเลย์ รีเลย์ก็จะสับสวิทช์ หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนจากขั้ว NC Normal Close ไปเป็น NO Normal Open และมีการต่อชุดไดโอดไว้เพื่อป้องกัน Back EMF จากขดลวดของรีเลย์





รูปที่ 4.8 ลักษณะผังวงจรระบบติดตามดวงอาทิตย์ในหนึ่งแนวแกนจะประกอบด้วยไอซี 555 จำนวน 2 ชุด มอเตอร์ 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

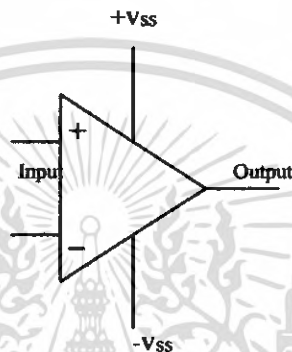


รูปที่ 4.9 ลักษณะของลายวงจรที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Protel 99SE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 วงจรออปแอมป์

การออกแบบวงจรนี้เราได้เลือกใช้ออปแอมป์(Operation Amplifier)โดยใช้คุณสมบัติพื้นฐานคือทำงานเป็นตัวเปรียบเทียบ(Comparator)ซึ่งเมื่อโวลต์แดง(Voltage)ที่ขาบวกมากกว่าขาลบในโหมด non-inverting แล้วโวลต์แดงที่ขาเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ $+V_{ss}$ แต่ถ้าเมื่อVoltageที่ขาบวกน้อยกว่าขาลบเมื่อใด โวลต์แดงที่ขาเอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับ $-V_{ss}$ นั่นที่



รูปที่ 4.10 ลักษณะรูปแบบพื้นฐานของออปแอมป์

การออกแบบวงจรประยุกต์ใช้งาน โดยใช้ร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าตามแสงเป็นตัวรับแสงจะใช้ Comparator หนึ่งตัวต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ตามแสงหนึ่งตัว โดยเราจะใช้ตัวต้านทานเพื่อทำการปรับค่าแรงดัน (Voltage Offset) ที่ขาของออปแอมป์ จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ขาลบของออปแอมป์ A1 จะมีค่าน้อยกว่า $+V_{ss}$ หรือ $+12V$ ซึ่งเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบบที่ตัวแอลดีอาร์ทางตะวันออก(EAST LDR)ทำให้ความต้านทานระหว่าง $+V_{ss}$ กับขาบวกของออปแอมป์ A1 ลดลงมากทำให้ออปแอมป์ A1 จ่ายสัญญาณเอาต์พุตออกมา

ในทางกลับกันถ้าพิจารณาที่ออปแอมป์ A2 ก็มีการใช้ตัวต้านทานเพื่อทำการปรับค่าแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ A2 ดังนั้นเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบบที่ตัวแอลดีอาร์ทางตะวันตก(WEST LDR)ทำให้ความต้านทานระหว่าง $-V_{ss}$ กับขาลบของออปแอมป์ A2 ลดลงมากมีผลทำให้ออปแอมป์ A2 จ่ายสัญญาณเอาต์พุตออกมา

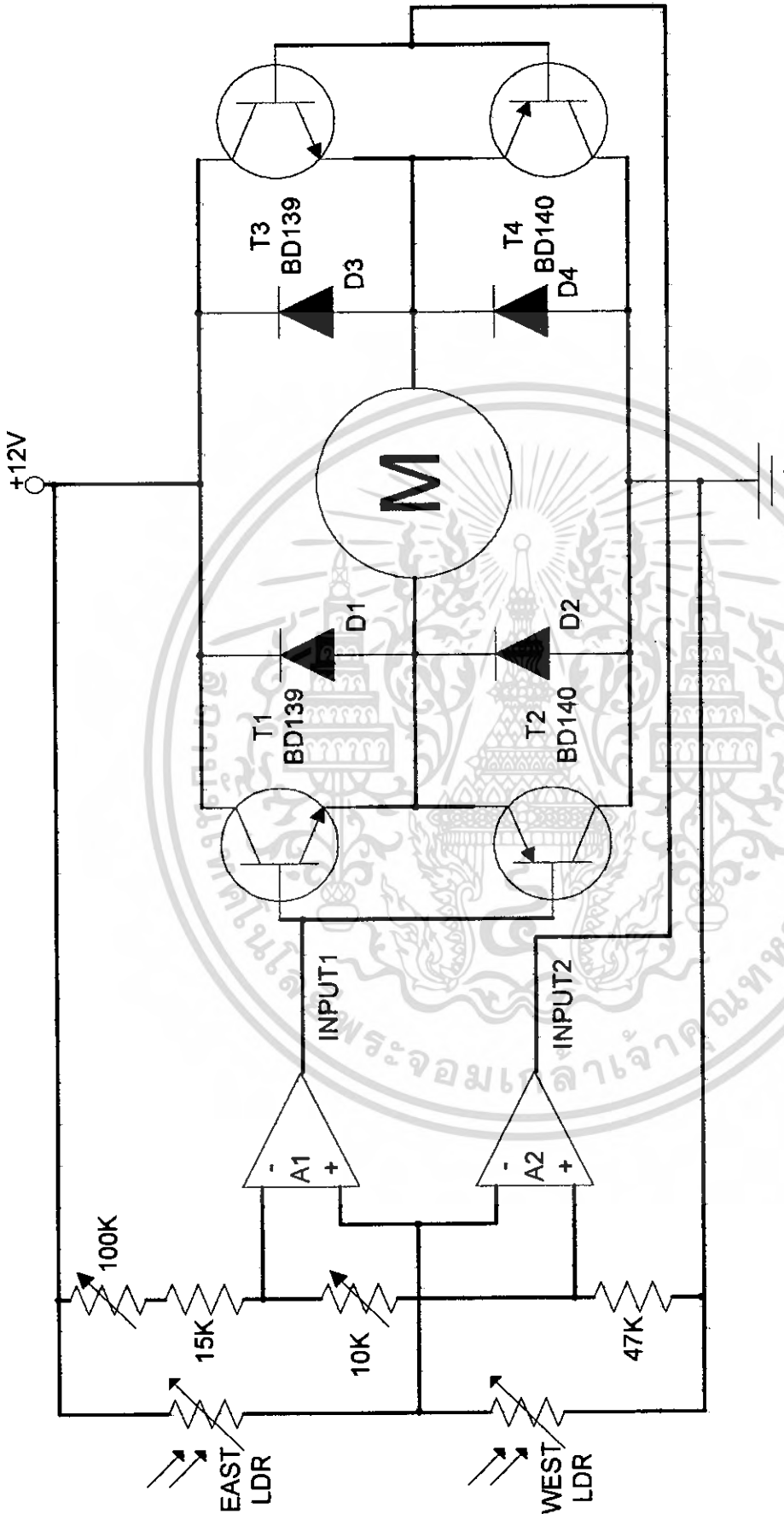
เมื่อพิจารณาถึงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จึงต้องกล่าวถึงการใช้งานทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็น-พี-เอ็น (NPN) เป็นสวิตช์ ซึ่งจะทำงานเมื่อขาเบสเป็นบวกมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ “ON” ในทางกลับกัน ทรานซิสเตอร์ชนิดพี-เอ็น-พี (PNP) จะอยู่ในสถานะ “ON” เมื่อขาเบสเป็นลบ

ถ้าทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ “ON” เปรียบเสมือนขาคอลเลกเตอร์และขาอีมิเตอร์เชื่อมถึงกัน แต่จะมีการต่อไดโอดคร่อมระหว่างขาคอลเลกเตอร์กับขาอีมิเตอร์ เมื่อเกิดการกระชากของแรงดัน

จากมอเตอร์ในทางกลับกัน จะไหลผ่านไดโอดไปได้โดยไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย จากวงจร
ในรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าทรานซิสเตอร์ T1 และ T4 จะทำงานสลับกับทรานซิสเตอร์ T2 และ T3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ลักษณะผังวงจรของระบบติดตามดวงอาทิตย์ในหนึ่งแนวแกนจะประกอบไปด้วย Op-Amp 2 ชุด Motor 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่และแบบที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์

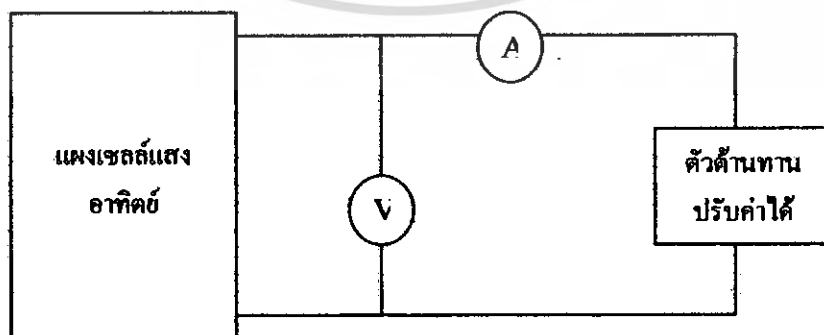
รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละแบบนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาความแตกต่างในเรื่องของประสิทธิภาพในการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่และแบบที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์

5.1.1 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และทำมุมกับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้

เพื่อศึกษาค่าพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ที่มุมต่างๆกันคือ 10 15 และ 20 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ โดยจะทำการวิเคราะห์จากค่ากระแส แรงดันและกำลังงานในแต่ละชั่วโมงตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. สถานที่ทำการทดลองคือคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งตั้งอยู่ละติจูดที่ 13.72 องศาเหนือ ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทำการทดลองจะต้องหันหน้ารับแสงไปทางทิศใต้

5.1.1.1 วิธีการทดลอง

1. ตัวอย่างรูป 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คัดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเอียงทำมุม 10 15 และ 20 องศากับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้

3. ทำการวัดและบันทึกค่าแรงดันเปิดวงจร(V_{oc}) กระแสลัดวงจร (I_{sc}) และวัดกระแสกับแรงดันที่ความต้านทานค่าต่างๆ โดยทำการวัดตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 17.00 น. ทุกๆ 1 ชั่วโมง

8. นำค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้มาคำนวณหาค่ากำลังงาน เพื่อนำมาเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 10 15 และ 20 องศากับพื้นระนาบ

5.1.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 4 กันยายน 2549

เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 10° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 20° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)
7.00 น.	112.368	133.950	91.764
8.00 น.	294.975	345.327	300.888
9.00 น.	483.342	482.394	460.700
10.00 น.	660.228	692.775	643.183
11.00 น.	787.649	761.336	747.479
12.00 น.	757.758	840.131	795.870
13.00 น.	765.883	785.980	795.314
14.00 น.	670.010	736.346	635.241
15.00 น.	639.724	643.183	598.045
16.00 น.	427.961	435.585	423.462
17.00 น.	170.699	181.635	162.780

ตารางที่ 5.2 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 1 กันยายน 2549

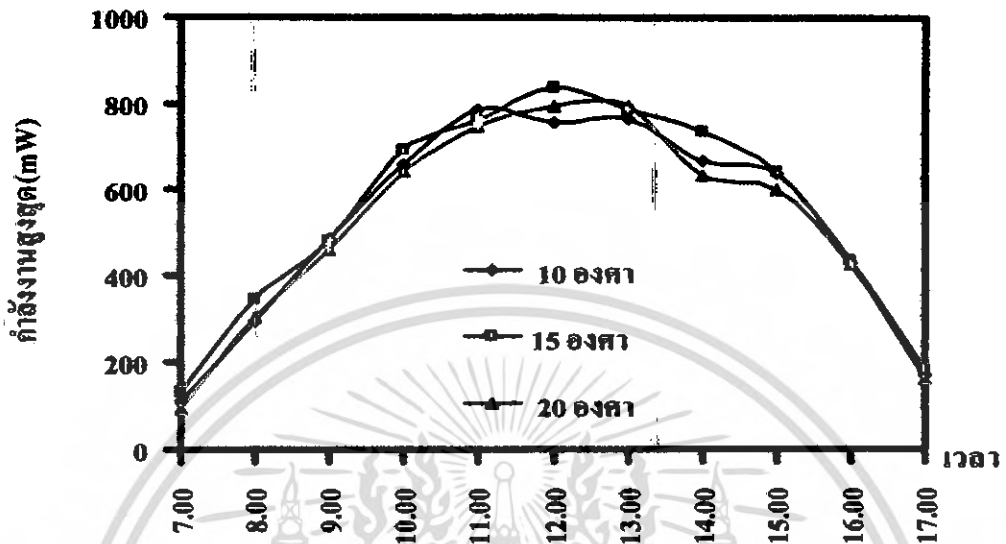
เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 10° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 20° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)
7.00 น.	138.576	140.525	134.790
8.00 น.	269.293	284.384	256.299
9.00 น.	559.430	657.335	532.126
10.00 น.	775.316	945.504	720.976
11.00 น.	941.788	945.322	934.982
12.00 น.	633.985	650.333	591.442
13.00 น.	309.605	356.907	296.016
14.00 น.	347.750	386.170	313.500
15.00 น.	316.437	330.375	288.736
16.00 น.	322.465	341.376	293.690
17.00 น.	161.100	174.896	148.232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

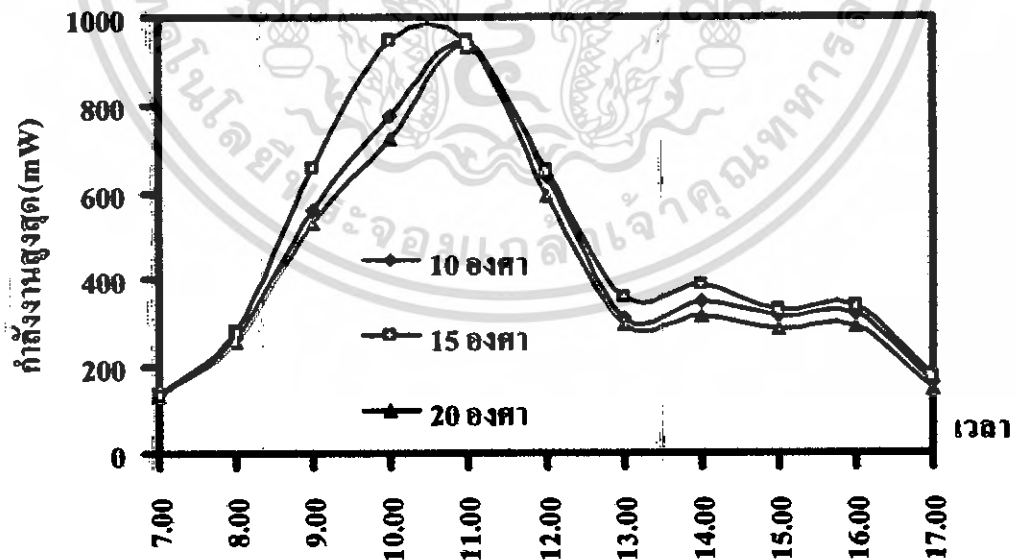
ตารางที่ 5.3 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549

เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 10° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 20° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)
7.00 น.	100.590	109.716	93.832
8.00 น.	158.422	192.010	137.900
9.00 น.	170.101	207.840	137.562
10.00 น.	378.705	429.512	336.336
11.00 น.	364.605	423.168	351.719
12.00 น.	337.905	360.101	291.798
13.00 น.	293.607	343.068	259.235
14.00 น.	346.202	378.224	299.795
15.00 น.	329.942	342.798	281.373
16.00 น.	279.510	309.360	254.700
17.00 น.	132.765	154.624	132.765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

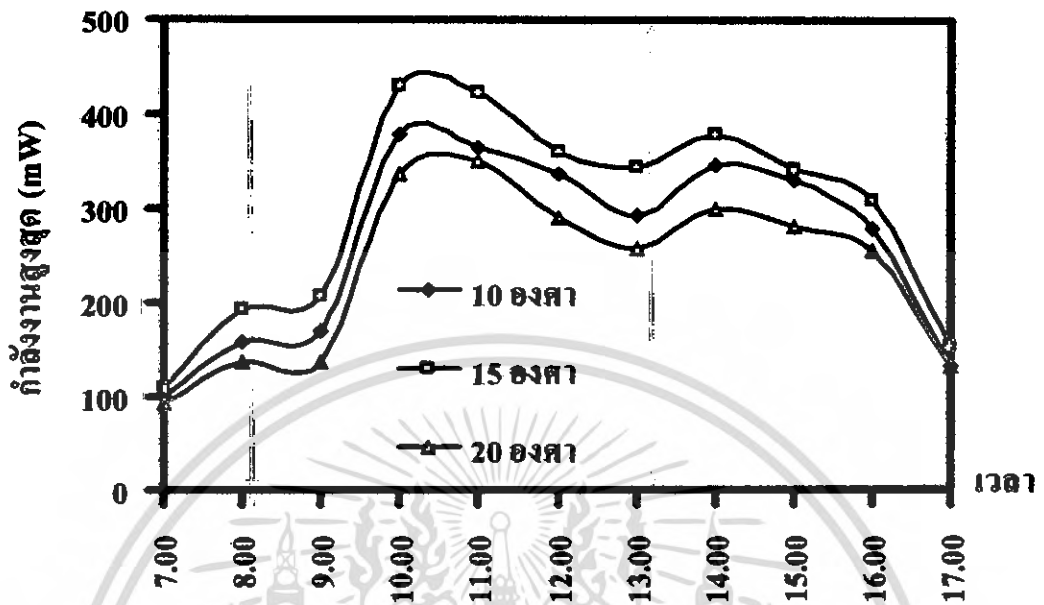


รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 4 กันยายน 2549



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 1 กันยายน 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



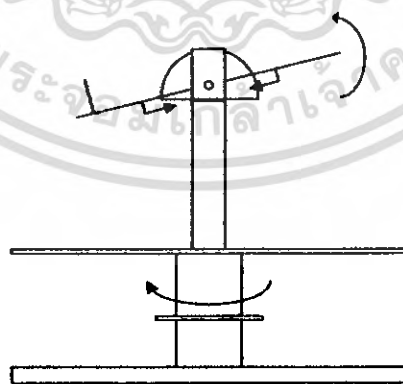
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549

5.1.2 การศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ ที่มุม 15 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์

เพื่อเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์ที่ติดตั้งบนแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงเซลล์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ที่ทำมุม 15 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ โดยจะทำการวิเคราะห์ค่ากระแส แรงดันและกำลังงานในแต่ละชั่วโมงตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 17.00 น.

