

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

Application Of Solar Power Supply



โดย
นายขวัญชัย วิโรจน์วัฒน์
นายจักรกฤษ แซ่ตัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....	36907
เลขทะเบียน.....	2543
เอกสารนี้เป็นของ.....	29 ส.ค. 2543
วัน, เดือน, ปี.....	

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
การเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
Application Of Solar Power Supply

ชื่อนักศึกษา นายขวัญชัย วิโรจนาวินทร์
นายจักรกฤษ แซ่ตัน

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มนชนก ศรีเสื่อขาม

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2542

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

โดย	นายชวิญชัย วิโรจนาวินทร์	40013286
	นายจักรกฤษ แซ่ตัน	40013287
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม	
ปีการศึกษา	2542	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนากระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการให้แสงสว่างในเวลาากลางคืน ซึ่งจะมีประโยชน์ในพื้นที่ห่างไกลหรือการส่งจ่ายไฟฟ้าทางสายส่งกระทำได้ยาก โครงการนี้ เสนอแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ไฟที่ได้นำไปชาร์จให้กับแบตเตอรี่ และจ่ายไฟที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่นี้ นำออกไปใช้งานโดยจะมีวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมไฟในแบตเตอรี่เอาไว้ใช้งานอยู่ตลอดเวลา โดยได้ทำการศึกษาและทดลอง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งคุณลักษณะทางไฟฟ้า และการใช้งานที่เหมาะสมกับภูมิภาคในประเทศไทย และยังศึกษาเกี่ยวกับการเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่, วงจร ปิด-เปิดไฟในเวลาากลางคืนโดยอัตโนมัติ, วงจรควบคุมการชาร์จไฟเพื่อป้องกันการประจุแบตเตอรี่ ระบบที่ศึกษาทดลองนี้จะเปิดหลอดไฟให้แสงสว่างในเวลาากลางคืนและปิดในเวลากลางวันโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF SOLAR POWER SUPPLY

BY MR.KWANCHAI WIROJANAWAT 40013286

MR.CHAKKRIT SAETAN 40013287

ADVISOR MISS.MONCHANOK SRISUAKAM

ABSTRACT

The objective of this thesis is to develop the solar energy system in order to use it as alight at night. Which is useful in the rural area or the area that difficult to send the eletrical by transmission on line. This project is the presentation of the solar power supply. Energy form solar cell sent to be charging at the battery and at the battery at sent energy use to working by it is circuit control charging battery standby always. We have studie and test the solar cell both electrical characteristic and the application that suitable for the rural in thailand. We also studied about energy storage by use the battery,Photo-Switch to switch on the lighting in the night automatically,charge controller in order to protect battery charging. The system that we have studied will switch on the lighting at night and switch off in the day automatically.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
Abstract	II
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
กิตติกรรมประกาศ	VIII
บทนำ	IX
บทที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	1
1.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	1
1.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	2
1.2.1 หลักการเปลี่ยนพลังงาน	3
1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	4
1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ	7
1.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์	7
บทที่ 2 โซลาร์โมดูล (Solar Module)	9
2.1 โซลาร์โมดูล	9
2.1.1 ชนิดของซิลิกอน	10
2.1.2 โครงสร้างแบบโมดูล (Module)	10
2.1.3 ไดโอดลัดผ่าน (Bypass Diodes)	11
2.2 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลแสงอาทิตย์	11
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลกับคุณลักษณะทางไฟฟ้า	13
2.2.2 ผลของการส่องแสง	14
2.2.3 ผลของจำนวนเซลล์ในแต่ละโมดูล	15
2.2.4 ผลของพื้นที่ของเซลล์	16
2.2.5 ผลของชนิดซิลิกอน	17
2.3 พลังงานที่ได้โดยเฉลี่ยจากแผงโซลาร์เซลล์ใน 1 วัน	17
2.3.1 หน่วยของ แดรี่ อินโซเลชั่น	18
2.3.2 ข้อจำกัดในการใช้แผนที่แสดงค่า Peak-hour (แดรี่ อินโซเลชั่น)	20
2.3.3 การเลือกมุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง โดยการใช้	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
ค่าองค์ประกอบมุมเอียง	
2.4 แบตเตอรี่	23
2.4.1 ข้อกำหนดสำหรับระบบแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับ	23
2.4.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์	23
2.4.3 คุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้า	24
2.4.4 ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)	24
2.4.5 การเกิดสารซัลเฟต	24
2.4.6 ผลของอุณหภูมิ	25
2.4.7 ความสม่ำเสมอในการประจุแรงดัน	25
2.4.8 ดาร์คเคอเรนทลีคเกจ (Dark current leakage)	26
2.4.9 ชาร์จเรกกูเลเตอร์ (charge regulator)	28
บทที่ 3 โครงสร้างของระบบโครงงาน	29
การทำงานของระบบ	29
วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	30
วงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติ (Photo Switch)	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	39
4.1 การทดลองเพื่อหามุมเอียง (Tilt Angle) ที่เหมาะสม	39
4.2 การหาคุณลักษณะทางไฟฟ้า (V - I Characteristic)	43
4.3 การทดลองการจ่ายภาระของระบบ	46
4.4 การทดลองเสถียรภาพการทำงานของระบบแสงสว่าง	47
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	49
หนังสืออ้างอิง	50
ภาคผนวก	

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	2
รูปที่ 1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน	2
รูปที่ 1.3 แผนภาพแถบพลังงานของรอยต่อเอ็น-พี(N-P)เมื่อมีโฟตอนที่มีพลังงาน $h\nu$ ตกกระทบแสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของพาหะ	3
รูปที่ 1.4 แผนภาพแสดงการดูดกลืนโฟตอนภายในเซลล์	4
รูปที่ 1.5 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน	5
รูปที่ 1.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานและแบบอนุกรม	8
รูปที่ 2.1 โซลาร์เซลล์วงกลมซึ่งเป็นการต่อเซลล์แบบอนุกรม	9
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันขนาดมีภาวะ	12
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันขณะที่ไม่มีภาวะ	12
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแสงกับกราฟกระแสและแรงดัน	14
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกราฟ กระแสและแรงดัน	14
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงผลของจำนวนเซลล์ในโมดูลกับ กราฟกระแสและแรงดัน ขณะที่ความหนาแน่นแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร	15
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเซลล์กับ กราฟกระแสและแรงดัน	16
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ชนิดผลึกเดียวกับชนิดฟิล์มบางกับกราฟ กระแสและแรงดัน	17
รูปที่ 2.9 แสดงค่าอินโซเลชัน ในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	19
รูปที่ 2.10 แสดงถึงการจัดโมดูล ขนาด 36 เซลล์ โดยสามารถใช้ได้เหมือนกับโมดูลการควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเอง ขนาด 30 เซลล์	27
รูปที่ 2.11 แสดงถึงการควบคุมการประจุโดยใช้โอเวอร์โวลต์เตจ (over-voltage) มาต่อขนานกับแบตเตอรี่เพื่อจำกัดแรงดันของแบตเตอรี่	28
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบโครงงาน	29
รูปที่ 3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)	30
รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมวงรอบการชาร์จและหยุดชาร์จ	31
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมการชาร์จของแบตเตอรี่	33

รูปที่ 3.5 ลายทองแดงและการลงอุปกรณ์ของวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ บนแผ่นวงจรพิมพ์	34
รูปที่ 3.6 วงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติ	36
รูปที่ 3.7 ลายทองแดงและการลงอุปกรณ์ของวงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติบนแผ่นวงจรพิมพ์	37
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่า Voc และ Isc	40
รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรเพื่อวัดค่าแรงดัน และ กระแสที่ภาระ (Load) ต่างๆเพื่อหา คุณสมบัติทางไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน	45



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคอนเวอร์ชันแฟคเตอร์ของค่า แดรี่ อินโซเลชัน	21
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าแฟคเตอร์ในการเทียบในบริเวณที่ครอบคลุมกรุงเทพมหานคร	22
ตารางที่ 2.3 แสดงถึงรายละเอียดของ ลีดแอซิคเซล	23
ตารางที่ 2.4 แสดงถึงคุณสมบัติแรงดันของ ลีดแอซิคเซลและแบตเตอรี่	24
ตารางที่ 2.5 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน	26
ตารางที่ 4.1 การวัด Voc และ Isc โดยหันแผงไปทางทิศเหนือ	41
ตารางที่ 4.2 การวัด Voc และ Isc โดยหันแผงไปทางทิศใต้	42
ตารางที่ 4.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสขณะมีภาระต่างๆ (Load)	44
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันก่อนประจุและหลังประจุ	47

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในทุกๆ ด้าน ก็ด้วยความร่วมมือและ คำชี้แนะพร้อมทั้งคำแนะนำต่างๆ จากคณะอาจารย์ทุกๆ ท่านในภาคเทคนิคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทางด้านโครงการ ของคณะผู้จัดทำ ซึ่งอาจารย์ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ ของโครงการนี้เป็นอย่างดี และทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นห่วงและ คอยให้คำแนะนำที่ดีแก่ทางคณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ ทางการศึกษาและให้กำลังใจแก่ทางคณะผู้จัดทำด้วยดีตลอดมา

นายขวัญชัย วิโรจนาวรัตน์
นายจักรกฤษ แซ่ตัน

บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเรื่อยๆอย่างต่อเนื่องโดยตลอด มีการค้นคว้าและทำวิจัย ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานในทางวิชาการหลายๆ ด้าน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานแสงอาทิตย์มาสู่รูปแบบของพลังงานไฟฟ้าซึ่งได้ตั้งค่าของกระแส และแรงดัน จึงสามารถนำมาใช้งานได้หลายรูปแบบหลากหลายอย่าง ซึ่งไม่ว่าจะเป็นสถานที่ใดสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ปัญหาที่เราจะพบ บ่อยคือต้นทุนในการผลิตนั้นค่อนข้างจะแพง และการที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นเราจำเป็นต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างมากจึงเป็นอุปสรรคต่อการนำมาประยุกต์ใช้ให้มีความแพร่หลายมากยิ่งขึ้น

ในปฏิญญาฉบับนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์และการนำมาประยุกต์ใช้ มีรายละเอียดดังนี้

- บทที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)
- บทที่ 2 โซลาร์โมดูล (Solar Module)
- บทที่ 3 โครงสร้างของระบบโครงงาน
- บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง
- บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความสนใจและเป็นแนวทางไม่มากนักน้อย ถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำก็ขอภัยล่วงหน้าไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณทุกๆ ท่าน
คณะผู้จัดทำ

บทที่ 1

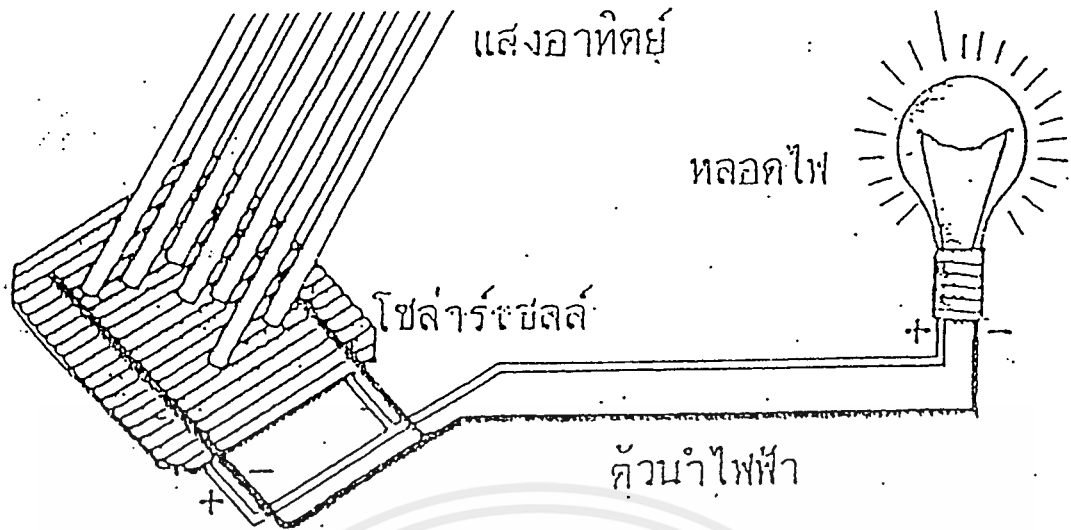
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

1.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวหรือต้องทำให้ร้อน แสงอาทิตย์(โฟตอน)จะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอน(Electron)ในสารกึ่งตัวนำที่มีพลังงานศักย์สูงขึ้นไปโดยตรง สารที่ใช้ในการดูดกลืนโฟตอนนี้จะประกอบด้วยตัวต่อของสารที่มีคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์(Electronic) มีพลังงานศักย์สูงนี้ ออกมาเป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่างด้านบนและด้านล่างของสาร สารที่ว่าสามารถแปลงพบพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพนี้ได้แก่ สารกึ่งตัวนำในบรรดาสารที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้แก่ ซิลิกอน แกลเลียมอาร์เซไนด์ แกลเลียมซัลไฟด์ ได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด สาเหตุที่ซิลิกอนได้รับความนิยมมากเพราะซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก กล่าวคือสกัดจากทรายที่มีอยู่ทั่วไป เทคโนโลยีเกี่ยวกับซิลิกอนได้รับการพัฒนามานานเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในทางอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากเหตุผลดังกล่าว จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าซิลิกอนยังคงมีบทบาทในเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์นี้ไปอีกระยะเวลาอันยาวนานแน่นอน

โฟโตโวลตาอิก เป็นคำมาจากภาษากรีก มีความหมายว่า ไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงานดังนี้คือ

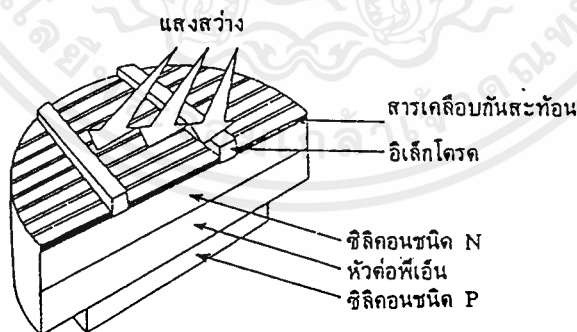
1. มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 30 ปี
2. มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ไม่ขึ้นอยู่กับขนาด
3. สามารถออกแบบให้มีขนาดใช้งานตามต้องการได้
4. ไม่มีเสียงรบกวน
5. ไม่มีมลภาวะที่เป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม
6. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทันทีที่แสงตกกระทบ



รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

1.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของแสงอาทิตย์ได้แก่หัวต่อพีเอ็น(P-N)ของสารกึ่งตัวนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนนั้นผลิตขึ้นโดยการนำแว่นผลึกซิลิกอนหนาประมาณ 200-300 ไมครอน มาแพร่ซีมสร้างเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อพี-เอ็น(P-N) โดยมีการซีมลึกของแพร่ซีมหรือหัวต่อประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน จากนั้นนำหัวต่อพี-เอ็นไปทำผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง ผิวสัมผัสทางด้านหน้ามีลวดลายเป็นรูปนิ้วมือหรือก้างปลา เพื่อให้เหลือพื้นที่รับแสงมากที่สุดในขณะที่สามารถทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงอย่างมีประสิทธิภาพด้วย

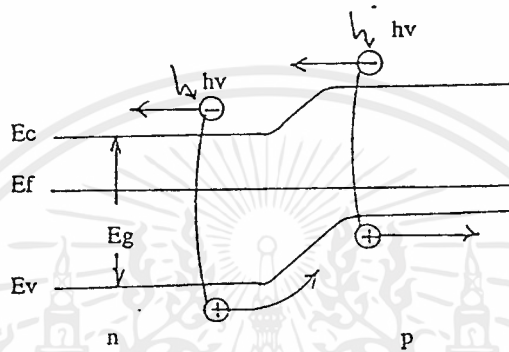


รูปที่ 1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 หลักการเปลี่ยนพลังงาน

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก(Photovoltaic Effect) ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำใกล้เคียงบริเวณศักย์ขวางกันในตัว(Potential Barrier) ที่รอยต่อ ในที่นี้จะอธิบายในลักษณะของรอยต่อเอกพันธ์แบบ พี-เอ็น(P-N) ซึ่งเข้าใจง่าย อาศัยแผนภาพแถบพลังงานในรูปที่ 1.3

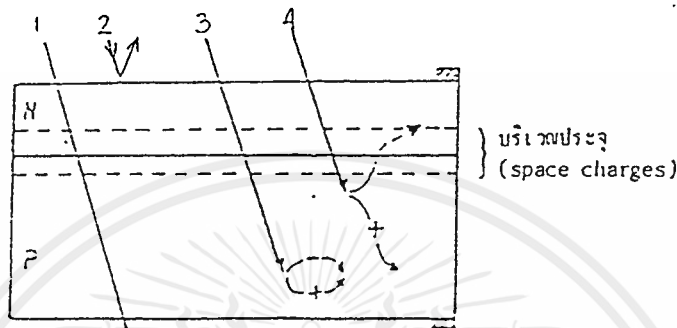


รูปที่ 1.3 แผนภาพแถบพลังงานของรอยต่อเอ็น-พี(N-P)เมื่อมีโฟตอนที่มีพลังงาน $h\nu$ ตกกระทบบน แสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของพาหะ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น(P-N) มีช่องว่างแถบพลังงานเดียว E_g เมื่อโฟตอนที่มีพลังงาน $h\nu > E_g$ อิเล็กตรอน(Electron) ในสารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนโฟตอนและยกระดับตัวเองจากแถบวาเลนซ์(Valance) ขึ้นไปยังแถบการนำกลายเป็นพาหะประจุลบทั้งหมดซึ่งเป็นพาหะประจุบวกไว้ที่แถบวาเลนซ์(Valence) อิเล็กตรอน และหลุมคู่นี้เรียกว่าพาหะกลุ่มน้อย จะมาออกันบริเวณสองด้านของรอยต่อพาหะกลุ่มน้อยส่วนเกินจะแพร่ไปยังรอยต่อ พาหะดังกล่าวที่เกิดขึ้นที่ระยะทางต่ำกว่าความยาวแห่งการแพร่(Diffusion Length) (ความยาวแห่งการแพร่หมายถึงความยาวหรือระยะเฉลี่ยที่พาหะเคลื่อนที่ไปก่อนจะมีการรวมตัว) จากศักย์ขวางกันเมื่อมาถึงรอยต่อจะถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้า ณ ที่นั้นอิเล็กตรอน ถูกกวาดเข้าไปในเขตเอ็น(N) ส่วนหลุมเข้าไปในเขตพี(P) การเคลื่อนที่ของพาหะดังกล่าวเป็นการลอยเลื่อน(Drift) ในสนามไฟฟ้า เมื่อพาหะเคลื่อนที่ออกนอกรอยต่อเข้าสู่เนื้อวัสดุ(Bulk Material) ของเซลล์พาหะจะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยการแพร่เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าภายนอกบริเวณรอยต่ออาจมีการสูญเสียพาหะไปส่วนหนึ่ง เนื่องจากการรวม ตัวของพาหะชนิดตรงข้ามและมีการดักจับ(Trap) พาหะเนื่องจากความบกพร่องในเนื้อวัสดุและบริเวณผิว พาหะที่เคลื่อนออกนอกเซลล์จะไหลผ่านโหลด(Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบวงจรถ้าหากพิจารณากลไกของปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก(Photovoltaic Effect) ให้ละเอียดขึ้นอีกจะพบว่ารังสีแสงอาทิตย์มีสเปกตรัมกว้างมีไซโฟตอนทุกตัวที่ตกกระทบเซลล์จะสามารถสร้างพาหะในสารกึ่งตัวนำได้ทั้งหมด ถ้าดูในรูปที่ 1.4 เราจะเห็นโอกาสที่เป็นไปได้ต่าง ๆ กันดังนี้



รูปที่ 1.4 แผนภาพแสดงการดูดกลืนโฟตอนภายในเซลล์

1. โฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_g ไม่อาจทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุมในเซลล์ได้ ดังนั้นมันจึงไม่ถูกดูดกลืนแสง
2. โฟตอนสะท้อนกลับที่ผิวหน้าด้านนอกของเซลล์
3. โฟตอนถูกดูดกลืนที่ระยะห่างจากรอยต่อ พาหะที่เกิดขึ้นกลับรวมกันเสียก่อนที่มันจะเคลื่อนมาถึงบริเวณศักย์ขวางกัน
4. โฟตอนมีพลังงานสูงพอที่ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุมภายในระยะไม่เกินช่วงความยาวแพร่กระจายจากศักย์ขวางกัน ดังนั้น พาหะนี้จะถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าที่มีอยู่บริเวณชั้นของการพร่อง (Depletion Layer)

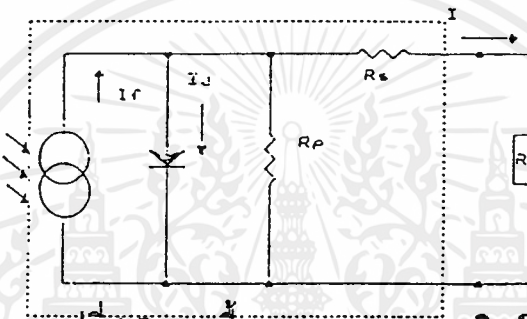
ใน 3 กรณีแรกเป็นการสูญเสียเนื่องจากกลไกการเปลี่ยนพลังงาน กรณีสุดท้ายเท่านั้นที่จะก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าได้

1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นกราฟ ได้ดังรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่าขณะเซลล์ได้รับแสง เซลล์จะสามารถจ่ายกระแสได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจร ซึ่งมีค่ากระแสขณะปิดวงจร (Short Circuit Current = I_{sc}) โดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้วขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์

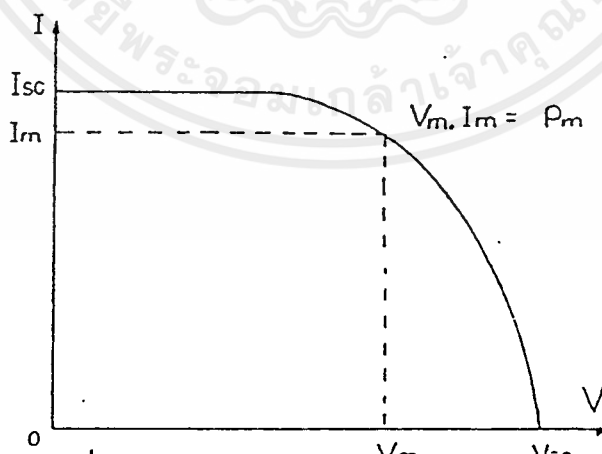
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage : V_{oc}) กระแสที่เกิดจากเซลล์ขณะที่ได้รับแสงนี้ถูกเรียกว่า " กระแสไฟฟ้าแสง " (Photo Current) สำหรับเซลล์เดียวจะมีค่า V_{oc} ไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่คร่อมแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสม กับการประยุกต์ไปใช้งานจริง



รูปที่ 1.5 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากวงจรเราเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อย ๆ โดยที่แต่ละครั้งในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ให้บันทึกค่าศักดาที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสที่ไหลในวงจรเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } I = I_0 [\exp (V_{oc} / mV_t) - \exp (V / mV_t)] \quad \dots\dots\dots[1.1]$$

$$V_t = \text{THERMAL VOLTAGE} = Kq/T$$

$$K = \text{BOLTZMAN CONSTANT}$$

$$q = \text{ELECTRON CHARGE}$$

$$T = \text{KELVIN DEGREE}$$

$$V_{oc} = \text{OPEN CIRCUIT VOLTAGE}$$

$$I_0 = \text{LEAKAGE CURRENT}$$

$$m = \text{CORRECTION FACTOR}$$

ต่อไปจะพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถหาได้จากกราฟ ศักดาไฟฟ้า โดยจะแยกพิจารณาทีละตัวดังต่อไปนี้

1. ขนาดของศักดาไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) คือขนาดของศักดาไฟฟ้า ขณะที่ความต้านทานมีค่าเป็นอนันต์ ($R_l = \infty$) แยกพิจารณา ดังนี้

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยว จะมีค่า V_{oc} ไม่เกิน 0.6 โวลท์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อ พี- เอ็น (P-N) นั้นเอง

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสม กับการประยุกต์ไปใช้งานจริง

2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (I_{sc}) มีลักษณะทำนองเดียวกันกับ V_{oc} โดยทั่วไป สำหรับเซลล์เดี่ยวแล้ว ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์ (Amp)

3. กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) หาได้จากตำแหน่งของกราฟ ที่ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าศักดาไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือ จุด V_m และ I_m ตามลำดับ เพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad \dots\dots\dots[1.2]$$

4. ฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\text{FILL FACTOR} = P_m / P_0 \quad \dots\dots\dots[1.3]$$

$$\text{โดยที่ } P_m = V_m \cdot I_m$$

$$P_0 = V_{oc} \cdot I_{sc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ประสิทธิภาพของเซลล์ (Efficiency) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{EFFICIENCY} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mW)}}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mW/cm}^2\text{) พท.รับแสง}} \times 100\%$$

โดยทั่วไปแล้วจะคิดเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 100 mW/cm

1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเผื่อไว้สำหรับความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดขึ้นภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์ พวกอะตอมในคริสตัล(Crystal Lattice) จะสั่นสะเทือนแรงขึ้นเมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นในการที่อิเล็กตรอน จะหลุดออกมา ก็ใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงได้ก็หมายความว่า ในแสงแดดที่มีความเข้มเท่ากันในอุณหภูมิสูงกว่า แต่พร้อมกันนั้นพวกอิเล็กตรอน และโฮล(Hole) จะมีพลังงานมากขึ้นที่จะข้ามแดนและวิ่งในทางตรงข้ามซึ่งจะมีผลให้กระแสไฟฟ้าลดลง ในเวลาเดียวกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าแบบลัดวงจรเราจะได้กระแสไฟฟ้ามากกว่าตอนที่แผงยังมีความเย็นอยู่แต่เมื่อมีโหลด(Load) ที่มีความต้านทานมากขึ้นจะมีการสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย

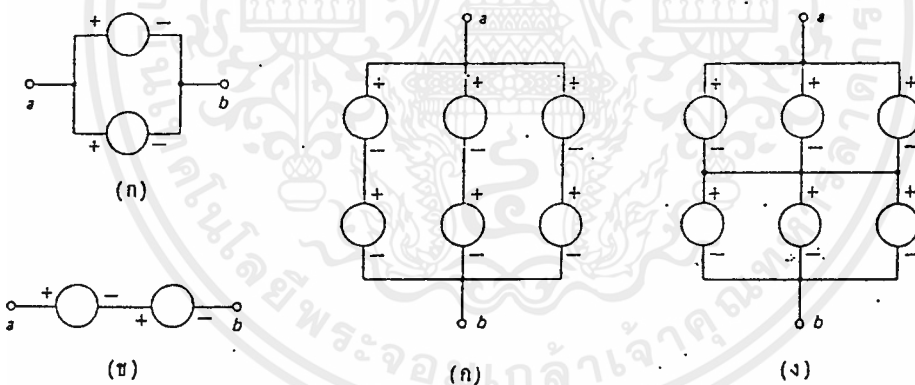
1.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวมีแรงดันไฟฟ้าเพียง 0.5 โวลต์ (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน(Silicon)) และ 1 โวลต์ (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาเซไนด์) และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง ในกรณีที่ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Panels) เพียงแผ่นเดียวทำได้โดยจัดกลุ่มแถวลำดับซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหนึ่ง ซึ่งมีแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเท่ากันทุกแผงในการใช้ประโยชน์เข้าจะออกแบบโมดูล(Modules) เซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ต้องการใช้งานเช่น โมดูล (Modules) ที่มีแรงดันมาตรฐาน 1.5 V, 6 V, 12 V, 24 V และ 48 V เป็นต้น ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าจำเพาะขนาดหนึ่งก็อาจนำโมดูล(Modules) จำนวนหนึ่งที่พอเหมาะมาต่อในรูปแบบอนุกรม/ขนาน หรือ ขนาน/อนุกรม ก็เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับโหลด โดยอาศัยหลักการคือ ถ้าต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าก็ต่อเซลล์แบบอนุกรม และถ้าต้องการกระแสสูงๆ ก็ต่อเซลล์แบบขนาน ซึ่งคล้ายกับการต่อแบบแบตเตอรี่ แต่การต่อเซลล์ในรูปแบบอนุกรม/ขนานจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางประการคือ เซลล์บางตัวเกิดชำรุด(เซลล์มีการเปิดหรือลัดวงจร)หรือเกิดเงาบังเซลล์บางส่วนของเซลล์ตัวอย่างเช่น เซลล์ให้แรงดัน 0.5 V กระแส 2 A นำเซลล์ 200 ตัวต่ออนุกรมเป็นสตริงค์(String) ได้แรงดัน 100 V และต่อสตริงค์นี้ขนานกัน 50 สตริงค์ จะได้กระแส 100 A รวมได้กำลังไฟฟ้า 10,000 W ในทำนองกลับกันถ้าต่อเซลล์ 50 ตัวขนานกันเป็น 1 ชั้นโมดูล(Sub Modules) ได้กระแส 100 A ต่อ 200 ชั้นโมดูล อนุกรมกันได้แรงดัน 100 V รวมได้กำลังไฟฟ้า 10,000 W เช่นเดียวกับวิธีแรกในทางปฏิบัติแล้วการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคต่างกันจะให้ผลต่างกันโดยเฉพาะเมื่อปัญหาเงาบัง หรือเซลล์ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งในแถวลำดับเกิดชำรุด

