



วัน เดือน ปี..... 11. ๕๓. 2541
เลขทะเบียน..... 038915
เลขเรียกหนังสือ...T ๒0155 ๓ ๒๑1 ๗

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

หัวข้อปริญญาบัตร แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Solar Power Supply

ชื่อนักศึกษา นายทิวพงศ์ จงเกษกรณ์
นายเนรมิต พณิชประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2540

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบังอนุมัติให้นำปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

.....ประธานกรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

โดย นายทิวพงศ์ จงเกษกรณ์ 39012011
นายเนรมิต พณิชประเสริฐ 39012015
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มนชนก ศรีเสืองาม
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เสนอแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจากแผงโซลาร์เซลล์ไฟที่ได้นำไปชาร์ตให้กับแบตเตอรี่ และจ่ายไฟที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ที่นี้ นำออกไปใช้งาน โดยจะมีวงจรควบคุมการชาร์ตแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมไฟในแบตเตอรี่เอาไว้ใช้งานอยู่ตลอดเวลา และปัจจุบันแผงโซลาร์เซลล์ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ดังเช่นในระบบสื่อสาร และการนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัยซึ่งโครงการนี้สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในระบบต่าง ๆ เหล่านี้

SOLAR POWER SUPPLY

BY MR. TIWAPONG JONGKETKORN 39012011
MR. NARAMIT PARNICHRPASORT 39012015

ADVISOR MISS. MONCHANOK SRISUAKAM

ABSTRACT

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 pack at sent energy use to working by it is circuit control charging battery standby always. Now solar cell is application for the telecommunication system and home use. These tasks are the use of project.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	1
Abstract	II
สารบัญภาพ	V
กิตติกรรมประกาศ	VII
บทนำ	VIII
บทที่ 1 ทฤษฎีนำเบื้องต้น	1
รอยต่อ พี-เอ็น (P-N junction)	1
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	3
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
โครงสร้างและวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	10
บทที่ 2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	16
การศึกษาและทดลองเซลล์แสงอาทิตย์	16
หลักการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน	18
บทที่ 3 การออกแบบและทดลอง	21
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	21
วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	23
ส่วนประกอบต่างๆ ของโครงการ	30
การทดลองวงจร	35
หลักการทำงานของวงจร	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง และแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน	37
ผลการทดลอง	37
แนวทางการประยุกต์ใช้งาน	38

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
ส่วนของวงจรควบคุม และการปฏิบัติงาน	45
การวิเคราะห์โครงการ	45
 เอกสารอ้างอิง	 46
 ภาคผนวก	



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงรอยสัมผัสของสารชนิด พี และสารชนิด เอ็น ด้วยแถบพลังงาน	2
รูปที่ 1.2 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	4
รูปที่ 1.3 ค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์	4
รูปที่ 1.4 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของรอยต่อ พี-เอ็น ที่ถูกให้แสงสว่าง	7
รูปที่ 1.5 Fill Factor	8
รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะของรูปปริมาตรที่อยู่บนผิวหน้าโซล่าเซลล์	9
รูปที่ 1.7 โครงสร้างและวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 1.8 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์	12
รูปที่ 1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ของรอยต่อ พี-เอ็น	13
รูปที่ 2.1 วงจรทดลอง	17
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน	17
รูปที่ 2.3 การต่อเซลล์ในลักษณะอนุกรมกัน	19
รูปที่ 2.4 การต่อเซลล์ในลักษณะขนานกัน	19
รูปที่ 2.5 ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์	20
รูปที่ 3.1 รูปลักษณะของแผง Solar Cell	22
รูปที่ 3.2 จุดต่อใช้งานของแผง Solar Cell	23
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรชาร์ตแบตเตอรี่	24
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference)	25
รูปที่ 3.5 วงจรเปรียบเทียบ (Comparetor)	26
รูปที่ 3.6 สวิตช์ควบคุม (Switch Control)	27
รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมการชาร์ตแบตเตอรี่	28
รูปที่ 3.8 แผนผังการปฏิบัติงาน	30
รูปที่ 3.9 รูปแบบภายนอกของ Battery charger	31
รูปที่ 3.10 การต่อวงจรภายในของ Battery charger	32

รูปที่ 3.11 รูปแบบภายนอกของ Battery Pack	33
รูปที่ 3.12 การต่อวงจรภายในของ Battery Pack	34



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในทุก ๆ ด้าน ก็ด้วยความร่วมมือและการช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากคณะอาจารย์ทุก ๆ ท่านและบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกคนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์มนชนก ศรีเสื่อขาม ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทางด้านโครงการของคณะผู้จัดทำ ซึ่งอาจารย์ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมาโดยตลอด และต้องขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ทั้งความช่วยเหลือ และร่วมมือต่อการทำงานเป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าคงจะได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือต่อการทำงานจากทุก ๆ ท่านอีกในโอกาสต่อไป

สุดท้ายนี้ก็ต้องขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ทางการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

นายทิวพงศ์ จงเกษกรณ์

นายเนรมิต พณิชประเสริฐ

บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการนำพลังงานแสงมาเป็นพลังงานทดแทน โดยได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพ และขีดความสามารถให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยตลอด ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์สิ่งนี้ เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถจะทำการเปลี่ยนแปลงนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งในรูปแบบของกระแส และแรงดันได้ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ จึงสามารถใช้งานได้ ในแบบลักษณะของงานที่มีความพิเศษโดยเฉพาะ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นงานในสถานที่ที่มีความรุกรันการเพียงใดก็จะสามารถปฏิบัติงานได้ โดยเราจะใช้ประโยชน์จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทดแทนได้แต่ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นเสมอในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้งานให้เกิดความแพร่หลายในปัจจุบันก็คือ ต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างจะมีราคาที่สูง และมีประสิทธิภาพในการที่จะนำไปใช้งานคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง จึงทำให้ขีดจำกัดของการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้งานให้มีความกว้างขวาง และแพร่หลายก็就会被จำกัดลงไป

ในปฏิญญาพันธฉบับนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งาน โดยทำเป็น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยได้ทำการเสนอเนื้อหา และรายละเอียดดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 ทฤษฎีนำเบื้องต้น
- บทที่ 2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์
- บทที่ 3 การออกแบบและทดลอง
- บทที่ 4 ผลการทดลองและการประยุกต์ใช้งาน