5.1.2.1 วิธีการทดลอง

1. ต่อดวงจรรูป 5.1 แต่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์
2. ทำการวัดและบันทึกค่าแรงดันเปิดวงจร (Voc) กระแสลัดวงจร (Isc) และวัดกระแสกับแรงดันที่ความต้านทานค่าต่างๆ โดยทำการวัดตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 17.00 น. ทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยการทดลองจะใช้หลักการดูเงาพร้อมกับดูค่าของกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูงสุดเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งฉากของดวงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
3. นำค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้มาคำนวณหาค่ากำลังงาน
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน
5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดัน



รูปที่ 5.5 แบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์

5.1.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.4 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 4 กันยายน 2549

เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ของระบบติดตาม ดวงอาทิตย์ (mW)
7.00 น.	133.950	646.668
8.00 น.	345.327	750.522
9.00 น.	482.394	795.976
10.00 น.	692.775	811.736
11.00 น.	761.336	838.985
12.00 น.	840.131	871.537
13.00 น.	785.980	897.387
14.00 น.	736.346	845.148
15.00 น.	643.183	796.484
16.00 น.	435.585	542.340
17.00 น.	181.635	342.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 1 กันยายน 2549

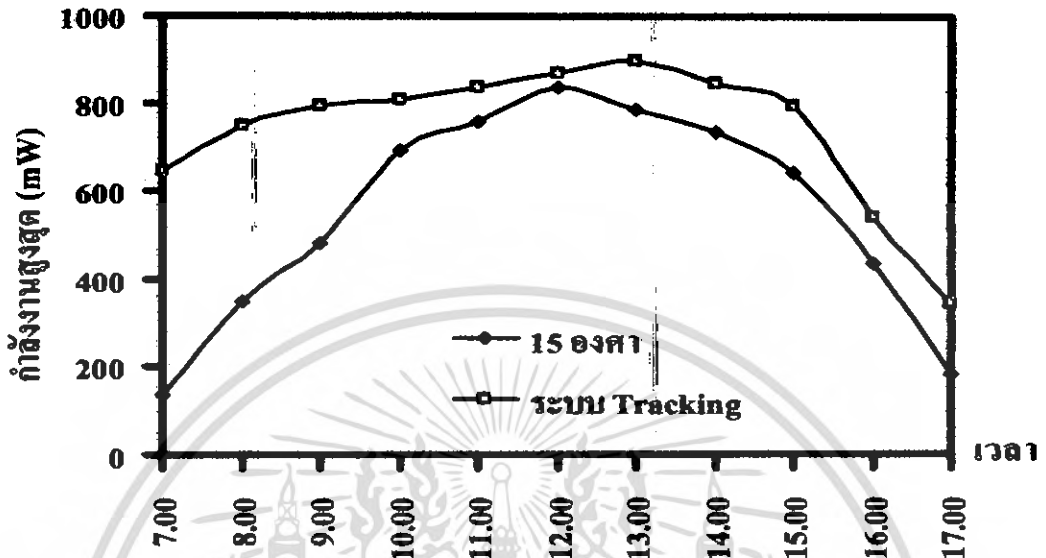
เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ของระบบติดตาม ดวงอาทิตย์ (mW)
7.00 น.	140.525	646.668
8.00 น.	284.384	646.153
9.00 น.	657.335	1054.649
10.00 น.	945.504	1105.500
11.00 น.	945.322	1079.469
12.00 น.	650.333	823.774
13.00 น.	356.907	383.070
14.00 น.	386.170	394.352
15.00 น.	330.375	500.243
16.00 น.	341.376	482.257
17.00 น.	174.896	210.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

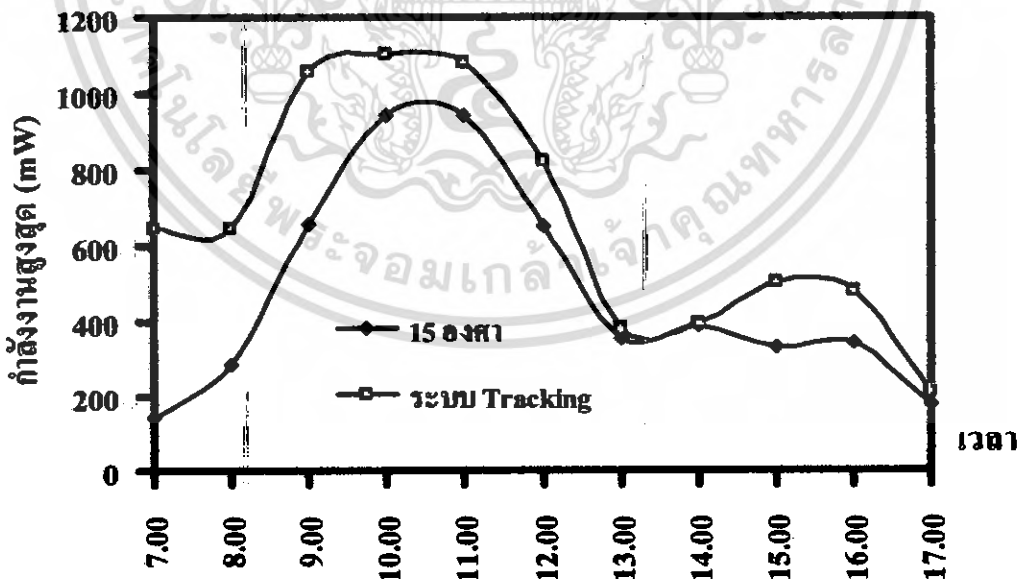
ตารางที่ 5.6 ค่ากำลังงานสูงสุดในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549

เวลา	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ที่ 15° กับพื้นระนาบ และหันไปทางทิศใต้ (mW)	กำลังงานสูงสุด (P_{max}) ของระบบติดตาม ดวงอาทิตย์ (mW)
7.00 น.	109.716	214.600
8.00 น.	192.010	260.100
9.00 น.	207.840	278.960
10.00 น.	429.512	494.440
11.00 น.	423.168	461.890
12.00 น.	360.101	457.798
13.00 น.	343.068	441.426
14.00 น.	378.224	443.658
15.00 น.	342.798	411.074
16.00 น.	309.360	415.118
17.00 น.	154.624	310.440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

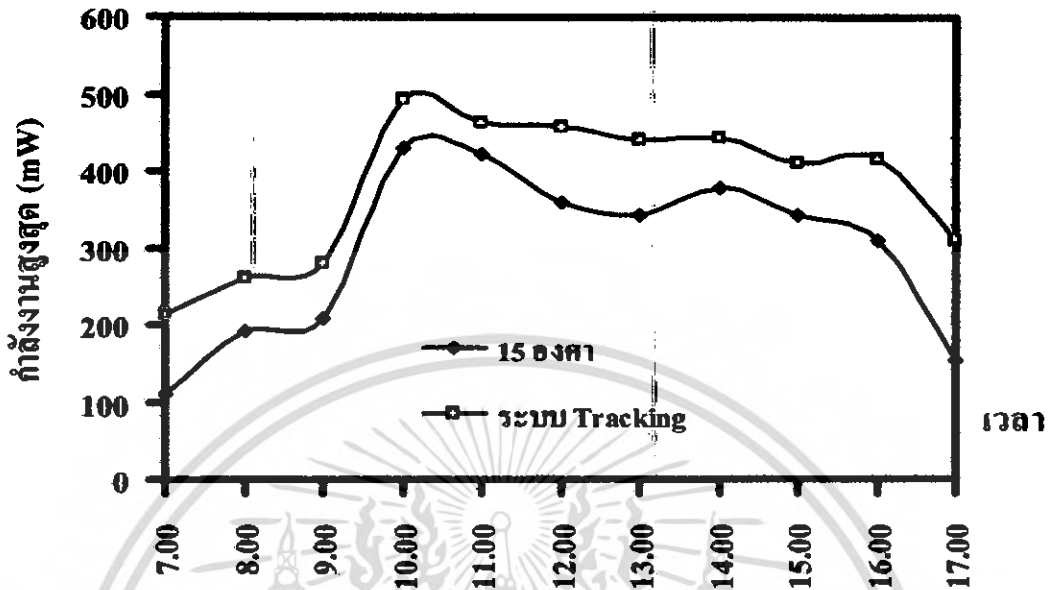


รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 4 กันยายน 2549



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 1 กันยายน 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับเวลาในแต่ละชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2549

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ และทำมุม 10° , 15° และ 20° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้

เวลา	วันที่	$P_{max}(mW)$	$P_{max}(mW)$	$P_{max}(mW)$	$\% P_{max}$	$\% P_{max}$
		10°	15°	20°	$15^\circ/10^\circ$	$15^\circ/20^\circ$
07.00 น.	4 ก.ย. 49	112.368	133.950	91.764	+16.11%	+31.49%
	1 ก.ย. 49	138.576	140.525	134.790	+1.38%	+4.08%
	26 ต.ค. 49	100.590	109.716	93.832	+8.31%	+14.47%
12.00 น.	4 ก.ย. 49	757.758	840.131	795.870	+9.80%	+5.26%
	1 ก.ย. 49	633.985	650.333	591.442	+2.51%	+9.05%
	26 ต.ค. 49	337.905	360.101	291.798	+6.16%	+18.96%
17.00 น.	4 ก.ย. 49	170.699	181.635	162.780	+6.02%	+10.38%
	1 ก.ย. 49	161.100	174.896	148.232	+7.88%	+15.24%
	26 ต.ค. 49	132.765	154.624	132.765	+14.13%	+14.13%

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุมต่างๆ กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้นั้น มุมที่ดีที่สุดในการติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ก็คือ การติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ เพราะจะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานมากกว่าการที่จะติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ในมุมอื่นๆ เนื่องจากว่าที่มุม 15° และหันไปทางทิศใต้นั้นเป็นมุมที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของประเทศไทยนั่นเอง และถ้าหากจะให้แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์จริงจะต้องรู้ถึงตำแหน่งในการติดตั้งแผงเซลล์ที่ถูกต้องเมื่อรู้ถึงตำแหน่งในการติดตั้งแผงเซลล์แล้วก็จะต้องมีอุปกรณ์ในการวัดมุมที่ละเอียดเพื่อให้การติดตั้งแผงเซลล์นั้นมีมุมที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์พอดี แต่เนื่องจากการทำแบบนี้เป็นเรื่องยุ่งยากและไม่จำเป็นเท่าที่ควร ดังนั้นในการติดตั้งแผงเซลล์จึงนิยมประมาณค่ามุมในการติดตั้งแผงเซลล์เป็นมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ซึ่งทำให้การติดตั้งแผงเซลล์นั้นง่ายและสะดวกกว่า

ถึงแม้การติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้จะเป็นมุมที่ดีที่สุดในการติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ แต่การติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้นั้นจะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากแผงเซลล์จะตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 12.00 น. เท่านั้นซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุด แต่ในเวลาอื่น ๆ แผงเซลล์จะไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ทำให้แผงเซลล์ได้รับพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานจากแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ หากเราสามารถที่จะทำให้แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลาได้ ก็จะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ และแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์

เวลา	วันที่	P_{max} (mW)	P_{max} (mW)	% P_{max}
		15°	Tracking	Tracking/ 15°
07.00 น.	4 ก.ย. 49	133.950	91.764	+79.28%
	1 ก.ย. 49	140.525	134.790	+78.26%
	26 ส.ค. 49	109.716	93.832	+48.87%
12.00 น.	4 ก.ย. 49	840.131	795.870	+3.60%
	1 ก.ย. 49	650.333	591.442	+21.05%
	26 ส.ค. 49	360.101	291.798	+21.34%
17.00 น.	4 ก.ย. 49	181.635	162.780	+46.90%
	1 ก.ย. 49	174.896	148.232	+16.75%
	26 ส.ค. 49	154.624	132.765	+50.19%

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ จะได้รับพลังงานน้อยกว่าแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเห็นความแตกต่างในการรับพลังงานของแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจนในช่วงเวลาเช้าและเย็น โดยแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ตลอดเวลา แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้นั้นจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น

จากเหตุผลที่ว่า การติดตั้งแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดเวลา ทำให้ทราบได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นเราจึงได้ทำการศึกษาในเรื่องของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ

5.2 การศึกษาการทำงานของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ

แบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างของระบบ ส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์และส่วนของการรับและเปรียบเทียบแสง ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการหมุนตามแสงอาทิตย์ กำลังงานที่ใช้ในการหมุนและผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นจากส่วนของการรับและเปรียบเทียบแสงของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ

5.2.1 การศึกษาการใช้กำลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ

เพื่อศึกษาการใช้กำลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติทั้งในแนวแกนอัลติจูดและแนวแกนอะซิมูท

5.2.1.1 วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรที่ 1 ตามรูปที่ 4.8
2. ต่อความต้านทาน 1.8 โอห์มอนุกรมกับวงจร
3. วัดและบันทึกค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 1.8 โอห์มในขณะที่มอเตอร์ของแกนอัลติจูดหมุนและในขณะที่มอเตอร์ของแกนอัลติจูดไม่หมุน
4. วัดและบันทึกค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 1.8 โอห์มในขณะที่มอเตอร์ของแกนอะซิมูทหมุนและในขณะที่มอเตอร์ของแกนอะซิมูทไม่หมุน
5. วัดและบันทึกค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 1.8 โอห์มในขณะที่มอเตอร์ของแกนอัลติจูดและแกนอะซิมูทหมุนและในขณะที่มอเตอร์ของแกนอัลติจูดและแกนอะซิมูทไม่หมุน
6. นำค่าแรงดันที่วัดได้มาคำนวณหาค่ากระแสและกำลังงานที่ใช้ในการหมุน
7. ต่อวงจรที่ 2 ตามรูปที่ 4.11
8. ทำการทดลองตามข้อ 2 ถึง 6