เพื่อความเข้าใจไปในแนวเดียวกันในการแยกชื่อส่วนต่าง ๆ ในวงจรที่มีเซลล์ต่อแบบอนุกรมและขนาน ให้ดูรูปที่ 1.7 ประกอบ ชุดของเซลล์ที่ต่อดังในรูปที่ 1.7 (ค) เมื่อนำมาต่ออนุกรมเพิ่มขึ้นจำนวนหนึ่งจนได้แรงดันมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้ว เรียกว่า โมดูล(Modules) จัดเข้าแผงได้ รูปที่ 1.7 (ง) ก็เช่นเดียวกันเซลล์จำนวนหนึ่งต่อขนานกันเรียกว่า ชั้นโมดูล(Sub Modules) เอาชั้นโมดูล จำนวนหนึ่งต่ออนุกรมกันจนได้แรงดันมาตรฐานเรียกว่า โมดูล (Modules) หรือ สตริงค์ (String)



รูปที่ 1.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานและแบบอนุกรม (ก) เซลล์ 2 ตัวต่อแบบขนาน (ข) เซลล์สองตัวต่อแบบอนุกรม (ค) การต่อเซลล์อนุกรม/ขนาน, 3 สตริงค์(String) ขนานกันในแต่ละชั้นสตริงค์(Sub String) มี 2 เซลล์ต่อแบบอนุกรมกัน (ง) การต่อเซลล์ขนาน/อนุกรม 2 ชั้นโมดูล (Sub Modules) อนุกรมกันในแต่ละชั้นโมดูล มี 3 เซลล์ต่อขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

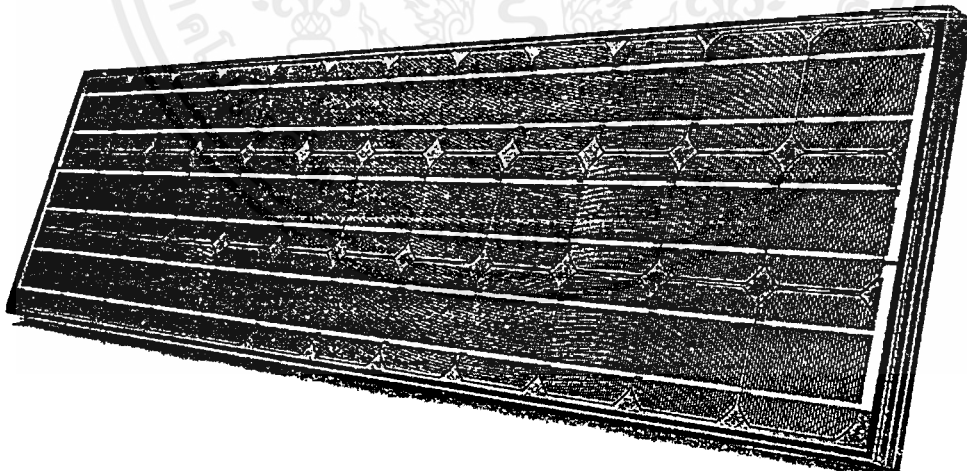
บทที่ 2

โซลาร์โมดูล (Solar Module)

2.1 โซลาร์โมดูล

โซลาร์เซลล์(Solar Cell) ส่วนใหญ่จะผลิตมาจากซิลิกอน, วัสดุที่สกัดออกมาจากทราย ซึ่ง วัสดุชนิดอื่นก็สามารถที่จะนำมาทำโซลาร์เซลล์ได้ แต่สารซิลิกอนมันได้พิสูจน์มาว่ามีความน่าเชื่อถือที่สุดและราคาถูกที่สุด สำหรับการนำมาทำอุปกรณ์เกี่ยวกับแสงอาทิตย์

การผลิตโซลาร์เซลล์ในขั้นแรกเราจะสนใจที่สารซิลิกอนก่อนคือการนำเอาสิ่งเจือปนออก ต่อมาเติมโบรอนจำนวนเล็กน้อยลงในซิลิกอนบริสุทธิ์ ที่เราเรียกว่าการโด๊ป ขบวนการนี้จะทำได้ ในขณะที่ซิลิกอนอยู่ภายในบล็อกขนาดใหญ่ที่มีคริสตอล-เดี่ยวอยู่ เรียกว่า กระบวนการโคซาลสกี (Czochalski process) แผ่นบางๆจะถูกตัดออกจากบล็อกและให้ความร้อนประมาณ 850 องศาเซลเซียสแก่เตาเผา ขณะนั้นก๊าซที่ประกอบด้วยสารฟอสฟอรัสจะถูกผ่านเข้าไป สารฟอสฟอรัสในก๊าซจะแผ่ไปทั่วพื้นผิวของแผ่นบางๆพร้อมกับโบรอนนั้นจะให้การมีคุณสมบัติแบบ โฟโตโวลตาอิก(Photo Voltaic) (คือความสามารถที่จะเปลี่ยนแสงไปเป็นไฟฟ้า ซึ่งในทางเทคนิคนั้นพี-เอ็นจังก์ชัน(P-N junction) จะถูกจัดเรียงตัวใกล้กับพื้นผิวระหว่าง โบรอนและฟอสฟอรัสที่ถูกโด๊ป)



รูปที่ 2.1 โซลาร์เซลล์วงกลมซึ่งเป็นการต่อเซลล์แบบอนุกรม

หลังจากการทำงานในเตาเผาแล้ว แผ่นโลหะบางๆจะถูกนำมาสัมผัสไว้บริเวณหน้าเซลล์ และจัดรูปแบบตามรูปที่ 2.1 โลหะนี้จะเป็นหน้าสัมผัสที่เป็นขั้วลบขณะที่ชั้นของโลหะที่อยู่ทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังของเซลล์จะเป็นขั้วบวกสารที่เคลือบไว้ที่ด้านหน้าจะทำหน้าที่เป็นสารกั้นสะท้อนซึ่งมันจะช่วยดูดซับแสงเข้าไปในเซลล์ แต่ละแผ่นบางๆ ที่ได้เหล่านี้เราจะเรียกมันว่า โซลาร์เซลล์

2.1.1 ชนิดของซิลิกอน

เซลล์ส่วนใหญ่ที่ผลิตมาจากซิลิกอนจะถูกเรียกว่าเป็นแบบ ผลึกเดี่ยว(Single Crystal) หรือ(Mono crystalline) ได้ถูกผลิตโดยกรรมวิธีดังที่ได้จะอธิบายมา ซิลิกอนผลึกเดี่ยวสามารถตัดให้เป็นรูปร่างต่างๆได้ รูปร่างของเซลล์โดยทั่วไปนั้นมี 2 แบบ คือ แบบจัตุรัสที่แต่ละมุมจะโค้ง(ความยาวสูงสุดคือ 100 มม. หรือ 4 นิ้ว) และแบบวงกลม(รัศมีสูงสุดคือ 125 มม. หรือ 5 นิ้ว)

ซิลิกอนชนิดอื่นที่ใช้ผลิตโซลาร์เซลล์เรียกว่า ซิลิกอนหลายผลึก (Polycrystalline, Multicrystalline, หรือ Semicrystalline Silicon) ผิวของเซลล์เหล่านี้จะดูบางกว่าชนิดผลึกเดี่ยว ซึ่งเป็นสีน้ำเงินปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับผลึกเดี่ยว เซลล์เหล่านี้ราคาจะถูกกว่าที่ใช้ผลิตแต่ประสิทธิภาพจะน้อยกว่าในการเปลี่ยนแสงมาเป็นกระแสไฟฟ้า

วิธีที่สาม ที่สำคัญในการผลิตเซลล์แบบซิลิกอน ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี 1970 เซลล์ถูกสร้างเป็นแบบอาโมर्फัสซิลิกอน(Amorphous Silicon) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน ปริมาณเล็กน้อย และมีรูปแบบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆขบวนการในการผลิตซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบางๆจะง่ายกว่าและถูกกว่าใช้ ผลึกเดี่ยว และ หลายผลึกซึ่งการสร้างเป็นโมดูลจะสร้างในขนาดเดียวกับที่เซลล์ถูกผลิต

สำหรับเซลล์ที่สร้างจากผลึกซิลิกอน ซิลิกอนจะต้องถูกเตรียมอย่างระมัดระวังจากบล็อกรูปทรงคริสตัลขนาดใหญ่ ซึ่งต้องทำการตัดออกเป็นแผ่นบางๆสำหรับเซลล์ที่สร้างมาจากอาโมर्फัสซิลิกอน และสารอื่นๆจะถูกเคลือบบนชั้นแก้วที่ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆแทนที่จะใช้แถบโลหะเป็นหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า วัสดุทางไฟฟ้าที่โปร่งแสงจะถูกเคลือบระหว่างแก้วกับซิลิกอน

ซิลิกอนผลึกเดี่ยว และ หลายผลึกมีการใช้งานมาหลายปีแล้ว จากการทดลองที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามันมีความเชื่อถือได้สูง และผู้ผลิตส่วนใหญ่รับประกันมากกว่า 10 ปีแล้วเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่ออกมา

2.1.2 โครงสร้างแบบโมดูล(Module)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน แต่ละชิ้นจะผลิตไฟกระแสตรงมากกว่า 0.4 โวลต์เล็กน้อย ถ้าอยู่ในแสงที่สว่างจ้าแรงดันที่ได้จะสูงกว่านี้ถ้านำเซลล์หลายๆเซลล์มาต่ออนุกรมกันในลักษณะมาต่ออนุกรมกันในลักษณะเป็นโมดูล เพื่อการอัดประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ โมดูลแสงอาทิตย์จะต้อง

สร้างแรงดัน 13 โวลต์ที่ขั้วของแบตเตอรี่ โมดูลถูกออกแบบให้ประกอบด้วย 28 และ 40 เซลล์ของซีลีคอนในแต่ละแผง ดังนั้นถ้าเป็นเซลล์แบบแผ่นฟิล์มบางสามารถที่ทำให้มีน้อยกว่า 28 เซลล์ได้

เซลล์ที่ถูกเลือกให้สร้างทำเป็น 1 โมดูล ถูกสร้างอย่างสัมพันธ์กันของผู้ผลิตเพื่อให้มีกระแสออกมาแน่นอน ซึ่งมีมีความสำคัญเวลาขณะที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่งให้กระแสออกมาต่ำ มันจะทำให้โมดูลทั้งหมดได้รับผลกระทบ

2.1.3 ไดโอดลัดผ่าน (Bypass Diodes)

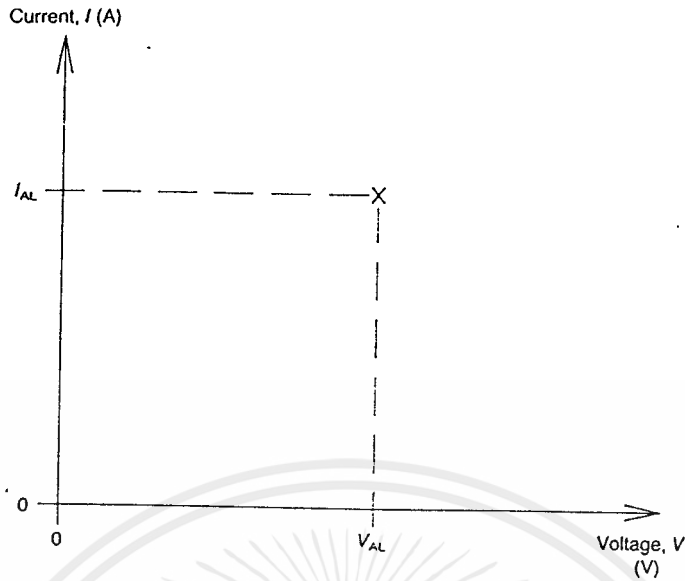
ระหว่างการผลิตขึ้นเป็นโมดูลนี้จะมีไดโอด 1 ตัวหรือ 2 ตัว ต่อร่วมอยู่ด้วยไดโอดที่ถูกติดกับโมดูลเราเรียกว่าไดโอดลัดผ่าน เพราะว่ามันจะทำหน้าที่ป้องกันโมดูลโดยการต่อขนานไว้หรือการทำให้กระแสผ่านไปยังทิศทางอื่น ไดโอดลัดผ่านนี้จะต้องการใช้เมื่อเรานำหลายๆโมดูลมาเชื่อมต่อกันเช่น ระบบ 24 โวลต์ หรือ สูงกว่านั้นปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์เพียงไม่กี่เซลล์ในโมดูลถูกบังกำลังที่ออกมาจะถูกลัดวงจรในกรณีนี้ไดโอดลัดผ่านจะป้องกันที่ได้รับแสงจากเซลล์ที่อับแสง

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูลแสงอาทิตย์

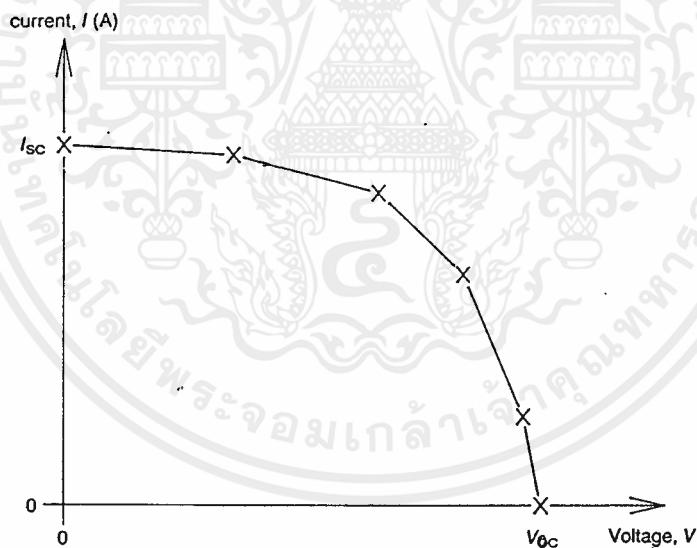
แรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจร

เมื่อโมดูลวางรับแสงอยู่ แรงดันไฟฟ้าที่สามารถที่จะวัดได้สำหรับขั้วบวกและลบโดยการใส่โวลต์มิเตอร์ จะไม่มีกระแสไหลเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้ามาต่อร่วม ดังนั้นการวัดลักษณะนี้เราจะเรียกว่า แรงดันเปิดวงจร

เมื่ออุปกรณ์หรือแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาอัดประจุซ้ำใหม่ได้ถูกต่อเข้ากับขั้วทั้ง 2 กระแสจะไหลออกจากโมดูลตอนนี้แรงดันไฟฟ้าของโมดูลจะน้อยกว่าแรงดันเปิดวงจร เมื่อเพิ่มภาระ (Load) ด้วยการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆให้ขนาน กระแสจะไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและแรงดันก็จะลดลงเรื่อยๆเช่นกัน สำหรับที่กระแสสูงสุดและขั้วของโมดูลก็เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆโดยตรง ซึ่งที่จุดนี้แรงดันจะเป็นศูนย์และกระแสจะไหลมากที่สุดเมื่อทำการลัดวงจรที่ขั้วผ่านแอมป์มิเตอร์กระแสสูงสุดที่ถูกวัดนี้เราเรียกว่ากระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันขนาดมีภาระ



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันขณะที่ไม่มีภาระ

กราฟกระแสและแรงดัน

เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าถูกต่อร่วมกัน การวัดกระแสและแรงดันจะถูกพล็อตเป็นกราฟดังรูป 2.2 แสดงแต่ละจุดในกราฟเนื่องมาจากการวัดอย่างขณะมีภาระ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภาระค่าใหม่ของกระแสและแรงดันจะถูกวัดซึ่งแสดงไว้ในกราฟรูปเดิมการเชื่อมจุดของกราฟเข้าด้วยกันเราจะเรียกมันว่ากราฟกระแสกับแรงดันเราจะทำความเข้าใจว่า กราฟของกระแสกับแรงดันนั้นจะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาใช้ได้อย่างไร เมื่อเราเริ่มต้นที่จุดสุดท้ายทางขวาด้านล่างของกราฟกระแส-แรงดันดังรูป 2.3 จุดนี้คือจุดที่แรงดันสูงสุดและกระแสต่ำสุดขณะที่ไม่มีภาระ ที่ทำการเชื่อมต่อกับโมดูลค่าของแรงดันในกราฟที่มันสัมพันธ์กับแกนแรงดันคือแรงดันเปิดวงจร

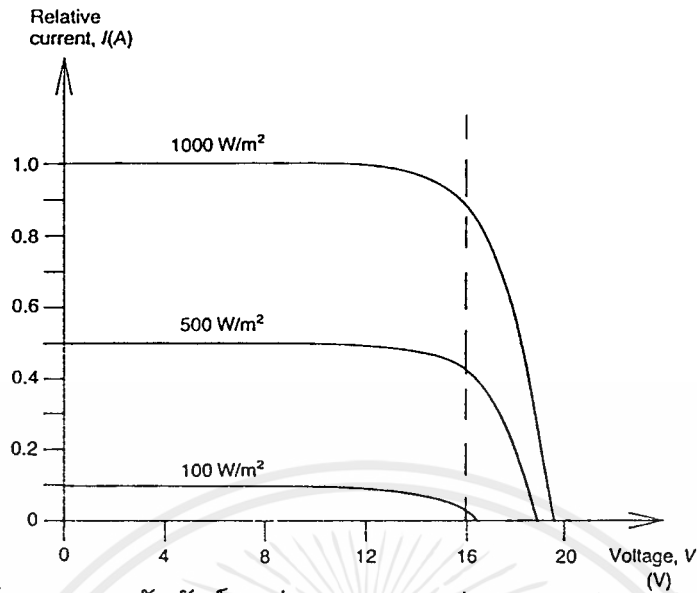
ขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าถูกนำมาต่อรวมเข้ากับโมดูล กระแสจะเพิ่มจากศูนย์ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปตามกราฟ แรงดันกับกระแส โดยเส้นกราฟจะไม่เคลื่อนขึ้นไปตามทางตั้งแต่จะเฉียงไปทางด้านซ้าย มันจะแสดงว่าขณะที่แรงดันที่ต่ำลง กระแสก็เพิ่มสูงขึ้น แรงดันจะน้อยลงมาก และกราฟกระแส-แรงดันจะเอนลงไปทางซ้ายเรื่อยๆกระแสมากที่สุดในระดับที่กราฟกระแส-แรงดันหยุดบนแกนซ้ายสุด โดยแรงดันจะเป็นศูนย์เราเรียกว่า กระแสลัดวงจร

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลกับคุณลักษณะทางไฟฟ้า

กระแสซึ่งโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการผลิตออกมาจะสามารถทำการอัดประจุแบตเตอรี่ได้เร็วเท่าใด เมื่อเราได้ทำการต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ กระแสที่ไหลออกจากโมดูลจะให้กำลังสูงสุดกับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน ขนาดของกระแสที่ออกมานี้จะขึ้นกับปัจจัย 7 ประการดังต่อไปนี้

1. ปริมาณของแสงที่ส่องมายังเซลล์
2. อุณหภูมิของเซลล์
3. จำนวนของเซลล์ในโมดูล
4. พื้นที่ของแต่ละเซลล์
5. ชนิดของซิลิกอน
6. สภาพของแบตเตอรี่
7. ผลของระบบที่สูญเสีย

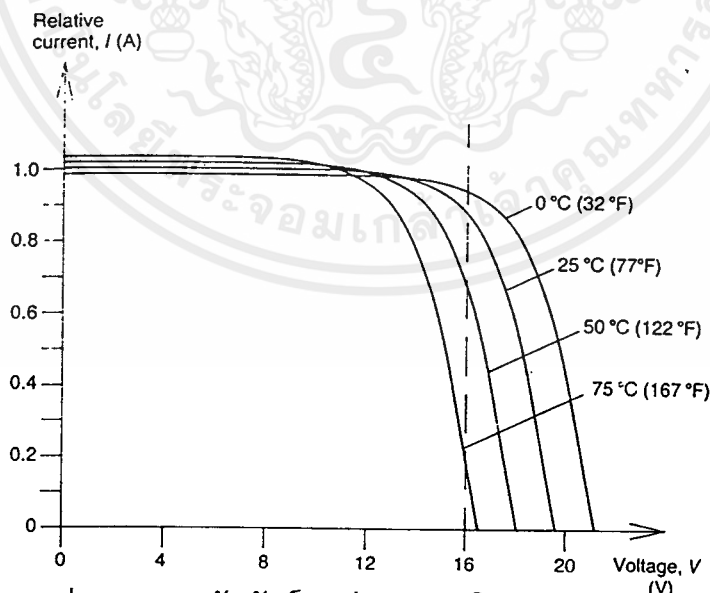
ผลของปัจจัยที่ 1-5 ที่เกี่ยวกับกระแสสามารถอธิบายได้ว่าแต่ละปัจจัยจะเปลี่ยนรูปร่างและตำแหน่งของกราฟแรงดัน-กระแสได้อย่างไร ส่วนปัจจัยที่ 6-7 สามารถอธิบายได้เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแสงกับกราฟ กระแสและแรงดัน

2.2.2 ผลของการส่องแสง

จะแสดงไว้ดังรูป 2.4 แสดงกราฟกระแส-แรงดัน สำหรับโมดูลอันหนึ่งที่มีการส่องแสงที่ 100,500,1000 วัตต์/ตารางเมตร ขณะที่กำลังของการส่องแสงเพิ่มขึ้นกระแสที่แรงดัน 16 โวลท์ จะเพิ่มขึ้น เมื่อดูจากเส้นกราฟที่ตัดกับเส้น 16 โวลท์



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกราฟ กระแสและแรงดัน

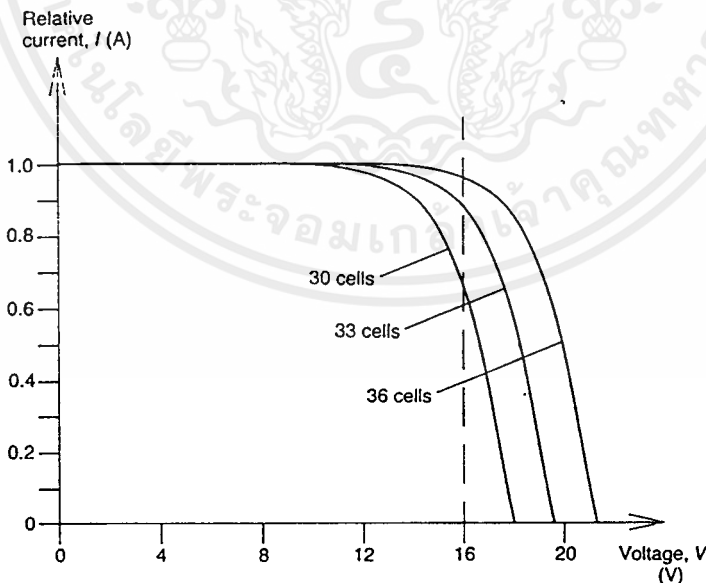
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิ

ขณะที่แสงได้ส่องมาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มันเตรียมที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าตามแบบของโมดูลต่างๆ การส่องแสงที่ปริมาณ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร หมายถึง แสงอาทิตย์จะส่องแสงลงตรงๆบนโมดูล และ เซลล์จะเริ่มทำงานที่อุณหภูมิโดยรอบประมาณ 30 องศาเซลเซียส สำหรับปริมาณแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร กราฟกระแสและเวลาดังรูป 2.5 แสดงผลของอุณหภูมิของเซลล์ที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 0 องศา แรงดันเปิดวงจรจะตกลงขณะที่กระแสลัดวงจรจะสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นกระแสลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จากกราฟได้แสดงถึงค่ากระแสที่แรงดัน 16 โวลท์ ที่ลดลงเนื่องมาจากการลดลงของแรงดันเปิดวงจร ดังนั้นเมื่อต้องการกระแสเอาต์พุตมากที่สุด โมดูลควรจะดึงออกไว้เพื่อการระบายอากาศที่ดี และ รักษาเซลล์ให้เย็นเสมอ กราฟกระแสและแรงดัน โดยปกติจะแสดงที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศา ถ้าค่าของมันเพิ่มขึ้น กราฟนี้ก็ยังสามารถใช้ได้แต่มันจะเหมาะสมกับอุณหภูมิโดยรอบต่างๆเท่านั้น

2.2.3 ผลของจำนวนเซลล์ในแต่ละโมดูล

จำนวนเซลล์ในแต่ละโมดูลมีผลจากแรงดัน โดยทั่วไปแล้วแต่ละเซลล์จะผลิตแรงดันประมาณ 0.4 โวลท์ ขณะที่แต่ละเซลล์เพิ่มขึ้นโดยการต่อแบบอนุกรม สำหรับโมดูลมันเพิ่มแรงดันเปิดวงจรของโมดูลโดยเป็นจำนวนเท่าของ 0.4 โวลท์โดยไม่มีผลกับกระแสลัดวงจร



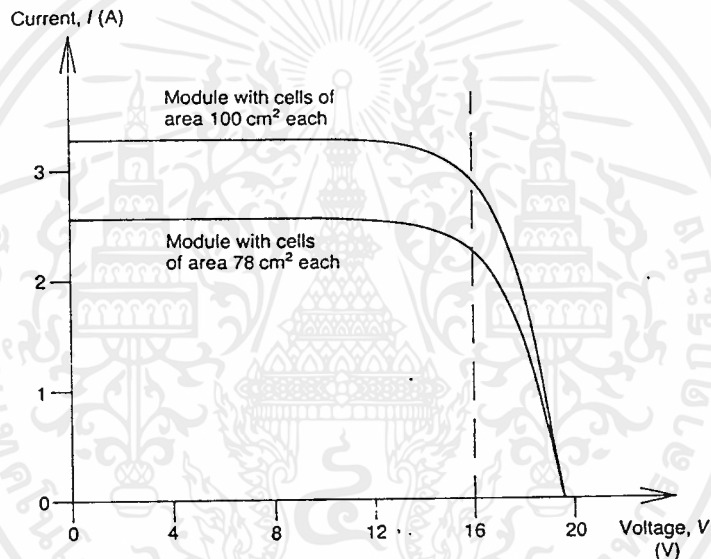
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงผลของจำนวนเซลล์ในโมดูลกับ กราฟกระแสและแรงดัน ขณะที่ความหนาแน่นแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.6 แสดงกราฟกระแสและแรงดันที่ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร สำหรับจำนวนเซลล์แต่ละจำนวนที่อยู่ในโมดูล สำหรับที่ 30 เซลล์กระแสที่แรงดันโหลด 16 โวลท์ จะต่ำกว่าแรงดันลัดวงจรของโมดูลที่ 33 เซลล์หรือจำนวนเซลล์ที่มากกว่านั้นจะให้กระแสที่ใกล้เคียงกระแสลัดวงจรมากกว่าที่ 16 โวลท์

2.2.4 ผลของพื้นที่ของเซลล์

กระแสมากที่สุดของโมดูล กระแสลัดวงจรจะกำหนดโดยขนาดพื้นที่ของแต่ละเซลล์ ที่ระดับการส่องแสงทุกๆค่า นั้น เซลล์ที่มีพื้นที่มากกว่าจะมีกระแสลัดวงจรมากกว่าเซลล์ขนาดเล็ก

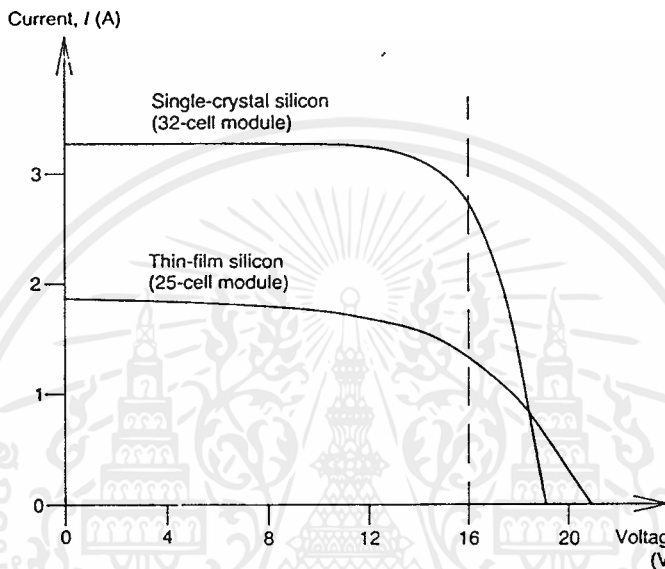


รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเซลล์กับ กราฟกระแสและแรงดัน

รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบกราฟของกระแสและแรงดันที่ 1,000 วัตต์/ตารางเมตรสำหรับโมดูล 2 อันกับจำนวนเซลล์ที่เท่ากันของเซลล์แบบซิลิกอนผลึกเดี่ยว โมดูลหนึ่งเป็นเซลล์แบบวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. มีพื้นที่ 78 ตารางเซนติเมตร โมดูลอีกอันหนึ่งเป็นแบบจัตุรัสมีด้าน 10 ซม. พื้นที่คือ 100 ตารางเซนติเมตร โมดูลอันที่ 2 จะผลิตกระแสได้มากกว่าอันแรก 25 เปอร์เซ็นต์ที่ 16 โวลท์ดังนั้นขนาดของเซลล์จะมีผลโดยตรงกับกระแสที่จ่ายออกมา

2.2.5 ผลของชนิดซิลิกอน

การใช้งานที่ซิลิกอนต่างชนิดกันควรเปรียบเทียบที่ขนาดเซลล์เดียวกัน เซลล์แบบผลึกเดี่ยวจะผลิตกระแสได้สูงที่สุด,แบบหลายผลึกจะผลิตได้ต่ำกว่าเล็กน้อย และซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบางจะผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลึกเดี่ยว แสดงได้ดังกราฟรูป 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวกับชนิดฟิล์มบางกับ กราฟกระแสและแรงดัน

2.3 พลังงานที่ได้โดยเฉลี่ยจากแผงโซลาร์เซลล์ใน 1 วัน

สำหรับเจเนอเรเตอร์(Generator) แล้วโดยปกติการบอกขนาดจะเป็น ค่าพลังงานเอาท์พุท ที่สามารถผลิตได้ซึ่งมีค่าคงที่เป็น KVA แต่ในโซลาร์เซลล์จะมีการบอกขนาดที่ยุ่งยากกว่า เพราะปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับพิคคของแผงโซลาร์เซลล์แล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบแผงในวันหนึ่งๆอีกด้วย