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ทางคณะผู้จัดทำโครงการนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงจะได้รับความสนใจจากทุกท่านบ้างไม่มากก็น้อย หากมีความรู้ใดที่ก่อประโยชน์แก่ผู้อ่านก็ขอให้ความคตินั้นงบังเกิดแก่ผู้ที่มีส่วนร่วมกับการทำรายงานฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้ หากมีข้อมูลผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณทุก ๆ ท่าน

คณะผู้จัดทำ

บทที่ 1

ทฤษฎีนำเบื้องต้น

รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction)

โครงสร้างภายในของสารชนิดต่าง ๆ นั้นถ้าหากเราพิจารณาถึงแถบพลังงานของสารกันแล้วแถบพลังงานของสารต่าง ๆ นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แถบวาเลนซ์ (Valence band)
2. แถบความนำ (Conduction band)

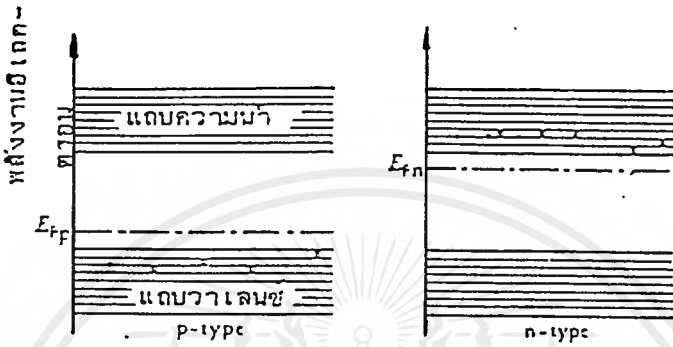
แถบวาเลนซ์เป็นแถบพลังงานที่มีอิเล็กตรอนประจำที่อยู่มากมาย และไม่มีระดับพลังงานที่ว่างเลยแต่ในแถบความนำนั้นจะมีระดับพลังงานที่ว่างอยู่มาก อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบพลังงานส่วนนี้จะสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างสะดวกกระแหว่งที่อยู่ระหว่างแถบความนำและแถบวาเลนซ์จะเรียกว่า ช่องว่างพลังงาน (Energy gap ; E_g)

สารชนิดพี (P-type) สามารถสร้างขึ้นได้โดยในขั้นตอนการสร้างผลึกซิลิกอนจะมีการเติมสารเจือบางอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พวกที่มีจำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดเป็น 3 ดังเช่น โบรอน ซึ่ง โบรอนนั้นเมื่อจับตัวกับซิลิกอนแล้ว จะมีที่ว่างเหลือสำหรับอิเล็กตรอนอีกหนึ่งที่ เพราะฉะนั้นเช่นนี้จึงเปรียบเสมือนว่าสารชนิดพี (P-type) มีประจุเคลื่อนที่ส่วนใหญ่เป็นประจุบวก (hole) ดังนั้นระดับพลังงานเฟอร์มิ (Fermi level) ของสารชนิดนี้จะอยู่ใกล้กับแถบวาเลนซ์

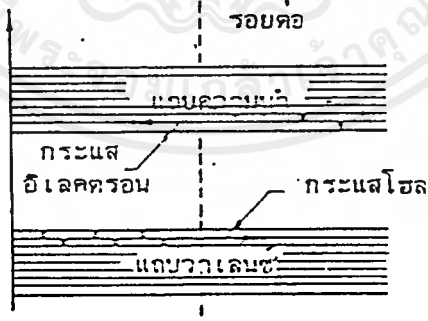
สารชนิดเอ็น (N-type) ได้จากการเติมสารเจือที่มีจำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด เป็น 5 ดังเช่น ฟอสฟอรัส เมื่อฟอสฟอรัสเข้าไปจับตัวกับซิลิกอนแล้วจะมีอิเล็กตรอนอิสระที่ยังไม่ได้จับคู่เหลืออยู่ ดังนั้นสำหรับสารชนิดเอ็นแล้วประจุที่เคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะเป็นประจุของอิเล็กตรอน และระดับของพลังงานเฟอร์มิของสารชนิดนี้จะอยู่ใกล้กับแถบความนำ ดังรูปที่ 1.1 (ค) แสดงให้เห็นถึงว่าเมื่อนำสารชนิดพี และชนิดเอ็นมาต่อกันจะทำให้เกิดการถ่ายเทของโฮล และอิเล็กตรอนจนระดับของพลังงานเฟอร์มิเท่ากัน โดยจะมีผลทำให้เกิดการโค้งงอของแถบพลังงานขึ้น และทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ขึ้นค่าหนึ่งเรียกว่า ศักย์สัมผัส (Contact Potential) ดังนั้นตัวเซลล์แสงอาทิตย์ที่จริงก็คือ รอยต่อพี-เอ็นนั่นเองแต่ที่สำคัญมากกว่านั้นก็คือ รอยต่อจะอยู่ตื้นมากจนแสงสามารถลงไปถึงรอยต่อได้ เมื่อเราทำการพิจารณาจากรูป 1.1 (ค) เมื่อรอยต่อได้รับแสงจะมีการเกิดโฮลขึ้นในแถบวาเลนซ์ และอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในแถบความนำ ผลของสนามไฟฟ้าและเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

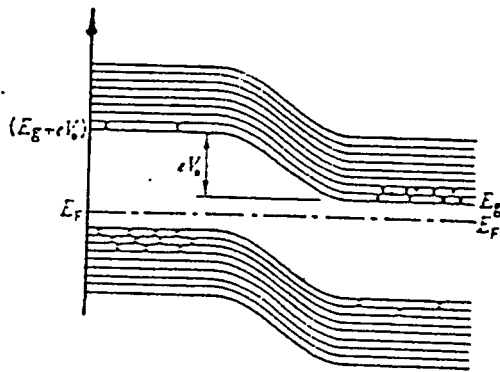
จากศักย์สัมผัสจะทำให้โฮล และอิเล็กตรอนเคลื่อนตัวในทางตรงกันข้ามกันการไหลของโฮล และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนั้นก็คือการเกิดกระแสไฟฟ้านั่นเอง และเมื่อมีวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เข้ามาต่อก็จะทำให้ครบวงจรในการไหลของกระแสพหุติ กระแสและแรงดันที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือพลังงานนั่นเอง