5.2.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.9 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังงานที่ใช้ในวงจรที่ 1

แกนในการหมุน ของมอเตอร์	สถานะของมอเตอร์	แรงดัน (v)	กระแส (mA)	กำลังงาน (W)
แกนอัลติจูด	หมุนขึ้น/ลง	11.837	90.55	1.071
	ไม่หมุน	11.931	38.33	0.457
แกนอะซิมุท	หมุนซ้าย/ขวา	11.830	94.44	1.117
	ไม่หมุน	11.931	38.33	0.457

พลังงานที่ใช้ในการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้วงจรที่ 1

การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์ในการหมุนขึ้น/ลงต้องจ่ายกระแส	90.55	มิลลิแอมป์
การหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้เวลา	0.214	วินาที
การหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้กำลังงาน	63.71×10^{-6}	วัตต์/ชั่วโมง
การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์ในการหมุนซ้าย/ขวาต้องจ่ายกระแส	94.44	มิลลิแอมป์
การหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้เวลา	0.115	วินาที
การหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้กำลังงาน	35.68×10^{-6}	วัตต์/ชั่วโมง

ตารางที่ 5.10 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังงานที่ใช้ในวงจรที่ 2

แกนในการหมุน ของมอเตอร์	สถานะของมอเตอร์	แรงดัน (v)	กระแส (mA)	กำลังงาน (W)
แกนอัลติจูด	หมุนขึ้น/ลง	11.956	24.44	0.292
	ไม่หมุน	11.989	6.11	0.073
แกนอะซิมุท	หมุนซ้าย/ขวา	11.952	26.66	0.318
	ไม่หมุน	11.989	6.11	0.073

พลังงานที่ใช้ในการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้วงจรที่ 2		
การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์ในการหมุนขึ้น/ลงต้องจ่ายกระแส	24.44	มิลลิแอมป์
การหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้เวลา	0.306	วินาที
การหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้กำลังงาน	24.84×10^{-6}	วัตต์/ชั่วโมง
การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์ในการหมุนซ้าย/ขวาต้องจ่ายกระแส	26.66	มิลลิแอมป์
การหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้เวลา	0.178	วินาที
การหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ใช้กำลังงาน	15.80×10^{-6}	วัตต์/ชั่วโมง

จะเห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานตลอดเวลาจะต้องใช้พลังงานตลอดเวลาด้วยเช่นกัน และพลังงานที่ใช้ในระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้นก็มาจากพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เรานำพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานได้อย่างไม่เต็มที่ เพราะต้องนำพลังงานส่วนหนึ่งไปใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์ ถ้าหากเราต้องการที่จะลดการสูญเสียพลังงานจากเหตุผลดังกล่าวควรปรับปรุงระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานเป็นช่วงเวลา ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานเพราะไม่ต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลานั่นเอง

5.2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการติดตามแสงอาทิตย์โดยที่แผงเซลล์ยังคงได้รับพลังงานใกล้เคียงกับแผงเซลล์ขณะที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์

เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการติดตามแสงอาทิตย์โดยที่แผงเซลล์ยังคงได้รับพลังงานใกล้เคียงกับแผงเซลล์ขณะที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานเนื่องจากไม่ต้องหมุนตามแสงอาทิตย์ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าพลังงานที่ได้จะน้อยกว่าตอนที่แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลาก็ตาม

5.2.2.1 วิธีการทดลอง

1. ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงที่ได้จากแผงเซลล์ขณะที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์
2. ตั้งแผงเซลล์ไว้ตำแหน่งเดิมโดยไม่ต้องหมุนตามแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงคั้นที่ได้จากแผงเซลล์ในข้อ 2
4. ตั้งแผงเซลล์ไว้ตำแหน่งเดิมโดยไม่ต้องหมุนตามแสงอาทิตย์ต่อจากเดิมอีก 1 ชั่วโมง
5. ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงคั้นที่ได้จากแผงเซลล์ในข้อ 4
6. ตั้งแผงเซลล์ไว้ตำแหน่งเดิมโดยไม่ต้องหมุนตามแสงอาทิตย์ต่อจากเดิมอีก 1 ชั่วโมง
7. ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงคั้นที่ได้จากแผงเซลล์ในข้อ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ควรทำการทดลองในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น.-14.00 น. เนื่องจากช่วงเวลานี้แสงอาทิตย์จะมีค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน

5.2.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.11 ค่ากระแสและแรงดันของแผงเซลล์ในช่วงเวลาต่างๆ

เวลา	แรงดัน (v)	กระแส (mA)
ขณะที่แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์	3.360	295.2
ตั้งแผงเซลล์ไว้ 1 ชั่วโมง	3.315	285.8
ตั้งแผงเซลล์ไว้ 2 ชั่วโมง	3.269	259.8
ตั้งแผงเซลล์ไว้ 3 ชั่วโมง	3.096	224.7

จากที่ทราบว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไป 4 องศา ใช้เวลา 1 นาที เพราะฉะนั้นใน 1 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไป 15 องศา และจากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าหากเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้หมุนไปตั้งฉากกับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาจะทำให้ได้รับพลังงานมากที่สุด แต่ก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน หากเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะเห็นว่าพลังงานที่ได้ก็ไม่แตกต่างจากที่แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์เท่าไรนัก ทั้งยังช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานอีกด้วย แต่จะเห็นว่าถ้าเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือ 3 ชั่วโมง พลังงานที่แผงเซลล์ได้รับก็จะลดน้อยลงไป แต่ก็ประหยัดพลังงานในการติดตามดวงอาทิตย์มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเอง

5.2.3 การศึกษาสิ่งที่มีผลกระทบต่อการได้รับแสงของแอลดีอาร์

เพื่อศึกษาสิ่งที่มีผลกระทบต่อการได้รับแสงของแอลดีอาร์ โดยศึกษาเรื่องความสูงของฉากกั้นระยะห่างของฉากกั้นกับแอลดีอาร์ สีของวัสดุที่ใช้ทำฉากกั้น เพื่อลดความผิดพลาดในการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ

5.2.3.1 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ที่เกิดจากความสูงของฉากกั้น

จากการทดลองใช้ฉากกั้นแอลดีอาร์ที่มีความสูงต่างกัน พบว่าความสูงของฉากกั้นนั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการที่จะทำให้แสงเซลล์หมุนไปตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ โดยถ้าความสูงของฉากกั้นน้อยจะทำให้แสงเซลล์หมุนไปตามแสงอาทิตย์แต่ไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ซึ่งความผิดพลาดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเงาของฉากกั้นน้อยทำให้แอลดีอาร์ได้รับแสงเท่ากันถึงแม้ว่าแสงเซลล์จะยังไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ก็ตาม หากต้องการที่จะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ ต้องทำฉากกั้นให้มีความสูงมาก ๆ แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงความเหมาะสมในเรื่องของความสูงของฉากกั้นด้วยเพราะถ้าหากฉากกั้นยังมีความสูงมากก็จะมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและจะทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งาน

5.2.3.2 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ที่เกิดจากระยะห่างของฉากกั้นกับแอลดีอาร์

จากการทดลองให้แอลดีอาร์อยู่ห่างจากฉากกั้นในระยะที่ต่างกัน พบว่าระยะห่างระหว่างแอลดีอาร์กับฉากกั้นนั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการได้รับแสงของแอลดีอาร์ โดยถ้าแอลดีอาร์อยู่ห่างจากฉากกั้นมากก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดมาก เนื่องจากเงาที่เกิดจากฉากกั้นจะไม่มีผลต่อการรับแสงของแอลดีอาร์ทำให้แอลดีอาร์ได้รับแสงเท่ากันถึงแม้ว่าแสงเซลล์จะยังไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ก็ตาม หากต้องการลดผลของความผิดพลาดนี้ควรให้แอลดีอาร์อยู่ติดกับฉากกั้นให้มากที่สุด

5.2.3.3 ผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ที่เกิดจากสีของวัสดุที่ใช้ทำฉากกั้น

จากการทดลองใช้ฉากกั้นแอลดีอาร์ที่มีสีต่างๆ พบว่าสีของฉากกั้นนั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการได้รับแสงของแอลดีอาร์ วัสดุที่มีสีดำนั้นเป็นวัสดุที่ดีที่สุดในการนำมาทำเป็นฉากกั้น เนื่องจากสีดำเป็นสีที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดทำให้เกิดการสะท้อนของแสงน้อยต่างจากวัสดุสีอื่น ๆ ซึ่งมีการดูดกลืนแสงน้อยกว่าสีดำและด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ เนื่องจากแสงที่สะท้อนออกมาจากฉากกั้นบางส่วนอาจจะไปกระทบลงบนพื้นที่รับแสงของแอลดีอาร์ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่และทำมุมกับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ พบว่ามุมที่ดีที่สุดในการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือมุม 15 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ เพราะจะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานมากกว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ในมุมอื่นๆ เนื่องจากว่าที่มุม 15° และหันไปทางทิศใต้นั้นเป็นมุมที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทยนั่นเอง และถ้าต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับลำแสงของดวงอาทิตย์จริงจะต้องทราบตำแหน่งในการติดตั้งแผงเซลล์ที่ถูกต้อง เมื่อทราบตำแหน่งในการติดตั้งแผงเซลล์แล้วก็จะต้องมีอุปกรณ์ในการวัดมุมที่มีความละเอียดพอ เพื่อให้การติดตั้งแผงเซลล์นั้นมีมุมที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์พอดี แต่เนื่องจากการทำแบบนี้เป็นเรื่องยุ่งยากและไม่จำเป็นเท่าที่ควร ดังนั้นในการติดตั้งแผงเซลล์จึงนิยมประมาณค่ามุมในการติดตั้งแผงเซลล์เป็นมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ ซึ่งทำให้การติดตั้งแผงเซลล์นั้นง่ายและสะดวกกว่า

ถึงแม้การติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้จะเป็นมุมที่ดีที่สุดในการติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ แต่การติดตั้งแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้นั้นจะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากแผงเซลล์จะตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 12.00 น. เท่านั้นซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุด แต่ในเวลาอื่น ๆ แผงเซลล์จะไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ หากเราสามารถที่จะทำให้แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลาได้ก็จะทำให้แผงเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์

และจากการศึกษาการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15 องศา กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ทำให้ทราบว่า การรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ จะได้รับพลังงานน้อยกว่าแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ประมาณ 30-50% ซึ่งจะเห็นความแตกต่างในการรับพลังงานของแผงเซลล์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้ กับแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจนในช่วงเวลาเช้าและเย็น โดยแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้

อย่างเต็มที่ตลอดเวลา แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุม 15° กับพื้นระนาบและหันไปทางทิศใต้นั้นจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น

จากเหตุผลที่ว่า การติดตั้งแผงเซลล์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดเวลา ทำให้ทราบได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นเราจึงได้ทำการศึกษาในเรื่องของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ

การทำงานของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติจะเห็นว่าแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างของระบบ ส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์และส่วนของการรับและเปรียบเทียบแสง

จากการศึกษาการใช้กำลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติจะเห็นว่าวงจรที่ 1 นั้นจะใช้พลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์มากกว่าวงจรที่ 2 โดยวงจรที่ 1 ใช้พลังงาน 63.71×10^{-6} วัตต์/ชั่วโมง ในการหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา และใช้พลังงาน 35.68×10^{-6} วัตต์/ชั่วโมง ในการหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ส่วนวงจรที่ 2 ใช้พลังงาน 24.84×10^{-6} วัตต์/ชั่วโมง ในการหมุนขึ้น/ลงของแผงเซลล์ 1 องศา และใช้พลังงาน 15.80×10^{-6} วัตต์/ชั่วโมง ในการหมุนซ้าย/ขวาของแผงเซลล์ 1 องศา ซึ่งจะเห็นว่าวงจรที่ 1 ใช้พลังงานมากกว่าวงจรที่ 2 ประมาณ 2 เท่า ดังนั้นวงจรที่ 2 จึงเป็นวงจรที่สมควรนำไปใช้ในระบบติดตามดวงอาทิตย์

จากการศึกษาการใช้กำลังงานในการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแบบจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ ทำให้ทราบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานตลอดเวลาจะต้องใช้พลังงานตลอดเวลาด้วยเช่นกัน และพลังงานที่ใช้ในระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้นก็มาจากพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นผลให้เราไม่สามารถนำพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานได้อย่างเต็มที่ เพราะต้องนำพลังงานส่วนหนึ่งไปใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์ ถ้าหากเราต้องการที่จะลดการสูญเสียพลังงานจากเหตุผลดังกล่าวควรปรับปรุงระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานเป็นช่วงเวลา ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานเพราะไม่ต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลาตัวเอง

ดวงอาทิตย์นั้นจะเคลื่อนที่ไป 4 องศา ต้องใช้เวลา 1 นาที เพราะฉะนั้นใน 1 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไป 15 องศา และจากการทดลองสรุปได้ว่าหากเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้หมุนไปตั้งฉากกับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาจะทำให้ได้รับพลังงานมากที่สุด แต่ก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ถ้าเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะเห็นว่าพลังงานที่ได้

ก็ไม่แตกต่างจากที่แผงเซลล์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์เท่าไรนัก ทั้งยังช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานอีกด้วย แต่ถ้าหากเราติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้ทำงานทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือทุก ๆ 3 ชั่วโมง พลังงานที่แผงเซลล์ได้รับก็จะลดน้อยลงไป แต่ก็ก็จะประหยัดพลังงานในการติดตามดวงอาทิตย์มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ในส่วนของการรับและเปรียบเทียบแสงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยผลกระทบที่เกิดจากส่วนของการรับและเปรียบเทียบแสงนี้อาจเกิดมาจากความสูงของฉากกั้น ระยะห่างของฉากกั้นกับแอลดีอาร์ สีของวัสดุที่ใช้ทำฉากกั้น ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ฉากกั้นที่มีความสูงต่างกัน นั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการที่จะทำให้แผงเซลล์หมุนไปตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ โดยถ้าความสูงของฉากกั้นน้อยจะทำให้แผงเซลล์หมุนไปตามแสงอาทิตย์แต่ไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ซึ่งความผิดพลาดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเงาของฉากกั้นน้อยทำให้แอลดีอาร์ได้รับแสงเท่ากันถึงแม้ว่าแผงเซลล์จะยังไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ก็ตาม หากต้องการที่จะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ ต้องทำฉากกั้นให้มีความสูงมาก ๆ แต่ทั้งนี้ควรจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในเรื่องของความสูงของฉากกั้นด้วยเพราะถ้าหากฉากกั้นยังมีความสูงมากก็จะมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและจะทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งาน

ระยะห่างระหว่างแอลดีอาร์กับฉากกั้นนั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการได้รับแสงของแอลดีอาร์ โดยถ้าแอลดีอาร์อยู่ห่างจากฉากกั้นมากก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดมาก เนื่องจากเงาที่เกิดจากฉากกั้นจะไม่มีผลต่อการรับแสงของแอลดีอาร์ทำให้แอลดีอาร์ได้รับแสงเท่ากันถึงแม้ว่าแผงเซลล์จะยังไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ก็ตาม หากต้องการลดผลของความผิดพลาดนี้ควรให้แอลดีอาร์อยู่ติดกับฉากกั้นให้มากที่สุด