การวัดปริมาณแสงอาทิตย์และเมฆปกคลุม จะใช้วิธีเก็บสถิติของสภาพอากาศ จากสถานีตรวจสภาพอากาศทั่วโลกวิธีวัดมี 2 วิธีคือ วัดเวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงมาถึงเป็นชั่วโมง และวัดค่าเดรี่ อินซูลेशन (Daily Insulation) ซึ่งมีหน่วยต่างๆหลายหน่วย ค่าเดรี่ อินซูลेशन เป็นกวัตต์ค่าเพื่อใช้เพื่อประมาณค่าเอาท์พุทจากแผงโซลาร์เซลล์ ค่านี้จะคำนึงถึงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวระนาบ รวมทั้งปริมาณของแสงที่ลดลงเนื่องจากเมฆหมอกปกคลุมด้วย

ค่าแควี่ อินโซเลชันยังมีชื่อเรียกต่างๆอีกหลายชื่อเช่น Daily Radiation ,Insolanc ,Sola Irradiationและ Global Horizontal Irradiation Insolation ย่อมาจาก Incoming Solar Indiation

2.3.1 หน่วยของ แควี่ อินโซเลชัน

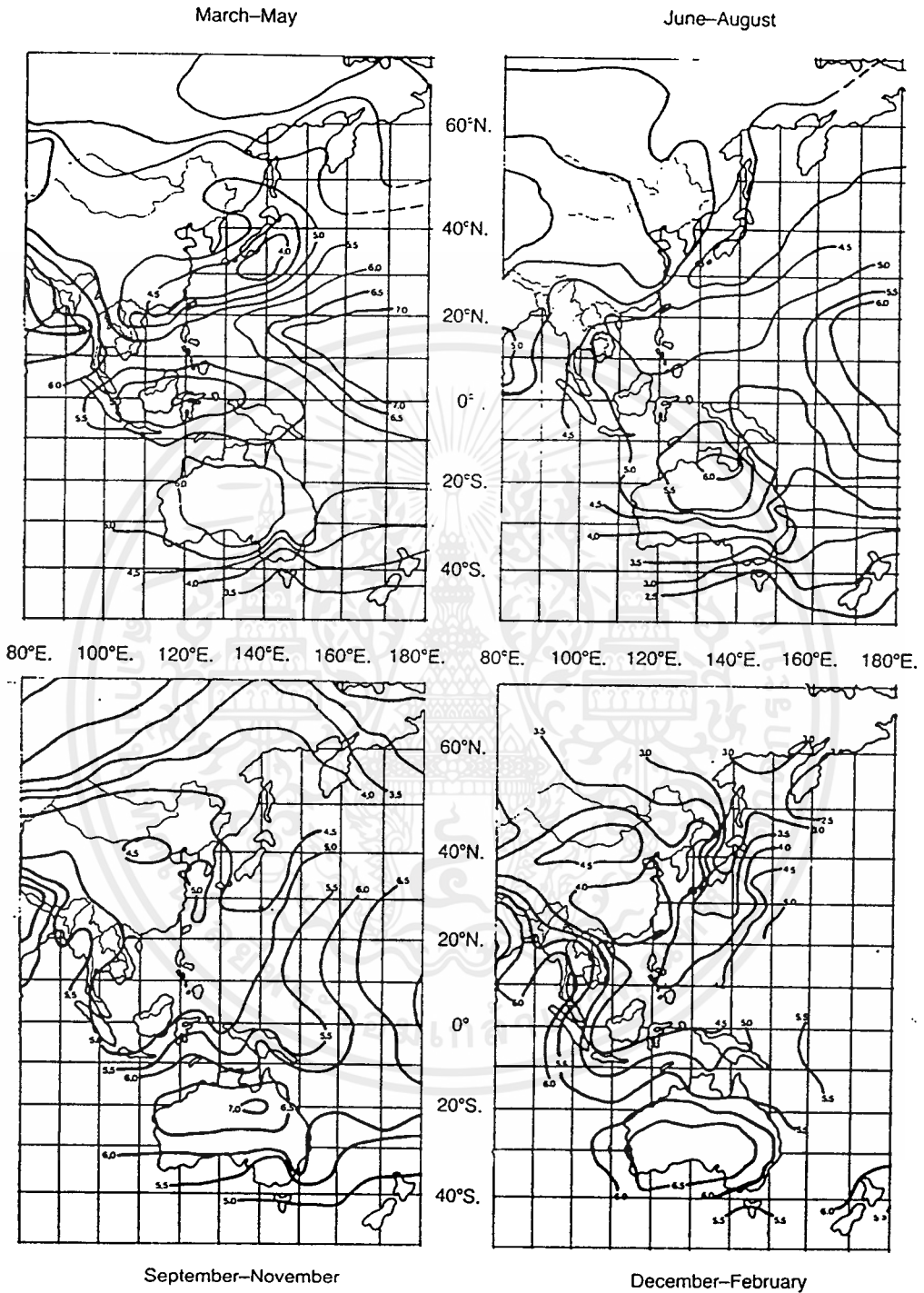
จากที่กล่าวมาแล้วว่าความเข้มที่แสงตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์(ในช่วงเวลาหนึ่งๆ) จะวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร แต่เมื่อวัดค่าของปริมาณแสงทั้งหมดหรือ ค่า อินโซเลชัน(Insolation) ที่ตกกระทบในช่วงเวลาหนึ่งจะใช้หน่วยอีกแบบหนึ่ง

หน่วยที่ใช้ในขั้นตอนนี้สำหรับคำนวณค่าเอาท์พุทในแต่ละวันของแผงโซลาร์เซลล์คือวัตต์เป็น Peak-hourper day ค่า Peak-hour จะเป็นค่าที่บอกจำนวนชั่วโมงที่แสดงอาทิตย์มีความเข้มถึง 1,000วัตต์ต่อตารางเมตรเหตุที่ใช้ค่านี้นี้เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานในการทดสอบคุณลักษณะของแผง ค่า 1,000วัตต์ต่อตารางเมตรนี้จะเกิดที่ปริมาณการฉายแสงสูงสุด ที่สามารถรับได้บนผิวที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์และเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นสูงมากกว่า 45 องศากับผิวระนาบ ค่า Peak-hour ยังสามารถใช้หน่วยเป็นkWh/m per day ได้อีกด้วย

มุมเอียง(tilt) ของแผงโซลาร์เซลล์ โดยปกติการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะมีมุมเอียงที่คงที่กับผิวระนาบ ค่ามุมเอียงนี้ไม่ควรจะมีค่าต่ำกว่า 15 องศาเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำฝนจะไหลผ่านได้สะดวกและชะล้างฝุ่นละอองบนผิวหน้าออกไปด้วย

ค่ามุมเอียงต้องเลือกค่าที่เหมาะสมเพื่อให้รับพลังงานได้สูงสุดในแต่ละปี วิธีพื้นฐานวิธีหนึ่งก็คือ เลือกค่าที่เท่ากับมุม ละติจูดของพื้นที่ที่ติดตั้ง ทิศทางของมุมเอียงควรจะหันหน้าไปทางทิศใต้สำหรับพื้นที่ในครึ่งซีกโลกเหนือ และทิศเหนือสำหรับพื้นที่ในครึ่งซีกโลกใต้

สำหรับพื้นที่ที่ตั้งอยู่บนละติจูดที่มากกว่า 30 องศา มุมเอียงของแผงสามารถใช้ที่ค่าละติจูดบวกด้วย 15 องศา ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณเอาท์พุทที่เหมาะสมในช่วงเดือนที่เป็นฤดูหนาว



รูปที่ 2.9 แสดงค่าอินโทรเลขชั้น ในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพื้นที่บนละติจูดระหว่าง 15 องศาเหนือ และ 15 องศาใต้ จะใช้ค่ามุมเอียงแผงที่ 15 องศา ทิศทางของมุมเอียงจะขึ้นอยู่กับเดือนที่มีเมฆมากที่สุดในครึ่งปีเช่น ถ้าเดือนกรกฎาคม เป็นเดือนที่มีเมฆมากที่สุดในปี แผงโซลาร์เซลล์ในพื้นที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทั้งครึ่งซีกโลกเหนือและใต้ ควรจะหันหน้าไปทิศเหนือ หรืออีกทางหนึ่ง ถ้ามีเมฆในตอนเช้า หรือตอนเย็นมากควรจะพิจารณาหันหน้าไปทางทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกพลังงานที่ได้ของแผงโซลาร์ในแต่ละวัน

รูปที่ 2.9 แสดงค่าแตรี่ อินโซเลชันเฉลี่ยของประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลีย โดยจะเป็นค่าเฉลี่ยของ 3 เดือน ที่ค่ามุมเอียงเท่ากับองศาของละติจูด การอ่านค่ากระทำโดยเลือกเส้นแสดงค่าที่ใกล้พื้นที่ที่ติดตั้งที่สุด หรือใช้วิธีคาดคะเนตัดสินจากตำแหน่งของพื้นที่ระหว่างเส้นแสดงค่า 2 เส้นหลังจากได้เลือกค่ากระแสที่เหมาะสมในการใช้งานแล้ว(ควร จะเลือกที่ STC) ทำการคำนวณค่าที่แผงโซลาร์จะจ่ายในหนึ่งวันได้จากสูตร

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Current at} \\ \text{load or other} \\ \text{current} \\ \text{specification} \\ \text{of module} \\ \text{(A)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Daily insolation} \\ \text{(peak-hours} \\ \text{per day)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline 12 \\ \text{(V)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Daily output} \\ \text{of one module} \\ \text{(Wh per day} \\ \text{at 12 V)} \\ \hline \end{array}$$

ค่า 12 โวลท์ในสูตรใช้ที่เอาท์พุทของแผงเป็น 12 หรือมากกว่า 15 โวลท์ในขณะประจุแบบเตอรีในการคำนวณเพื่อให้แน่ใจว่าแผงโซลาร์จะสามารถจ่ายเอาท์พุทได้ตามต้องการจริงๆ ตลอดทั้งปี ดังนั้นจะใช้ค่าต่ำสุดหรือใช้ค่าของ Peak-hour ในช่วง 3 เดือนที่แย่ที่สุด

2.3.2 ข้อจำกัดในการใช้แผ่นที่แสดงค่า Peak-hour (แตรี่ อินโซเลชัน)

วิธีการหาค่าอินโซเลชันที่ได้กล่าวไปนั้นเป็นเพียงค่าคาดคะเนโดยประมาณเท่านั้น เพราะค่าของเส้นแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในช่วง 3 เดือนซึ่งจะไม่สามารถบอกค่าที่แน่นอนในวันหนึ่งๆ ได้ อีกทั้งมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำมุมเท่ากับองศาของละติจูดอาจไม่ใช่มุมที่เหมาะสมก็ได้

สำหรับวิธีคำนวณที่ละเอียดกว่านี้จะต้องใช้วิธีเก็บสถิติจริงจากพื้นที่ที่ติดตั้งแผงและพิจารณาเป็นรายเดือนตลอดทั้งปี ส่วนการหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมจะต้องทำการทดสอบที่มุมเอียงต่างๆทุกเดือนตลอดปี และบันทึกเพื่อนำมาพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด

2.3.3 การเลือกมุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง โดยการใช้ค่าองค์ประกอบมุมเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาเลือกค่ามุมเอียงที่เหมาะสมนั้นจะต้องทำการวัดปริมาณของแสงอาทิตย์เฉลี่ยเป็นรายเดือน โดยเครื่องมือที่ใช้วัดโดยปกติจะวางในแนวระนาบ ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์จะวางทำมุมกับแนวระนาบนั้นจะต้องใช้ค่า องค์ประกอบมุมเอียง เป็นตัวคูณในการหาค่าปริมาณแสงที่มุมเอียงต่างๆในการวัดปริมาณแสงโดยใช้เครื่องมือจะได้ค่าในหน่วยต่างๆกันขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกแบบใด และจะสามารถแปลงหน่วยที่ได้ให้เป็นค่า Peak-hour / day หรือ แครี่ อินโซเลชัน ได้โดยใช้ค่าคอนเวอร์ชันแฟคเตอร์(Conversion Factor) ในตาราง

Units of daily insolation		Conversion factor to peak-hours at 1000 W/m ²
Abbreviation	Name in full	
peak-hour	Peak-hour at an irradiance of 1000 W/m ²	1
langley	Calorie per square centimetre	0.0116
cal/cm ²	Calorie per square centimetre	0.0116
W h/m ²	Watt-hour per square metre	0.001
kW h/m ²	Kilowatt-hour per square metre	1
W/m ² averaged	Watt per square metre averaged	0.024
.. over 24 hours	over 24 hours	
kJ/m ²	Kilojoule per square metre	0.000278
MJ/m ²	Megajoule per square metre	0.278
Btu/ft ²	British thermal unit per square foot	0.0428

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคอนเวอร์ชันแฟคเตอร์ของค่า แครี่ อินโซเลชัน

หรือได้ค่าจากการจัดเก็บสถิติแล้วต้องทำการหาค่าปริมาณแสงจริงๆโดยพิจารณาจากตาราง 2.1 ซึ่งจะบอกค่าแฟคเตอร์ในการเอียง(tilt factor) ที่ใช้สำหรับคูณกับค่า แครี่ อินโซเลชัน ในแต่ละเดือนตารางจะครอบคลุมละติจูด ตั้งแต่ 60 องศาเหนือถึง 60 องศาใต้(ช่วงละ 50 องศา) ที่มุมเอียงค่าต่างๆสำหรับตารางตัวอย่างที่นำมาในที่นี่เป็นส่วนของละติจูดที่ 10-15 องศาเหนือ (ซึ่งครอบคลุมตำแหน่งของกรุงเทพ ฯ) แสดงค่าแฟคเตอร์ในการเอียงที่มุมเอียง 50 องศาใต้ถึง 25 องศาเหนือของเดือนใน 1 ปี

หลังจากได้ค่าจากการวัดเก็บสถิติเฉลี่ยแต่ละเดือนแล้ว จากนั้นนำค่าแฟคเตอร์ในการเอียงที่มุมเอียงต่างๆคูณกับค่าแครี่ อินโซเลชันที่ได้ โดยทำที่ค่ามุมเอียงหลายๆค่าเปรียบเทียบกัน ในแต่ละมุมเอียงจะมีเดือนที่ให้ค่าแครี่ อินโซเลชันต่ำที่สุดอยู่ พิจารณาว่าที่มุมเอียงค่าใดที่ให้ค่าแครี่ อินโซเลชันในเดือนที่แย่ที่สุดมีค่ามากที่สุด จะที่ว่าที่มุมเอียงนั้นเป็นมุมที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แบตเตอรี่

2.4.1 ข้อกำหนดสำหรับระบบแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับ

1. ชาติโร้เซเคิล(shadow cycle)ในแต่ละวัน
2. ดีฟไซเคิล(deep cycle)ในช่วงเมฆมากและฤดูหนาว (deep cycle คือช่วงเวลาที่การประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนประจุที่ใช้ไปในแต่ละวัน)

2.4.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์

1. มีวงจรชีวิตสำหรับดีฟไซเคิลสูง
2. ต้องการบำรุงรักษาต่ำ
3. ประสิทธิภาพการประจุสูง
4. ความสามารถในการคายประจุอย่างสมบูรณ์
5. มีอัตราการคายด้วยตัวเองต่ำ
6. เชื้อถือได้
7. มีการเปลี่ยนแปลงต่ำในช่วงอุณหภูมิสูง

Parts	Materials	
	Charged	Discharged
Active material on positive electrode	Lead dioxide (chocolate brown)	Lead sulphate (grey)
Active material on negative electrode	Lead (silvery grey)	Lead sulphate (grey)
Electrolyte	Sulphuric acid	Acid slightly weaker
Electrode support	Lead	
Container	Hard rubber (ebonite) with bitumen Glass Plastic (polypropylene, polyethylene, or types of styrene such as ABS and SAN)	

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงรายละเอียดของ ลีดแอซิดเซลล์

สำหรับเซลล์ที่ประจุเต็มแผ่นขั้วบวกจะมีสีน้ำตาล และแผ่นขั้วลบมีสีเทาอมเงิน เมื่อเซลล์ถูกคายประจุจะเกิดลีดซัลเฟต (lead sulphate) ก่อตัวเป็นแผ่นบางๆทั้งแผ่น จะทำให้แผ่นขั้วเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสีเทา เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุแต่ละแผ่นขั้วจะกลับไปเหมือนเดิม ในการประจุเมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็ม จะเกิดก๊าซและฟองอากาศจะเพิ่มอย่างรวดเร็วและจะเกิดขึ้นในทุกๆแผ่น

2.4.3 คุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้า

Voltage characteristics	Voltages at 20 °C (68 °F) (V)	
	Single cell	Six-cell battery
Nominal	2	12
V_{CH} maximum	2.3–2.5	14.0–15.0
V_{CH} float	2.2–2.3	13.0–14.0
V_{OC} at full charge ¹	2.1–2.2	12.5–13.0
V_{AL} limit for measuring capacity ²	1.8–1.9	10.8–11.4
Change of voltage characteristics with temperature ³	–0.05 V per 10 °C rise	–0.33 V per 10 °C rise
	(–0.03 V per 10 °F rise)	(–0.18 V per 10 °F rise)

ตารางที่ 2.4 แสดงถึงคุณสมบัติแรงดันของ ลีดแอซิกเซลล์และแบตเตอรี่

ในระหว่างการประจุแรงดันสามารถเพิ่มขึ้นสูงสุดตามตาราง เมื่อแผ่นขั้วทั้งหมดเกิดก๊าซอย่างอิสระ แรงดันค่านี้เรียกว่าแรงดันอิควิวาไลเซชัน (equalization voltage) เมื่อใกล้จะเต็มควรลด แรงดันลงเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายและค่าความสูญเสีย (loss)

2.4.4 ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)

ในระหว่างการคายประจุ สารอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางลงเพราะส่วนที่เป็นกรด ถูกทำให้เปลี่ยนเป็นลิควิดเฟต ผลที่เกิดขึ้นมีผลต่อแรงดันระหว่างปลายทั้งสองข้างและความหนาแน่นของอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ที่ถูกประจุเต็ม ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์อยู่ระหว่าง 1.2 - 1.3 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ เมื่อคายประจุถึงจุดตัดออฟ (cut off) ความถ่วงจำเพาะจะลดลงเหลือ 1.1 ถ้าคายประจุจนแรงดันเป็น 0 ส่วนที่เป็นกรดจะถูกใช้จนหมด ความถ่วงจำเพาะจะเป็น 1

2.4.5 การเกิดสารซัลเฟต

ซัลเฟตจะเกิดขึ้นในสภาวะดังนี้

1. ไม่ได้คายประจุของเซลล์เป็นเวลานาน

2. ความสามารถในการทนการประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส

4. ความเข้มของอิเล็กโทรไลต์เข้มข้นมาก

ภายใต้การทำงานปกติแผ่นบางๆ จะเกิดลึกลับเฟตก่อตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ในช่วงเริ่มต้นของการคายประจุ ซึ่งหมายความว่า จะมีช่องว่างจำนวนมากๆ รอบๆ ผลึกของลึกลับเฟตซึ่งสารอิเล็กโทรไลต์ยังคงสัมผัสกับวัสดุซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วของออกไซด์ของตะกั่ว (lead dioxide) และตะกั่วจนกระทั่งผลึกเล็กๆ ของลึกลับเฟตต่อกันและเปลี่ยนโครงสร้างเป็นผลึกที่ใหญ่กว่าปฏิกิริยานี้เรียกว่า การเกิดลึกลับเฟตซึ่งเกิดปัญหาขึ้นว่าผลึกใหญ่ๆ จะไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นออกไซด์ของตะกั่วและตะกั่วในระหว่างการประจุทางที่ดีที่สุดที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดลึกลับเฟต คือประจุเซลล์เป็นประจำเพื่อให้ลึกลับเฟตทั้งหมดถูกเปลี่ยน สำหรับในสถานที่ที่อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 30 องศา สารอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของกรดต่ำเพื่อลดการเสียหายของโครงสร้าง grid ของแผ่นขั้วบวกและช่วงลดอัตราการเกิด การเกิดลึกลับเฟต

2.4.6 ผลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะได้รับความจุเพิ่มขึ้นแต่อัตราการคายประจุด้วยตนเองเพิ่มขึ้น โลไฟไซเคิล (lifebycle) สั้นลงเกิดเร็วขึ้น เพราะฉะนั้นไม่ควรใช้แบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องในที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส

2.4.7 ความสม่ำเสมอในการประจุแรงดัน

การประจุแบตเตอรี่จำเป็นที่จะต้องได้รับการประจุอย่างถูกวิธี เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของแบตเตอรี่

โมดูลการควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเอง

การควบคุมโซลาร์เซลล์โมดูล แบบการควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเอง ที่ง่ายที่สุดสำหรับใช้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12V ได้แสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งเป็นรายการของโมดูล แบบการควบคุมความสม่ำเสมอด้วยตนเอง ภายใต้สภาวะต่างๆ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็ม การประจุกระแส (charging current) จะลดลงโดยอัตโนมัติจนเข้าสู่ระดับทรริกเกิล (trickle) เพื่อให้แน่ใจว่าการประจุกระแสเกินระดับทรริกเกิล (over-charging trickle current) จะไม่ทำความเสียหายแก่แบตเตอรี่

ขนาดที่เล็กที่สุดของแบตเตอรี่ควรจะใช้ขนาด 40Ah ต่อกระแส 1A (ภายใต้ STC) ยกตัวอย่างเช่น โมดูลขนาด 22W ประกอบด้วย 30 เซลล์ มีกระแสของภาระ 1.65A (ภายใต้ STC) ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่เล็กที่สุดและสามารถนำมาใช้งานได้คือขนาด 66Ah (จาก 40Ah/1A คูณ 1.65A)

2.4.8 ดาร์คเคอเรนทิลีกเกจ (Dark current leakage)

จุดที่บ่งชี้เกี่ยวกับดาร์คเคอเรนทิลีกเกจ ซึ่งไหลย้อนกลับในเวลากลางคืนจากแบตเตอรี่เข้าสู่โมดูลที่ต่อตรงเข้าด้วยกัน สำหรับโมดูลที่มีกระแสเอาต์พุตภายใต้ STC 1A ดาร์คเคอเรนทิลีกเกจ จะมีประมาณ 0.015A ความสูญเสียทางไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดจากดาร์คเคอเรนทิลีกเกจที่รั่วไหลเข้าสู่โมดูลสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Number of} \\ \text{modules} \\ \text{in array} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Current output} \\ \text{of each module} \\ \text{under STC} \\ \text{(A)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline 0.18 \\ \left(\frac{\text{VA}}{\text{A}} \right) \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Length of} \\ \text{night} \\ \text{(hours)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Total loss of} \\ \text{electricity} \\ \text{by dark current} \\ \text{(Wh per day)} \\ \hline \end{array}$$

คำตอบที่ได้จะอยู่ในหน่วยของ Wh per day เพื่อว่าจะได้สามารถเปรียบเทียบโดยตรงกับความต้องการพลังงานไฟฟ้า เมื่อนำมาใช้จริง (ดูตาราง 2.5)

Appliances	Appliance power (W)	Expected daily use (hours per day)	Electrical requirement (Wh per day)
Tube lamp for living room	8	4	32
Tube lamp for kitchen	8	3	24
Filament bulb for wash room	10	0.5	5
Filament bulb for bedroom 1	10	0.5	5
Filament bulb for bedroom 2	10	0.5	5
Small BW television	15	3	45
Cassette player	5	4	20
Total daily requirement of electricity (Wh per day):			136

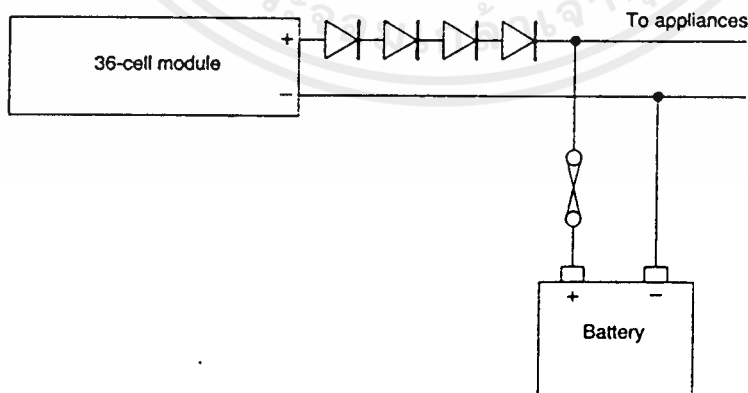
ตารางที่ 2.5 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

เมื่อใช้โมดูลขนาด 22W เป็นตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง จะหาความสูญเสียทางไฟฟ้า เมื่อช่วงเวลากลางคืนมีเวลา 12 ชั่วโมง $(1 * 1.65 * 0.18 * 12) = 3.6 \text{ Wh per day at 12V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าที่ถูกสร้างจากโมดูลขนาด 22W ตลอดวันคือ 80 Wh per day at 12V ดังนั้น ความสูญเสียที่มาจากดาร์คเคอเรนทีล็คเกจซึ่งมีค่าประมาณ 4% ของกำลังไฟที่สร้างได้ในช่วง กลางวัน ซึ่งความสูญเสียขนาดนี้ถือว่าไม่สูงเกินไป แต่อย่างไรก็ตาม ในระหว่างฤดูหนาวของ ประเทศที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรจะเกิดความสูญเสียทางไฟฟ้าที่มาจากดาร์คเคอเรนทีล็คเกจ สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้ เพราะว่าฤดูหนาวจะมีช่วงเวลากลางวันสั้น ทำให้ประจุได้น้อย และ ในเวลากลางคืนมีเวลานานทำให้ดาร์คเคอเรนทีล็คเกจมีปริมาณมาก เพื่อป้องกันการรั่วไหลของ กระแส เราจะต่อไดโอดในทิศทางที่ยอมให้กระแสที่ประจุไหลและจะปิดกั้นการไหลของ ดาร์คเคอเรนทีล็คเกจ เรียกไดโอดนี้ว่า บล็อกกิ้งไดโอด (blocking diode) (ดูรูป 2.10) และเพื่อ เป็นการทดแทนแรงดันตกที่คร่อมตัวซิลิกอนไดโอด (silicon diode) ขณะที่มีการประจุไหล เราจะต้องเพิ่มเซลล์พิเศษเข้าไปในโมดูลอีก 2 เซลล์ แต่ถ้าไดโอดที่ใช้เป็นชนิดชอททกี (Schottky) หรือ เจอร์มาเนียม (germanium) ก็ใส่เพิ่มอีกเพียงเซลล์เดียว แต่ที่กล่าวมานี้เหมาะกับระบบ 12V เท่านั้น (ทั้งนี้เพราะว่ามันมีแรงดันเบรคดาวน์ (breakdown voltage) ทางรีเวอร์สไบแอส (reverse bias) ต่ำเกินไปเมื่อนำไปใช้กับระบบ 24V หรือสูงขึ้นไป)

โมดูลบางรุ่นจะมีบล็อกกิ้งไดโอดติดมาด้วย โดยติดอยู่ในกล่องเชื่อมโยง (junction box) ซึ่งทำให้ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามไดโอดในกล่องเชื่อมโยงอาจจะต่อไว้ เพื่อจุดประสงค์อื่นด้วยก็ได้ เมื่อเรกกูเรเตอร์ (regulator) เกิดปัญหาไม่ทำงานขึ้นมา จะมีวิธี แก้ปัญหาชั่วคราวด้วยการเพิ่มจำนวนบล็อกกิ้งไดโอดเข้าไปมากกว่า 1 ตัว เพื่อไปหยุดยั้งแรงดัน จากเซลล์ในโมดูลที่มีมากกว่าความจำเป็น

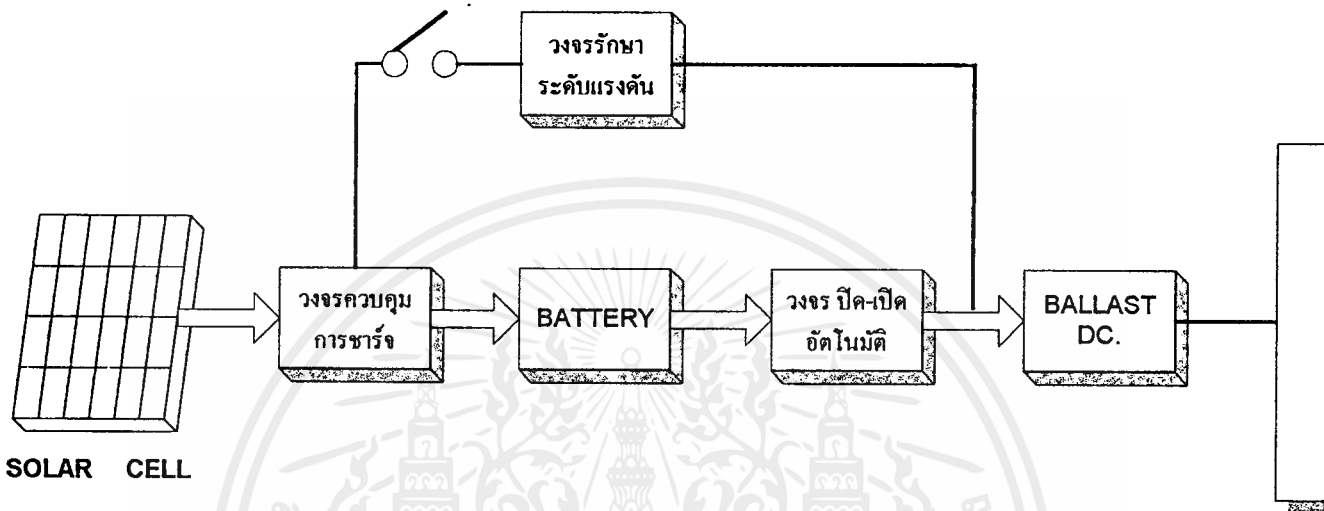


รูปที่ 2.10 แสดงถึงการจัดโมดูล ขนาด 36 เซลล์ โดยสามารถใช้ได้เหมือนกับโมดูลการควบคุม ความสม่ำเสมอด้วยตนเอง ขนาด 30 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงสร้างของระบบโครงงาน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบโครงงาน

การทำงานของระบบ

การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะใช้วงจรควบคุมการทำงานของหลอดไฟ 2 วงจรคือ วงจรควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) และวงจร ปิด-เปิดอัตโนมัติ (Photo switch) วงจรควบคุมการชาร์จประจุ นั้นจะทำหน้าที่รักษาให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และทำให้แบตเตอรี่มีพลังงานพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยจะมีการชาร์จและหยุดชาร์จตลอดเวลาตามค่าโวลท์ที่ตั้งไว้

สำหรับหลอดไฟที่ใช้จะเป็นหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ 18 W ใช้งานโดยต่อกับบัลลาสต์ (Ballast) DC. สามารถทำงานกับไฟ 12 V DC. ได้ การทำงานของหลอดไฟจะควบคุมด้วยวงจร ปิด-เปิดอัตโนมัติซึ่งจะใช้เปิดไฟตอนกลางคืนและปิดไฟตอนกลางวัน และถ้าหากต้องการเปิดใช้ไฟตอนกลางวันก็สามารถใช้งานได้โดยเปิดสวิตช์ผ่านวงจรรักษา ระดับแรงดัน (Regulate) ได้ดังรูปที่ 3.1

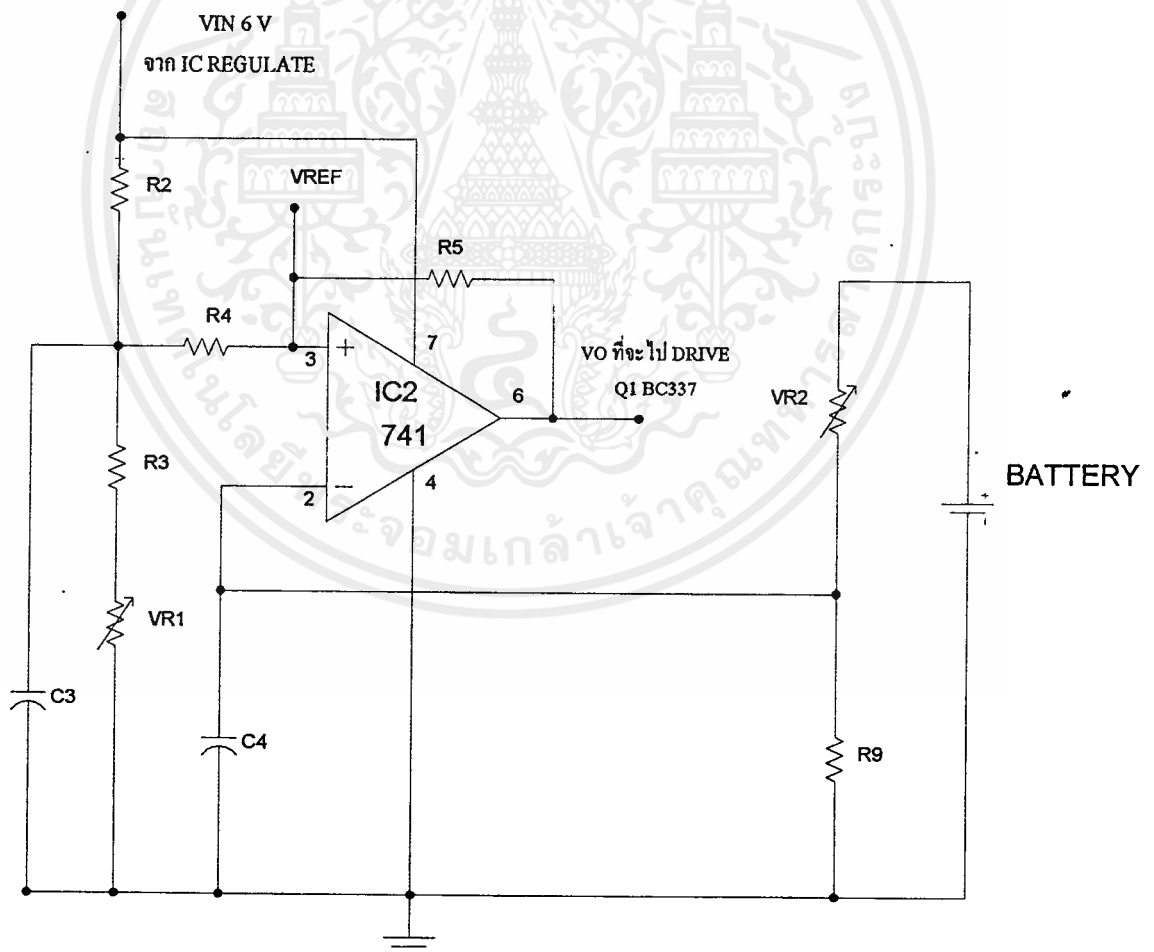
วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

วงจรสมบูรณ์ในรูปที่ 3.4 แบ่งส่วนประกอบของวงจรออกเป็นส่วนๆ ได้ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)
2. วงจรควบคุมวงรอบของการชาร์จและหยุดชาร์จ
3. ส่วนของการแสดงผล

แหล่งจ่ายหลักของวงจรได้มาจากแผงโซลาร์เซลล์และทำการชาร์จผ่านหน้าสัมผัสของรีเลย์ RY1 หลักการทำงานขั้นต้นคือเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ตกลงต่ำกว่า 12.6 โวลต์ ก็จะเริ่มทำการจ่ายกระแสชาร์จให้กับแบตเตอรี่ และเมื่อแรงดันเพิ่มสูงขึ้นถึง 13.8 โวลต์ ก็จะหยุดจ่ายกระแสชาร์จ ประจวบเหมาะ

ส่วนที่ 1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)



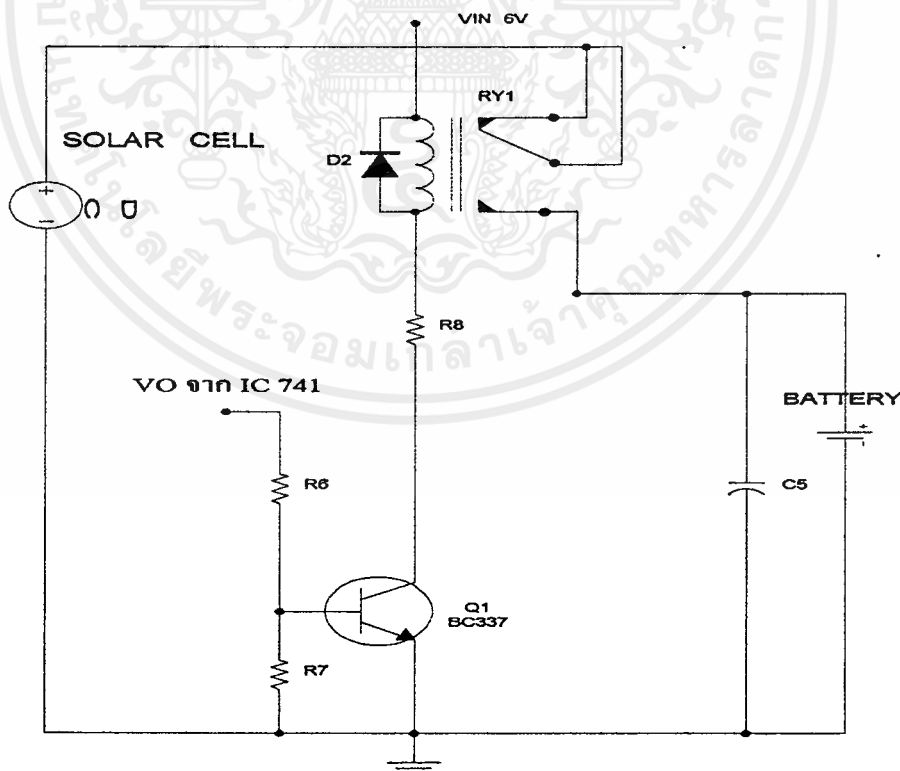
รูปที่ 3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการตรวจจับและควบคุมจะใช้การทำงานของอปแอมป์ IC2 741 เป็นตัวควบคุมหลักโดยจัดเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) โดย IC2 นี้จะทำการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแรงดันอ้างอิงกับแรงดันแบตเตอรี่ โดยที่แรงดันนี้สามารถที่กำหนดแรงดันอ้างอิงได้จากการปรับค่า VR1 ผลของการตรวจจับนี้จะส่งออกทางเอาต์พุตของ IC2 ไปขับรีเลย์ RY1 ให้ทำงานและหยุดทำงานตามจังหวะโดยผ่าน Q1 ที่ทำหน้าที่ขับรีเลย์

ในการเปรียบเทียบแรงดันโดยอาศัยการแบ่งแรงดันการตรวจจับด้วย VR2 และ R9 เพื่อความแน่นอนและเที่ยงตรงของแรงดันตรวจจับที่แบตเตอรี่ ที่จะจ่ายไปเข้าที่ขา 2 (อินเวอร์ตติ้งอินพุต) ของ IC2 และเซตไว้ที่ขา 3 (นอน-อินเวอร์ตติ้ง) ของ IC2 โดยค่าแรงดันนี้จะได้จากวงจรเรกูเลเตอร์ขนาด 6 โวลต์จาก IC1 ผ่านวงจรแบ่งแรงดันและเซตค่าแรงดันด้วย R2, R3 และ VR1 เอาต์พุตขา 6 ของ IC2 จะเป็นเอาต์พุตกระตุ้นการทำงานของรีเลย์ โดยที่หากค่าแรงดันที่ขา 2 มีค่ามากกว่า แรงดันที่ขา 3 เอาต์พุตขา 6 จะมีแรงดันเป็นศูนย์โวลต์ ทำให้รีเลย์สวิตช์ข้อหยุดชาร์จประจุ แต่ถ้าแรงดันที่ขา 2 มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ขา 3 เอาต์พุตของ IC2 ที่ขา 6 จะมีค่ากระแส Bias ให้กับ Q1 และรีเลย์ RY1 ทำงานและมีกระแสชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่

ส่วนที่ 2 วงจรควบคุมวงรอบการชาร์จและหยุดชาร์จ



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมวงรอบการชาร์จและหยุดชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

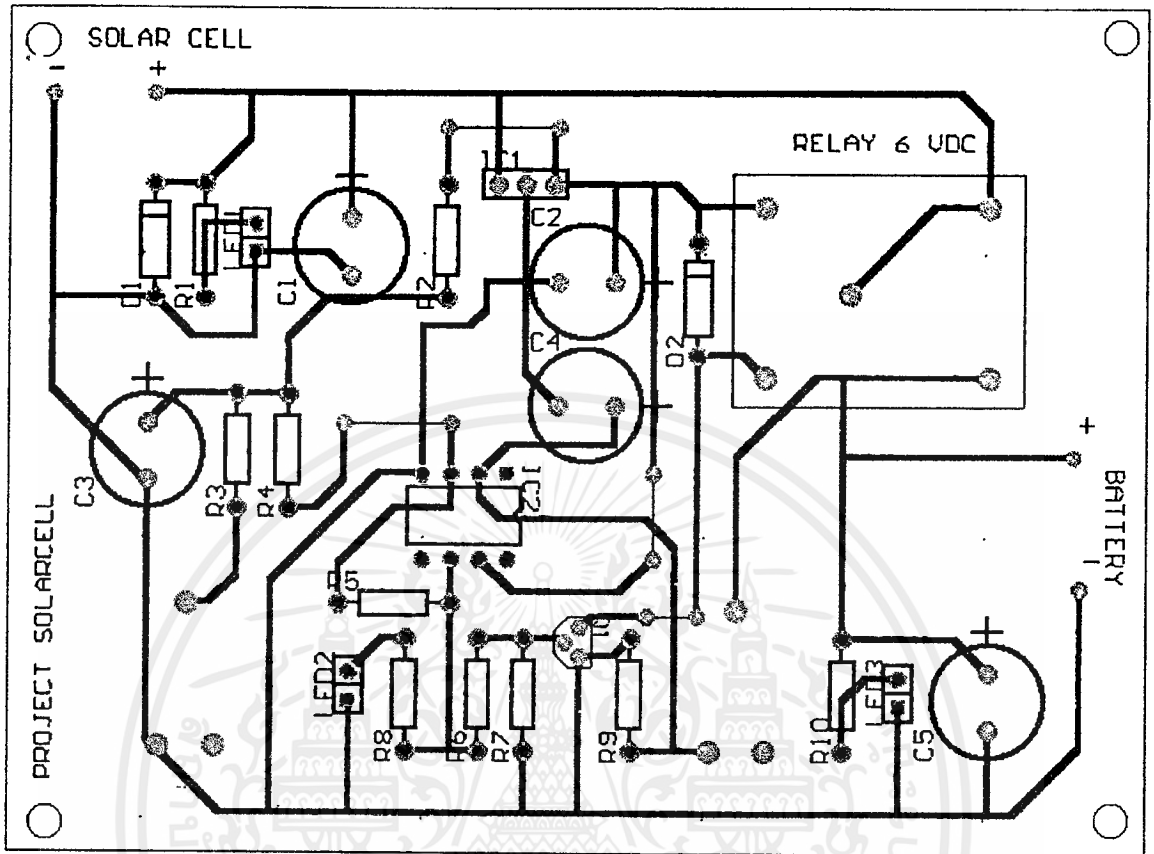
การออกแบบโดยเราจะใช้รีเลย์ RY1 โดยมี Transistor เบอร์ BC 337 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด N Type เป็นตัว Drive โดยได้รับการ Bias เมื่อมีเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาให้อย่างถูกต้องนั่นคือช่วงการชาร์จประจุอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 13.8 โวลต์ รีเลย์ RY1 ก็จะสวิตช์ออฟตัดการชาร์จกระแส และเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ลดต่ำลงมาอยู่ที่ระดับประมาณ 12.6 โวลต์ การจ่ายกระแสชาร์จก็จะเริ่มขึ้น รีเลย์ RY1 ก็จะสวิตช์ย้อนทันทีเป็นวงรอบเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในช่วงเริ่มต้นที่นำแบตเตอรี่มาชาร์จอาจต้องใช้เวลาานกว่าจะเต็ม และเมื่อเต็มแล้วหากมีการใช้แบตเตอรี่ลดต่ำลงมาที่ระดับ 12.6 โวลต์วงรอบของการชาร์จก็จะเร็วขึ้น

ส่วนที่ 3 ส่วนของการแสดงผล

ในส่วนของการแสดงผลและป้องกันการทำงานของเครื่องด้วยแสดงผล โดยเริ่มจาก (กำหนดให้เป็น LED สีเหลือง) ต่ออยู่กับแผงโซลาร์เซลล์ โดยต่ออนุกรมผ่าน R1 จำกัดกระแสให้กับ LED1 ทำหน้าที่แสดงสถานะการเริ่มทำงานของเครื่อง ซึ่งจะติดสว่างตอนต่อรับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์เสมอ แต่ถ้าหากว่า LED1 ไม่ติดสว่างขึ้นแสดงว่าต่อสายไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ผิดขั้ว ซึ่งในขณะที่ต่อผิดขั้วนี้ ไดโอด D1 จะทำหน้าที่ป้องกันการต่อผิดขั้วอยู่ ซึ่งจะป้องกันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ไม่ให้ลัดวงจรกับกราวด์ และป้องกันการชาร์จผิดขั้วให้กับแบตเตอรี่ด้วย แต่ในช่วงระหว่างที่มีการชาร์จอยู่นั้น หากถอดการต่อระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับวงจรควบคุมการชาร์จออก แต่ LED1 จะยังคงยังสว่างต่อไปอีกเพราะว่าได้รับแรงดันจากแบตเตอรี่ที่ใช้ชาร์จผ่านมาจากคอนแทกซ์รีเลย์นั้น เพราะรีเลย์ยังคงทำงานค้างอยู่ในสถานะนี้จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อแรงดันที่ขา 2 มากกว่าแรงดันที่ขา 3 เท่านั้น

ส่วน LED2 (กำหนดให้เป็นสีแดง) ต่ออนุกรมกับรีเลย์นั้นจะแสดงสถานะการเริ่มชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่หรือแสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ ส่วน LED3 (สีเขียว) นั้นต่อขนานกับแบตเตอรี่ จะแสดงสถานะการต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรว่าต่อถูกขั้วหรือผิดขั้วถ้าหากผิดขั้ว LED3 จะไม่สว่างและจะทำให้แบตเตอรี่คายประจุผ่าน D1 และจะไม่สามารถทำการชาร์จประจุได้ เพราะหลังจากต่อผิดขั้วแล้วสักรูรีเลย์จะทำงานจึงจึงทำให้แบตเตอรี่ต่อครบวงจร โดยมี D1 เป็นโหนดทำให้แบตเตอรี่คายประจุออกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และรีเลย์ก็จะตัดการทำงานทันทีและยังเป็นการทำงานให้ทราบว่าแบตเตอรี่ต่ออยู่เพื่อทำการชาร์จอยู่หรือไม่

ส่วน D2 ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันกลับขั้วจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดของ RY1 เมื่อถอดแรงดันโซลาร์เซลล์ออก และ D3 จะทำหน้าที่กันกระแสไม่ให้ไหลย้อนกลับมายังวงจรอีกเมื่อแรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าน้อยกว่าแรงดันที่แบตเตอรี่



รูปที่ 3.5 ลายทองแดงและการลงอุปกรณ์ของวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่บนแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ วงจรควบคุมการชาร์จ

R1 = 680 โอห์ม

R2 = 1 K โอห์ม

R3 = 39 K โอห์ม

R4 = 10 K โอห์ม

R5 = 100 K โอห์ม

R6 = 30K โอห์ม

R7 = 33K โอห์ม

R8 = 2.7K โอห์ม

R9 = 47 K โอห์ม

R10 = 680 โอห์ม

VR1 = 10 K โอห์ม

VR2 = 100 K โอห์ม

D1,D2 = 1N4001

D3 = P600A (30V ,10A)

LED1 (สีเขียว) = 1 ตัว

LED2 (สีแดง) = 1 ตัว

LED3 (สีเหลือง) = 1 ตัว

C1 = 470 μ F 25V

C2 = 10 μ F 25V

C3 = 10 μ F 25V

C4 = 220 μ F 16V

C5 = 470 μ F 25V

IC1 = IC 7806

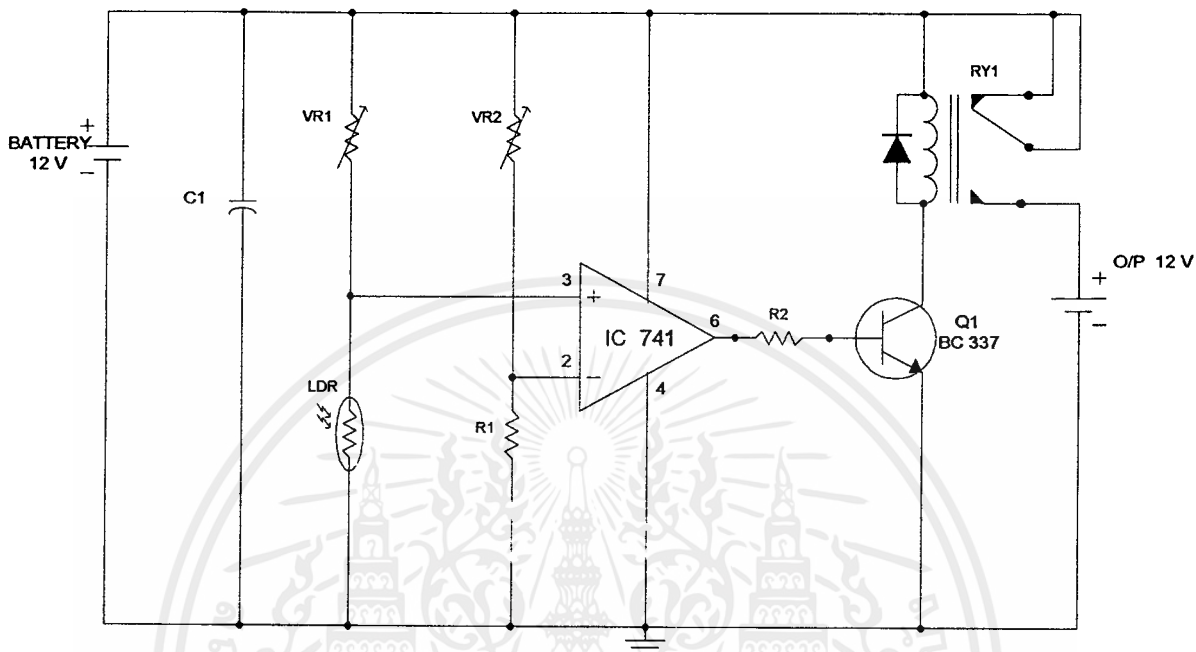
IC2 = IC 741

Q1 = BC 337

RY1 = รีเลย์ DC6V 5A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติ (Photo Switch)



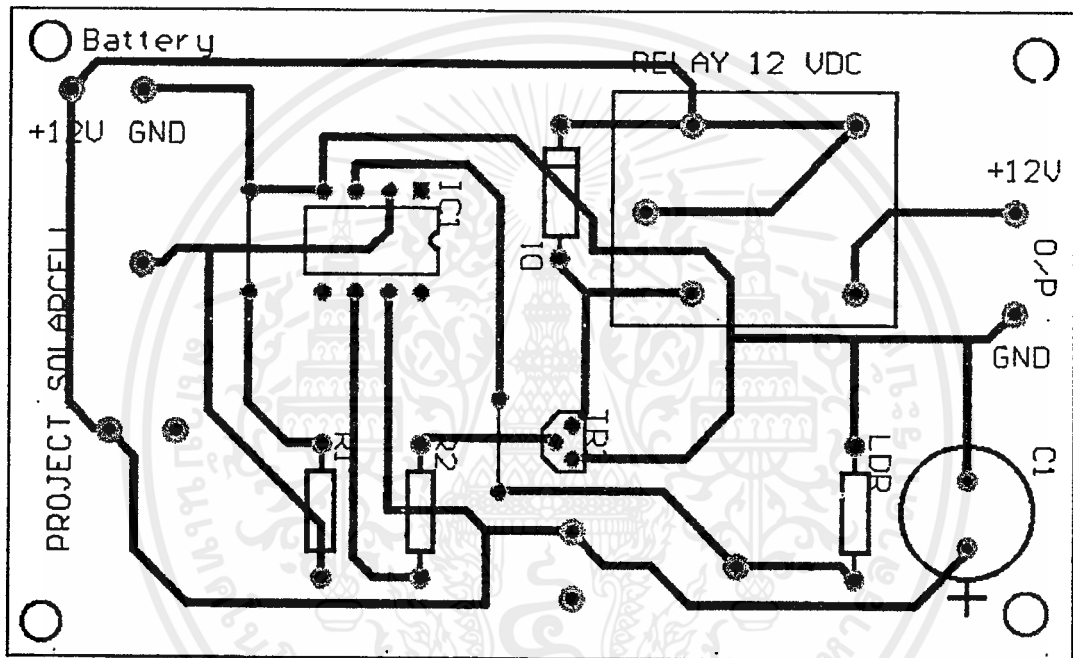
รูปที่ 3.6 วงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติ

จะทำหน้าที่ควบคุมการ ปิด-เปิด หลอดไฟ โดยจะปิดไฟในเวลากลางวันและเปิดไฟในเวลากลางคืนโดยอัตโนมัติ หลักการทำงานของวงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติจะคล้ายกับหลักการทำงานของวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ในส่วนของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ในส่วนของการทำงานและควบคุมจะใช้การทำงานของออปแอมป์ IC 741 เป็นตัวควบคุมหลักโดยจัดเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) โดย IC 741 นี้จะทำการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแรงดันอ้างอิงกับแรงดันที่ตกคร่อม LDR โดยที่แรงดันนี้สามารถที่กำหนดแรงดันอ้างอิงได้จากการปรับค่า VR2 ผลของการตรวจจับนี้จะส่งออกทางเอาต์พุตของ IC 741 ไปขับรีเลย์ RY1 ให้ทำงานและหยุดทำงานตามจังหวะโดยผ่าน Q1 ที่ทำหน้าที่ขับรีเลย์

ในการเปรียบเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อม LDR โดยอาศัยการตรวจจับแสงจาก LDR คือในเวลากลางวันหรือเวลาที่มีแสงสว่างความต้านทานของ LDR จะมีค่าลดลงมากทำให้แรงดันที่ขา 3 (นอน-อินเวอร์ตติ้ง) ของ IC มีค่าเกือบศูนย์โวลต์ และเมื่อถึงในเวลาการคืนหรือเวลาที่ไม่มีความสว่างความต้านทานของ LDR จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม LDR และขึ้นอยู่การปรับค่าของ VR1 ด้วย โดยค่าแรงดันอ้างอิงนี้จะได้จาก VR2 และ R1 เพื่อความเที่ยงตรงของแรงดันที่

ได้รับจากแบตเตอรี่ ที่จะจ่ายไปเข้าที่ขา 2 (อินเวอร์ตติ้งอินพุต) ของ IC โดยที่หากค่าแรงดันที่ขา 2 มีค่ามากกว่า แรงดันที่ขา 3 เอาต์พุตขา 6 จะมีแรงดันเป็นศูนย์โวลต์ ทำให้รีเลย์สวิตช์ข้อผิดพลาด การจ่ายแรงดันจากแบตเตอรี่ให้กับหลอดไฟ แต่ถ้าแรงดันที่ขา 2 มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ขา 3 เอาต์พุตของ IC ที่ขา 6 จะมีค่ากระแสมา Bias ให้กับ Q1 และรีเลย์ RY1 ทำงาน(on) ก็จะจ่ายแรงดันจากแบตเตอรี่ให้กับหลอดไฟทำให้หลอดไฟติดโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 ลายทองแดงและการลงอุปกรณ์ของวงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติบนแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ วงจร ปิด-เปิด ไฟอัตโนมัติ

R1 = 10 โอห์ม

R2 = 100 K โอห์ม

VR1 = 100 K โอห์ม

VR2 = 100 K โอห์ม

D1 1N4001 1 ตัว

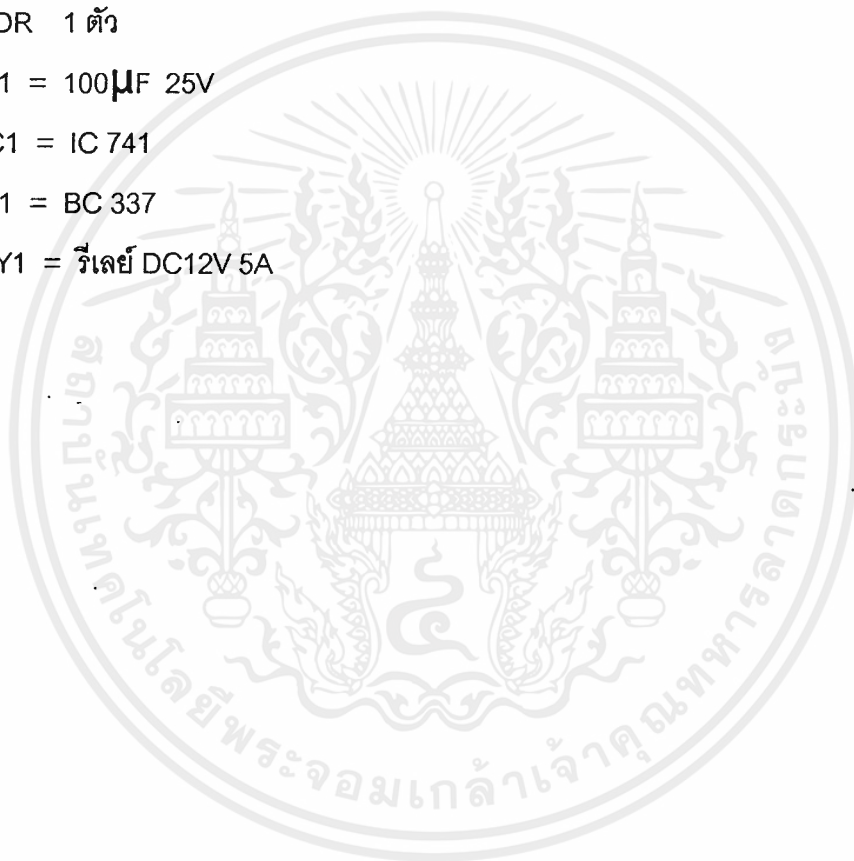
LDR 1 ตัว

C1 = 100 μ F 25V

IC1 = IC 741

Q1 = BC 337

RY1 = รีเลย์ DC12V 5A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การศึกษาและทดลองคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

จากหลักการในการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองนี้จะทำเพื่อศึกษาหาคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่เกี่ยวกับการให้ค่าแรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์ และการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อหาประสิทธิภาพ,คุณลักษณะทางไฟฟ้าของระบบและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม

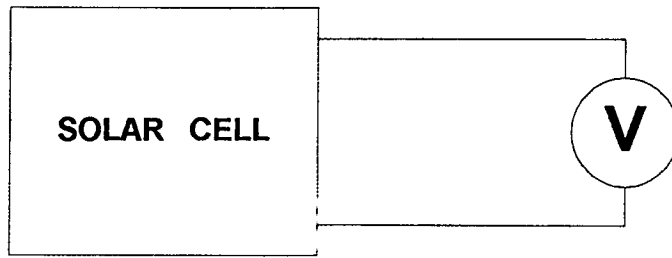
ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้นี้ได้นำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท SOLAREX An Amoco Company (ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตแผง Solar Cell) นำมาใช้งานโดยมีรายละเอียดของแผงโซลาร์เซลล์มีดังต่อไปนี้