(ก) ก่อนสัมผัส



(ข) ขณะสัมผัส



(ค) ภาวะสมดุลหลังสัมผัสแล้ว

รูปที่ 1.1 แสดงรอยสัมผัสของสารชนิดพีและสารชนิดเอ็นด้วยแถบพลังงาน

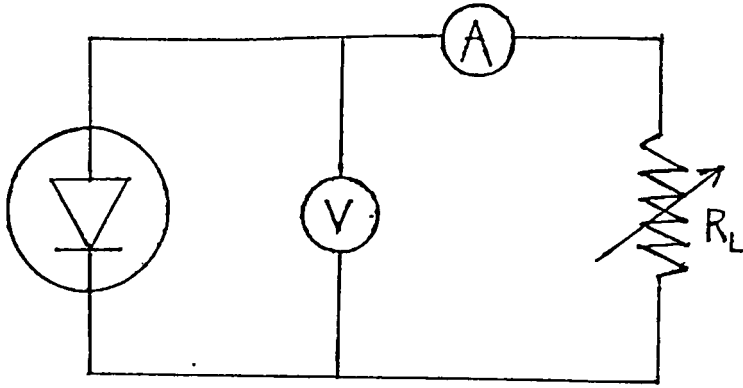
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงพลังงาน จากพลังงานแสงได้มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเข้าตัวเซลล์แสงอาทิตย์ที่ว่ามานี้ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแล้วแต่ชนิดของวัสดุที่ได้นำมาสร้างให้เป็นผลิตภัณฑ์ อาจจะผลิตตัวเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาจากราซิลิกอน หรือสารประกอบจำพวกแคลเซียมซิลไฟด์ และแคลเซียมอะซิไนด์ และอื่น ๆ มากมาย แต่ในการที่จะสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ทางด้านของผู้ผลิตจะใช้วัสดุชนิดซิลิกอนนำมาผลิตมากที่สุดเพราะเนื่องจากจะมีราคาถูก และสามารถที่จะสกัดสารนี้ขึ้นมาได้จากทรายบนพื้นโลกนอกจากนี้ซิลิกอนนี้ก็ยังเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกพัฒนากันมานานจนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอุปกรณ์เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆอย่างแพร่หลายมากมายอีกด้วย

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี ซึ่งตัวโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเหมือนโครงสร้างของไดโอดทุกประการ เพียงแต่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพื้นที่ผิวของรอยต่อที่มีความดันมากกว่าไดโอดธรรมดาเป็นอย่างมาก และอีกทั้งยังมีพื้นที่ ๆ เป็นรอยต่อมากอีกด้วย ซึ่งจะทำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพยิ่ง

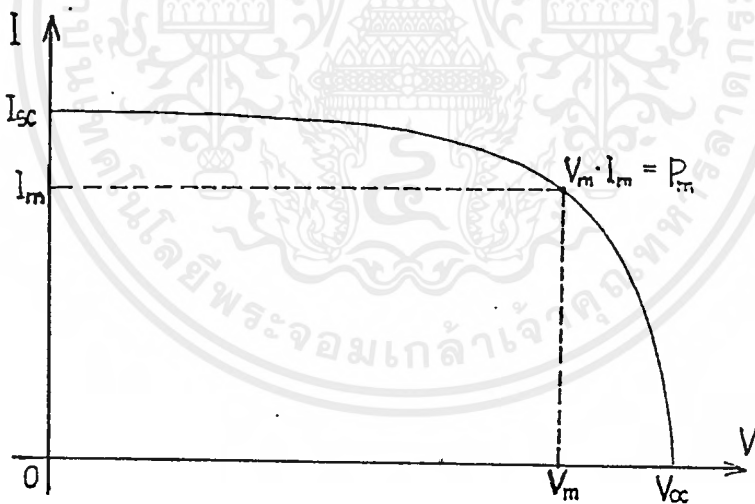
เมื่อพิจารณาวงจรพื้นฐานดังรูป จะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ และค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ (VR) ดังแสดงในรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากวงจร เราจะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อย ๆ โดยที่แต่ละครั้งของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเราจะทำการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสที่ไหลในวงจร และเมื่อเรานำค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับกระแสที่ได้นำมาเขียนกราฟจะได้ตามลักษณะดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์

โดยที่

$$I = I_0 (\text{EXP}.(V_{oc}/mV_t) - \text{EXP}.(V/mV_t))$$

$$V_t = \text{Thermal Voltage} = Kq/T$$

$$K = \text{Boltzman Constant}$$

$$q = \text{Electron Charge}$$

$$T = \text{Kelvin Degree}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{oc} = Open Circuit Voltage

I_o = Leakage Current

m = Correction Factor

เมื่อเราพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเราสามารถจะหาได้จากกราฟศักย์ค่าไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า โดยจะแยกพิจารณาแต่ละตัวไป ดังต่อไปนี้

1. ขนาดของศักย์ค่าไฟฟ้าในขณะที่เปิดวงจร (V_{oc})

คือ ขนาดของศักย์ค่าไฟฟ้าในขณะที่มีความต้านทานค่าเป็นอนันต์ ($R_L = \infty$) แยกพิจารณาดังต่อไปนี้

■ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยว จะมีค่า V_{oc} ไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่าศักย์ค่าไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อพี-เอ็น นั่นเอง

■ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อร่วมกันทั้งแบบการต่อแบบอนุกรม และแบบขนาน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์นำไปใช้งานจริง

2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าในขณะที่ลัดวงจร (I_{sc})

จะมีลักษณะแบบนอนตรงเดียวกันกับค่า V_{oc} โดยทั่วไปแล้วสำหรับเซลล์เดี่ยว จะมีขนาดของกระแสลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์

3. กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m)

จะทำการหาได้จากตำแหน่งของกราฟตรงที่อ่านได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงสุด และค่าของค่าศักย์ค่าไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือ จุด V_m และ I_m ตามลำดับ เพราะฉะนั้นเราจะสามารถเขียน สมการของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

4. ฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้คือ

$$\text{Fill Factor} = P_m / P_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่} \quad P_m = V_{th} \cdot I_m$$

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

5. ประสิทธิภาพของเซลล์ (Efficiency) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mW)}}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mW/Cm}^2\text{)} \cdot \text{พื้นที่รับแสง}} \cdot 100\%$$

โดยทั่วไปแล้วจะคิดโดยเปรียบเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเลซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ 100 mW/Cm^2

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photodetector) ใช้การให้ไบอัสกลับที่รอยต่อพี-เอ็น แต่ถ้าเป็นการให้แสงที่รอยต่อพี-เอ็น โดยไม่ใช้การไบอัสจากภายนอกเป็นกลไกการทำงานในขอบเขตดีพลีชันนั้นก็เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของประจุที่ตรวจจับได้เป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสงภายนอก (External Photo Current) และเราสามารถจะวัดแรงดันที่เกิดขึ้นจากผลของแสงคือค่า (Photo Voltage) คุณลักษณะของกระแส และแรงดันไฟฟ้าของไดโอด รอยต่อพี-เอ็น ภายใต้ระดับความแตกต่างของการส่องสว่างโดยแสดงดังรูปที่ 1.3 กำหนดว่ารอยต่อที่ถูกให้ความสว่างนั้น จะมีการผลิตแรงดันที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ คือแรงดันของ V_{oc} ขณะเปิดวงจร (Open Circuit) ซึ่งผลที่ได้ก็คือผลของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของแสง (Photovoltaic Effect) เราสามารถจะคำนวณขนาดของแรงดันโดยการ

ใช้สมการ ไดโอดในอุดมคติ

$$I = I_o \left[\exp(qV) / KT - 1 \right] \quad (1)$$

การสมการที่ (1) จัดรูปใหม่เพื่อหาค่าแรงดัน ได้

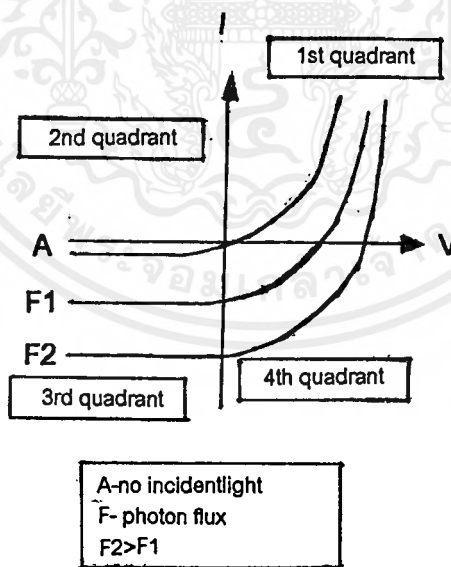
$$V = KT/q \ln(1 + I/I_0) \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ถ้าแทนค่า I ด้วยกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง (I_p) ดังนั้นจะได้แรงดันที่เกิดจากผลของแสง ขณะเปิดดวงจร

$$V_{oc} = KT/q \ln(1 + I_p/I_0) \quad (3)$$

จากสมการสามารถคำนวณค่าสูงสุดของ V_{oc} สำหรับรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นจะสามารถประมาณได้ว่า V_{oc} ไม่สามารถที่จะมีขนาดที่ใหญ่กว่าความต่างศักย์บริเวณผิวหน้าสัมผัสของรอยต่อ (Built-in Junction Potential) และความต่างศักย์ที่บริเวณผิวหน้าสัมผัสของรอยต่อนั้น มักจะน้อยกว่าแรงดันตกคร่อมของแถบพลังงานต้องห้าม

$$\text{ดังนั้น } V_{oc} < V_{bi} < E_g/q \quad (4)$$



รูปที่ 1.4 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของรอยต่อพี-เอ็น ที่ถูกให้แสงสว่าง

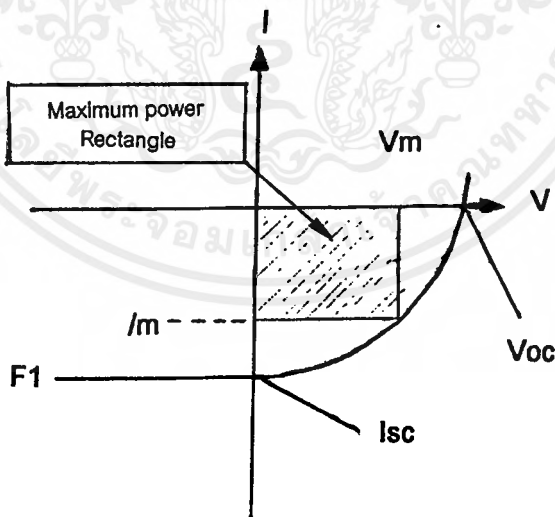
ดังนั้นในกรณีที่ค่าแรงดัน Voc ของโซลาร์เซลล์ที่เป็น Silicon ที่มีขนาดเท่ากับ 1 โวลต์ ทำให้ได้กระแสขณะลัดวงจรประมาณ 20 มิลลิแอมป์ ดังนั้นถ้าต้องการใช้ประโยชน์จากกำลังงานของโซลาร์เซลล์จะต้องวางเซลล์จำนวนมาก ๆ ถ้าวางลักษณะอนุกรมจะทำให้ได้แรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น และถ้าวางเซลล์ในลักษณะขนานจะทำให้ได้กระแสมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติการทำเช่นนี้ ทำให้เราได้โซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาวประมาณ 4-6 นิ้ว

การกล่าวถึงโครงสร้างของโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนอย่างสั้น ๆ คือค่าของ (Fill-Factor) ในรูปที่ 1.4 แสดงถึงคุณลักษณะกระแส และแรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์และสำหรับความเข้มของการส่องสว่างที่ระดับหนึ่งเมื่อ Voc นั้นจะคือ แรงดันขนาดที่เบ็ดเสร็จ และ Isc คือกระแสของการลัดวงจร โดยค่ากำลังงานสูงสุดนั้นจะสามารถหาได้ภายใต้สภาวะเหล่านี้ ดังในรูปที่ 1.4 นั้น เมื่อ (Im) คือค่ากระแสสูงสุด และ (Vm)