และพบว่าสีของฉากกั้นนั้นมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการได้รับแสงของแอลดีอาร์ ซึ่งวัสดุที่มีสีดำนั้นเป็นวัสดุที่ดีที่สุดในการนำมาทำเป็นฉากกั้น เนื่องจากสีดำเป็นสีที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดทำให้เกิดการสะท้อนของแสงน้อย ต่างจากวัสดุสีอื่น ๆ ที่มีการดูดกลืนแสงน้อยกว่าวัสดุที่มีสีดำนี้อีกด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดผลของความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ เนื่องจากแสงที่สะท้อนออกมาจากฉากกั้นที่ทำได้วัสดุสีอื่น ๆ บางส่วนอาจจะไปตกกระทบลงบนพื้นที่รับแสงของแอลดีอาร์ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับแสงของแอลดีอาร์ขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์จะต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการที่จะให้แผงเซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์ แต่ถ้าหากไม่ต้องการที่จะสูญเสียพลังงานในส่วนนั้น วิธีที่ดีวิธีหนึ่งในการติดตั้งแผงเซลล์ให้ได้รับพลังงานมากโดยที่ไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตามดวงอาทิตย์คือ การติดตั้งแผงเซลล์โดยใช้การปรับตั้งแผงเซลล์ด้วยมนุษย์ โดยอาจจะปรับเป็นระยะเพียงช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เช่น ปรับตามฤดูกาลหรือปรับเป็นเดือนดังตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 การปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามมุมของลำแสงดวงอาทิตย์
ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาล

วันที่ควรปรับแผงเซลล์	แนวแกนอัลติจูด (องศา)	แนวแกนอะซิมุท (องศา)
วันที่ 21 - 22 มีนาคม	13.65	0.00
วันที่ 21 - 22 มิถุนายน	9.71	180.00
วันที่ 22 - 23 กันยายน	12.86	0.00
วันที่ 21 - 22 ธันวาคม	37.15	0.00

ตารางที่ 6.2 การปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเดือน

เดือน	แนวแกนอัลติจูด (องศา)	แนวแกนอะซิมุท (องศา)
มกราคม	36.75	0.00
กุมภาพันธ์	31.21	0.00
มีนาคม	21.46	0.00
เมษายน	9.72	0.00
พฤษภาคม	1.23	180.00
มิถุนายน	8.14	180.00
กรกฎาคม	9.41	180.00
สิงหาคม	4.44	180.00
กันยายน	4.93	0.00
ตุลาคม	16.75	0.00
พฤศจิกายน	27.69	0.00
ธันวาคม	35.46	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สมเกียรติ ศุภเดช, “เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์”, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
2. สมเกียรติ ศุภเดช, “เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
3. France Lasnier and Tony Fan Ang, “Handbook Photovoltaic Engineering”, Adam Hilger, Bristol and New York, 1990
4. สรวิศ มุ่งการนา, “เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนที่มีชั้นพอร์ซิลิกอนจากการกัดข้อมลเป็นชั้นลดการสะท้อนแสง”, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, 2549
5. จุติเลิศ สกุดศักดิ์, พรสิทธิ์ ลิขิตคุยฎี, สรรเพชญ พันธ์เจริญ, “เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์”, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, 2542
6. “Sun Position”, [http:// www.susdesign.com](http://www.susdesign.com)
7. “ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์”, [http:// www.cgat.co.th](http://www.cgat.co.th)
8. “ฤดูกาลของโลก”, [http:// www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



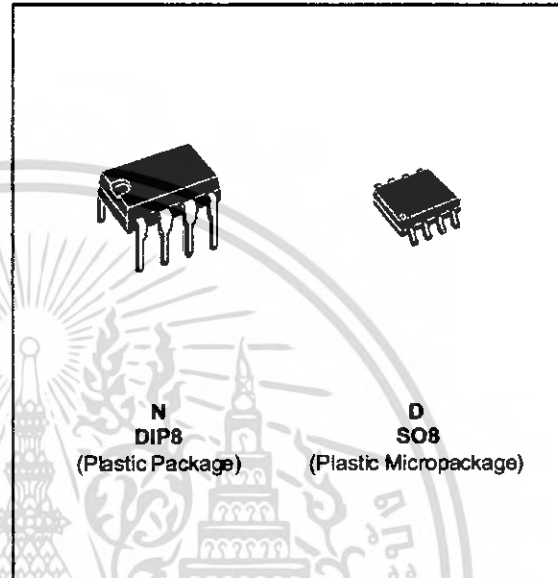
NE555 SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

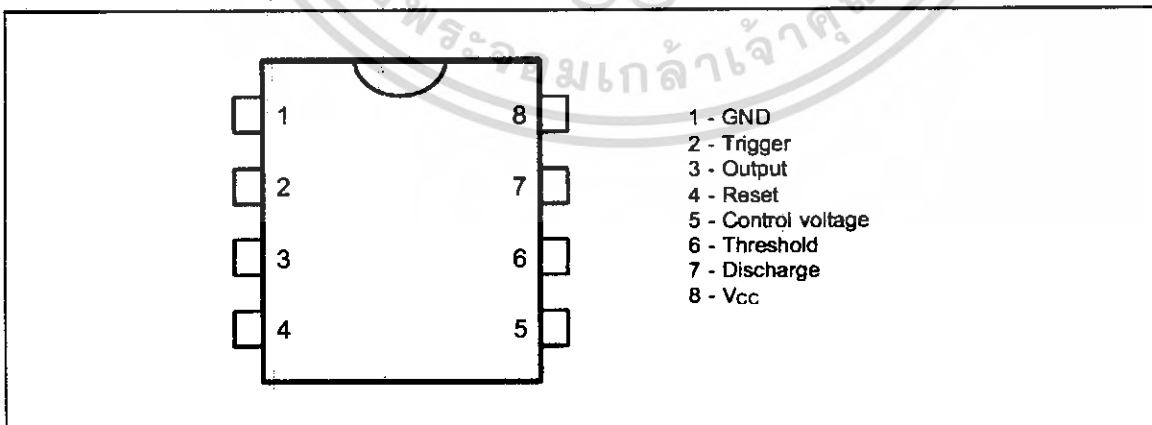
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



ORDER CODES

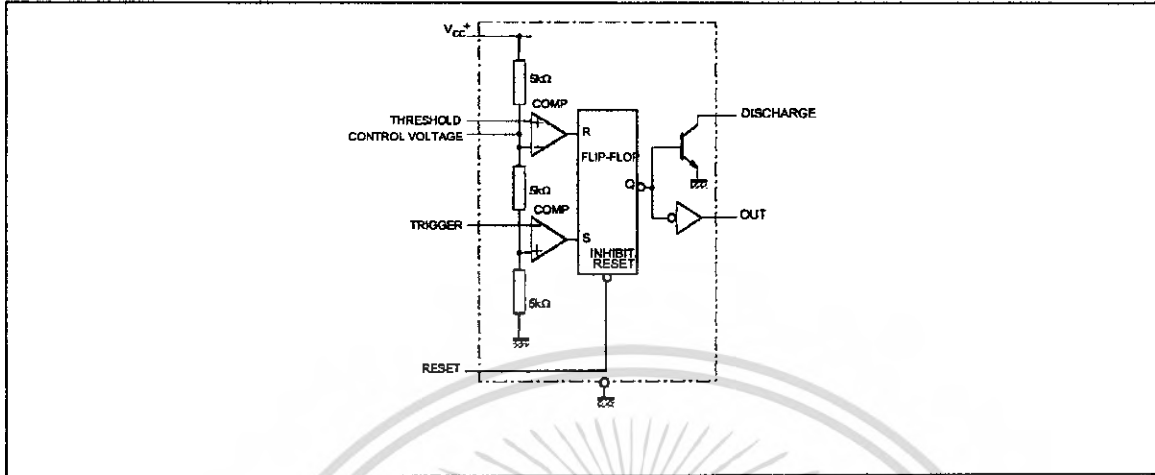
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)

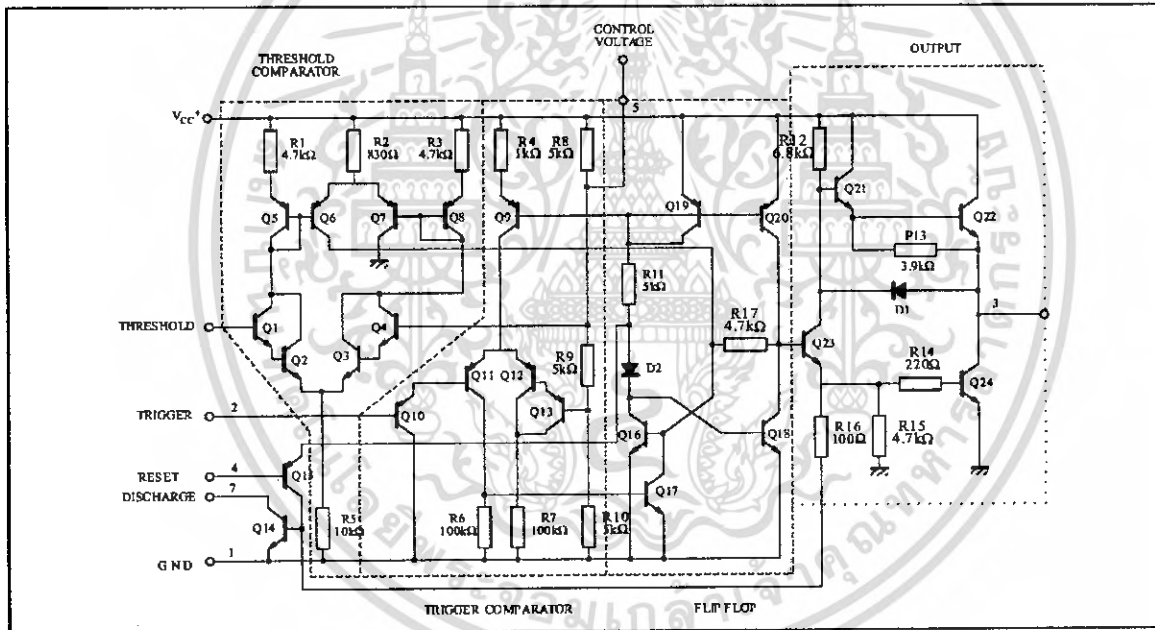


NE555/SA555/SE555

BLOCK DIAGRAM



SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{cc}	Supply Voltage	18	V
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	for NE555 for SA555 for SE555	°C
T_j	Junction Temperature	150	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	SE555	NE555 - SA555	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	4.5 to 18	4.5 to 18	V
$V_{th}, V_{trig}, V_d, V_{reset}$	Maximum Input Voltage	V_{CC}	V_{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I_{CC}	Supply Current ($R_L = \infty$) (- note 1)							mA
	Low State $V_{CC} = +5\text{V}$		3	5		3	6	
	High State $V_{CC} = +15\text{V}$		10	12		10	15	
	Timing Error (monostable) ($R_A = 2\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$)							% ppm/ $^{\circ}\text{C}$ %/V
	Initial Accuracy - (note 2)		0.5	2		1	3	
	Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		30 0.05	100 0.2		50 0.1	0.5	
	Timing Error (astable) ($R_A, R_B = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, $V_{CC} = +15\text{V}$)							% ppm/ $^{\circ}\text{C}$ %/V
	Initial Accuracy - (note 2)		1.5			2.25		
	Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		90 0.15			150 0.3		
V_{CL}	Control Voltage level							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	
V_{th}	Threshold Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	9.4 2.7	10 3.33	10.6 4	8.8 2.4	10 3.33	11.2 4.2	
I_{th}	Threshold Current - (note 3)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
V_{trig}	Trigger Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9	4.5 1.1	5 1.67	5.6 2.2	
I_{trig}	Trigger Current ($V_{trig} = 0\text{V}$)		0.5	0.9		0.5	2.0	μA
V_{reset}	Reset Voltage - (note 4)	0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
I_{reset}	Reset Current							mA
	$V_{reset} = +0.4\text{V}$ $V_{reset} = 0\text{V}$		0.1 0.4	0.4 1		0.1 0.4	0.4 1.5	
V_{OL}	Low Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$, $I_{O(sink)} = 10\text{mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	
	$I_{O(sink)} = 50\text{mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	
	$I_{O(sink)} = 100\text{mA}$		2	2.2		2	2.5	
	$I_{O(sink)} = 200\text{mA}$		2.5			2.5		
	$V_{CC} = +5\text{V}$, $I_{O(sink)} = 8\text{mA}$		0.1	0.25		0.3	0.4	
$I_{O(sink)} = 5\text{mA}$		0.05	0.2		0.25	0.35		
V_{OH}	High Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$, $I_{O(source)} = 200\text{mA}$		13	12.5		12.5		
	$I_{O(source)} = 100\text{mA}$		3	13.3		13.3		
	$V_{CC} = +5\text{V}$, $I_{O(source)} = 100\text{mA}$			3.3		3.3		

- Notes :
1. Supply current when output is high is typically 1mA less.
 2. Tested at $V_{CC} = +5\text{V}$ and $V_{CC} = +15\text{V}$.
 3. This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for +15V operation the max total is $R = 20\text{M}\Omega$ and for 5V operation the max total $R = 3.5\text{M}\Omega$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$I_{dis(off)}$	Discharge Pin Leakage Current (output high) ($V_{dis} = 10V$)		20	100		20	100	nA
$V_{dis(sat)}$	Discharge pin Saturation Voltage (output low) - (note 5) $V_{CC} = +15V, I_{dis} = 15mA$ $V_{CC} = +5V, I_{dis} = 4.5mA$		180 80	480 200		180 80	480 200	mV
t_r t_f	Output Rise Time Output Fall Time		100 100	200 200		100 100	300 300	ns
t_{off}	Turn off Time - (note 6) ($V_{reset} = V_{CC}$)		0.5			0.5		μs

Notes : 5. No protection against excessive Pin 7 current is necessary, providing the package dissipation rating will not be exceeded.
6. Time measured from a positive going input pulse from 0 to $0.8 \times V_{CC}$ into the threshold to the drop from high to low of the output trigger is tied to threshold.