Electrical Characteristics

Module	MSX - 64
Maximum Power (Watts)	64.0
Open Circuit Voltage (Voc)	21.3
Short Circuit Current (Isc) (Amps)	4.0
Voltage at Load (Volts)	17.5
Current at Load (Amps)	3.66

4.1 การทดลองเพื่อหามุมเอียง (Tilt Angle) ที่เหมาะสม

เป็นการทดลองเพื่อหาความสามารถในการจ่ายไฟของแผงโซลาร์เซลล์ที่มุมเอียงต่างๆ โดยทำการวัดค่า Voc และ Isc ที่มุมเอียงค่าต่างๆ ตั้งแต่ 10 - 60 องศา โดยมีช่วงห่างทุกๆ 10 องศา หันหน้าไปทางทิศเหนือและใต้ ทำการวัดทุกๆ ชั่วโมงตั้งแต่ 7.00 น. - 17.00 น. ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่า V_{oc} และ I_{sc}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	มุมเงย	10 องศา		20 องศา		30 องศา		40 องศา		50 องศา		60 องศา	
		Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc
	จุดหมุมมิ												
7.00	20.50	10.60	0.30	10.50	0.29	10.40	0.30	10.40	0.30	10.30	0.29	10.40	0.30
8.00	25.00	13.10	0.70	12.60	0.59	12.10	0.50	12.00	0.49	11.30	0.40	11.20	0.40
9.00	25.00	14.60	1.18	14.20	1.02	13.80	0.90	13.50	0.85	12.70	0.65	12.00	0.50
10.00	27.00	15.30	1.49	14.90	1.30	14.40	1.10	14.00	1.00	13.00	0.71	12.40	0.60
11.00	29.00	15.70	2.00	15.00	1.63	14.40	1.32	14.00	1.16	12.60	0.75	12.30	0.65
12.00	31.50	15.70	2.15	15.00	1.30	14.20	1.31	13.80	1.15	12.00	0.65	11.90	0.60
13.00	31.00	15.50	2.10	14.80	1.60	13.90	1.19	13.40	1.00	12.10	0.65	12.10	0.65
14.00	29.50	15.00	1.63	14.00	1.20	13.00	0.89	12.30	0.79	11.50	0.60	11.70	0.55
15.00	27.50	13.70	1.15	12.40	0.79	11.50	0.60	11.20	0.55	11.10	0.50	11.10	0.50
16.00	27.00	13.00	0.80	12.00	0.60	11.50	0.50	11.50	0.50	11.20	0.48	11.10	0.45
17.00	27.00	10.50	0.35	10.00	0.30	10.00	0.30	9.80	0.28	9.50	0.27	9.20	0.24

ตารางที่ 4.1 การวัด Voc และ Isc โดยหันแผงไปทางทิศเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	มุมมอง	10 องศา		20 องศา		30 องศา		40 องศา		50 องศา		60 องศา	
		Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc	Voc	Isc
7.00	จุดหมึกมี	11.70	0.40	12.00	0.45	12.00	0.45	12.00	0.46	12.00	0.47	12.30	0.48
8.00		13.10	0.70	13.40	0.78	13.40	0.80	13.40	0.80	13.30	0.78	13.90	0.95
9.00		14.90	1.20	15.10	1.30	15.10	1.30	15.30	1.39	15.20	1.35	14.80	1.27
10.00		15.80	1.80	16.10	1.95	16.10	1.91	16.10	2.10	16.00	2.00	15.70	1.93
11.00		16.10	2.15	16.40	2.31	16.40	2.38	16.50	2.40	16.20	2.32	16.10	2.30
12.00		16.20	2.55	16.30	2.80	16.40	2.93	16.40	2.95	16.30	2.90	16.00	2.80
13.00		16.00	2.60	16.30	2.90	16.40	2.98	16.50	3.02	16.40	2.90	16.30	2.83
14.00		16.10	2.20	16.50	2.51	16.70	2.65	16.60	2.70	16.50	2.70	16.40	2.65
15.00		15.00	1.79	15.50	2.10	15.70	2.15	15.70	2.15	15.80	2.20	15.60	2.15
16.00		13.70	1.00	14.30	1.13	14.50	1.25	14.50	1.25	14.50	1.30	14.50	1.30
17.00		11.60	0.49	12.00	0.55	12.20	0.60	12.40	0.60	12.30	0.60	12.10	0.55

ตารางที่ 4.2 การวัด Voc และ Isc โดยหันแผงไปทางทิศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

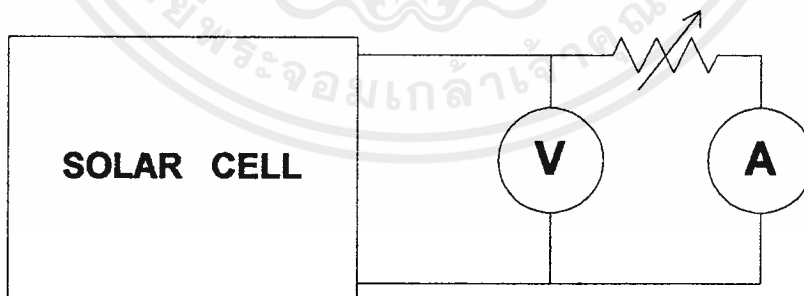
4.2 การหาคุณลักษณะทางไฟฟ้า (V - I Characteristic)

หลังจากที่ได้ทดลองหาเพื่อหามุมเอียงที่เหมาะสมแล้ว พบว่ามุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดคือมุม 40 องศา และหันไปทางทิศใต้ โดยทั้งค่า V_{oc} และ I_{sc} จะมีค่ามากที่สุดที่เวลา 12.00 น.-13.00น. เราจึงเลือกมุมเอียง, ทิศทาง และ เวลาในช่วงนี้เป็นการวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงโซลาร์เซลล์ เมื่อจ่ายภาระขนาดต่างๆและนำผลการทดลองไปพล็อตลงบน กราฟระหว่าง V-I เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และ แรงดันขณะมีภาระ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- | | |
|----------------------------|--------|
| 1. แผงโซลาร์เซลล์ MSX - 64 | 1 แผง |
| 2. โวลต์มิเตอร์ | 1 ตัว |
| 3. แอมป์มิเตอร์ | 1 ตัว |
| 4. ความต้านทาน | |
| - 10 โอห์ม 10 w | 12 ตัว |
| - 100 โอห์ม 10 w | 5 ตัว |
| - 500 โอห์ม 10 w | 1 ตัว |

ทำการต่อแผงโซลาร์เซลล์อนุกรมกับแสงแอมป์มิเตอร์ และ ต่อไปยังตัวต้านทาน โดยที่จะมีโวลต์มิเตอร์ต่อคร่อมอยู่กับตัวต้านทานนั้นอยู่ด้วย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรเพื่อวัดค่าแรงดัน และ กระแสที่ภาระ (Load) ต่างๆเพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ในขั้นตอนการทดลองได้ใช้ค่าความต้านทานหลายค่าตั้งแต่ 1 โอห์ม ถึง 1 K โอห์ม เพื่อที่จะทำให้เห็นกราฟของการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดัน โดยนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรม/ขนานตามค่าต่างๆที่ต้องการ โดยเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆจากค่าน้อยๆไปสู่ค่ามากๆ โดยที่ในแต่ละครั้งของการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ให้ทำการบันทึกค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามค่าที่ปรากฏขึ้นมาโดยอ่านค่าที่ได้จากโวลท์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.3

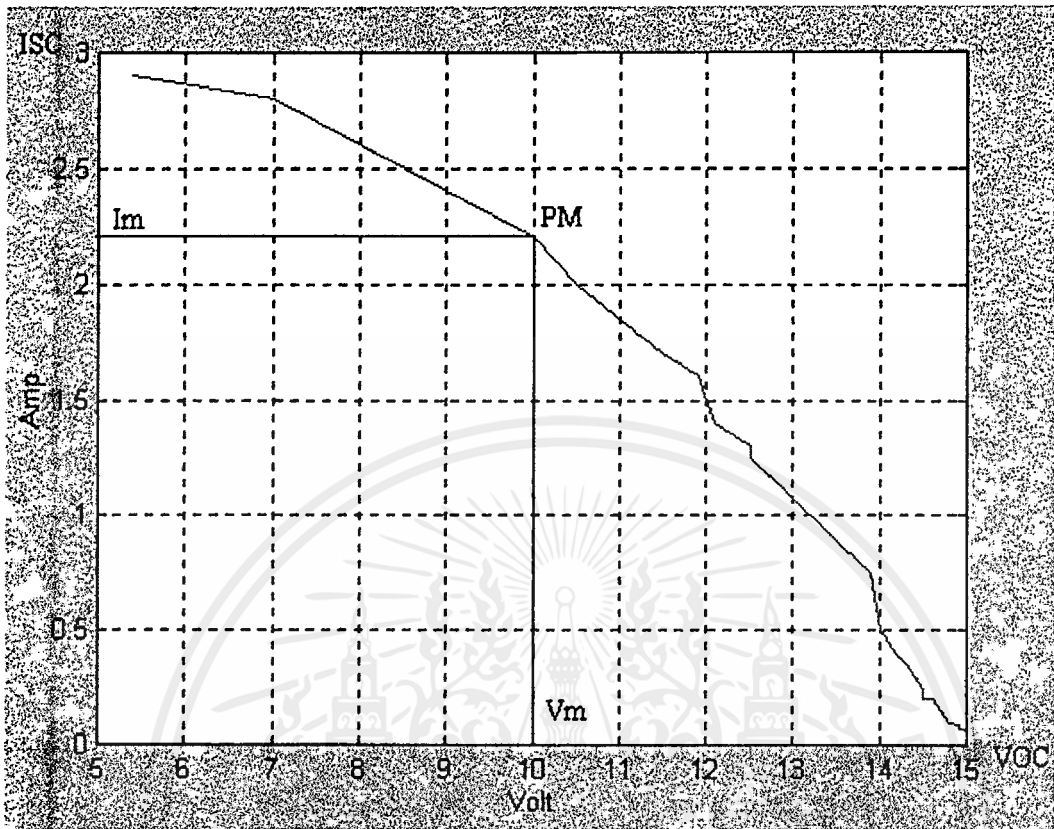
ค.ต.ท.(โอห์ม)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แรงดัน (V)	5.4	7	9	10	10.5	11.5	11.9	12.1	12.5	12.5
กระแส (A)	2.9	2.8	2.4	2.2	2	1.7	1.6	1.4	1.3	1.25

ค.ต.ท.(โอห์ม)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
แรงดัน (V)	13.9	14	14.2	14.3	14.4	14.5	14.5	14.5	14.6
กระแส (A)	0.75	0.5	0.4	0.35	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2

ค.ต.ท.(โอห์ม)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
แรงดัน (V)	14.7	14.8	14.9	14.9	14.9	15	15	15	15
กระแส (A)	0.15	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03

ตารางที่ 4.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสขณะมีภาระต่างๆ (Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการจ่ายภาระของระบบ

การเลือกขนาดของอุปกรณ์

จากบทที่ 2 เกี่ยวกับทฤษฎีและการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับประเทศไทย จะใช้ค่าเฉลี่ย อินโซเลชัน เท่ากับ 5 Peak-hr Per Day ดังนั้นใน 1 วันจะประมาณพลังงานที่ได้จากแผงได้เป็น

$$\text{Daily Charging} = 64 \times 5 = 320 \text{ W.hr}$$

ในเวลา 1 วันสามารถประมาณพลังงานจากแผงได้ 320 W.hr หรือ เท่ากับ $320 / 12 = 26$ A.hr ดังนั้นการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ จะสมมุติให้มีการประจุและจ่ายไฟประมาณวันละ 26 A.hr ซึ่งค่า 26 A.hr นี้จะเป็นค่า 40 % ของความจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน หรือก็คือในแต่ละวันแบตเตอรี่จะมีการประจุ และคายประจุวันละประมาณ 40 % ดังนั้นแบตเตอรี่จะมีขนาดความจุ

$$\text{Capacity of Battery} = 26/0.4 = 65 \text{ A.hr}$$

การหาขนาดของภาระที่ใช้ประจำ (เฉพาะหลอดไฟของแสงสว่าง) คิดที่ประสิทธิภาพการประจุของแบตเตอรี่ (Charging Efficiency) ประมาณ 0.85 ดังนั้นพลังงานที่แบตเตอรี่จะจ่ายได้ (จากพลังงานที่ประจุจากแผง) ใน 1 วันเป็น

$$\begin{aligned} \text{Power Receive per day} &= 0.85 \times 320 \text{ W.hr} \\ &= 272 \text{ W.hr} \end{aligned}$$

ดังนั้นประมาณการจ่ายภาระแสงสว่างตลอดทั้งคืน (ประมาณ 12 ชั่วโมง) ขนาดของภาระจะได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Power Discharging (12 hr.)} &= 272 / 12 \text{ W} \\ &= 22.66 \text{ W} \end{aligned}$$

สำหรับระบบที่ออกแบบเช่นนี้ จะเน้นในระบบทำงานต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 70 A.hr และภาระเป็นหลอดฟลูออโรสเซนต์ (ใช้บัลลัสต์ DC) ขนาด 18 W ทั้งนี้จะเห็นว่าการจ่ายภาระจะเลือกให้มีขนาดน้อยกว่าการประจุในแต่ละวันและขนาดของแบตเตอรี่จะใหญ่กว่าการประจุมากเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ (ทำงานต่อเนื่อง) คือในวันที่มีแสงอาทิตย์น้อย แบตเตอรี่จะมีประจุน้อยกว่าปกติแต่ก็สามารถจ่ายได้ในเวลากลางคืน โดยไม่ทำให้เกิดการคายประจุมากเกินไปและไม่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลง เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นและสามารถค่อยๆเติมประจุกับเข้ามา ในแต่ละวันที่มีแสงอาทิตย์มากอีกด้วย

4.4 การทดลองเสถียรภาพการทำงานของระบบแสงสว่าง

ทำการทดลองโดยการประจุแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์ตลอดวัน ตั้งแต่เวลา 07.00น-17.00น โดยทดลองที่มุมเอียง 40 องศา และจ่ายภาระหลอดไฟ 18 w ตลอดทั้งคืน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยไม่คำนึงถึงความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละวันจะเป็นอย่างไร เพื่อเป็นการสู่มตัวอย่างทดลองดูความสามารถในการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานทำการวัดแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ในแต่ละวันทั้งหมด 10 วันได้ดังนี้

วันที่	แรงดันก่อนประจุ (ตอนเช้า) (V)	แรงดันหลังประจุ (ตอนเย็น) (V)
1	12.2	12.6
2	11.6	12.3
3	11.5	12.3
4	11.3	12.5
5	11.5	12.4
6	11.3	12.5
7	11.6	12.2
8	11.3	12.4
9	11.3	12.3
10	11.4	12.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันก่อนประจุและหลังประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการทดลองชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์เทียบกับ Power supply เพื่อดูกระแสชาร์จต่อเวลาในการประจุให้กับแบตเตอรี่

เมื่อเรานำโครงการที่สร้างนำไปทำการปฏิบัติงานจริง โดยทำการต่อ Load เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 10 V แล้วเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ ที่ช่วงเวลาเริ่มต้นที่เวลาประมาณ 11.00น และทำมุมเงย 40 องศา โดยแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในขณะนั้นมีค่า $V_{oc} = 16 \text{ V}$ และค่า $I_{sc} = 3.5 \text{ A}$ ผลการทดลองที่ได้คือ

ในการชาร์จจน Battery มีค่า 12.3 V จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

อีกครั้งเมื่อเรานำโครงการที่สร้างนำไปทำการทดลอง โดยเราทำการต่อ Power supply เข้าไปแทนที่โซลาร์เซลล์ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 16 V 3A แล้วทำการต่อ Load เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 10 V แบบเดิม แล้วเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ ผลการทดลองที่ได้คือ

ในการชาร์จจน Battery มีค่า 12.3 V จะใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่เวลาต่างๆ กันและความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการจ่ายแรงดันและกระแส สรุปได้ว่าเมื่อเวลา 07.00น ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์จะน้อยแต่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงจนถึง 09.00น ความเข้มแสงเพิ่ม แรงดัน และกระแสจะเพิ่มขึ้น โดยแผงจะสามารถผลิตแรงดัน ได้ 12 V แต่กระแสยังต่ำอยู่มาก ยังไม่สามารถจ่ายภาระ หรือประจุแบตเตอรี่ได้ ในการที่จะให้กระแสจากแผงมากพอในการใช้งานจะต้องใช้ขณะที่ความเข้มแสงมีค่ามากซึ่งอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 11.00น-13.00น หรือทำการต่อขนานแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นอีก 1 แผง

การเลือกมุมเอียงของแผงจะขึ้นอยู่กับภูมิประเทศที่ใช้งาน วิธีเลือกมุมที่ง่ายที่สุดจะใช้มุมที่เท่ากับองศาละติจูดที่ตั้งโดยประมาณ แต่วิธีนี้ไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจากการทดลองที่มุมต่างๆ พบว่าบริเวณที่ทำการทดลองควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่มุมเอียงประมาณ 30-40 องศา โดยหันหน้าไปทางทิศใต้ อย่างไรก็ตามควรจะต้องทำการเก็บผลการทดลองอย่างน้อย 1 ปี จึงจะได้มุมในการติดตั้งที่เหมาะสมที่สุด สำหรับระบบที่ติดตั้งจริงนี้ ใช้มุมเอียงของแผง 40 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้

ระบบที่ศึกษาทดลอง ออกแบบให้แบตเตอรี่มีการใช้งานเพียง 40 % ของขนาดความจุแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้ระบบที่มีความต่อเนื่องในการจ่ายภาระ(หลอดไฟ) แก่ระบบได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังได้เผื่อการทำงานในวันที่มีแสงแดดน้อยและเผื่อสำหรับการจ่ายภาระอื่นๆ อีกด้วย ขนาดของแบตเตอรี่จึงค่อนข้างใหญ่กว่าขนาดของภาระ(หลอดไฟ) ที่ใช้ซึ่งเราสามารถออกแบบให้ประหยัดกว่านี้ได้หากไม่ต้องการเสถียรภาพของระบบมากนัก

จากการทดลองระบบจะสามารถจ่ายไฟให้กับหลอดไฟขนาด 18 W ได้ตลอดทั้งคืน (12 ชั่วโมง) โดยแรงดันของแบตเตอรี่ไม่ลดลงต่ำกว่า 12 V มากนัก นอกจากนี้การประจุในเวลากลางวันก็ยังสามารถประจุแบตเตอรี่ให้ได้แรงดันกลับมาในระดับปกติได้อีกด้วยและจากการประจุด้วยแผงโซลาร์เซลล์เทียบกับ Power supply ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ยิ่งค่ากระแสขาร์จมากเท่าไรเวลาในการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ก็จะน้อยลงเช่นกันและแรงดันที่จ่ายจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าแรงดันที่แบตเตอรี่ (12 V)

หนังสืออ้างอิง

- 1.ดร.ไพรัช รัชพงษ์, ผศ.สมเกียรติ ศุภเดช. สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ
- 2.ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ “เทคโนโลยีการสร้าง และการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์” กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.Roberts.Simon “ Solar Electricity” Cambridge : Prantic Hall International,1991
- 4.SOLAREX An Amoco Company (USA).Solar Cell Data
- 5.National Semiconductor Corporation,National Power Ics Databook,1995
6. National Semiconductor Corporation,National Operational Amplifiers Databook,1995



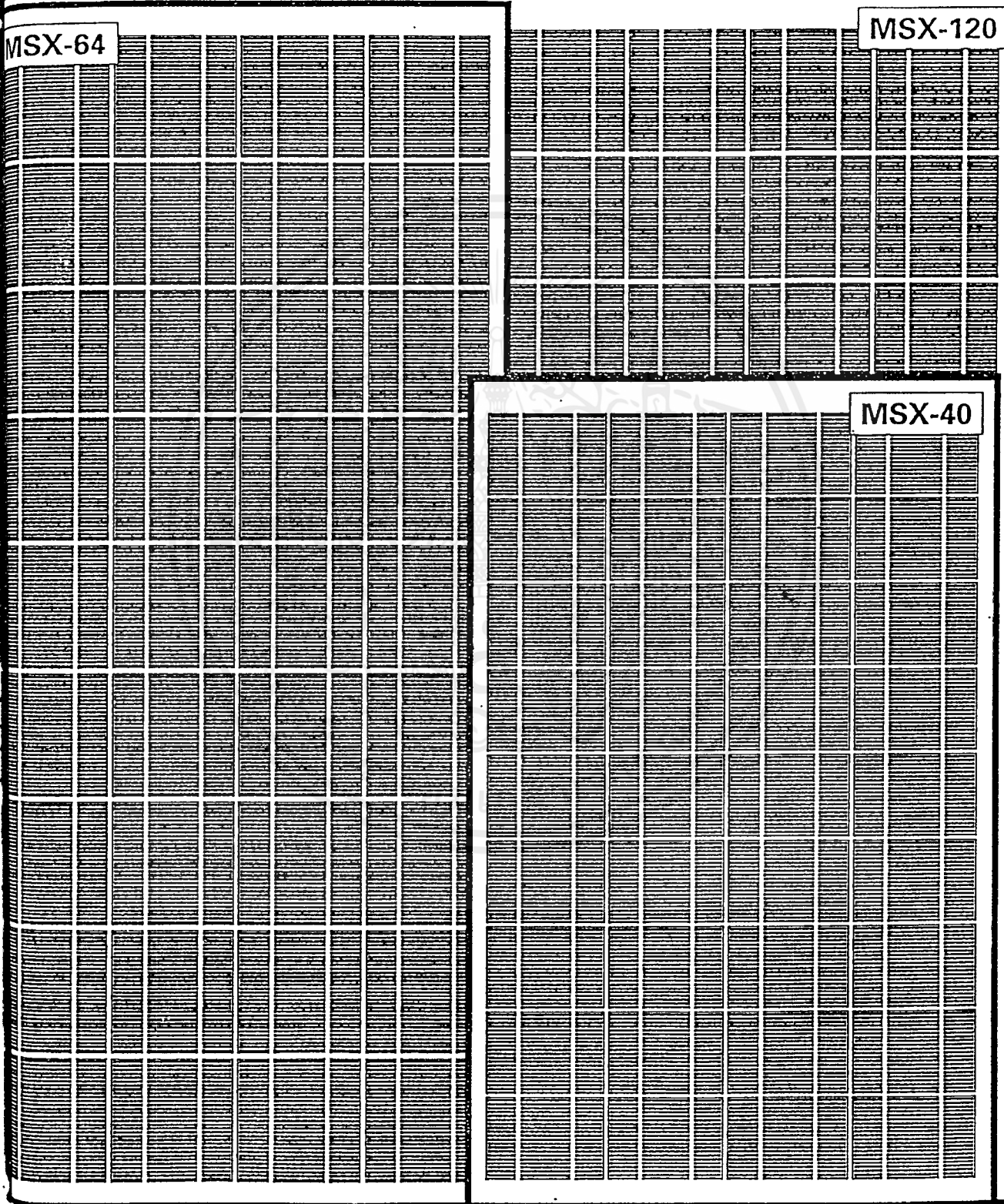
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mega™ Modules Over 38 Watts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Warnings and Precautions

General Information

This instruction sheet provides information about Solarex Mega™ photovoltaic modules with outputs above 38 watts.

Before installing, wiring or using a module, it is important to read and understand the instructions in this information sheet. Installers should be familiar with the basic principles of electricity and electric appliances.

Electric Shocks and Burn Hazard

Photovoltaic modules generate direct current (DC) when exposed to sunlight or other sources of light. Even though single modules produce low voltage and current, shocks and burns can still result from contact with module output wiring. These hazards are increased when multiple modules are connected together to provide higher system voltage or current levels.

PV modules do not have to be "connected" (i.e., powering a load) to generate electricity. Since modules produce electricity whenever light is present, the module front surfaces should be completely covered by an opaque cloth or other material before electrical connections to the modules or other system components are handled.

Storage Batteries

When using a storage battery with photovoltaic modules, battery manufacturer's safety recommendations should be followed.

Local Codes

In some areas, local codes govern the installation and use of photovoltaic modules. In particular, these codes may specify requirements for module installation on rooftops, exterior walls, boats or motor vehicles.

National Electrical Code (NEC) for U.S.A.

The United States NEC addresses the installation of photovoltaic devices and should be consulted for recommendations, especially when installing multiple module systems.

General Handling and Use

- Even though the module is rugged, handle it with care. Impact on the front or rear surface can damage the module.
- Do not bend the module.
- Do not attempt to disassemble the module.
- Do not concentrate light on the module in an attempt to increase its power output.
- When working with modules, use properly insulated tools and wear rubber gloves.

Preventive Maintenance

Inspect the module twice a year for overall integrity. Make certain that connections to the load and/ or battery are tight and free of corrosion.

Cleaning

Dirt accumulation on the module's front surface can reduce the light energy collected by the module, decreasing its power output.

If the module surface is dirty, gently clean it with a soft cloth or sponge using water and a mild detergent. Do not use a scrub brush; it may damage the module front surface. Wear rubber gloves to protect against possible electric shock.

Disclaimer of Liability

Since the conditions or methods of installation, operation, use and maintenance of PV modules are beyond its control, Solarex Corporation does not assume responsibility and expressly disclaims liability of loss, damage, or expense arising out of or in any way connected with such installation, operation, use, or maintenance.

Underwriters Laboratories

Listing Information

To satisfy the conditions of the UL Listing when these modules are installed in a system, be sure to:

- Protect module and array interconnections wiring. Wiring should either be placed in a conduit that is sunlight resistant and conforms to Article 351 of the NEC, or the wiring should be stranded copper single conductor type UF cable rated sunlight resistant.
- Mount members using the standoff or rack methods when installing on a building. The module listing does not cover modules mounted integral with the roof or wall of the building and does not cover marine or vehicle application, where additional requirements may apply.

Electrical Characteristics

The modules described in the Electrical Characteristics Table (see page 2) are listed by and have obtained a Class C Fire Rating from Underwriters Laboratories.

Application Information

Solarex Mega Modules produce DC electricity. They may be used in single-module and multiple-module systems to meet the current or voltage requirements of a great range of applications.

Mechanical/Electrical Specifications

See the appropriate data sheet for general mechanical and electrical characteristics of the module. Specific electrical characteristics of each module are listed on its label.

Under normal conditions, a photovoltaic module may experience conditions that produce more

Electrical Characteristics

Module	Maximum Power (watts)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc) (Amps)	Voltage at Load (Volts)	Current at Load (Amps)
MSX - 64	64.0	21.3	4.0	17.5	3.66
MSX - 60	60.0	21.1	3.8	17.1	3.50
MSX - 56	56.0	20.8	3.6	16.8	3.35
MSX - 53	53.0	20.6	3.4	16.7	3.20
MSX - 50	50.0	21.1	3.17	17.1	2.92
MSX - 48	48.0	20.5	3.20	16.5	2.95
MSX - 40	40.0	21.1	2.53	17.1	2.34

Note: Rated Electrical Characteristics are within 10% of measured values at Standard Test Conditions of 1000 W/m², 25°C cell temperature, and solar spectral irradiance per ASTM E 892.

current and/or voltage than reported at Standard Test Conditions. Accordingly, the values of I_{sc} and V_{oc} marked on UL listed modules should be multiplied by a factor of 1.25 when determining component voltage ratings, conductor capacities, fuse sizes and size of controls connected to the module output. Refer to Section 690-8 of the National Electric Code for an additional multiplying factor of 1.25 which may be applicable.

have eight mounting holes in the back flange of their frames. Mount the module using fasteners through at least four of these holes, selecting holes which provide appropriate fastener spacing. For greatest strength, use the four middle holes (on 24-inch centers.)

MSX-40 modules have six mounting holes. Use the two center holes for mounting the MSX-40 to a pole.

Mounting Hardware

A broad range of pre-engineered mounting kits and hardware for these modules is available from Solarex. Contact your Solarex Distributor or Representative for information on these

kits, which facilitate mounting modules vertically, horizontally, and in multiple-module arrays.

Orientation

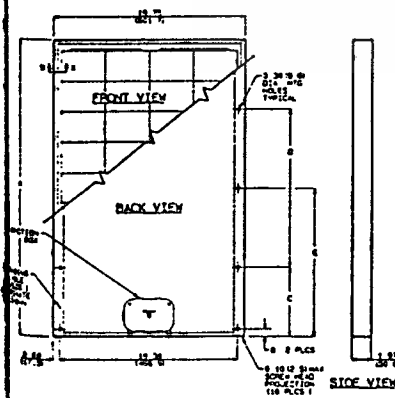
When installing photovoltaic modules, be aware that they generate maximum power when facing the sun directly. The fixed position which approximates this ideal over the course of the year, thus maximizing annual energy production, is facing due South (in the Northern Hemisphere) or due North (in the Southern Hemisphere) at the angle listed in the table on page 3. Note that these orientations are true, not magnetic North and South.