คือค่าแรงดันสูงสุด

$$\text{Fill Factor} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (5)$$

จากลักษณะทางเลขาคณิต คือพื้นที่ของค่าของกำลังงานสูงสุดในลักษณะสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Maximum Power Rectangle) ที่ทำได้โดยพื้นที่ของรูปแบบกราฟกระแส และแรงดัน



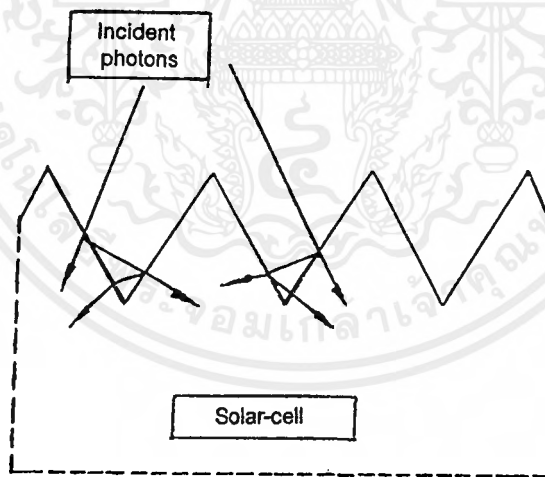
$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

$$F1 = \text{photon flux level}$$

รูปที่ 1.5 Fill Factor

จากการตรวจจับความยาวคลื่นของแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าประมาณระหว่าง 0.3 และ 1.5 ไมครอน (Microns) โดยที่โซล่าเซลล์ชนิดซิลิกอนจะไม่ได้ผลที่การแผ่กระจายของแสงด้วยความยาวคลื่น 1 ไมครอนและไม่มีประสิทธิภาพสำหรับความยาวคลื่นสั้น ๆ (Short-Wavelength) ดังนั้น เป็นปัญหาอย่างหนึ่งของการพยายามตรวจจับการเปล่งแสงของแหล่งจ่ายด้วยสารกึ่งตัวนำที่มีค่าพลังงานแถบต้องห้ามค่าเดียว การแก้ปัญหาคือทดลองใช้สารกึ่งตัวนำที่มีความแตกต่างกันในหลาย ๆ ด้าน รวมไปถึงขนาดที่แตกต่างกันด้วย และการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำเป็นตัวเซลล์ แต่ในการสร้างโซล่าเซลล์แบบหลายรอยต่อจะทำการควบคุมประสิทธิภาพได้ยาก โดยสรุปแล้วมักจะนิยมใช้สารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนมากที่สุด

เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องไปที่ซิลิกอน จึงมีขีดความสามารถที่จะนำไปใช้งานได้ คือ ประสิทธิภาพของรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวคลื่นเป็นที่มาของขบวนการกัดแบบเปียก (Wet-Etching) สิ่งที่น่าประหลาดคือการปกคลุมผิวหน้าของโซล่าเซลล์ด้วยแอ่งเล็ก ๆ เป็นรูปกรวยเหลี่ยมแบบที่กลับหัว เหมือนดังในรูปที่ 1.5 ลักษณะของปริมาตรขนาดเล็ก ๆ นี้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน มีส่วนช่วยนำแสงตกกระทบไปยังเซลล์ได้มากขึ้นเหมือนดังกับที่แสดงในรูป



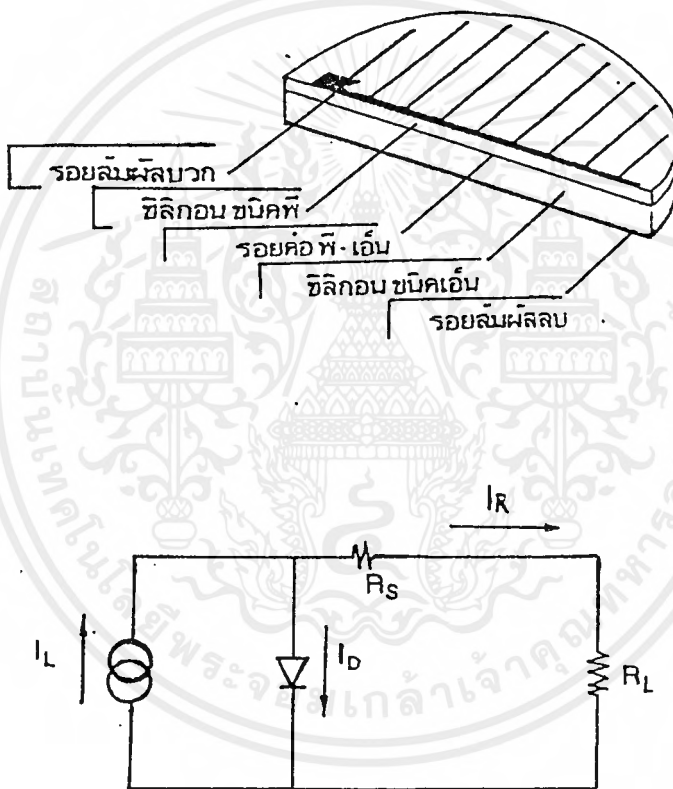
รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะของรูปปริมาตรที่อยู่บนผิวหน้าโซล่าเซลล์

ในที่สุดถ้าจะต้องให้โซล่าเซลล์ จ่ายกระแสที่เกิดจากผลของแสง โดยจะต้องมีขั้วสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและทั้งทางด้านหลังขั้วสัมผัสทางด้านหลังจะไม่มีปัญหาแต่ขั้วสัมผัสทางด้านหน้าจะไปขวางทางแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาทำให้ผลลัพท์ที่ได้ไม่ดีเนื่องจากค่าความต้านทานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปได้ อย่างแน่นอน เพราะฉะนั้นถ้าใช้โลหะที่มีความกว้างน้อย ๆ โดยจะวางพาดผ่านเซลล์ทางด้านหน้า และจะเชื่อมต่อกับโลหะหนาเรียกว่า Bus Bar ที่ขอบของเซลล์ ทำให้ได้ค่าความต้านทานมีขนาดต่ำ