Figure 1 : Minimum Pulse Width Required for Trigering

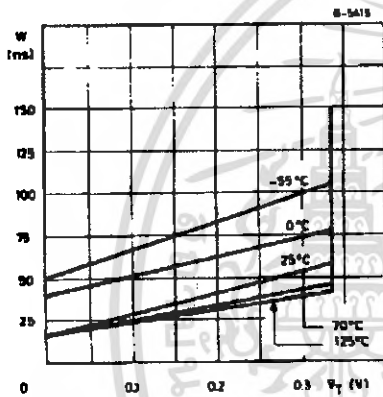


Figure 2 : Supply Current versus Supply Voltage

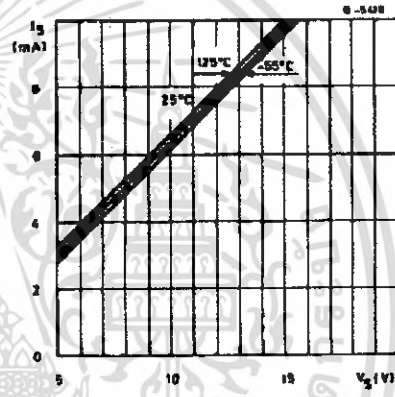


Figure 3 : Delay Time versus Temperature

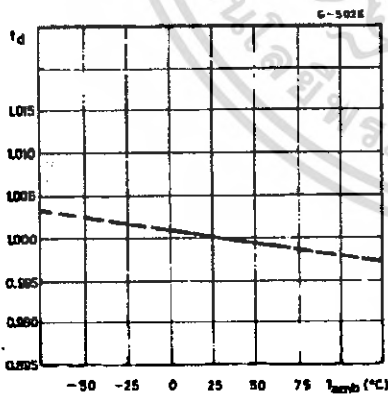


Figure 4 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

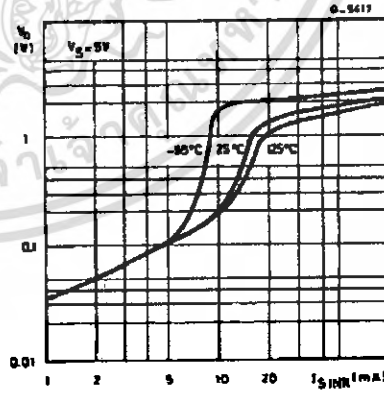


Figure 5 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

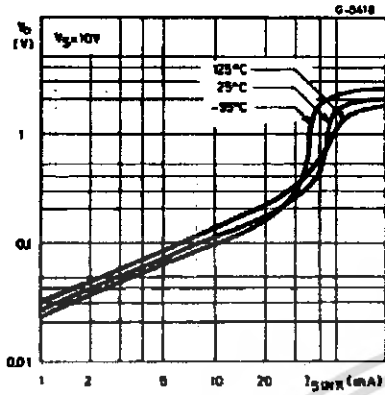


Figure 6 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

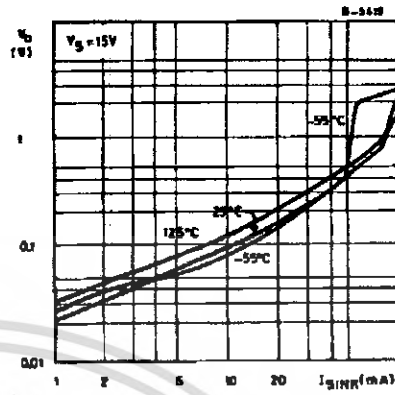


Figure 7 : High Output Voltage Drop versus Output

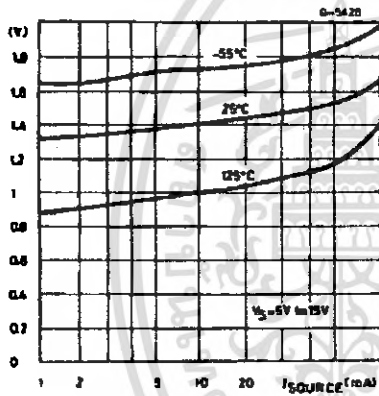


Figure 8 : Delay Time versus Supply Voltage

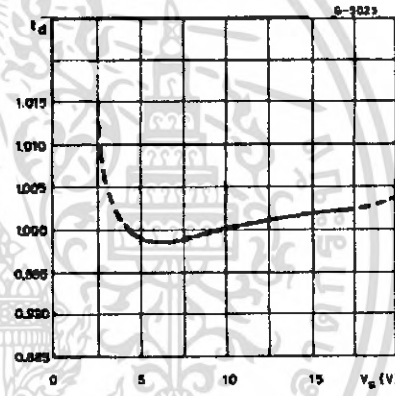
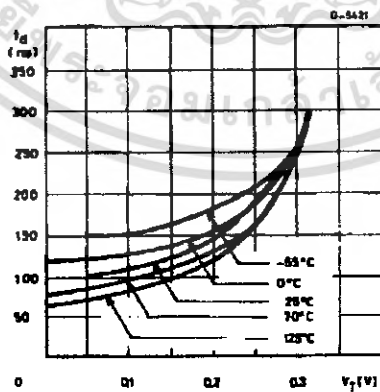


Figure 9 : Propagation Delay versus Voltage Level of Trigger Value

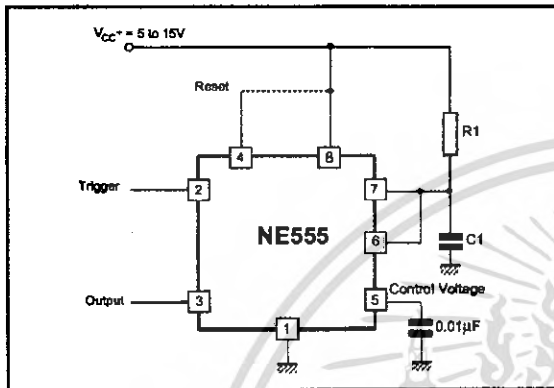


APPLICATION INFORMATION

MONOSTABLE OPERATION

In the monostable mode, the timer functions as a one-shot. Referring to figure 10 the external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer.

Figure 10



The circuit triggers on a negative-going input signal when the level reaches $1/3 V_{CC}$. Once triggered, the circuit remains in this state until the set time has elapsed, even if it is triggered again during this interval. The duration of the output HIGH state is given by $t = 1.1 R_1 C_1$ and is easily determined by figure 12.

Notice that since the charge rate and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply. Applying a negative pulse simultaneously to the reset terminal (pin 4) and the trigger terminal (pin 2) during the timing cycle discharges the external capacitor and causes the cycle to start over. The timing cycle now starts on the positive edge of the reset pulse. During the time the reset pulse is applied, the output is driven to its LOW state.

When a negative trigger pulse is applied to pin 2, the flip-flop is set, releasing the short circuit across the external capacitor and driving the output HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with the time constant $\tau = R_1 C_1$. When the voltage across the capacitor equals $2/3 V_{CC}$, the comparator resets the flip-flop which then discharge the capacitor rapidly and drives the output to its LOW state.

Figure 11 shows the actual waveforms generated in this mode of operation.

When Reset is not used, it should be tied high to avoid any possibly or false triggering.

Figure 11

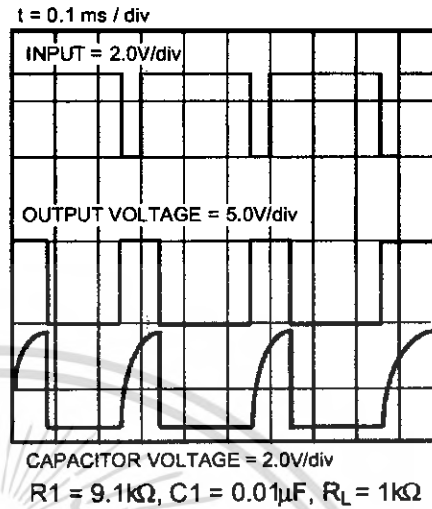
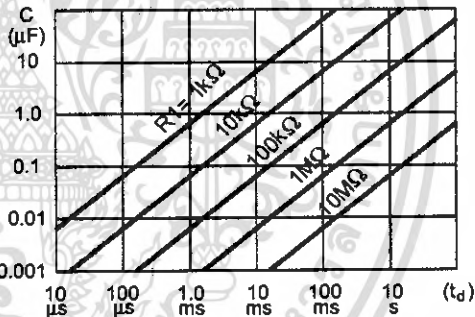


Figure 12



ASTABLE OPERATION

When the circuit is connected as shown in figure 13 (pin 2 and 6 connected) it triggers itself and free runs as a multivibrator. The external capacitor charges through R_1 and R_2 and discharges through R_2 only. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

In the astable mode of operation, C_1 charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times and therefore frequency are independent of the supply voltage.



Figure 13

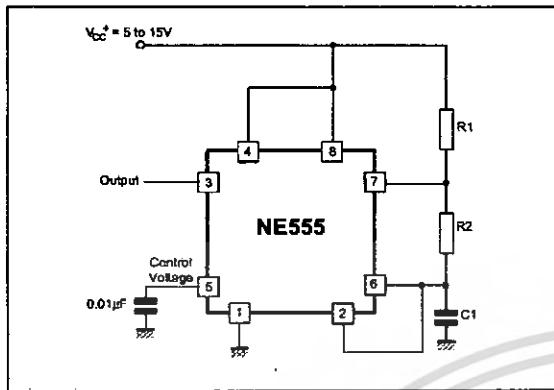


Figure 14 shows actual waveforms generated in this mode of operation.

The charge time (output HIGH) is given by :

$$t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

and the discharge time (output LOW) by :

$$t_2 = 0.693 (R_2) C_1$$

Thus the total period T is given by :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1$$

The frequency of oscillation is them :

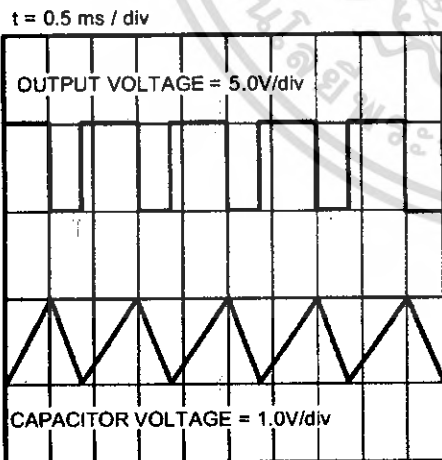
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1}$$

and may be easily found by figure 15.

The duty cycle is given by :

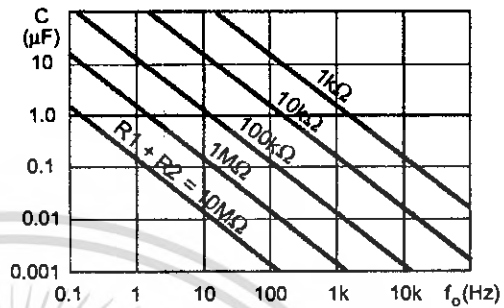
$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2}$$

Figure 14



$R_1 = R_2 = 4.8k\Omega, C_1 = 0.1\mu F, R_L = 1k\Omega$

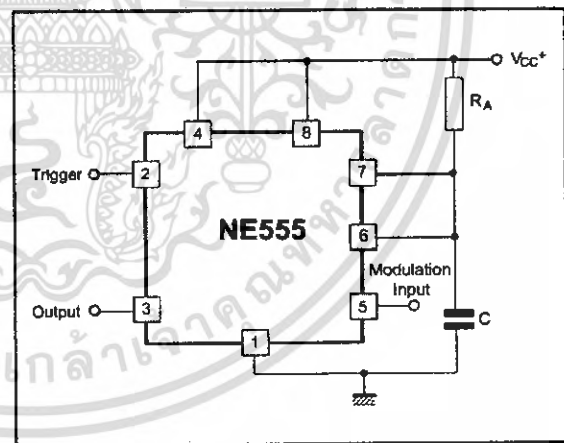
Figure 15 : Free Running Frequency versus R_1, R_2 and C_1



PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 16 shows the circuit.

Figure 16 : Pulse Width Modulator.



LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 17 shows a circuit configuration that will perform this function.

Figure 17.

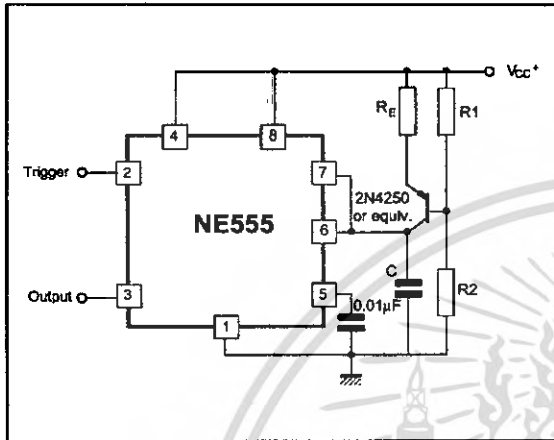
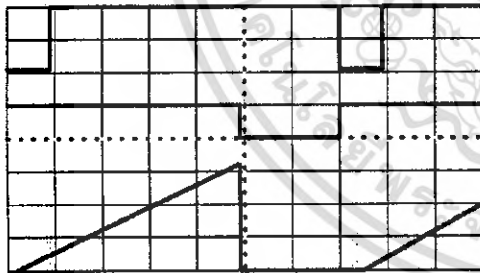


Figure 18 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by :

$$T = \frac{(2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C)}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)} \quad V_{BE} = 0.6V$$

Figure 18 : Linear Ramp.



$V_{CC} = 5V$
 Time = 20µs/DIV
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top trace : input 3V/DIV
 Middle trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : capacitor voltage 1V/DIV

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

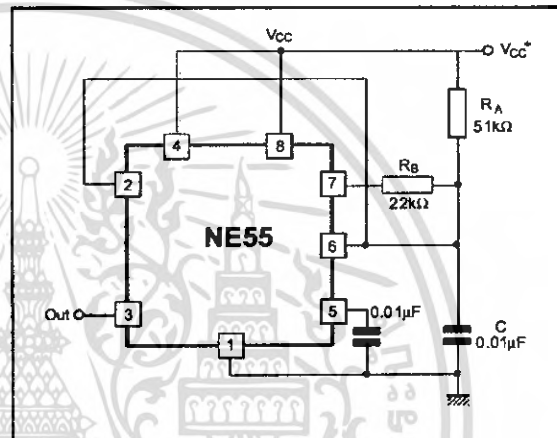
For a 50% duty cycle the resistors R_A and R_E may be connected as in figure 19. The time period for the output high is the same as previous,

$t_1 = 0.693 R_A C$
 For the output low it is $t_2 =$
 $[(R_A R_B) / (R_A + R_B)] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater

Figure 19 : 50% Duty Cycle Oscillator.

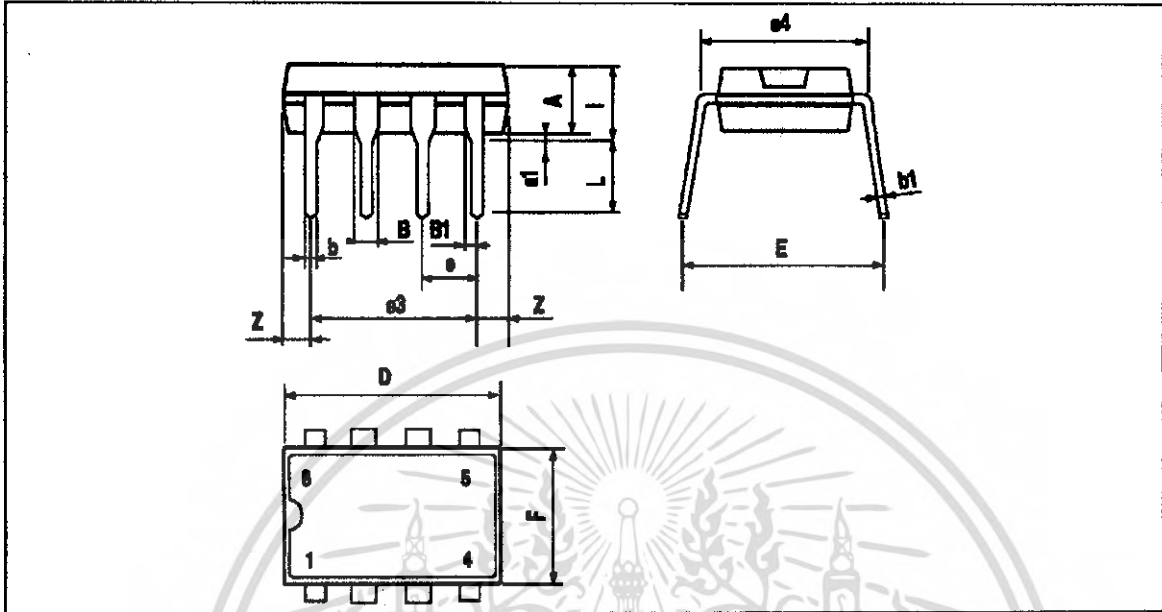


than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1µF in parallel with 1µF electrolytic.