Installation

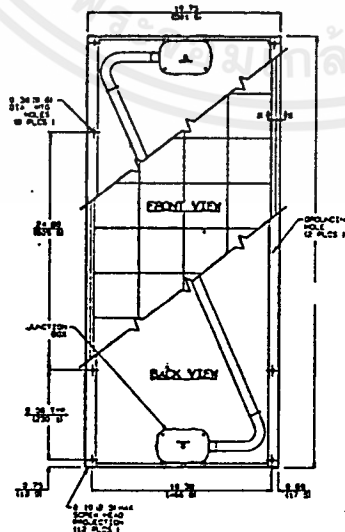
Mounting Dimensions

As shown in the drawings below, MSX-50 through MSX-120 modules

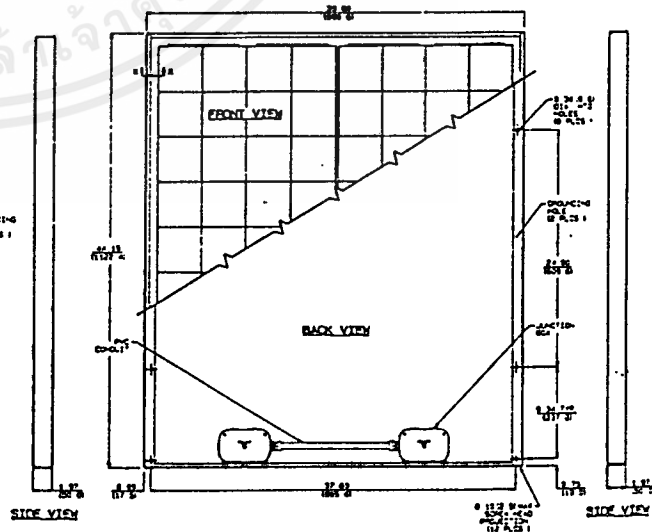
	DIM. A	DIM. B	DIM. C	DIM. D	DIM. E
MS-60	43.63 (1108.2)	0.75 (19.1)	9.81 (249.2)	24.00 (609.6)	—
MS-50	36.90 (937.3)	0.75 (19.1)	6.45 (163.8)	24.00 (609.6)	—
MS-40	30.13 (765.3)	—	7.05 (179.3)	16.00 (406.4)	15.06 (382.5)



MSX-40 through MSX-64



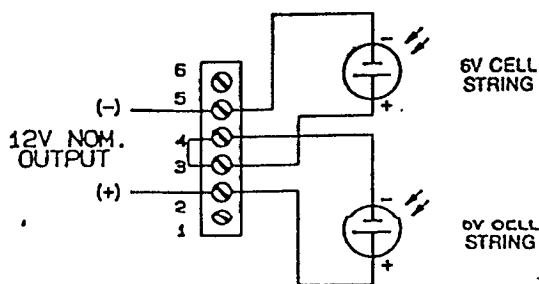
MSX-50CP



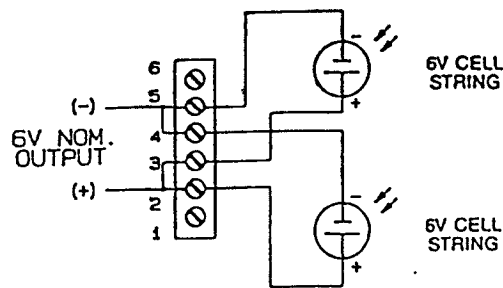
MSX-120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Dimensions given in Inches and Millimeters (Millimeters shown in parenthesis)
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information Sheet



12V WIRING
SIMPLIFIED MODULE SCHEMATIC
Drawing A



6V WIRING
SIMPLIFIED MODULE SCHEMATIC
Drawing B

Tilt Angle

The table below shows the fixed angle above horizontal at which modules should be installed in order to maximize annual energy output. At some installations, it may be cost-effective to adjust the tilt seasonally. At most latitudes, performance can be improved during the summer by using an angle flatter than the chart's recommendation; conversely, a steeper angle can improve winter performance.

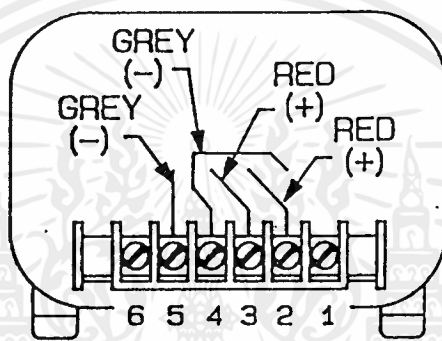
If modules are not cleaned regularly, it is recommended that they not be mounted at an angle flatter than 15°. Flatter angles cannot take full advantage of the cleansing action of rainfall.

Latitude of site	Tilt Angle
0-4°	10°
5-20°	Add 5° to Local Latitude
21-45°	Add 10° to Local Latitude
45-65°	Add 15° to Local Latitude
65-75°	80°

Example: A module mounted in Miami, Florida (latitude 26°) should be tilted at approximately 36° from horizontal, and should be faced due south.

Shading

locate modules so they are as free as possible from shading during all seasons, particularly during the middle (the most energy-productive) part of the day.



TERMINAL STRIP NUMBERING
Drawing C

Module Wiring

With the exception of the MSX-50CP, Solarex modules are shipped from the factory wired for 12-volt operation, with their internal 6-volt cell strings wired in series, as shown above in Drawing A. They may be rewired for six-volt operation in the field as shown above in Drawing B. Drawing C, shown above, illustrates wire color coding and the internal connection of cell strings to the junction box terminals.

Wiring details of the MSX-50CP are presented in a separate instruction sheet.

Connecting Modules in Series or Parallel

Drawings D and E (see page 4) illustrate the junction box connections for wiring 12V modules in series and in parallel.

Blocking Diodes and Charge Regulation

Depending upon its use, an MSX module may require a blocking diode, which prevents battery discharge during periods of darkness, or a battery charge regulator, which prevents storage batteries from being overcharged and possibly being damaged or destroyed.

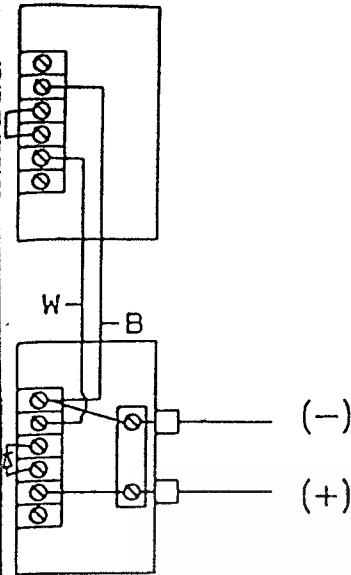
For applications requiring charge regulation, Solarex recommends its Solarstate™ Control, which includes a blocking diode. This regulator is efficient, inexpensive, and easy to install.

The matrix below provides general guidelines for choosing either a blocking diode or regulator.

Does daily current into battery exceed daily current drawn from battery?	Is module connected at night?	
	Yes	No
Yes	Solarstate	Solarstate
No	Blocking Diode	No Regulation Required

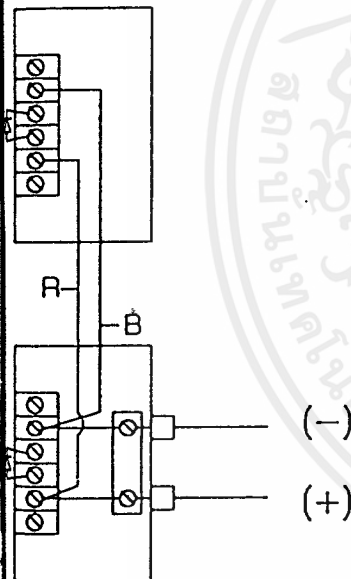
Multiple Module Arrays

Where two or more MSX modules are connected in series, bypass diodes should be installed in parallel across every 18 cells (2 diodes per module). This protects the array from damage due to partial array shading. Partial shading of the array can cause power loss and localized overheating. The diodes are available as an optional accessory on all large MSX modules.



Drawing D (Series)

When modules are connected in series, they must have the same power rating.



Drawing E (Parallel)

When multiple modules or series strings of modules are connected in parallel, each string should include a blocking diode in series with the modules. This prevents shaded par-

allel strings from absorbing current from illuminated parallel strings, which could reduce the array output and possibly damage the shaded module. Blocking diodes are also available as an optional accessory.

Limited Warranty

Limited Warranty - One Year

Solarex warrants the MSX-40 through 120 modules to be free from defects in materials and workmanship under normal applications, use and service conditions for twelve (12) months from the date of sale to the original consumer purchaser. If the module becomes inoperable due to a defect in material or workmanship during the twelve (12) month period of this warranty, Solarex will, at its option, either repair or replace the product, or if it is unable to repair or replace the product, refund the purchase price.

This warranty shall apply only while the original consumer purchaser owns the product.

Limited Ten-Year Warranty on Power Output

For ten (10) years from the sale of the product to the original consumer purchaser, Solarex will replace the lost power of any modules that fail to produce at least ninety percent (90%) of the minimum power output specified by Solarex at the time of delivery. Power output shall be measured by Solarex using standard Solarex test conditions. Solarex will replace such lost power, up to the minimum output originally specified, either by providing the purchaser with additional modules to make up the total wattage lost, or by repairing or replacing the module, at Solarex's option. This warranty shall only apply while the original consumer purchaser owns the product.

What This Warranty Does Not Cover

This warranty does not apply to any of the above modules which has been subject to misuse, neglect or accident, or which has been damaged through abuse, alteration, improper installation or application, or negligence in use, storage, transportation or handling, or which has been repaired by anyone other than Solarex or an authorized Solarex service representative. This warranty does not cover any transportation costs for the return of the module or cost associated with installation, removal, or reinstallation of the MSX module.

Warranty Limitations

THERE IS NO OTHER EXPRESSED WARRANTY ON THESE PRODUCTS. SOLAREX IS NOT RESPONSIBLE FOR ANY INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES ARISING FROM THE USE OR LOSS OF USE OF THE PRODUCT.

ANY WARRANTIES IMPLIED BY LAW, INCLUDING THOSE OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE LIMITED IN DURATION TO THE TERM OF THIS WARRANTY.

Solarex's maximum liability under any warranty, expressed, implied, or statutory, is limited to the purchase price of the product. The purchaser's exclusive remedy shall be only as stated herein.

SOME JURISDICTIONS DO NOT ALLOW LIMITATIONS ON HOW LONG AN IMPLIED WARRANTY LASTS OR THE EXCLUSION OR LIMITATIONS OF INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, SO THE ABOVE LIMITATIONS OR EXCLUSIONS MAY NOT APPLY TO YOU.

Maintaining Warranty Performance

If you feel you have a claim under your warranty, contact the vendor who sold you the product, any authorized Solarex service representative, or Solarex at the address set out below. You will be advised of what you need to do to obtain warranty service.

You should read and follow the installation instructions supplied with the MSX module. If you need to contact Solarex, please write us at the following address:

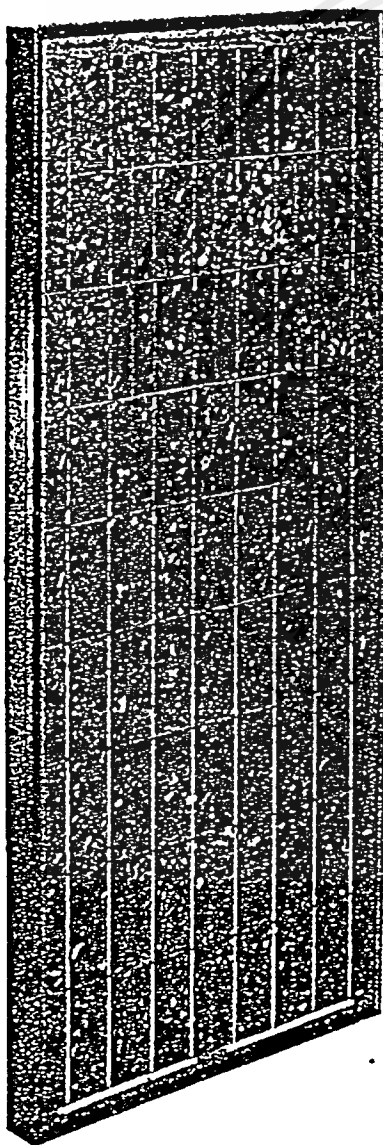
THIS WARRANTY GIVES YOU SPECIFIC RIGHTS, AND YOU MAY ALSO HAVE OTHER RIGHTS WHICH VARY FROM STATE TO STATE.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SX-60, MSX-56, & MSX-53 Photovoltaic Module

MEGA™ SX-60, -56, and -53 are the most powerful of Solarex's **MEGA** series of photovoltaic (solar electric) modules, a product line which is the culmination of 10 years of extensive research in semicrystalline silicon photovoltaics. With over 3 amperes current at peak power, these are the highest-current commercial PV modules in the world, and generate current at a voltage high enough to charge batteries efficiently in virtually any climate.



parallel combinations as required to meet current and voltage requirements. As single-module arrays, they may be mounted on a variety of surfaces using an optional bracket kit or by means of user-fabricated support hardware. Solarex also offers hardware for supporting multiple-module arrays.

These modules are well-suited for virtually all applications where photovoltaics are a feasible energy source, including telecommunications systems, pumping and irrigation, cathodic protection, remote villages and clinics, aids to navigation—in short, all but the smallest of photovoltaic systems.

HIGH CURRENT, POWER AND VOLTAGE

The **MEGA** SX-60, -56, and -53 boast the highest peak-power current outputs—3.5A, 3.35A, and 3.2A respectively—of any commercial modules. They deliver that current at a voltage high enough to charge batteries efficiently, and retain that voltage excellently in hot climates, as shown by the temperature coefficients and I-V curves in this publication.

- Fabricated from large-area (11.4 cm x 11.4 cm) antireflective-coated semicrystalline silicon solar cells;
- Higher current means fewer modules required for given output, less balance-of-system cost.

INDIVIDUALLY TESTED, LABELED AND WARRANTEED

It is inherent in all photovoltaic manufacturing processes that the electrical characteristics of finished modules vary slightly from one unit to another. The electrical characteristics listed in this sheet are those of typical, or production-average, units.

However, unlike any other manufacturer, Solarex tests each finished module in a solar simulator and labels it with its actual output—peak power, and voltage and current at peak power—at STC. In addition to providing a user with exact specifications, this allows Solarex to enforce tighter tolerances on the power output of its modules than any other PV manufacturer.

Furthermore, each module is covered by our industry-leading ten-year limited warranty, which guarantees:

- that no module will generate less than its guaranteed minimum power when purchased;

These modules may be used in single-module arrays or deployed in multiple-module arrays, wired in series/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกาใช้

continued power (at least 90% of guaranteed minimum) for ten years.

Contact Solarex Marketing Department for full terms and limitations of this unparalleled warranty.

EQUAL VOLTAGE CAPABILITY

These modules consist of 36 semicrystalline silicon solar cells electrically configured as two series strings of 18 cells each.

Strings may be placed in series or in parallel in the field, providing 6V or 12V nominal output, by moving leads in the junction box.

Allows simple installation of blocking or bypass diodes on 18-cell strings.

LARGE, EASY-TO-USE JUNCTION BOX

All cell strings terminate in a weatherproof junction box mounted on the back of the module.

Junction box materials: impact-resistant, high-dielectric strength molded thermoplastic resin.

Large enough for easy connection and manipulation of wiring and diodes, Solarex's Solarstate™ regulator can also be directly attached.

Terminals accept a wide range of connectors or bare wires.

Cover screws are captive, not easily lost.

PROVEN MATERIALS AND CONSTRUCTION

The materials used in these modules reflect Solarex's extensive experience with hundreds of thousands of solar modules and systems installed in virtually every climate on Earth. Founded in 1973, Solarex is the pioneer in terrestrial photovoltaic systems and the use of semicrystalline silicon for solar cells, and has invested the resources necessary to prove its materials, processes, and products.

Semicrystalline silicon solar cells: efficient, attractive, stable.

Patented titanium dioxide cell AR (antireflective) coating for optimum optical coupling and maximum efficiency at all levels.

Modules are rugged and weatherproof; cell strings are laminated between sheets of ethylene vinyl acetate (EVA) and tempered glass.

Tempered glass superstrate: self-cleaning, highly transmissive (low iron content), inert, impact-resistant.

Proven cell interconnection technique and matched thermal coefficient of expansion of glass and cells ensure electrical integrity in severe temperature ranges.

- Framed with corrosion-resistant, bronze-anodized extruded aluminum: strong, attractive framing compatible with Solarex mounting hardware and a broad range of other mounting structures.

SAFETY APPROVED

These modules have been approved by Factory Mutual Research for application in NEC Class 1, Division 2, Group D hazardous locations.



OPTIONS

- Protective aluminum backplate
- Mounting hardware kits
- Solarstate™ voltage regulator
- Marine-climate (NEMA 4X) junction box

RELIABILITY AND ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

These modules are subjected to intense quality control during manufacture and to rigorous testing before shipment. They meet or exceed JPL Block V test criteria, including the following tests, with no performance degradation:

- Repetitive cycling between -40°C and 90°C;
- Repetitive cycling between -40°C and 85°C at 85% relative humidity;
- Wind loading exceeding 125 mph;
- Surface withstands impact on one-inch hail at terminal velocity (52 mph) without breakage.

VARIABLES AFFECTING PERFORMANCE

The performance of typical MEGA SX-60; -56, and -53 modules is described by the I-V curves and electrical characteristics table on the next page. Each module's actual, tested output characteristics are printed on its label.

The current and power output of photovoltaic modules are approximately proportional to illumination intensity. At a given intensity, a module's output current and operating voltage are determined by the characteristics of the load. If that load is a battery, the battery's internal impedance will dictate the module's operating voltage. An I-V curve is simply all of a module's possible operating points (voltage/current combinations) at a given cell temperature and light intensity. Increases in cell temperature increase current but decrease voltage.

งานนี้ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)

12 VOLT CONFIGURATION (2)

	MSX-53	MSX-56	MSX-60
Peak power (Pp)	53W	56W	60W
Voltage @ peak power (Vpp)	16.7V	16.8V	17.1V
Current @ peak power (Ipp)	3.2A	3.35A	3.5A
Guaranteed minimum peak power	50W	54W	58W
Short-circuit current (Isc)	3.4A	3.6A	3.8A
Open-circuit voltage (Voc)	20.6V	20.8V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	-73 mV/°C	-73 mV/°C	-73 mV/°C
Temperature coefficient of short-circuit current	3.6 mA/°C	3.3 mA/°C	3 mA/°C
Approximate effect of temperature on power	-0.38%/°C	-0.38%/°C	-0.38%/°C
NOCT (3)	45°C	45°C	45°C

Notes:

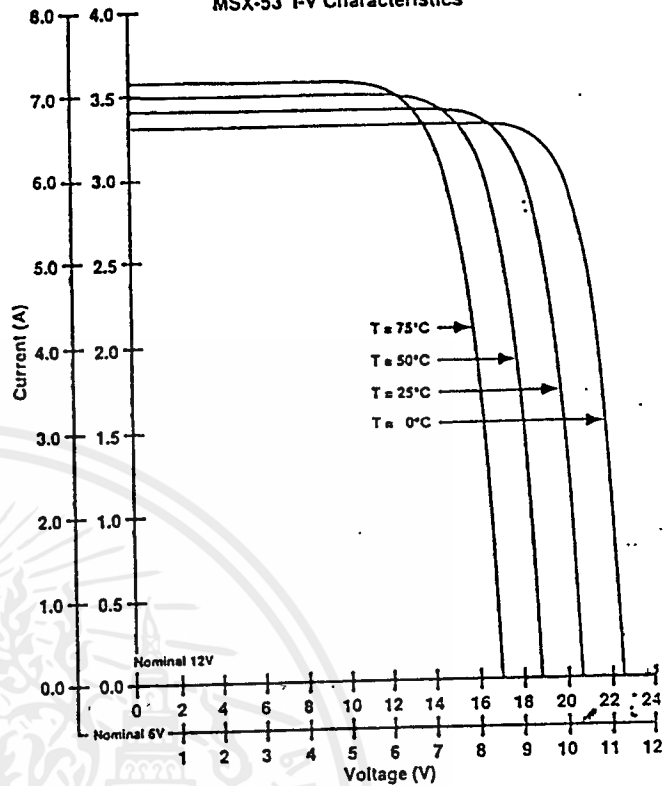
These data represent the performance of typical modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made at Standard Test Conditions (STC) which are:

- Illumination of 1 kW/m² (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5
- Cell temperature of 25° C or as otherwise specified (on curves).

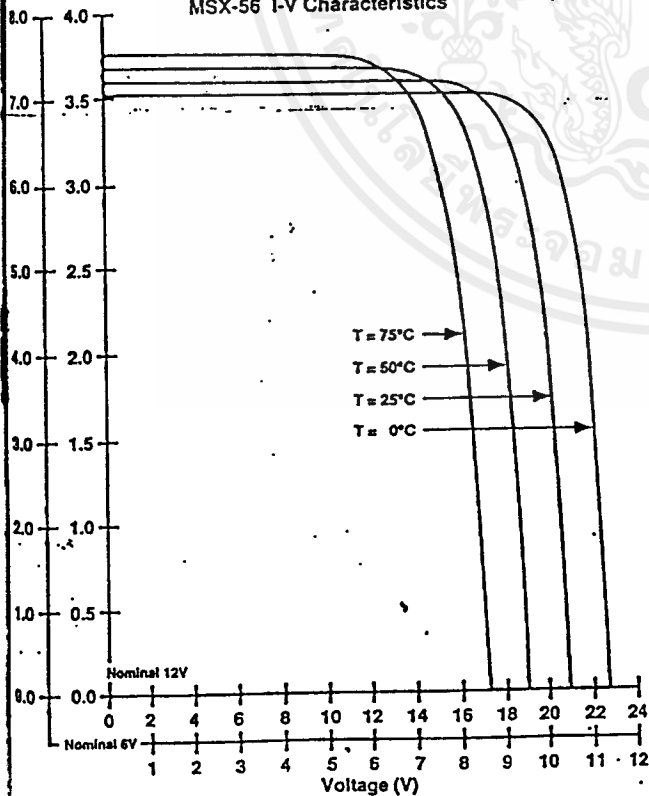
Electrical characteristics of modules wired in the nominal 6V configuration may be found by using the 6V scales on the I-V curves. For more exact values, divide the 12V voltage characteristics in the table by 2 and multiply the 12V current characteristics by 2. Power values are unchanged.

Under nearly all climatic conditions, the solar cells in an operating module are hotter than the ambient temperature, a fact which must be considered when reading module data. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indication of this temperature rise, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20°C, solar irradiation of 0.8 kW/m², and average wind speed of 1 m/s.

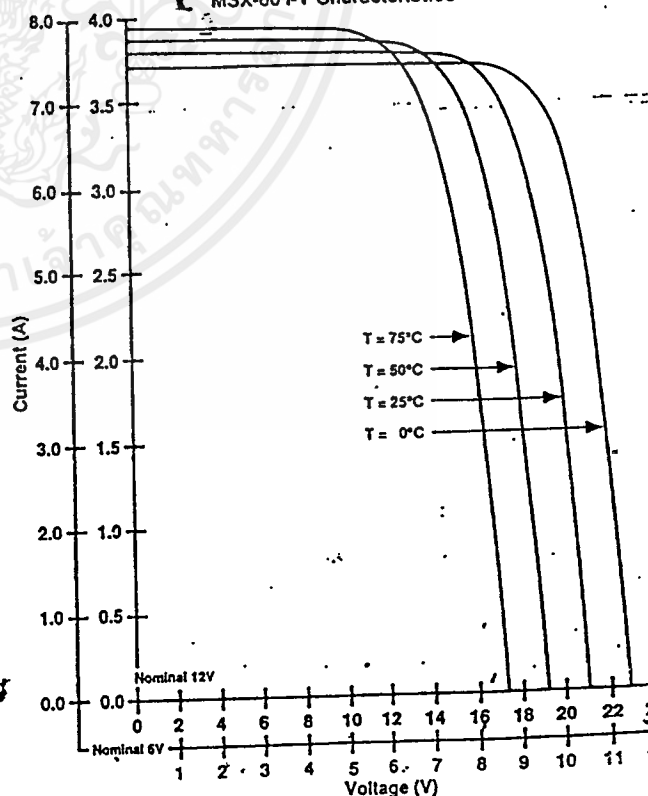
MSX-53 I-V Characteristics



MSX-56 I-V Characteristics



MSX-60 I-V Characteristics



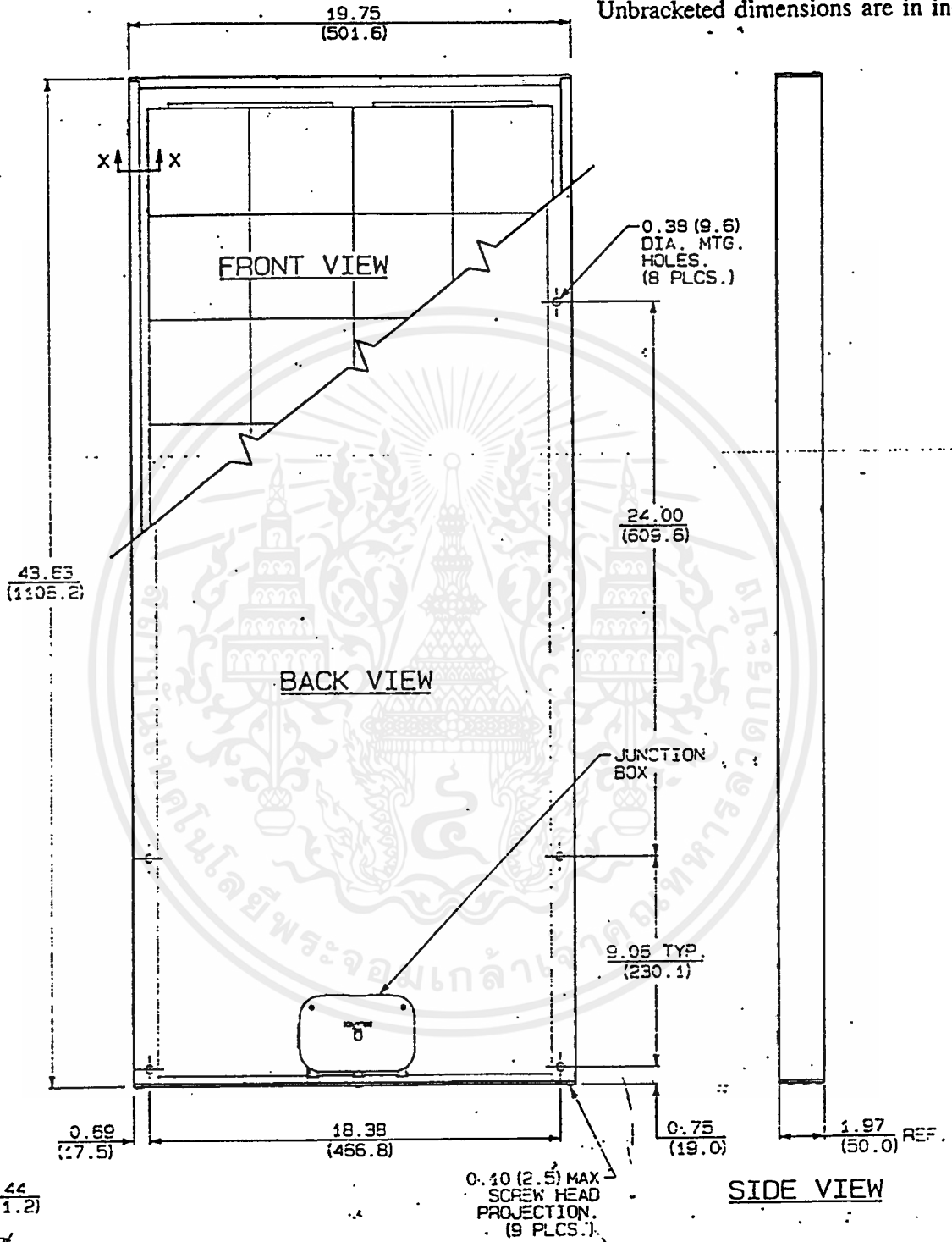
MECHANICAL CHARACTERISTICS

GA SX-60, -56, and -53 are mechanically identical, differing only in electrical output.