โครงสร้างและวงจรมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 1.7 โครงสร้าง และวงจรมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลข้างบน กระแสที่ไหลผ่านโหลด (RL) และความต้านทานอนุกรมภายใน เซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) กระแสทั้ง 2 ส่วนนี้ก็คือ กระแสเนื่องจากการกระตุ้นด้วยแสง (I_L) และ กระแสไดโอด (I_D)

$$I_L = I_D + I_R \quad \text{_____ (6)}$$

$$I_R = I_L - I_D \quad \text{_____ (7)}$$

เมื่อ $R_s = 0$; $I_R = I_L - I_0 (\exp(qv/KT) - 1)$ _____ (8)

เมื่อลัดวงจร $V = 0$

$$I_R = I_L = I_{sc} \quad \text{_____ (9)}$$

เมื่อวงจรเปิด $I_R = 0$

$$I_L = I_0 (\exp(qv/KT) - 1) \quad \text{_____ (10)}$$

หรือ $V_{oc} = KT/q (\ln I_L/I_0 + 1)$ _____ (11)

ผลของการต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์

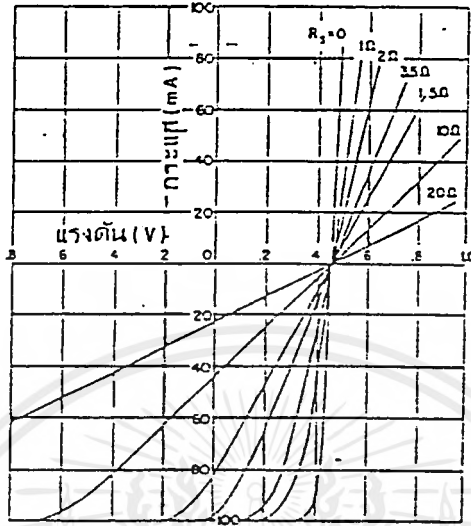
ความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) ส่วนหนึ่งเกิดจากความต้านทานภายในเนื้อสาร และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากความต้านทานที่รอยสัมผัสเมื่อพิจารณาสมการที่ (8) เมื่อ $R_s \neq 0$ แรงดันส่วนหนึ่งจะเกิดขึ้นคร่อม R_s ; $V_{R_s} = I_R R_s$ ดังนั้น

$$\text{แรงดันคร่อมรอยต่อ} = V - I_R R_s$$

$$I_R = I_L - I_0 (\exp q(V - I_R R_s)/KT) - 1 \quad \text{_____ (12)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (12) เมื่อนำไปพล็อตกราฟสรุปได้ดังนี้

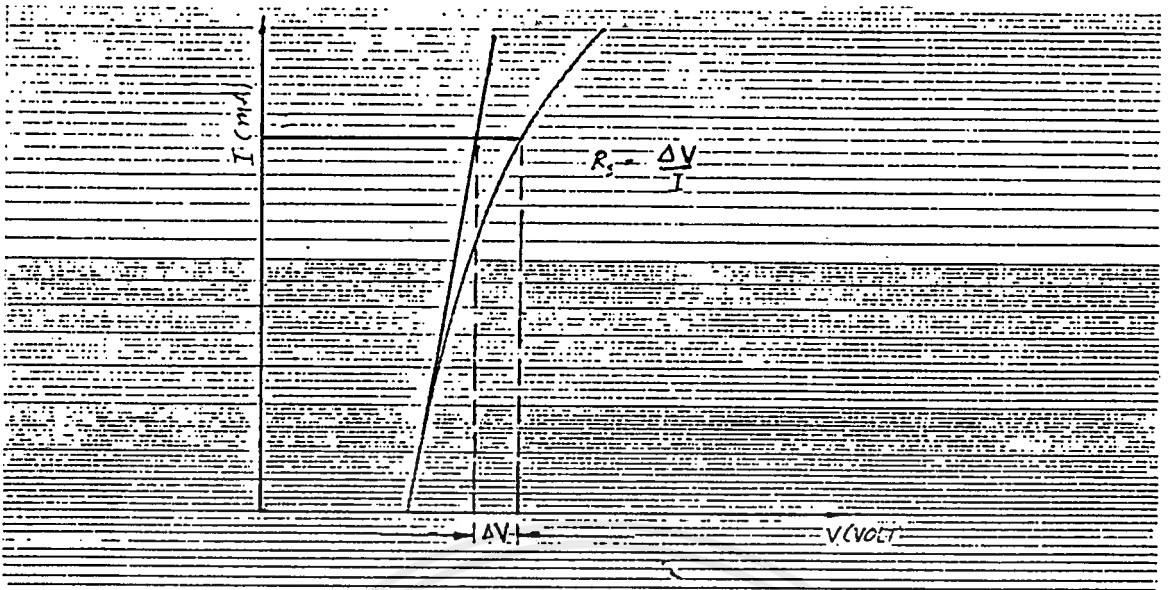


รูปที่ 1.8 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปจะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อ R_s ค่ามากขึ้นจะทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าลดน้อยลงในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ควรให้ความต้านทานต่ำกว่า 1 โอห์ม

การคำนวณค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีคุณสมบัติเหมือนไดโอด ดังนั้นกระแสและแรงดันจะสัมพันธ์กันในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล เมื่อนำค่าไปพล็อตบนกระดาษเซมิลอกจะทำให้ได้กราฟเส้นตรง เมื่อมี R_s เข้ามาจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ R_s ในลักษณะที่เป็นปฏิภาคตรงกับกระแส เมื่อกระแสมากขึ้นจะทำให้เห็นผลชัดเจนเส้นกราฟจะเบี่ยงเบนออกไป คำนี้นำไปคำนวณหาค่า R_s ได้