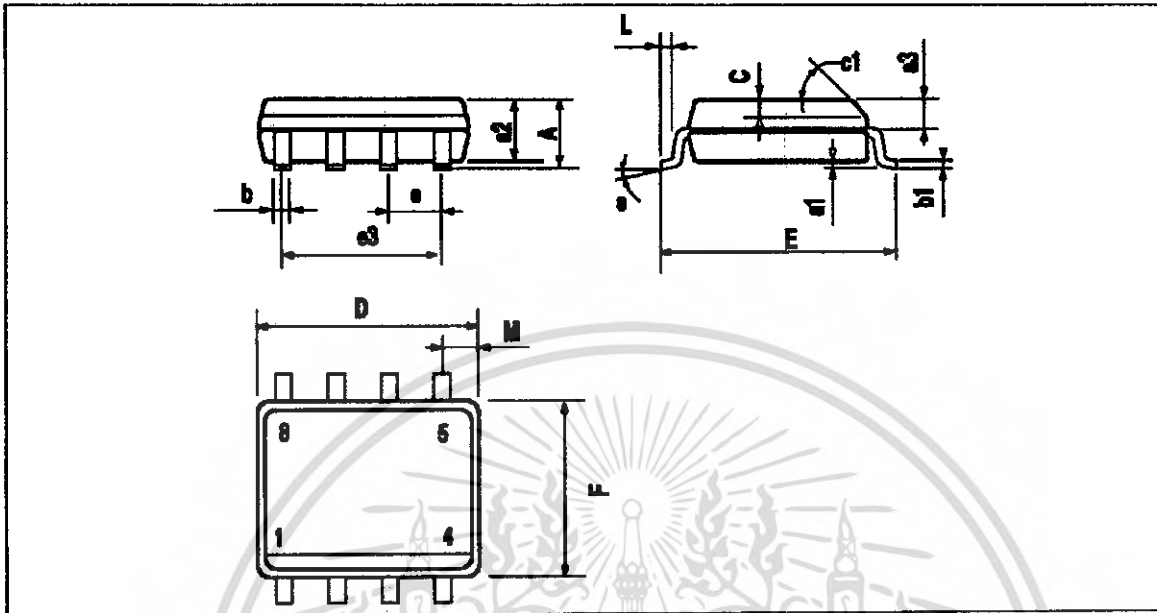
PACKAGE MECHANICAL DATA
 8 PINS - PLASTIC DIP


P44DIP8.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

DIP8.YBL

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-S08 EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

SO8.TL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1998 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco
 The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :

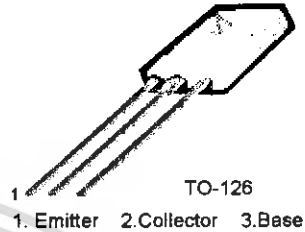


BD135/137/139

BD135/137/139

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: BD135	45
		: BD137	60
		: BD139	80
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD135	45
		: BD137	60
		: BD139	80
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3.0	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$: BD135	45		V
			: BD137	60		V
			: BD139	80		V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			10	μA
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 5\text{mA}$: ALL DEVICE	25		
h_{FE2}			: ALL DEVICE	25		
h_{FE3}			: BD135	40	250	
			: BD137, BD139	40	160	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$			1	V

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

Typical Characteristics

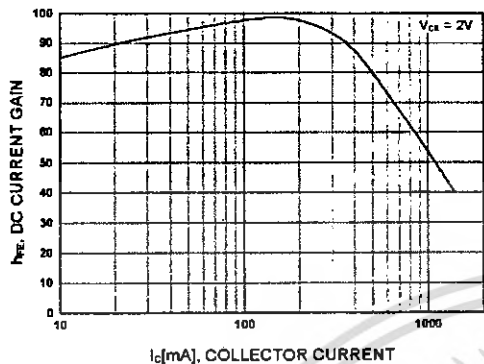


Figure 1. DC current Gain

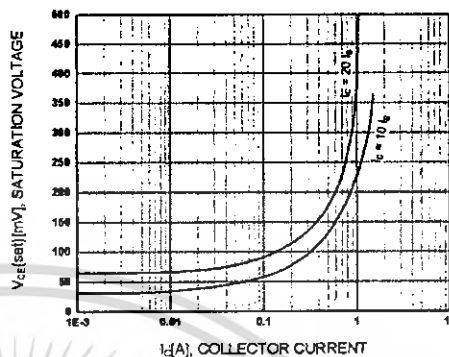


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

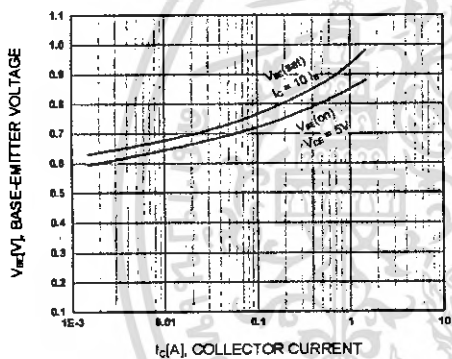


Figure 3. Base-Emitter Voltage

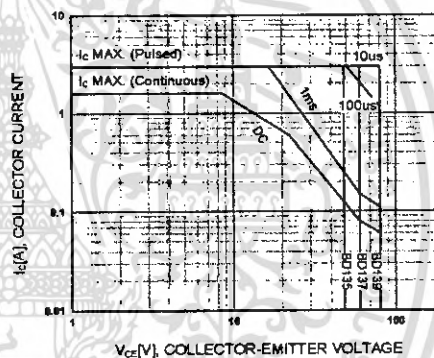


Figure 4. Safe Operating Area

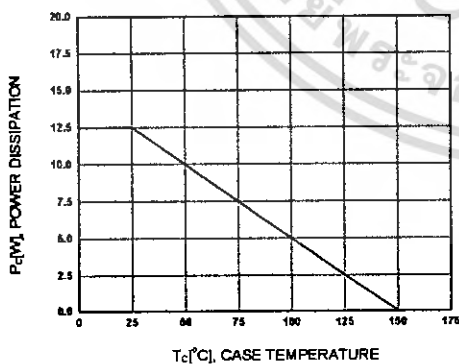
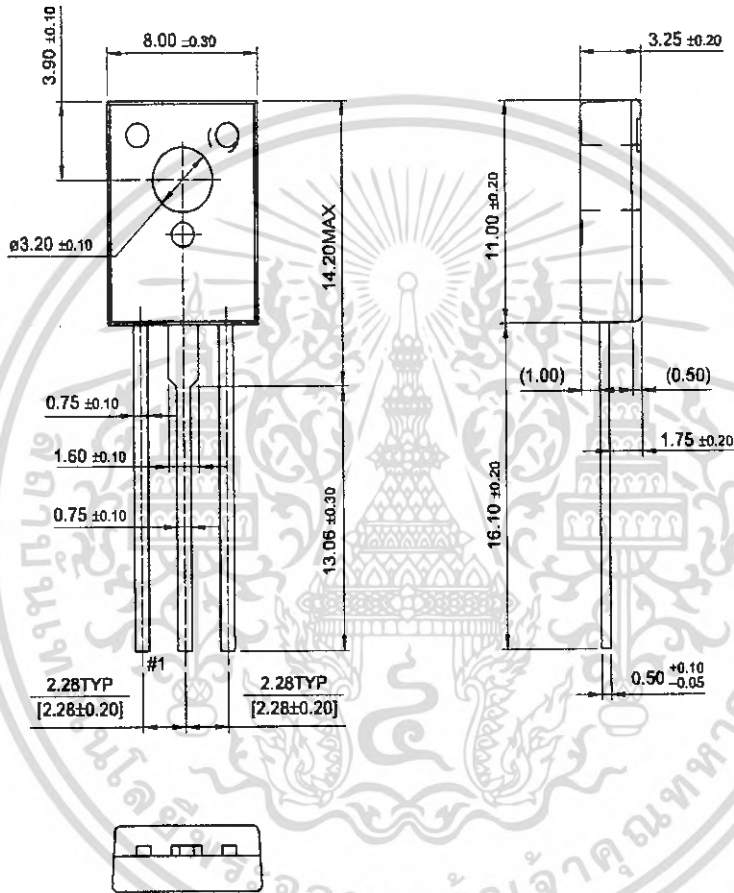


Figure 5. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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.

ACEx™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² CMOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

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 INTERNATIONAL.

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

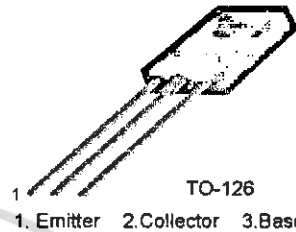
Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BD136/138/140

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively



PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	: BD136	- 45
		: BD138	- 60
		: BD140	- 80
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: BD136	- 45
		: BD138	- 60
		: BD140	- 80
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	- 3.0	A
I_B	Base Current	- 0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = -30\text{mA}, I_B = 0$: BD136	- 45		V
			: BD138	- 60		V
			: BD140	- 80		V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = -30\text{V}, I_E = 0$			- 0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = -5\text{V}, I_C = 0$			- 10	μA
h_{FE1}	* DC Current Gain	$V_{CE} = -2\text{V}, I_C = -5\text{mA}$	25			
h_{FE2}		$V_{CE} = -2\text{V}, I_C = -0.5\text{A}$	25			
h_{FE3}		$V_{CE} = -2\text{V}, I_C = -150\text{mA}$	40		250	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -500\text{mA}, I_B = -50\text{mA}$			- 0.5	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = -2\text{V}, I_C = -0.5\text{A}$			- 1	V

* Pulse Test: PW=350 μs , duty Cycle=2% Pulsed

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

Typical Characteristics

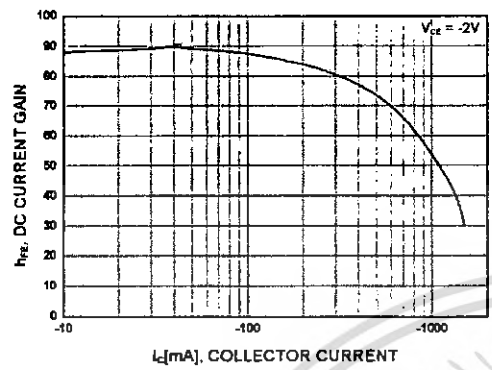


Figure 1. DC current Gain

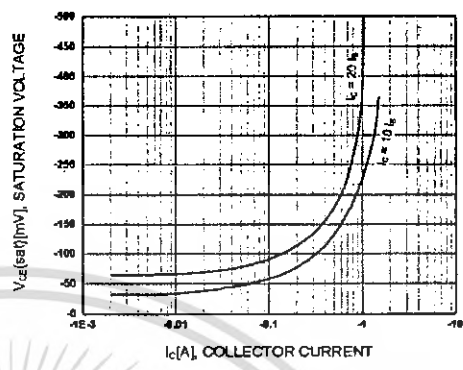


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

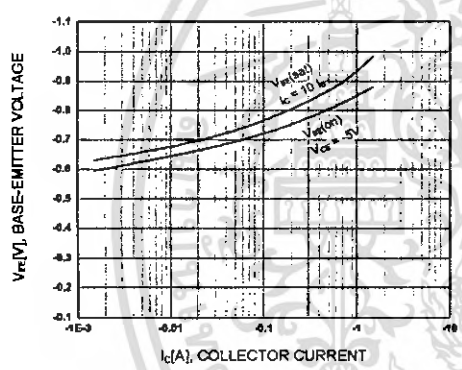


Figure 3. Base-Emitter Voltage

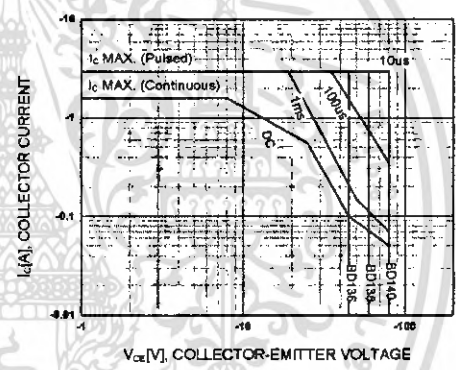


Figure 4. Safe Operating Area

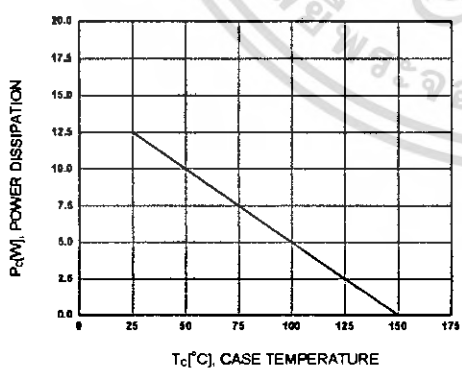
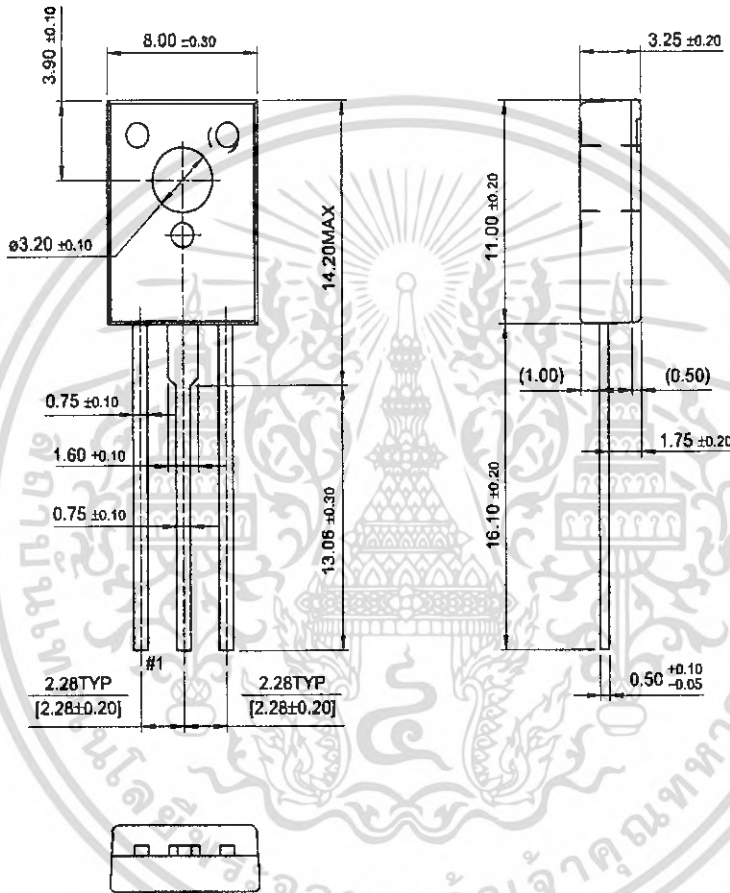


Figure 5. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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.

ACEx™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² CMOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

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 INTERNATIONAL.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

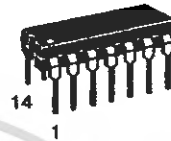
Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available



ON Semiconductor®

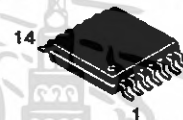
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

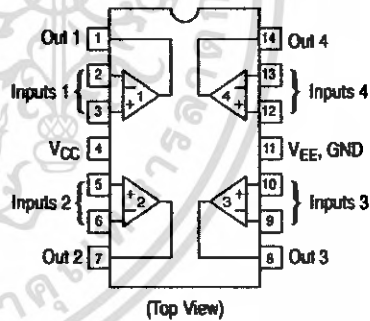


SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 12 of this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	I_{SC}	Continuous	
Junction Temperature (Note 2)	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	$R_{\theta JA}$	Case 646 Case 751A Case 948G 118 156 190	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
ESD Protection at any Pin Human Body Model Machine Model	V_{esd}	2000 200	V
Operating Ambient Temperature Range	T_A	LM224 LM324, 324A LM2902 LM2902V, NCV2902 (Note 4) -25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Split Power Supplies.
2. For supply voltages less than 32 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. All $R_{\theta JA}$ measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
4. NCV2902 is qualified for automotive use.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V to }30\text{ V}$ $V_{ICR} = 0\text{ V to }V_{CC} - 1.7\text{ V}$ $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 5) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 5)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IB}	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 15\text{ V}$ for Large V_O Swing $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 10 kHz $\leq f \leq 20\text{ kHz}$ Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .
7. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 8) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage – Low Limit, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	100	-	5.0	100	mV
Output Source Current ($V_{IO} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current ($V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	I_{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Sink Current ($V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)		12	50	-	12	50	-	12	50	-	-	-	-	-	-	-	μA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 8) $V_{CC} = 30\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	-	3.0	-	1.4	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	mA
		-	-	1.2	-	0.7	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	

8. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

9. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

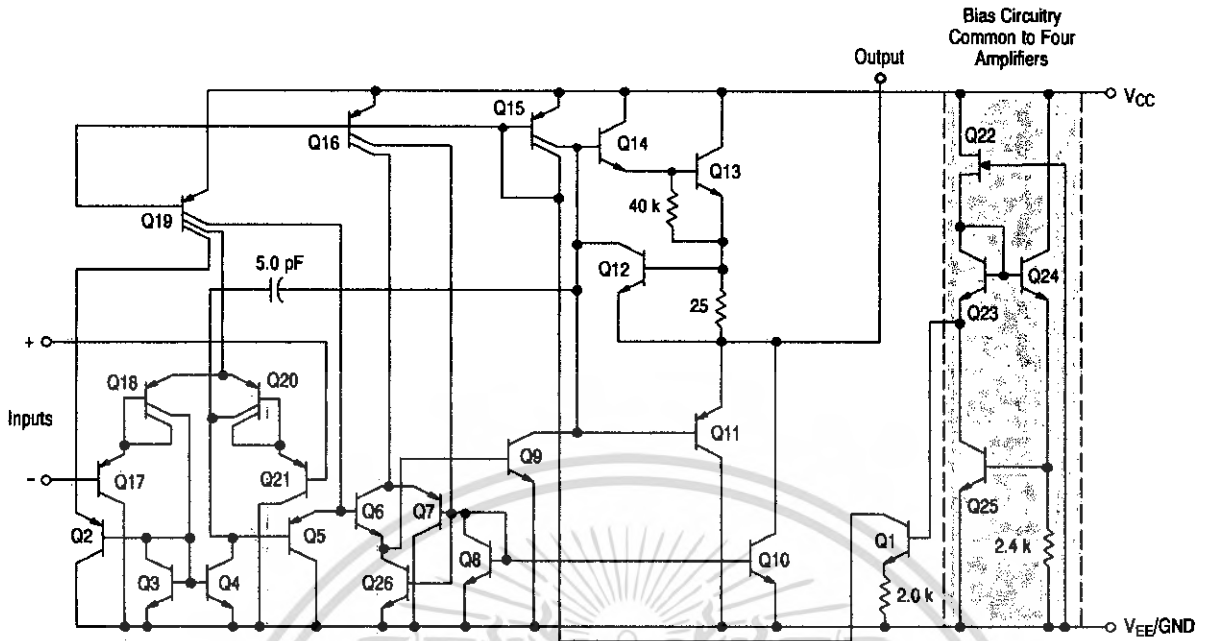


Figure 1. Representative Circuit Diagram (One-Fourth of Circuit Shown)

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

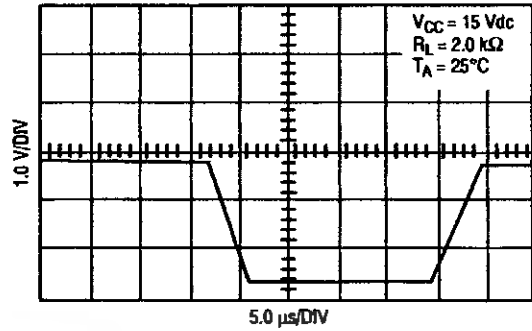


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3.