Weight: 15.9 pounds (7.2 kg)

Dimensions: Dimensions in brackets are in millimeters

Unbracketed dimensions are in inches

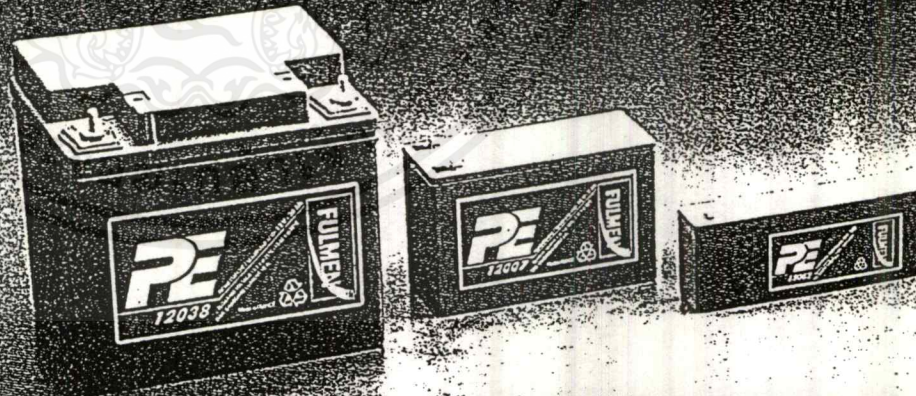


For More Information, Contact:

SECTION X-X

PE

STATIONARY BATTERIES
VALVE REGULATED LEAD ACID



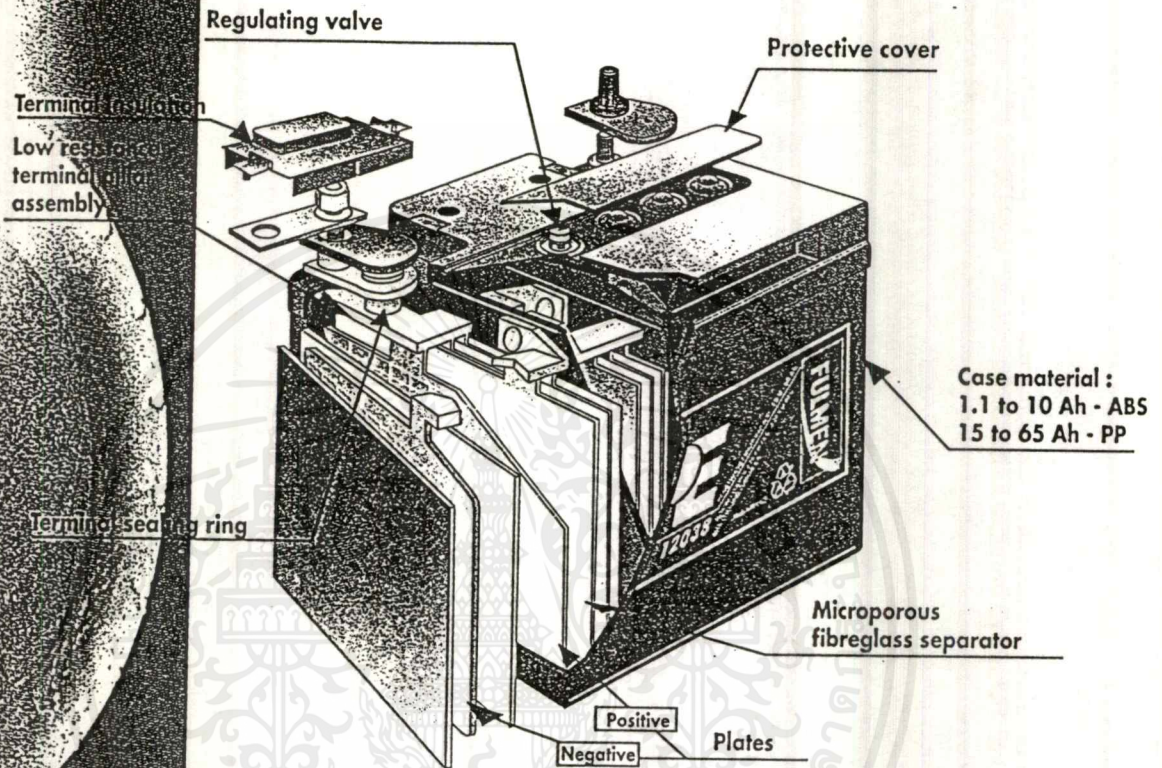
FULMEN

in lead acid batteries

For over a century the quality of our products and services has met the requirements of a technically demanding customer base in Europe and throughout the world.

Today, CEAC, as European market leader, uses thousands of tons of lead in its factories, producing batteries which provide high technology solutions to energy storage requirements.

The **FE** series, designed as a reliable mono-block battery for standby applications, draws on CEAC's nearly 40 year experience in recombination battery technology.



Advantages of **FE** series

Manufactured under **ISO 9002** conditions, **FE** batteries offer excellent performance in high rate rapid discharge together with dependability in slow rate discharge regimes. The products technical aspects, which meet many international specifications and standards, allow **FE** batteries to be used in a wide range of stand-by applications, where high quality combined with a competitive price is required.

Reliability and high performance

- Lead calcium alloy (no antimony or cadmium)
- Low internal resistance
- Flat plate construction optimised to give best ionic exchange area offering excellent performance in rapid discharge

Reliable design and safety in use

- Microporous fibreglass separators
- Protected regulating valves
- Simple interconnection by means of threaded terminals or faston blade type
- 98-99 % gas recombination rate with resulting extremely low gas emission on float charging allows great flexibility in location
- Maintenance free
- Non-spillable design with absorbed electrolyte, allows use in horizontal or vertical attitudes, in cabinets or racks. This feature also gives greater safety in transport, handling and commissioning

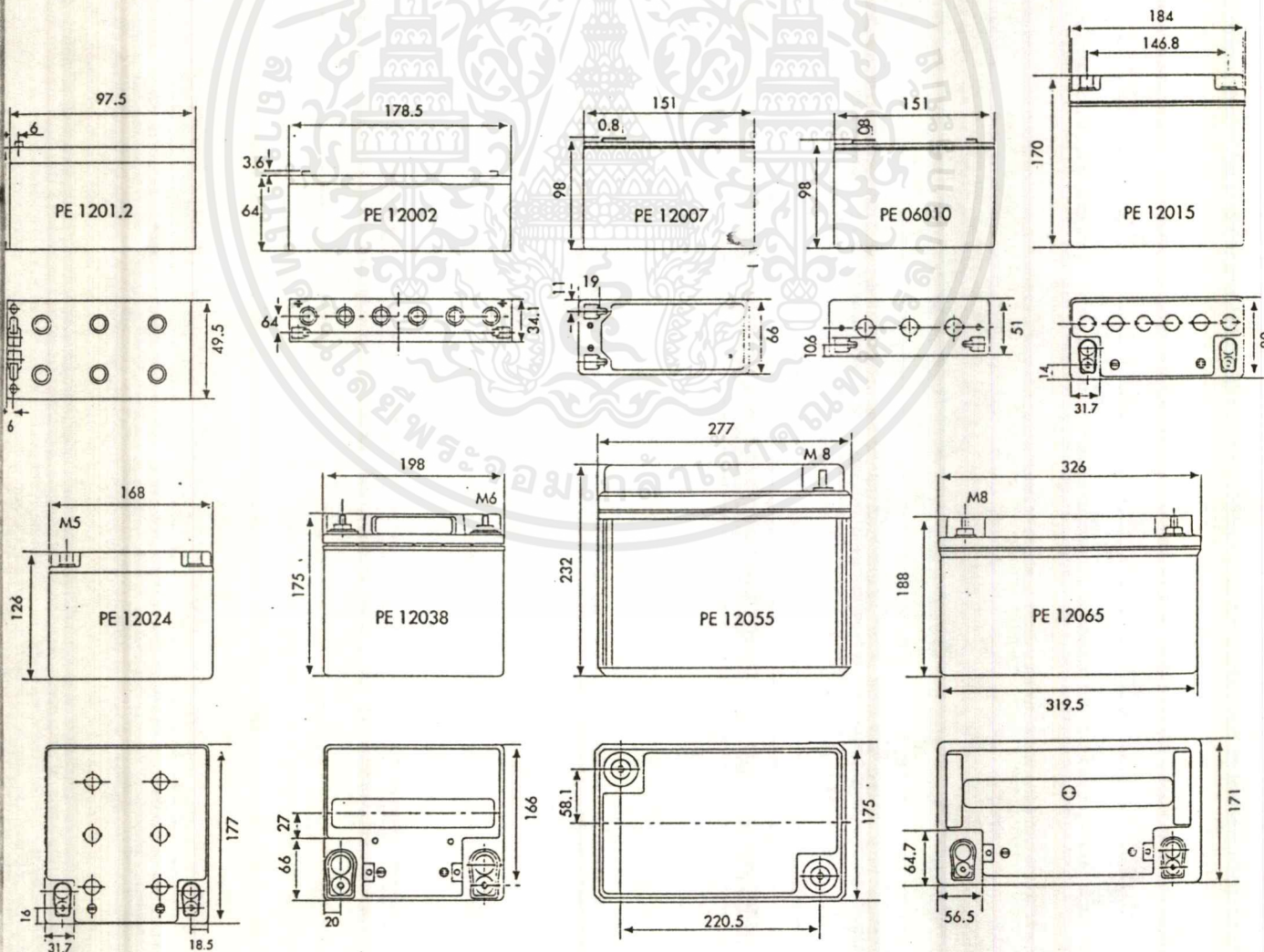
Main applications of **FE** series

- Energy supply - UPS, Emergency lighting, Mobile power supplies, Hospitals, Cash registers
- Safety - Alarm, Intruder, Fire signalling systems, Home security, Access control
- Communications - Telephone networks, Private communications, Portable systems

Technical characteristics

TYPE	Voltage	Capacity in Ah at 20°C		Length in mm	Width in mm	Height in mm	Weight in Kg	Internal resistance in mΩ	Terminals per polarity
		20h to 1,75 v	10h to 1,8 v						
PE 0601.2	6	1.2	1	97.3	25.5	55	0.28	100	FASTON 4.8 mm
PE 1201.2	12	1.2	1	97.5	49.5	55	0.55	200	FASTON 4.8 mm
PE 12002	12	2	1.6	178.5	34.1	64	0.83	120	FASTON 4.8 mm
PE 06003	6	3	2.6	135	60.5	34.8	0.61	40	FASTON 4.8 mm
PE 12003	12	3	2.6	134	66.3	65	1.2	80	FASTON 4.8 mm
PE 06004	6	4	3.7	62.3	52	102	0.84	30	FASTON 4.8 mm
PE 12007	12	7	6.3	151	66	98	2.7	26	FASTON 4.8 mm
PE 06010	6	10	9.3	151	51	98	2.0	9	FASTON 4.8 mm
PE 12010	12	9.8	8.4	152	98	98.4	3.3	24	FASTON 4.8 mm
PE 12015	12	15	14	184	80	170	6.2	15	FEMALE INSERT M5
PE 12024	12	24	21.5	168	177	126	9.1	9.7	FEMALE INSERT M5
PE 12038	12	36	32.5	198	166	175	13.7	8	MALE INSERT M6
PE 12055	12	54	50	277	175	232	22.3	6	MALE INSERT M8
PE 12065	12	62	57	326	171	188	22.5	5.8	MALE INSERT M8

External dimensions are +/- 1 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

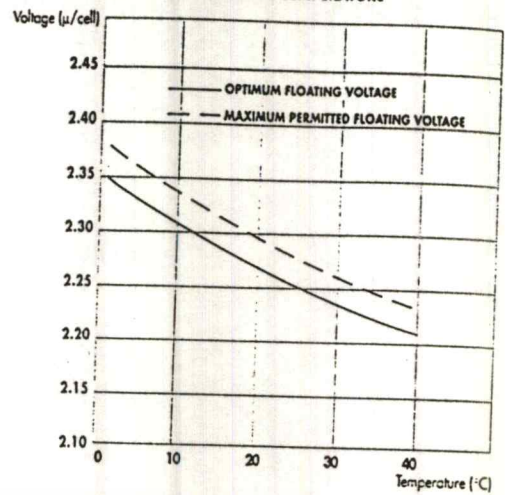
Float charge voltage level

The graph opposite gives the recommended voltage for different temperatures. The floating voltage is 2.27 V/cell at 20° C.

It is recommended to set the level to that relevant to the average temperature where this is reasonably constant.

Where temperatures vary, it is recommended that automatic temperature compensation of charge voltage level is provided in conformance to the graph.

FLOATING VOLTAGE VS TEMPERATURE



Influence of temperature on capacity

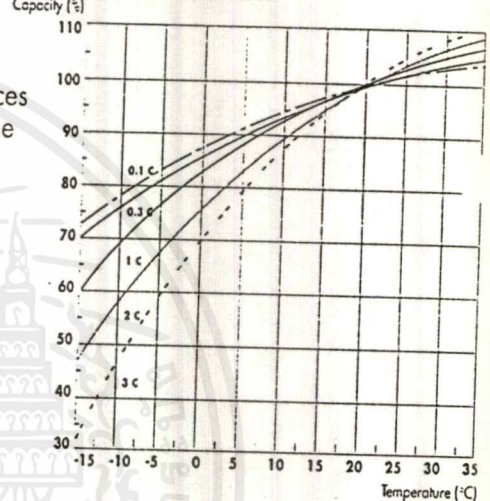
The temperature of the battery influences the available capacity as indicated in the graph opposite. Beyond 35° C, the increase of capacity is negligible.

The effect of temperature is also dependant upon the discharge current level.

Example of use :

At 0° C and a discharge of twice the C10 rate, the battery has an available capacity of 76 % nominal capacity.

TEMPERATURE / CAPACITY

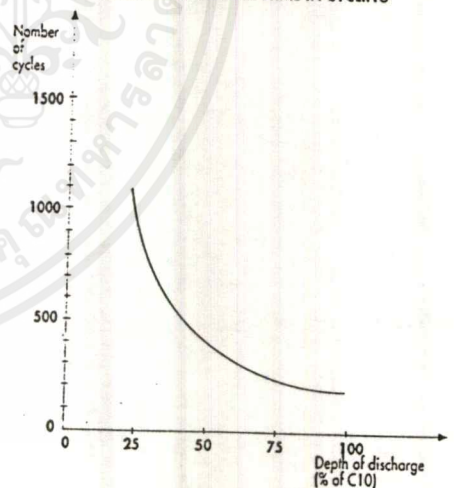


Cycling applications

Although designed for standby float applications, the PZ cells and monoblocs also have good behaviour in cycling applications.

The depth of discharge is the most important factor on the lifetime of batteries in cycling applications.

INDICATIVE VALUES OF LIFETIME IN CYCLING

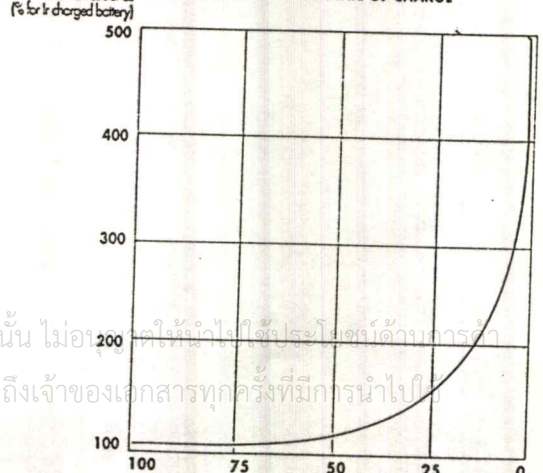


Internal resistance

The value of internal resistance is important when a battery must produce a peak current (ie for switch tripping) at the end of the discharge period.

The graph opposite shows resistance as a percentage of fully charged resistance value, for various charge states.

INTERNAL RESISTANCE VS STATE OF CHARGE



Recharging characteristics

Charging with a constant voltage level and a limited initial current value is the method recommended for best predicted lifetime of **FE** batteries.

The graph opposite shows recharge times for various depths of discharge and initial current values at voltages of 2.27 and 2.40 Vpc at +20°C.

The use of higher initial current levels does not significantly reduce charging time and may cause battery damage. Recharges made with the voltage over 2.27 V must be limited in time.

Example :

A 75% discharged battery is recharged at 2.27 Vpc at 20°C using a charger having a current limited of $0.2 \times C_{10}$. Time to reach 90% charge state is some 6 hours.

We recommend that the batteries are not discharged more than 80% of nominal capacity.

Note : for recharge with 2.40 V the current must never be higher than $0.2 \times C_{10}$.

Storage temperature / Self discharge

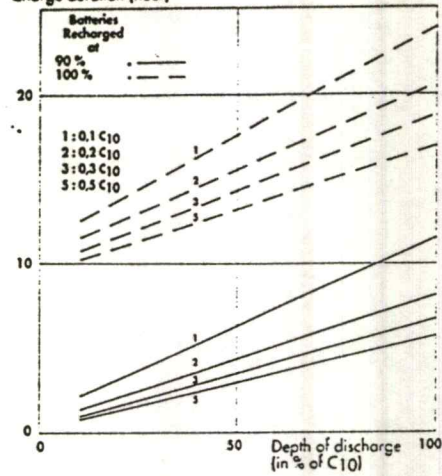
The rate of self discharge of a battery depends on the temperature of storage. A battery will lose charge state more rapidly when temperatures are high.

The graph opposite can be used to determine the frequency of replenishment charging.

State of charge vs open circuit voltage

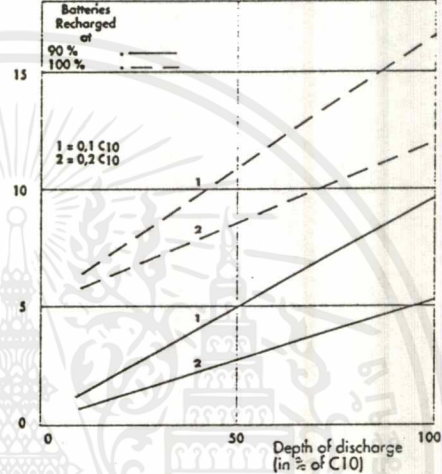
A measure of open circuit voltage gives an indication of the state of charge of the battery. This measurement should not be done until 20 hours after disconnecting the battery.

Charge duration (hour)

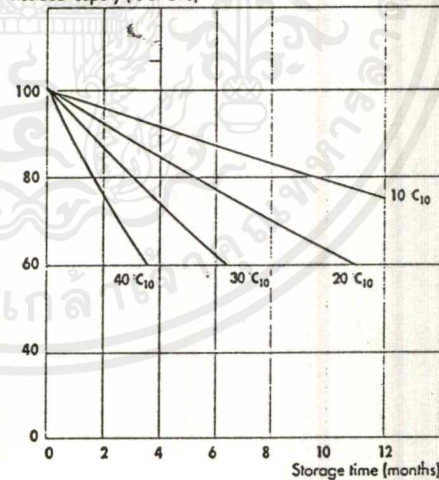


CHARGES IN USE AT CONSTANT VOLTAGE WITH LIMITED CURRENT. m = 2,40 V / CELL (+20°C) (CYCLING)

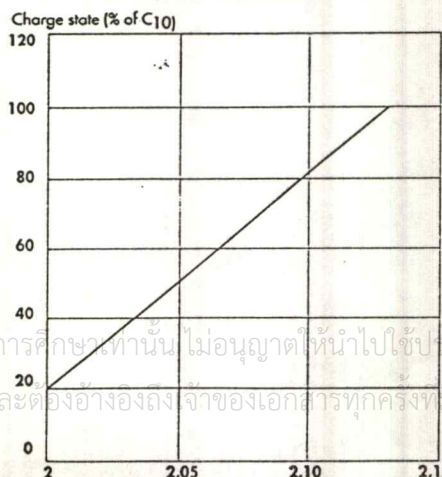
Charge duration (hour)



CHARGE STATE / STORAGE TEMPERATURE



CHARGE STATE / OPEN CIRCUIT VOLTAGE



Rapid determination tables (in Amperes)

End of discharge voltage 1.70 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	1	0.63	0.27	0.18	0.12	0.1	0.6
PE 1201.2	1	0.63	0.27	0.18	0.12	0.1	0.6
PE 12002	1.7	1.03	0.43	0.29	0.2	0.16	0.1
PE 06003	2.9	1.8	0.72	0.48	0.32	0.26	0.15
PE 12003	2.9	1.8	0.74	0.48	0.32	0.26	0.15
PE 06004	4.3	2.9	1.11	0.72	0.47	0.38	0.2
PE 12007	7.55	4.26	1.7	1.13	0.775	0.65	0.35
PE 06010	11	6.23	2.53	1.69	1.13	0.94	0.508
PE 12010	9.36	6	2.41	1.58	1.04	0.86	0.5
PE 12015	16.8	9.6	3.9	2.55	1.74	1.43	0.77
PE 12024	25	14.5	6.1	3.95	2.62	2.2	1.22
PE 12038	38	21.95	9.6	6.2	4	3.33	1.85
PE 12055	59.5	35	14	9.1	6.2	5.15	2.8
PE 12065	66	38.7	16.7	10.7	6.95	5.85	3.2

End of discharge voltage 1.75 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	1	0.62	0.26	0.18	0.12	0.1	0.06
PE 1201.2	1	0.62	0.26	0.18	0.12	0.1	0.06
PE 12002	1.6	1.02	0.43	0.29	0.19	0.16	0.1
PE 06003	2.8	1.8	0.73	0.48	0.32	0.26	0.15
PE 12003	2.8	1.8	0.73	0.48	0.32	0.26	0.15
PE 06004	4.1	2.7	1.09	0.71	0.46	0.38	0.2
PE 12007	7.3	4.2	1.68	1.11	0.77	0.64	0.34
PE 06010	10.7	6.13	2.48	1.67	1.12	0.936	0.503
PE 12010	9.1	5.85	2.38	1.56	1.04	0.85	0.5
PE 12015	16.2	9.3	3.8	2.49	1.71	1.41	0.76
PE 12024	24.3	14.2	5.9	3.9	2.6	2.18	1.2
PE 12038	37	21.8	9.5	6.15	3.98	3.3	1.8
PE 12055	58	34	13.7	9	6.1	5.1	2.7
PE 12065	64	38.2	16.5	10.6	6.9	5.8	3.1

End of discharge voltage 1.80 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	1	0.6	0.26	0.17	0.12	0.1	0.06
PE 1201.2	1	0.6	0.26	0.17	0.12	0.1	0.06
PE 12002	1.6	0.98	0.42	0.26	0.19	0.16	0.1
PE 06003	2.7	1.7	0.71	0.47	0.31	0.26	0.15
PE 12003	2.7	1.7	0.71	0.47	0.31	0.26	0.15
PE 06004	3.9	2.6	1.05	0.69	0.45	0.37	0.2
PE 12007	6.9	4.08	1.64	1.08	0.75	0.63	0.33
PE 06010	10.2	5.94	2.4	1.6	1.08	0.93	0.5
PE 12010	8.86	5.65	2.32	1.53	1.02	0.84	0.49
PE 12015	15.4	9	3.65	2.42	1.66	1.4	0.73
PE 12024	23	13.6	5.7	3.8	2.55	2.15	1.13
PE 12038	35.4	21.3	9.3	6	3.95	3.25	1.75
PE 12055	56	33	13.4	8.7	6	5	2.6
PE 12065	62	37	16	10.45	6.8	5.7	3

End of discharge voltage 1.85 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	1	0.57	0.25	0.17	0.11	0.1	0.06
PE 1201.2	1	0.57	0.25	0.17	0.11	0.1	0.06
PE 12002	1.6	0.93	0.4	0.27	0.19	0.16	0.1
PE 06003	2.6	1.6	0.68	0.45	0.3	0.25	0.14
PE 12003	2.6	1.6	0.68	0.45	0.3	0.25	0.14
PE 06004	3.6	2.4	0.99	0.66	0.43	0.36	0.19
PE 12007	6.5	3.85	1.57	1.04	0.71	0.6	0.31
PE 06010	9.6	5.65	2.28	1.48	1.02	0.85	0.48
PE 12010	8.49	5.34	2.22	1.47	0.97	0.8	0.47
PE 12015	14.5	8.6	3.55	2.32	1.61	1.34	0.7
PE 12024	21.5	12.9	5.5	3.6	2.4	2.05	1.1
PE 12038	31.9	19.8	8.5	5.7	3.75	3.1	1.68
PE 12055	52.5	31.5	12.8	8.4	5.7	4.8	2.5
PE 12065	57.3	34.8	15	9.7	6.5	5.45	2.9

End of discharge voltage 1.90 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	0.9	0.52	0.23	0.16	0.11	0.69	0.05
PE 1201.2	0.9	0.52	0.23	0.16	0.11	0.69	0.05
PE 12002	1.4	0.84	0.37	0.25	0.17	0.15	0.09
PE 06003	2.4	1.5	0.62	0.41	0.27	0.23	0.13
PE 12003	2.4	1.5	0.62	0.41	0.27	0.23	0.13
PE 06004	3.3	2.1	0.9	0.8	0.4	0.33	0.18
PE 12007	5.6	3.3	1.36	0.91	0.63	0.53	0.29
PE 06010	8.5	4.99	2.11	1.39	0.93	0.77	0.43
PE 12010	7.85	4.77	2.03	1.34	0.89	0.74	0.44
PE 12015	13.1	7.96	3.15	2	1.45	1.2	0.64
PE 12024	19.6	11.9	4.9	3.3	2.2	1.85	1
PE 12038	28.6	18	7.7	5.2	3.4	2.85	1.57
PE 12055	47	28.5	12	7.9	5.3	4.4	2.3
PE 12065	51.3	31.4	13.8	8.9	5.9	5	2.7

End of discharge voltage 1.95 v

TYPE	AUTONOMY						
	30 min	1 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
PE 0601.2	0.7	0.43	0.2	0.13	0.09	0.08	0.05
PE 1201.2	0.7	0.43	0.2	0.13	0.09	0.08	0.05
PE 12002	1.1	0.7	0.32	0.22	0.15	0.13	0.06
PE 06003	2	1.2	0.53	0.35	0.23	0.19	0.11
PE 12003	2	1.2	0.53	0.35	0.23	0.19	0.11
PE 06004	2.8	1.7	0.76	0.51	0.34	0.28	0.15
PE 12007	4.4	2.5	1.03	0.72	0.52	0.45	0.24
PE 06010	6.9	4	1.66	1.11	0.79	0.65	0.36
PE 12010	6.55	3.92	1.74	1.14	0.76	0.63	0.37
PE 12015	11.1	6.7	2.65	1.63	1.14	1	0.55
PE 12024	16.3	9.9	4	2.7	1.8	1.55	0.85
PE 12038	24.4	15	6	4.2	2.8	2.4	1.3
PE 12055	38.5	24	10.3	6.8	4.7	3.9	2
PE 12065	44	26.6	11	7.5	4.8	4.2	2.25

These tables indicate the maximum constant current (in Amperes) and maximum constant power (in watt per battery block) that can be provided for a given duration for various end-point voltage levels at 20°C.

Technical indications given in this leaflet are in general terms.

These indications can change depending on the state of the battery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หัดดีแบ... การนำไปใช้

Rapid determination tables (in Watts)

End of discharge voltage 1.60 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	31	25	12	9	8	6	4	3
PE 1201.2	62	50	24	19	15	11	8	7
PE 12002	103	83	41	31	25	19	14	11
PE 06003	77	62	31	24	19	14	10	8
PE 12003	155	124	61	47	38	29	21	17
PE 06004	94	76	52	40	35	26	19	15
PE 12007	350	283	190	144	116	84	60	47
PE 06010	258	207	142	107	86	63.6	45.5	36.1
PE 12010	470	363	243	182	146	108	82	66
PE 12015	835	655	435	330	267	197	143	114
PE 12024	1170	960	633	478	388	292	215	170
PE 12038	1760	1445	985	748	608	449	327	257
PE 12055	2630	2160	1485	1145	940	708	528	421
PE 12065	2670	2295	1659	1278	1036	774	576	459

End of discharge voltage 1.65 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	30	24	12	9	8	6	4	3
PE 1201.2	60	49	24	19	15	11	8	7
PE 12002	100	81	40	31	25	19	14	11
PE 06003	75	61	30	23	19	14	10	8
PE 12003	150	122	60	47	38	28	21	17
PE 06004	90	74	51	39	34	26	19	15
PE 12007	347	281	189	143	115	83	59	47
PE 06010	254	204	140	106	85.5	63	45.4	35.9
PE 12010	451	352	239	180	144	107	82	66
PE 12015	815	641	430	326	263	195	142	113
PE 12024	1130	915	626	470	384	289	215	167
PE 12038	1735	1420	968	744	602	444	326	257
PE 12055	2540	2115	1465	1130	930	704	523	418
PE 12065	2630	2250	1628	1267	1030	770	571	455

End of discharge voltage 1.70 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	29	24	12	9	7	6	4	3
PE 1201.2	57	47	24	18	15	11	8	7
PE 12002	96	79	40	31	25	19	14	11
PE 06003	72	59	30	23	19	14	10	8
PE 12003	144	119	59	46	37	28	21	17
PE 06004	85	71	49	38	33	25	19	15
PE 12007	341	277	187	142	114	82	58	47
PE 06010	248	199	138	104	84.5	62.5	45.1	35.7
PE 12010	427	337	233	176	142	107	81	65
PE 12015	777	631	418	322	262	193	140	112
PE 12024	1080	890	607	460	377	282	212	165
PE 12038	1690	1370	945	725	593	438	323	256
PE 12055	2395	1995	1425	1110	915	690	515	413
PE 12065	2550	2150	1587	1236	1015	759	565	452

End of discharge voltage 1.75 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	27	15	12	9	7	6	4	3
PE 1201.2	54	30	23	18	15	11	8	7
PE 12002	91	50	38	30	24	19	14	11
PE 06003	68	37	29	22	18	14	10	8
PE 12003	136	74	58	45	36	28	20	16
PE 06004	80	66	47	37	32	25	19	15
PE 12007	332	270	185	140	113	81	57	46
PE 06010	235	194	133	102	83	61.7	44.5	35
PE 12010	401	316	224	171	138	105	80	64
PE 12015	728	595	403	311	253	187	137	110
PE 12024	1010	835	578	444	364	275	206	162
PE 12038	1575	1290	905	700	574	428	317	255
PE 12055	2210	1880	1370	1080	895	678	508	406
PE 12065	2310	2020	1517	1187	976	740	556	448

End of discharge voltage 1.80 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	25	15	11	9	7	5	4	3
PE 1201.2	51	29	22	17	14	11	8	6
PE 12002	84	49	37	29	23	18	13	11
PE 06003	63	36	28	21	18	13	10	8
PE 12003	126	73	55	43	35	27	20	18
PE 06004	74	60	43	36	31	24	18	14
PE 12007	315	255	175	134	109	79	55	45
PE 06010	219	180	126	99	78.5	59.4	43.6	34.2
PE 12010	359	288	211	162	132	104	78	63
PE 12015	664	550	377	295	240	179	133	105
PE 12024	910	760	537	419	347	263	199	156
PE 12038	1435	1190	850	662	544	412	310	251
PE 12055	2000	1725	1293	1028	860	657	492	395
PE 12065	2065	1840	1418	1138	944	722	542	435

End of discharge voltage 1.85 v

TYPE	AUTONOMY							
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 h
PE 0601.2	15	14	10	8	7	5	4	3
PE 1201.2	30	26	21	16	13	10	8	6
PE 12002	50	47	35	27	22	17	13	10
PE 06003	38	35	26	20	17	13	10	8
PE 12003	75	70	52	40	33	26	19	15
PE 06004	62	53	38	33	28	22	17	14
PE 12007	293	240	164	124	102	75	53	43
PE 06010	196	163	115	89	74	55.6	41.4	32.8
PE 12010	302	263	193	148	122	99	74	61
PE 12015	578	482	342	270	225	168	127	100
PE 12024	785	665	486	389	321	248	188	149
PE 12038	1160	1020	745	585	493	375	290	235
PE 12055	1720	1505	1165	950	810	622	466	377
PE 12065	1745	1660	1266	1040	872	673	512	412

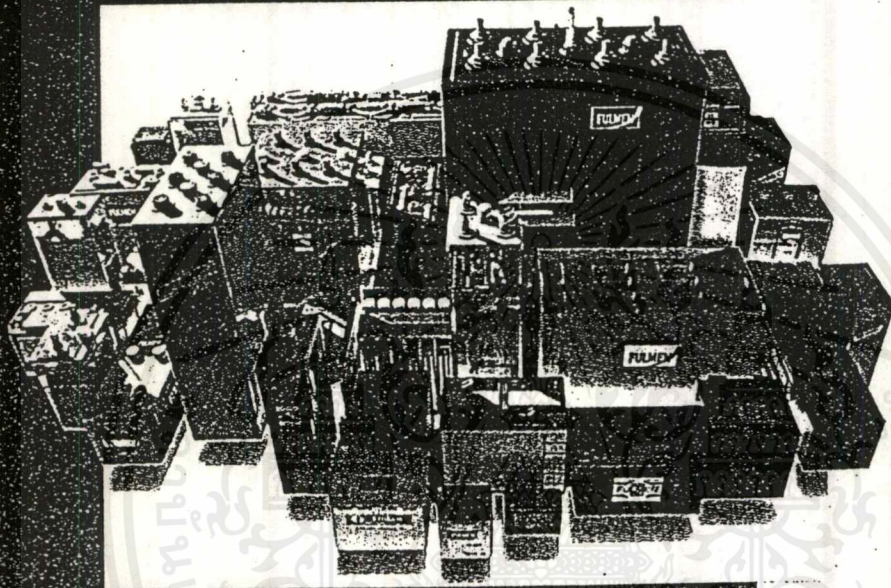
Installation and Mounting

• CEAC can provide a range of metal or wooden racks and battery cabinets designed to ensure safe and practical installation of PE batteries in all industrial environments. Our team of specialist technicians can advise on any installation requirements.