รูปที่ 1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ของรอยต่อพี-เอ็น

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ของรอยต่อพี-เอ็น (ข้อมูลได้จากการทดสอบในสถานะที่ไม่มีแสง) ดังนั้นในการหาค่า R_s ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่าง ๆ จะดำเนินการตามวิธีการนี้ทั้งหมดที่กระแส I ค่าหนึ่งเราจะหา R_s จาก ΔV คือ

$$R_s = \Delta V / I \quad (13)$$

การหาค่าความสมบูรณ์ของขบวนการสร้างเซลล์ (Ideality Factor ; n)

$$\text{จากสมการ } I = I_0 (\exp (qv/nKT) - 1)$$

ค่าคงที่ n จะเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่จะบอกได้ว่าขบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นี้ สมบูรณ์มากน้อยเพียงไร ยิ่งถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เราทำการสร้างนั้นมีสมบูรณ์มากก็จะทำให้ได้ค่าของ n มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากขึ้น และต่ำสุดก็เท่ากับ 1 ถ้า แต่ถ้าหากว่าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สมบูรณ์ค่า n ก็จะมีค่ามากขึ้น

$$I = I_0 (\exp (qv/nKT) - 1) \quad \text{_____} \quad (14)$$

$$\ln I = \ln I_0 + qv / nKT \quad \text{_____} \quad (15)$$

จะเห็นว่าสมการที่ (15) เป็นสมการเส้นตรง $Y = mx + b$

$$Y = \ln I$$

$$m = q / nKT$$

$$X = V; b = \ln I_0$$

ความชันของเส้นกราฟคือ $m = \Delta Y / \Delta X$

$$\Delta \ln I / \Delta V = q / nKT \quad \text{_____} \quad (16)$$

$$n = q / KT \cdot \Delta V / \Delta \ln I \quad \text{_____} \quad (17)$$

เมื่อนำกราฟตอนไม่มีแสงไปหรือดบนกระดาษเซมิคอนดัคเตอร์เพื่อหาค่า R_s และ หา n ได้ด้วย
จากสมการ (17) จึงได้

$$n = q / KT \cdot \Delta V / 2.3025 \Delta \log I \quad \text{_____} \quad (18)$$

สมการที่ (18) จะใช้สำหรับหาค่า n ของทุก ๆ เซลล์แสงอาทิตย์ในงานนี้

ในการคำนวณประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

$$\text{จากประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังที่ได้รับ}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้าไป}} \times 100\%$$

$$\text{_____} \quad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามมาตรฐานที่ผิวโลกกำลังของแสงอาทิตย์ที่ป้อนให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าประมาณ 100 มิลลิวัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร

$$\therefore \text{จาก (19) ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังที่ได้จากเซลล์ (mw) X100\%}}{\text{พื้นที่ส่วนรับแสงของเซลล์(cm}^2\text{) X100mw/cm}^2} \quad (20)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาและทดลองเซลล์แสงอาทิตย์

การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในแต่ละโครงการนั้น ก่อนอื่นเราจะต้องทำการศึกษา เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติเฉพาะ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกี่ยวกับการให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าและ กระแสไฟฟ้าที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์เสียก่อนซึ่งเราจะนำเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมาต่อทำการ ทดลองตามรูปวงจรดังรูปที่ 2.1 เพื่อที่จะทำการวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เซลล์ แสงอาทิตย์ทำการผลิตออกมา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ 2 เซลล์
2. โวลต์มิเตอร์ 1 ตัว
3. แอมป์มิเตอร์ 1 ตัว
4. ความต้านทานปรับค่าได้ (VR) 1 ตัว

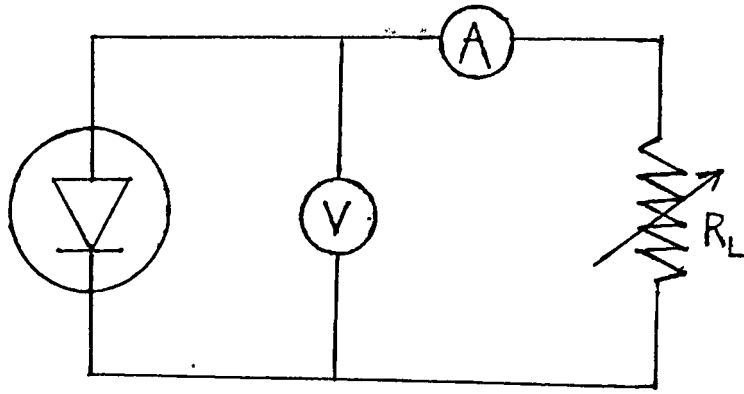
ทำการต่อเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมกับแอมป์มิเตอร์และต่อ ไปยังความต้านทานปรับค่าได้ (VR) โดยที่จะมีโวลต์มิเตอร์ต่อคร่อมอยู่กับความต้านทาน (VR) นั้นอยู่ด้วย ดังรูปที่ 2.1

ในขั้นตอนการทดลองทำการปรับค่าความต้านทานไปเรื่อย ๆ จากค่าน้อย ๆ ไปสู่ค่ามาก โดยที่ในแต่ละครั้งของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ให้ทำการบันทึกค่าของแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าตามค่าที่ปรากฏขึ้นมา โดยอ่านค่าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์