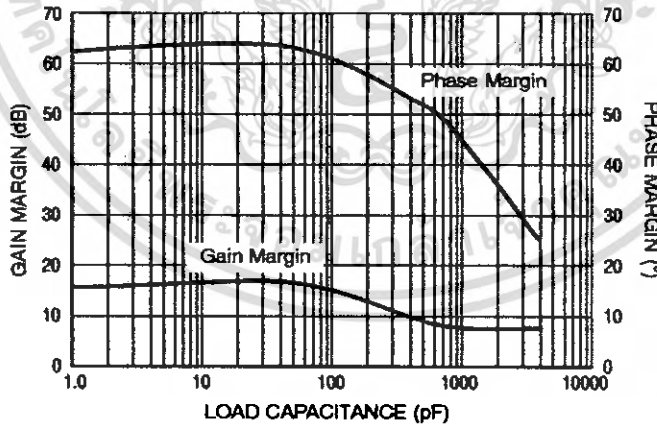


Figure 4. Gain and Phase Margin

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

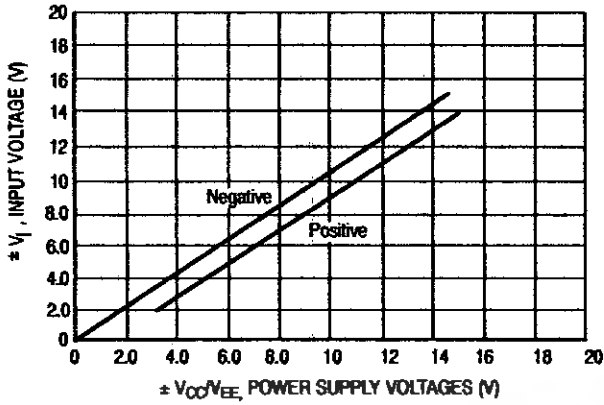


Figure 5. Input Voltage Range

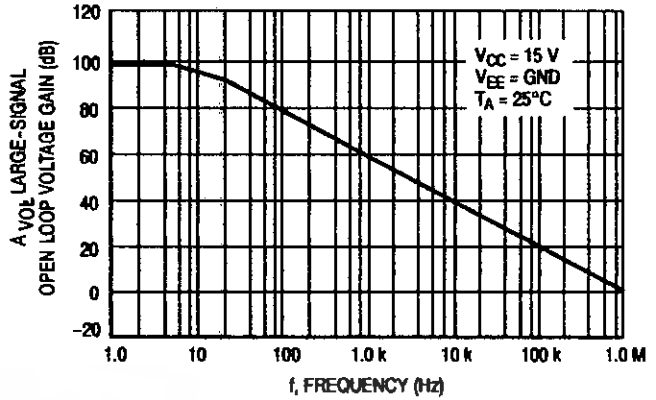


Figure 6. Open Loop Frequency

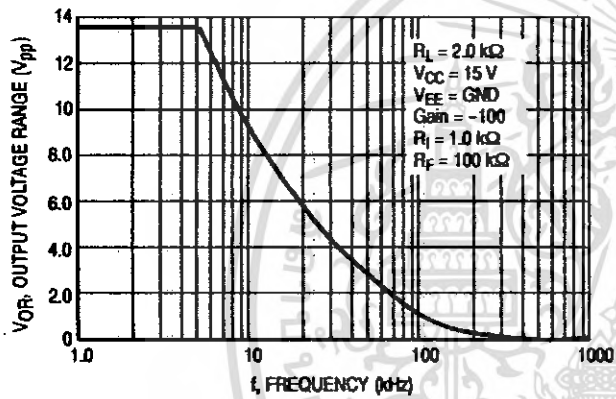


Figure 7. Large-Signal Frequency Response

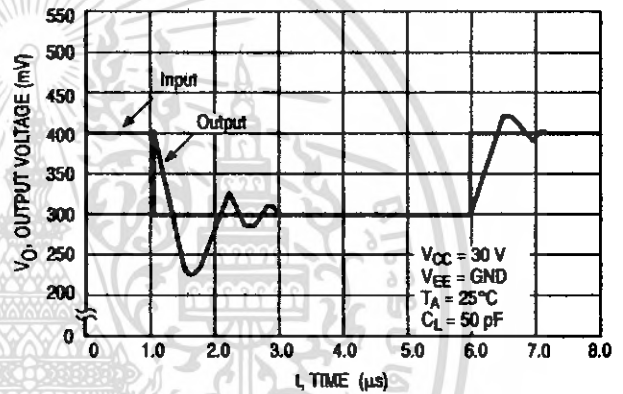


Figure 8. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

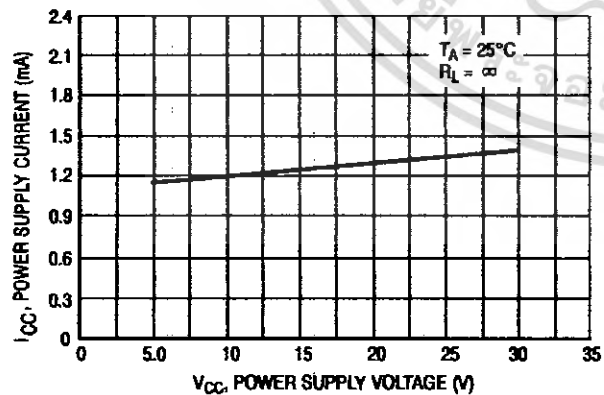


Figure 9. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

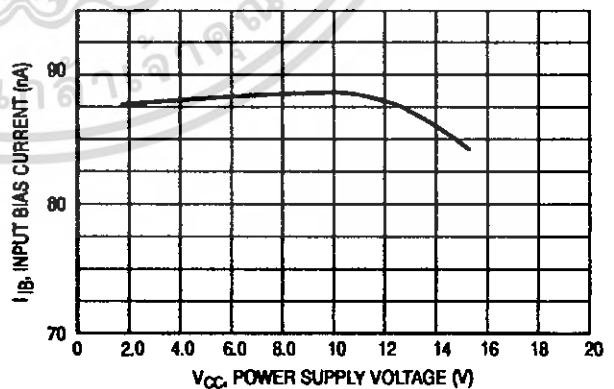


Figure 10. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

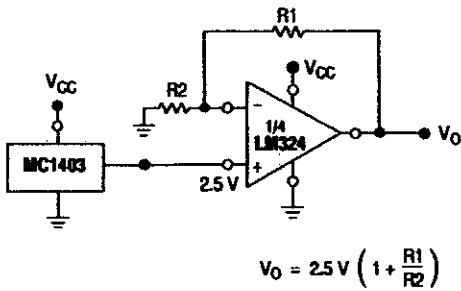


Figure 11. Voltage Reference

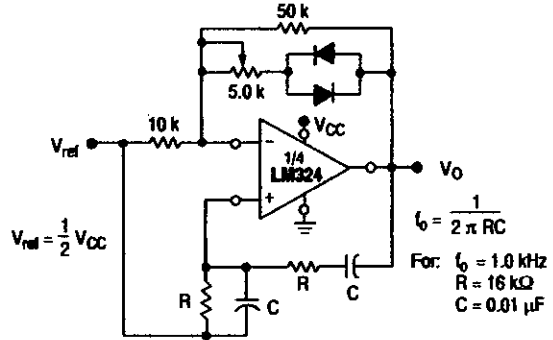


Figure 12. Wien Bridge Oscillator

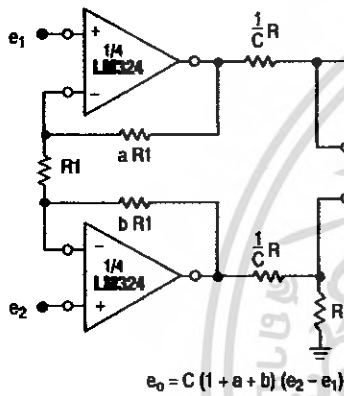


Figure 13. High Impedance Differential Amplifier

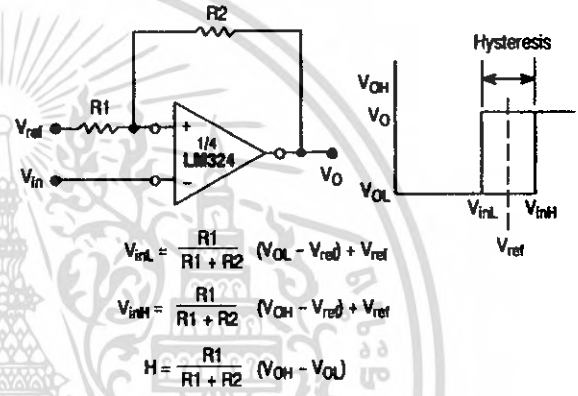


Figure 14. Comparator with Hysteresis

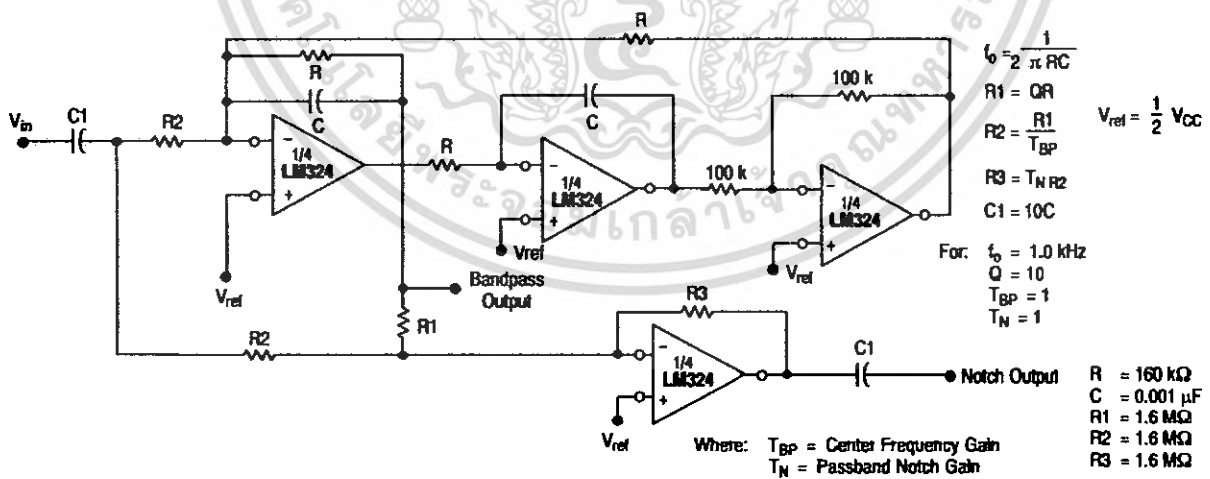


Figure 15. BI-Quad Filter

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

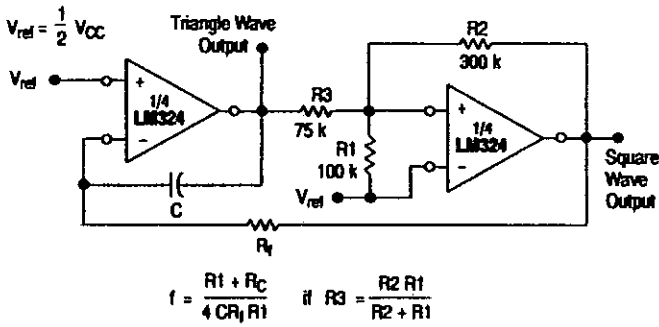


Figure 16. Function Generator

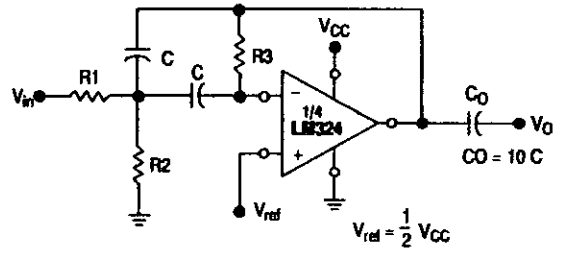


Figure 17. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given: f_0 = center frequency
 $A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

Then: $R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$

$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping [†]
LM224D	-25°C to +85°C	SOIC-14	55 Units/Rail
LM224DG		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM224DR2		SOIC-14	2500/Tape & Reel
LM224DR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM224DTB		TSSOP-14*	96 Units/Tube
LM224DTBG		TSSOP-14*	
LM224DTBR2		TSSOP-14*	2500/Tape & Reel
LM224DTBR2G		TSSOP-14*	
LM224N		PDIP-14	25 Units/Rail
LM224NG		PDIP-14 (Pb-Free)	
LM324D	0°C to +70°C	SOIC-14	55 Units/Rail
LM324DG		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM324DR2		SOIC-14	2500/Tape & Reel
LM324DR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM324DTB		TSSOP-14*	96 Units/Tube
LM324DTBG		TSSOP-14*	
LM324DTBR2		TSSOP-14*	2500/Tape & Reel
LM324DTBR2G		TSSOP-14*	
LM324N		PDIP-14	25 Units/Rail
LM324NG		PDIP-14 (Pb-Free)	
LM324AD		SOIC-14	55 Units/Rail
LM324ADG		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM324ADR2		SOIC-14	2500/Tape & Reel
LM324ADR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	
LM324ADTB		TSSOP-14*	96 Units/Tube
LM324ADTBG		TSSOP-14*	
LM324ADTBR2		TSSOP-14*	2500/Tape & Reel
LM324ADTBR2G		TSSOP-14*	
LM324AN	PDIP-14	25 Units/Rail	
LM324ANG	PDIP-14 (Pb-Free)		

[†]For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

*This package is inherently Pb-Free.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ORDERING INFORMATION (continued)

Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping [†]	
LM2902D	-40°C to +105°C	SOIC-14	55 Units/Rail	
LM2902DG		SOIC-14 (Pb-Free)		
LM2902DR2		SOIC-14	2500/Tape & Reel	
LM2902DR2G		SOIC-14 (Pb-Free)		
LM2902DTB		TSSOP-14*	96 Units/Tube	
LM2902DTBG		TSSOP-14*		
LM2902DTBR2		TSSOP-14*	2500/Tape & Reel	
LM2902DTBR2G		TSSOP-14*		
LM2902N		PDIP-14	25 Units/Rail	
LM2902NG		PDIP-14 (Pb-Free)		
LM2902VD		-40°C to +125°C	SOIC-14	55 Units/Rail
LM2902VDG			SOIC-14 (Pb-Free)	
LM2902VDR2	SOIC-14		2500/Tape & Reel	
LM2902VDR2G	SOIC-14 (Pb-Free)			
LM2902VDTB	TSSOP-14*		96 Units/Tube	
LM2902VDTBG	TSSOP-14*			
LM2902VDTBR2	TSSOP-14*		2500/Tape & Reel	
LM2902VDTBR2G	TSSOP-14*			
LM2902VN	PDIP-14		25 Units/Rail	
LM2902VNG	PDIP-14 (Pb-Free)			
NCV2902DR2	SOIC-14		2500/Tape & Reel	
NCV2902DR2G	SOIC-14 (Pb-Free)			
NCV2902DTBR2G	TSSOP-14*			

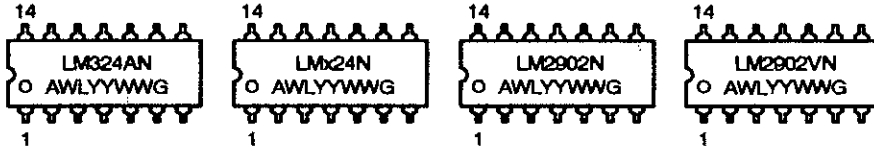
†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

*This package is inherently Pb-Free.