With a turnover of about 5 billion french francs each year and a 30 % market share CEAC is Europe's leader in lead acid batteries.

The market consists of two distinct types of products :

- Industrial batteries for stand-by and motive power applications.*
- Automotive batteries*



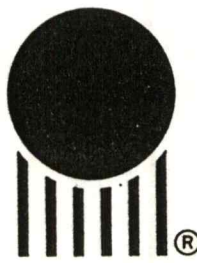
In addition to lead acid batteries CEAC also produces lithium batteries, battery chargers and plastic battery components. Protection of the environment is guaranteed by our GAST lead refinery plant which recycles thousands of used industrial and automotive batteries each day.

CEAC

COMPAGNIE EUROPEENNE D'ACCUMULATEURS

18, Quai de Clichy - BP 306 - 92111 CLICHY CEDEX
Tél.: (33.1) 45 19 23 00 - Télex : 614 644 - Télécopieur : (33.1) 45 19 23 07
S.A. au capital social de 252 622 032 F - RCS Nanterre B 682 030 895

Because the Company maintains a policy of continuous development it reserves the right to change the specifications of its products without prior notice and such change would render this publication inaccurate.
EDIT 03-94. REF. 21 E - Création SAMOURAI 45 34 55 02.

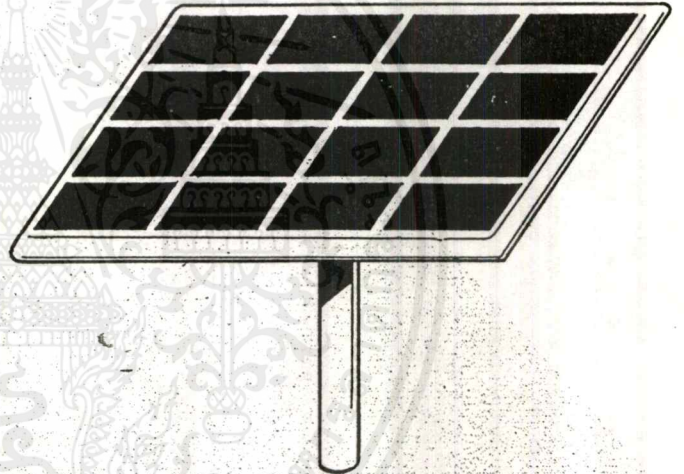


SOLAREX

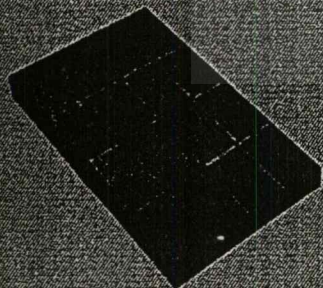
An Amoco Company

F

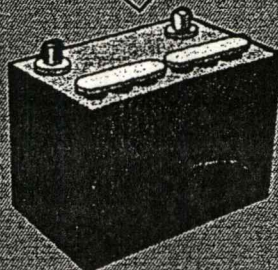
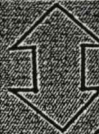
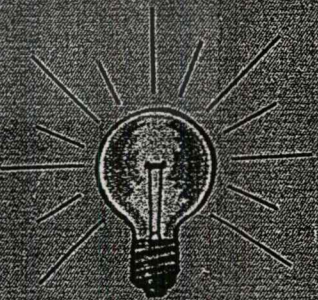
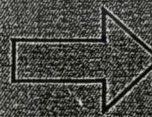
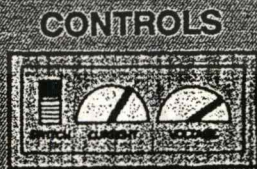
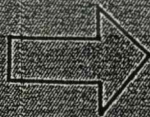
acts & Figures



A COMPLETE PHOTOVOLTAIC SYSTEM



SOLAR CELL
ARRAY



STORAGE

A GUIDE TO POWER CONSUMPTION

While we have endeavoured to list the most commonly used appliances around the home, garage and farm please remember that power consumption variance can exist between similar electrical products.

Note: To enable us to size your system accurately you should check the label on the appliance or check with the manufacturer.

IN THE HOME

ITEM	TYPICAL VOLTAGE	TYPICAL WATTS	TYPICAL HOURS USED Per Day
Lights:			
40 watt bulb	240	40	4
60 watt bulb	240	60	4
75 watt bulb	240	75	3
13 watt fluoro	12/240	13	4
20 watt fluoro	12/240	20	4
40 watt fluoro	12/240	40	3
Appliances:			
Blender	240	200	.5
Computer	240	50-100	.5
Dryer	240	1800-2400	.25
Food Mixer	240	200	.25
Freezer	240	300-500	6
Hair Dryer	240	300-500	.25
Iron	240	1000-1200	.25
Microwave	240	800-1200	.25
Power Tools	240		.25
Radio	12/240	10-50	2
Refrigerator	12/240	300	6
Sewing Machine	240	50-75	.25
Stereo	240	50-100	1
Television	12/240	50-200	3
Toaster	240	600-1200	.25
Washing Machine	240	500 (2000 start)	.5
Vacuum Cleaner	240	500-1000	.25
Video	240	50-100	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นไว้สำหรับบุคคลใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

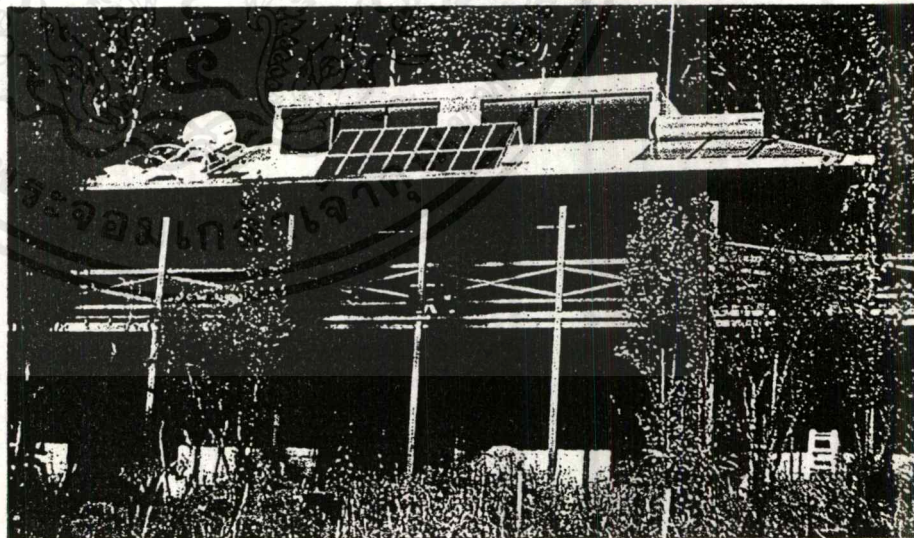
โปรดอ่านคู่มือการใช้งานให้ถี่ถ้วน และปฏิบัติตามข้อควรระวังและคำแนะนำของผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างเคร่งครัด

WORKING OUT YOUR ENERGY NEEDS AND SYSTEMS REQUIREMENTS.

The fact that you may have many of the items listed on the left doesn't mean you use them all the time. You may have 10 light fittings but it is critical that you evaluate their average daily usage. High energy using items, such as vacuum cleaners do not consume that much energy when their usage is averaged out over a period of time. To calculate your daily power needs, select the relevant items from the list provided, next, estimate your daily usage of each item. Multiply the wattage figure by hours figure to give your daily average e.g. (40 watt globes \times 2 hours = 80 watt hours). With infrequently used items it is advised that you divide the watt hours over the cycle period e.g. vacuum cleaner 500 watt hours divided by 7 days = 7.1 watt hour daily average.

With all your individual calculations complete, total your daily average column to reveal your daily power requirements.

Our example on the right is based on a 2-3 bedroom cottage with 2 adults and 2 children using gas cooking and heating facilities. Our example reveals energy needs that would be adequately met by the Solarex package 5 system. The example is also based on 240 volt appliances, however, Solarex can provide systems compatible with 12 and 24 volt appliances.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Our Example

ITEM	WATTS	HOURS USED	DAILY AV. WATT HOURS
Bedroom lights	120	1	120
Living lights	80	6	480
Outside lights	40	1	40
Television	100	5	500
Radio	50	6	300
Sewing machine	100	.25	25
Iron	1000	.25	250
Vacuum cleaner	600	.25	150
Toaster	1000	.25	250
Washing machine	600	1	600
		Total	2715

Your Figures

ITEM	WATTS	HOURS USED	DAILY AV. WATT HOURS
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
		Total	_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package 1

Average daily load up to 200 WH

1 MODULE SYSTEM — All DC

Components:

- 1 × MSX60, 60 watt solar module
- 1 × 1 module mounting frame kit
- 1 × SR8-12V regulator
- 2 × 100AH 12V solar batteries

Total Price: \$

Package 2

Average daily load up to 400 WH

2 MODULE SYSTEM — All DC

Components:

- 2 × MSX60, 60 watt solar modules
- 1 × 2 module mounting frame kit
- 1 × SR8-12V regulator
- 1 × 340AH 12V solar battery

Total Price: \$

Package 3

Average daily load up to 720 WH

4 MODULE SYSTEM — All 240V AC

Components:

- 4 × MSX60, 60 watt solar modules
- 1 × 4 module mounting frame kit
- 1 × SC18-12V regulator
- 1 × 670AH 12V solar battery
- 1 × 1050VA-12V inverter

Total Price: \$

Package 4

Average daily load up to 1400 WH

8 MODULE SYSTEM — All 240V AC

Components:

- 8 × MSX60, 60 watt solar modules
- 2 × 4 module mounting frame kits
- 1 × SC18-24V regulator
- 2 × 670AH 12V solar batteries
- 1 × 1500VA, 24V inverter

Total Price: \$

Package 5

Average daily load up to 2880 WH

16 MODULE SYSTEM — All 240V AC

Components:

- 16 × MSX60, 60 watt solar modules
- 2 × 8 module mounting frame kits
- 1 × SC30-24V regulator
- 2 × 1230AH 12V solar batteries
- 1 × 1500VA, 24V inverter

Total Price: \$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WHAT YOU CAN RUN

The rapid and extensive development of photovoltaics (solar power) has seen solar energy move from a novelty power source to a dependable, cost efficient alternative to traditional power supplies. Today, Solarex photovoltaic systems are in operation, providing highly reliable electric power for diverse application on every continent. From power tools to television, from irrigation pumps to hair dryers, if electricity is the power source, Solarex photovoltaic systems are the alternative.

WHAT IT USES

Different electrical appliances consume varying amounts of power. This is most evident with light globes. A 40 watt globe will use less power than a 60 watt globe, but not all electrical appliances are so readily identified as to their power consumption.

The list on page 2 has been compiled to give you the typical energy consumption figures for most items found around the home.



WHAT YOU NEED

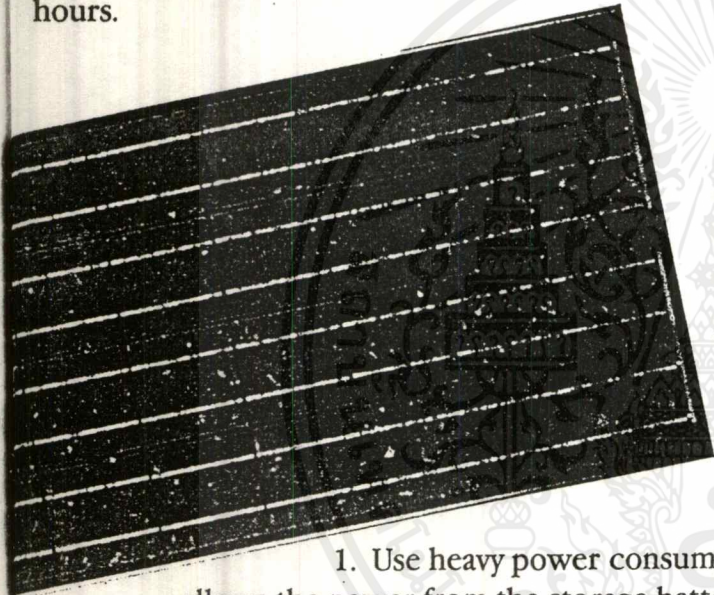
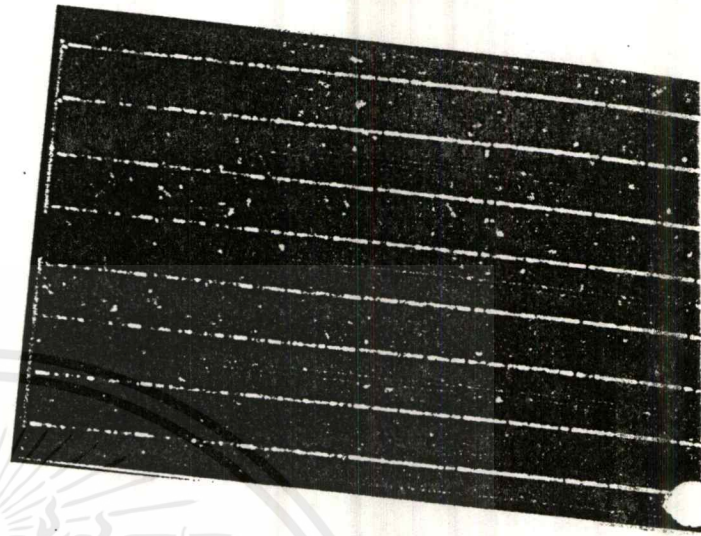
The purpose of this brochure is to provide you with an accurate guide to your photovoltaic requirements. By working out your appliance usage based on a daily average you will be able to ascertain the Solarex photovoltaic system that will best meet your demands. However, please remember that this is a guide only and each installation is designed to your specific requirements and locations.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GET THE MOST FROM YOUR SOLAREX SOLAR SYSTEM

Location and Installation

Location and installation are critical. To obtain the maximum effectiveness from any solar system the solar panels must be placed to take full advantage of the sun's rays. What looks an ideal location at midday may be in shadow two hours later. Shadows from trees and building must be avoided as all systems are designed and power rated based on receiving a given number of sun hours.



Beyond the usual approach to energy saving by not leaving the lights on in unattended rooms, etc., there are several other things you can do to ensure you get the most from your Solarex photovoltaic system.

1. Use heavy power consumption appliances during daylight hours. This allows the power from the storage batteries to be replaced during existing sun hours.
2. Careful appliance selection can result in significant power consumption reductions allowing for extended use of existing appliances or the use of additional appliances.
3. The inclusion of gas or fuel heating and cooking facilities will greatly extend the effectiveness of photovoltaic systems as these particular items create a very high demand on electric power.
4. Avoid 'half load' usage, a full washing machine will use the same amount of energy as will a half loaded machine.
5. Where possible, spread your power usage by washing one day, vacuum the next etc.

FOR FURTHER INFORMATION PLEASE CONTACT:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO
An Amoco Company

Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage ($V_O = 5V, 12V$ and $15V$)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature	
(K Package)	150°C
(T Package)	150°C
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

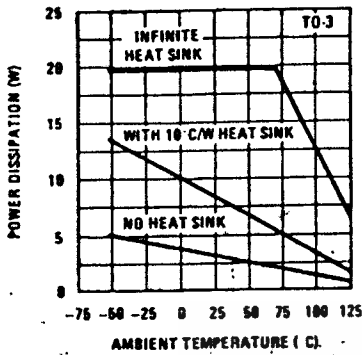
Output Voltage		5V			12V			15V			Units			
Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V						
Symbol	Parameter	Conditions			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			V
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	50	4	120	4	150	mV		
			ΔV_{IN}			(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50			120			150		mV	
		ΔV_{IN}			(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50			120			150		mV
			ΔV_{IN}			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.6 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V
$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			25			60			75		mV			
ΔV_{IN}			(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 12$)			(16 $\leq V_{\text{IN}} \leq 22$)			(20 $\leq V_{\text{IN}} \leq 26$)		V			
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$			10	50	12	120	12	150	mV		
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$			25			60			75		mV
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50			120			150		mV	
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8			8			8		mA
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			8.5			8.5			8.5		mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			0.5			0.5			0.5		mA	
		$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$			1.0			1.0			1.0		mA	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
$I_O \leq 500\text{ mA}$	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			1.0			1.0			1.0		mA		
	ΔV_{IN}			(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V		
	$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V		
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$			40			75			90		μV	
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500\text{ mA}$			62	80	55	72	54	70	dB		
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			62			55			54		dB
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 18$)			(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 28.5$)		V
R_O	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1\text{ A}$			2.0			2.0			2.0		V	
	Output Resistance	$f = 1\text{ kHz}$			8			18			19		$\text{m}\Omega$	
	Short-Circuit Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			2.1			1.5			1.2		A	
	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			2.4			2.4			2.4		A	
	Average TC of V_{OUT}	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}, I_O = 5\text{ mA}$			0.6			1.5			1.8		$\text{mV}/^\circ\text{C}$	
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$			7.5			14.6			17.7		V	

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically $4^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case and $35^\circ\text{C}/\text{W}$ case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically $4^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case and $50^\circ\text{C}/\text{W}$ case to ambient.

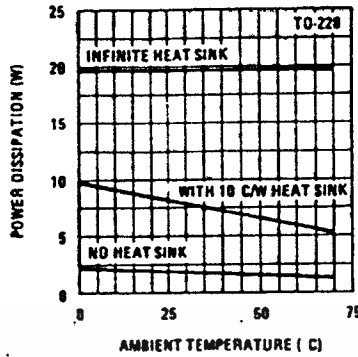
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22\ \mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\ \mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Typical Performance Characteristics

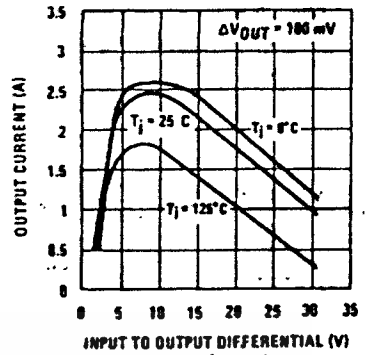
Maximum Average Power Dissipation



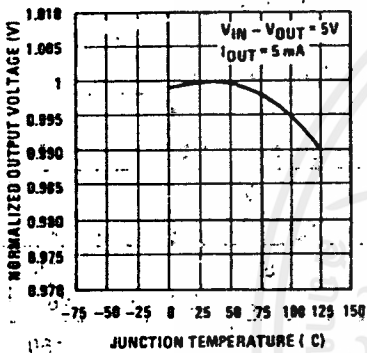
Maximum Average Power Dissipation



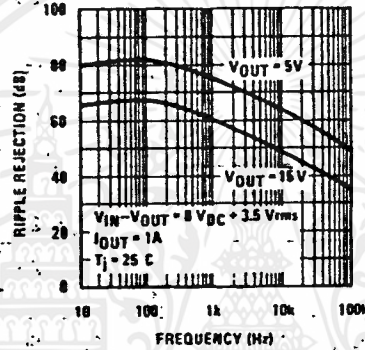
Peak Output Current



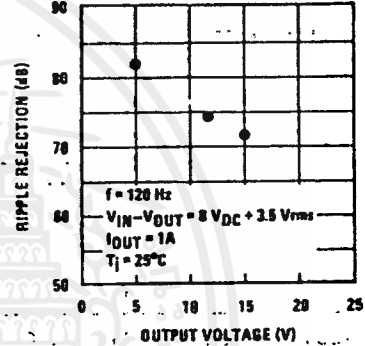
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_j = 25^\circ\text{C}$)



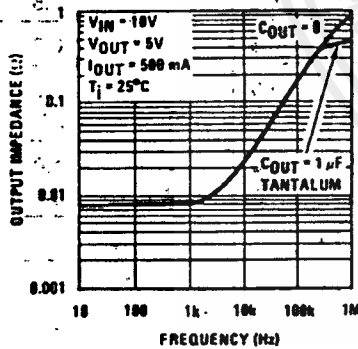
Ripple Rejection



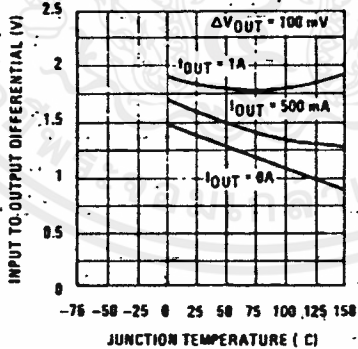
Ripple Rejection



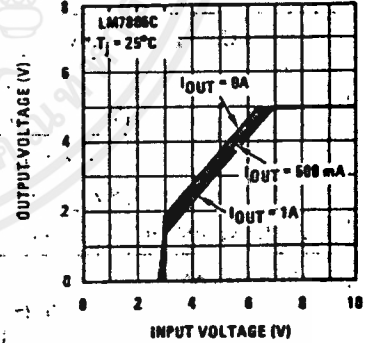
Output Impedance



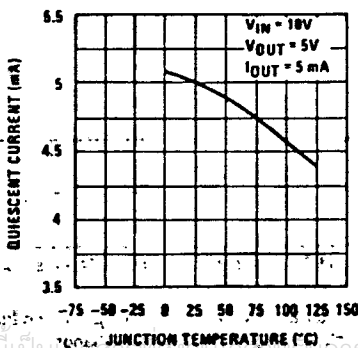
Dropout Voltage



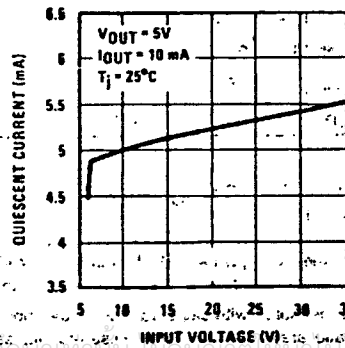
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current



LM741 Operational Amplifier

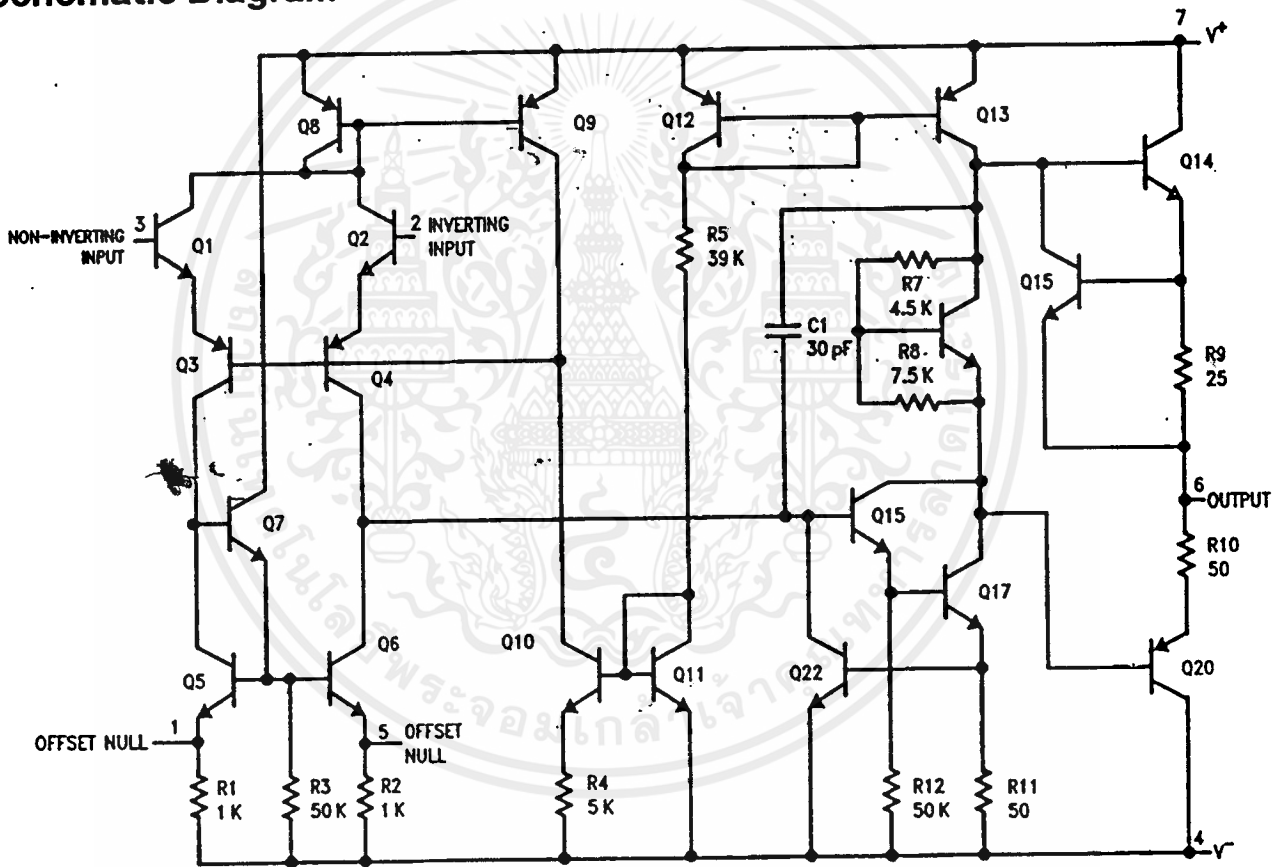
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

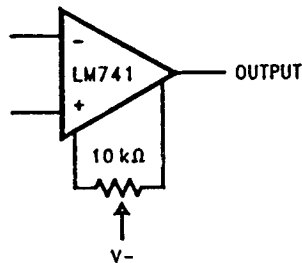
The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



TL/H/9341-1

Offset Nulling Circuit



TL/H/9341-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-45Q "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M Ω
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและดัดแปลงอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25			25		mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega, V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12V$				70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$										dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain		0.25	0.8		0.3			0.3		μs %
			6.0	20		5			5		
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

Note 1: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_J max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 2: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

Note 4: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(μs).

Note 5: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

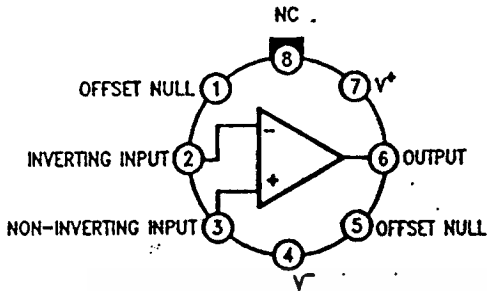
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

LM741

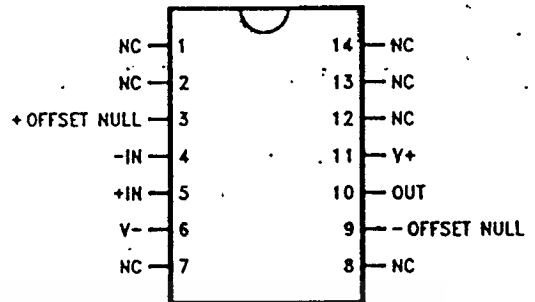
Metal Can Package



TL/H/8341-2

Order Number LM741H, LM741H/883*,
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package

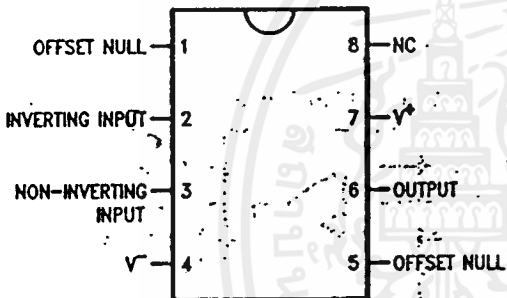


TL/H/8341-5

Order Number LM741J-14/883*, LM741AJ-14/883**
See NS Package Number J14A

*also available per JM38510/10101
**also available per JM38510/10102

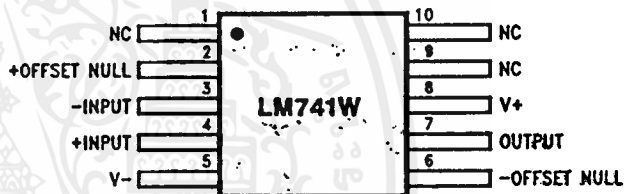
Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/8341-3

Order Number LM741J, LM741J/883,
LM741CM, LM741CN or LM741EN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak



TL/H/8341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

*LM741H is available per JM38510/10101