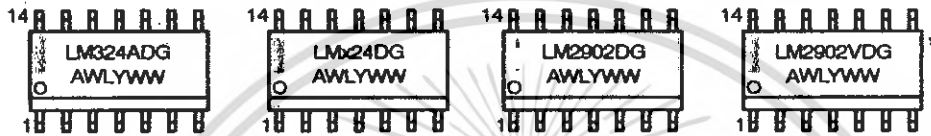
LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

MARKING DIAGRAMS

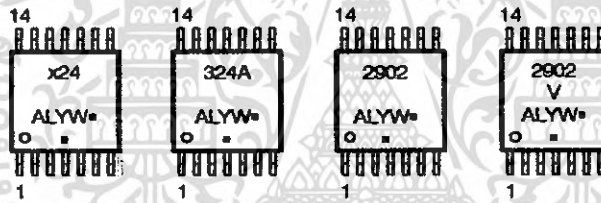
PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646



SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G



x = 2 or 3
A = Assembly Location
WL, L = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week
G or ■ = Pb-Free Package

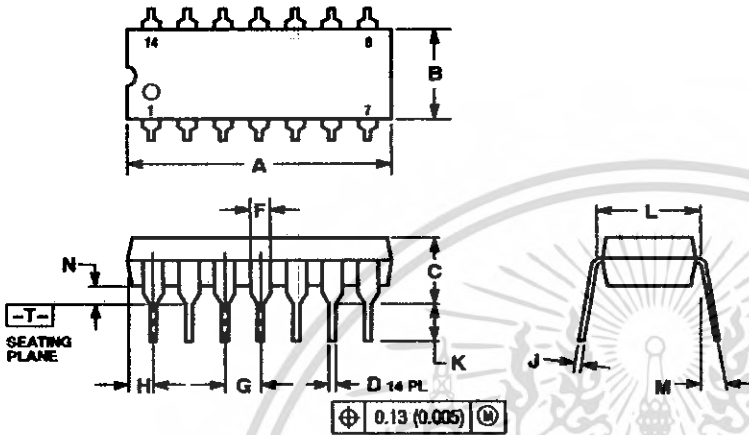
(Note: Microdot may be in either location)

*This marking diagram also applies to NCV2902.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-14
CASE 646-06
ISSUE P



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

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.18	19.55
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.290	0.310	7.37	7.87
M	10°		10°	
N	0.015	0.030	0.38	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

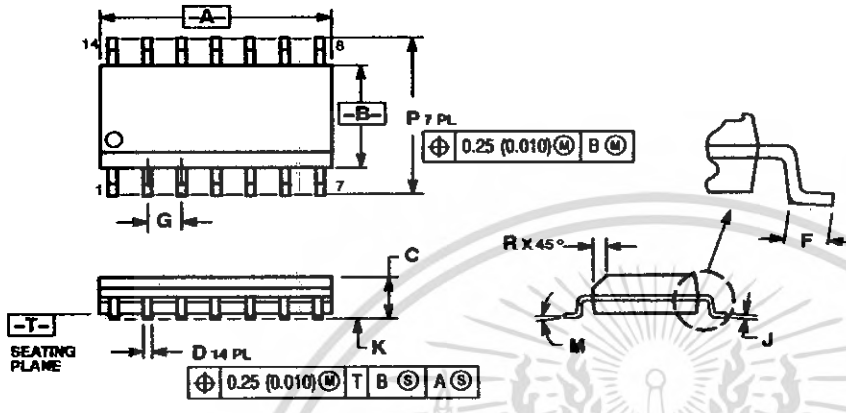
LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

PACKAGE DIMENSIONS

SOIC-14
CASE 751A-03
ISSUE H

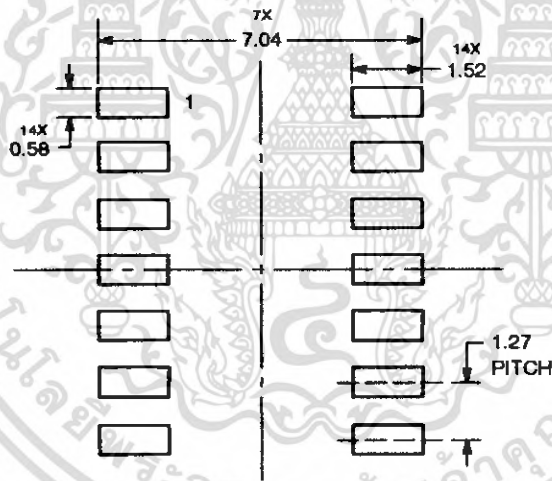
NOTES:

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



SYMBOL	DESCRIPTION	UNIT	MIN	NOM	MAX
A	Overall length	mm	12.80	14.00	14.20
B	Overall width	mm	5.00	5.00	5.00
C	Height	mm	1.27	1.27	1.27
D	Lead length	mm	0.25	0.25	0.25
F	Lead thickness	mm	0.10	0.10	0.10
G	Lead spacing	mm	1.27	1.27	1.27
J	Lead width	mm	0.25	0.25	0.25
K	Lead thickness at heel	mm	0.10	0.10	0.10
M	Lead radius	mm	0.127	0.127	0.127
P	Lead pitch	mm	0.25	0.25	0.25
T	Lead thickness at heel	mm	0.10	0.10	0.10

SOLDERING FOOTPRINT*



*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ภาคผนวก ข
การใช้งานของ แอดดีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

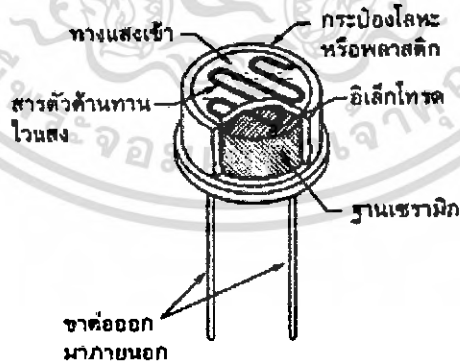
ตัวต้านทานไวแสง



อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสงหรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่างตั้งแต่ แอลดีอาร์ โฟโตไวลดาอิกเซลล์ ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาได้เมื่อได้รับแสง โฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์ ไปจนถึงเอสซีอาร์ ซึ่งทำงานด้วยแสง โดยใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ประเภทที่มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานง่ายที่สุดได้แก่ แอลดีอาร์ เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อ พี - เอ็น เหมือนกันแบบอื่นๆ

โครงสร้าง

แอลดีอาร์หรือตัวต้านทานไวแสงส่วนใหญ่จะทำได้ด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือไม่กี่แคดเมียมซีนิไนต์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



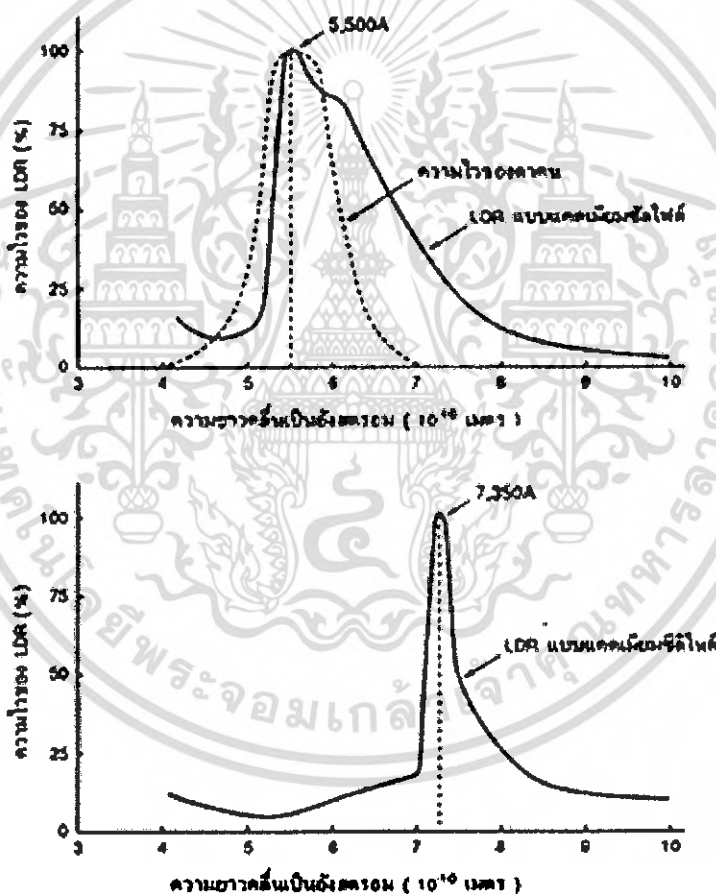
รูปที่ 1 โครงสร้างแอลดีอาร์

รูปร่างของแอลดีอาร์แสดงได้ในรูปที่ 1 ส่วนที่ขดเป็นแนวเกลียวคือ ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสี่ค่านั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าเป็นของจริงจะเห็นว่าส่วนที่เป็นสี่ค่านั้นเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์ ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับท่อหุ้ม ซึ่งมีหลายแบบ

สมบัติทางแสง

การทำงานของแอลดีอาร์ เมื่อมีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดการวิ่งของโฮลและอิเล็กตรอน การที่มีโฮลและอิเล็กตรอนอิสระมากเท่ากับความต้านทาน จะยิ่งลดลงนั่นเอง ถ้าความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากขึ้น ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



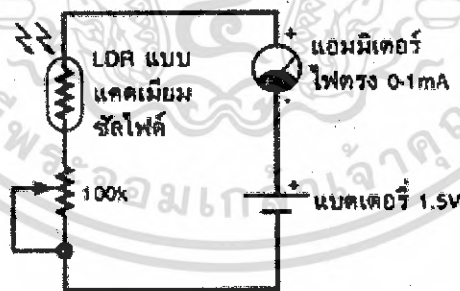
รูปที่ 2 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของแอลดีอาร์ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนองแสงที่มาจากกระทบนั้น จะต้องอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้นที่จะใช้ได้ โดย 1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร (สายตาคน จะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็เป็นช่วงความยาว คลื่นที่แคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรคลื่นแสง ในช่วงนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่แอลดีอาร์จะตอบสนองไวที่สุดแล้วก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไปแอลดีอาร์ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่มากกว่า 5,000 อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับแอลดีอาร์บางตัวแล้ว ความยาว คลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคน ไวต่อความยาว คลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้าแอลดีอาร์ทำ จากแคดเมียมซัลไฟด์ก็ไวต่อความยาวคลื่นในช่วงที่มากกว่า 7,000 อังสตรอม ซึ่งจะอยู่ในช่วง อินฟราเรด

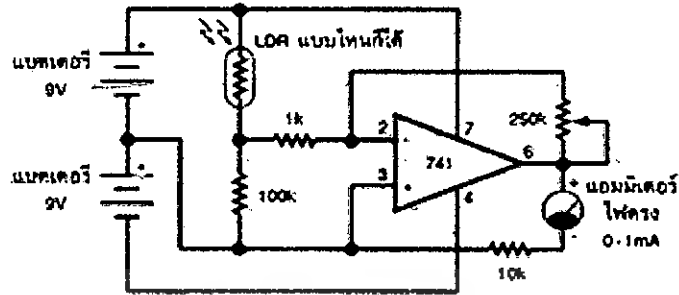
เครื่องวัดแสงที่ทำจากแอลดีอาร์

ในรูปที่ 4 เป็นวงจรเครื่องวัดแสงแบบง่าย แอลดีอาร์ที่ใช้ควรจะมีอัตราส่วนของค่าความ ต้านทานระหว่างไม่มีแสงกับมีแสงที่มาก โดยการใช้งานต้องระวังอย่าให้เข็มมิเตอร์ชี้เกินสเกล



รูปที่ 4 เครื่องวัดแสงที่ทำจากแอลดีอาร์อย่างง่าย

อีกวงจรหนึ่งในรูปที่ 5 เป็นวงจรที่ดัดแปลงให้ดีขึ้น โดยนำออปแอมป์เบอร์ 741 เข้ามาช่วยทำ ให้วงจรมีความไวมากขึ้น



รูปที่ 5 เครื่องวัดแสงที่ใช้ร่วมกับออปแอมป์เบอร์ 741



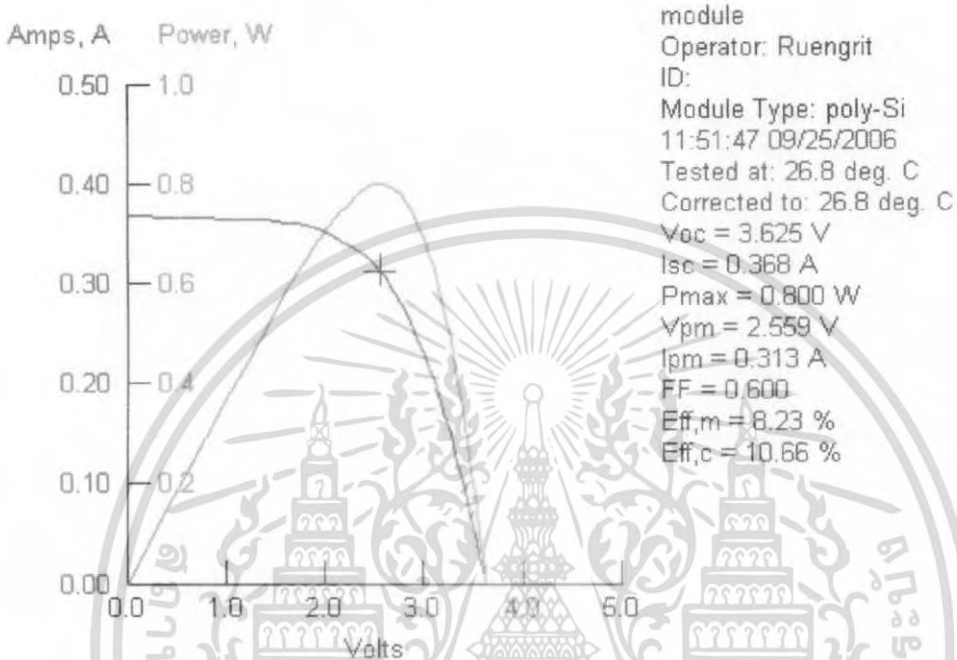
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
คุณสมบัติเชลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่ใช้จัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติแผงเซลล์ที่ใช้งาน โดยทำการวัดจาก ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
(ศทอ.)PTEC



รูปที่ 1 เครื่อง SPI-SUN SIMULATOR ของ Spire รุ่น 350i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้