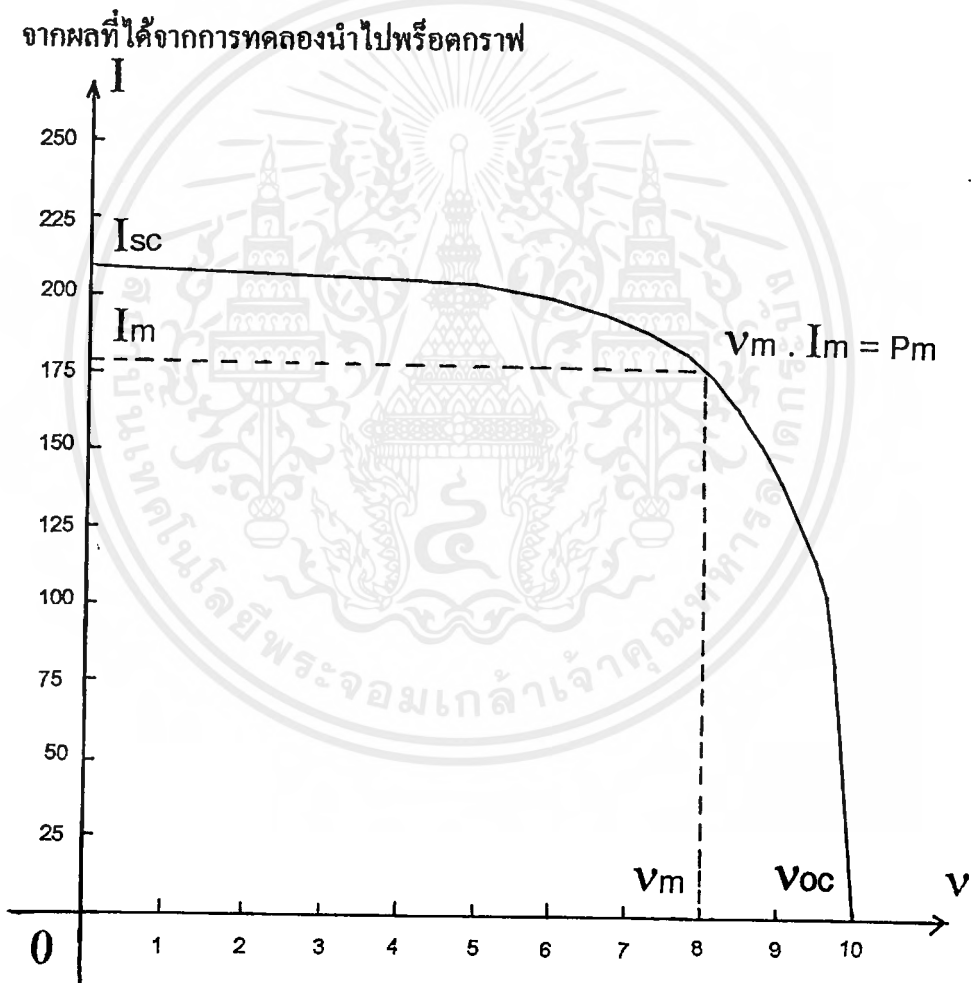
ตารางบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันตามการทดลอง

ค.ต.ท. (Ω)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1K
แรงดัน (V)	0.25	1.75	6	9	9.5	9.75	10	10	10	10
กระแส (A)	0.21	0.2	0.18	0.14	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรทดลอง



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดัน

จากกราฟในการทดลองที่พล็อตได้ในการทดลอง จะสามารถนำไปพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้การแยกพิจารณาที่ละตัว ดังต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาดของศักดาไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V_{oc})

$$V_{oc} \text{ มีค่า} = 10 \text{ V}$$

2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (I_{sc})

$$I_{sc} \text{ มีค่า} = 0.21 \text{ A}$$

3. ขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m)

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

$$= 8 \text{ V} \cdot 0.182 \text{ A}$$

$$P_m = 1.452 \text{ W}$$

4. Fill Factor = P_m / P_o

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

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

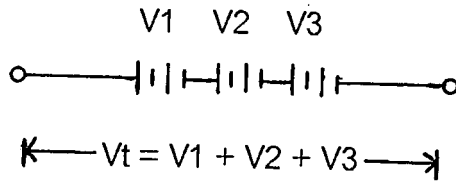
$$\text{Fill Factor} = 1.452 \text{ W} / 2.1 \text{ W}$$

$$= 0.69$$

หลักการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งาน

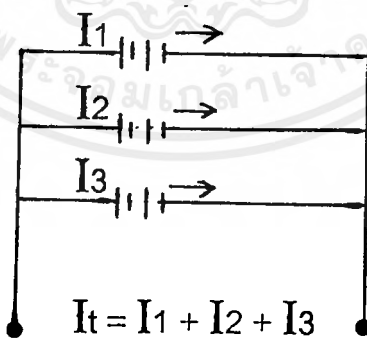
จากที่ทราบผลจากการทดลองมาแล้วว่าเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเสมือนกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งแต่ละเซลล์ก็เปรียบเสมือนแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 ตัว เพราะฉะนั้นการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อที่จะได้นำไปใช้งานก็จะเหมือนกับเราต่อฟ่วงเบ็ดตารีนำไปใช้งานนั่นเอง

จากทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น



รูปที่ 2.3 การต่อเซลล์ในลักษณะอนุกรมกัน

ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อกันแบบอนุกรมกัน แรงดันไฟฟ้ารวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแต่ละตัวในวงจรมันั้น แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแหล่งจ่ายแต่ละตัวในวงจรที่มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.4 การต่อเซลล์ในลักษณะขนานกัน

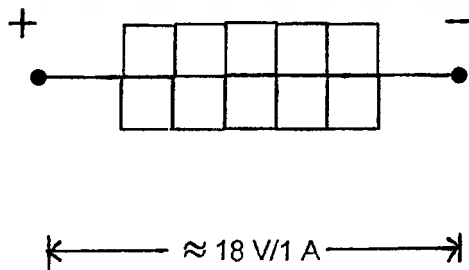
ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อกันแบบขนาน กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรนั้นจะมีเท่ากับ ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแหล่งจ่ายไฟฟ้าแต่ละตัวในวงจรนั้น แต่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมวงจรมันจะเท่ากัน

จากที่เราทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ เราได้ผลออกมาว่าตัวเซลล์นั้นจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดออกมาประมาณ 10 โวลต์ กระแสไฟฟ้าประมาณ 0.21 แอมป์ในแต่ละเซลล์ เพราะฉะนั้น เราจะสามารถนำผลที่จากในการทดลองนี้ นำมาทำการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ต้องการเพื่อในการประยุกต์นำไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็น Supply ป้อนให้กับวงจรต่าง ๆ ได้ตามความต้องการของวงจรแต่ละวงจร โดยจะมีข้อกำหนดอยู่ 2 ข้อที่ว่า

1. ถ้าต้องการ โวลต์เพิ่มขึ้น ให้ต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบอนุกรม
2. ถ้าต้องการกระแสเพิ่มขึ้น ให้ต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบขนาน

ยกตัวอย่าง

ถ้าเราต้องการป้อนอินพุทของวงจรคือ 18 V/1 A เพราะฉะนั้นการต่อกันของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นในลักษณะที่ว่า เราจะทำการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ให้ขนานกัน 5 เซลล์ จำนวน 2 ชุด จากนั้นนำเซลล์ทั้ง 2 ชุด มาทำการต่ออนุกรมกันอีกครั้ง ก็จะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงค่าอินพุทที่เราต้องการป้อนให้กับวงจร



รูปที่ 2.5 ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ และทดลอง

การออกแบบ

จะแบ่งได้ออกเป็นส่วนหลัก ๆ คือ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

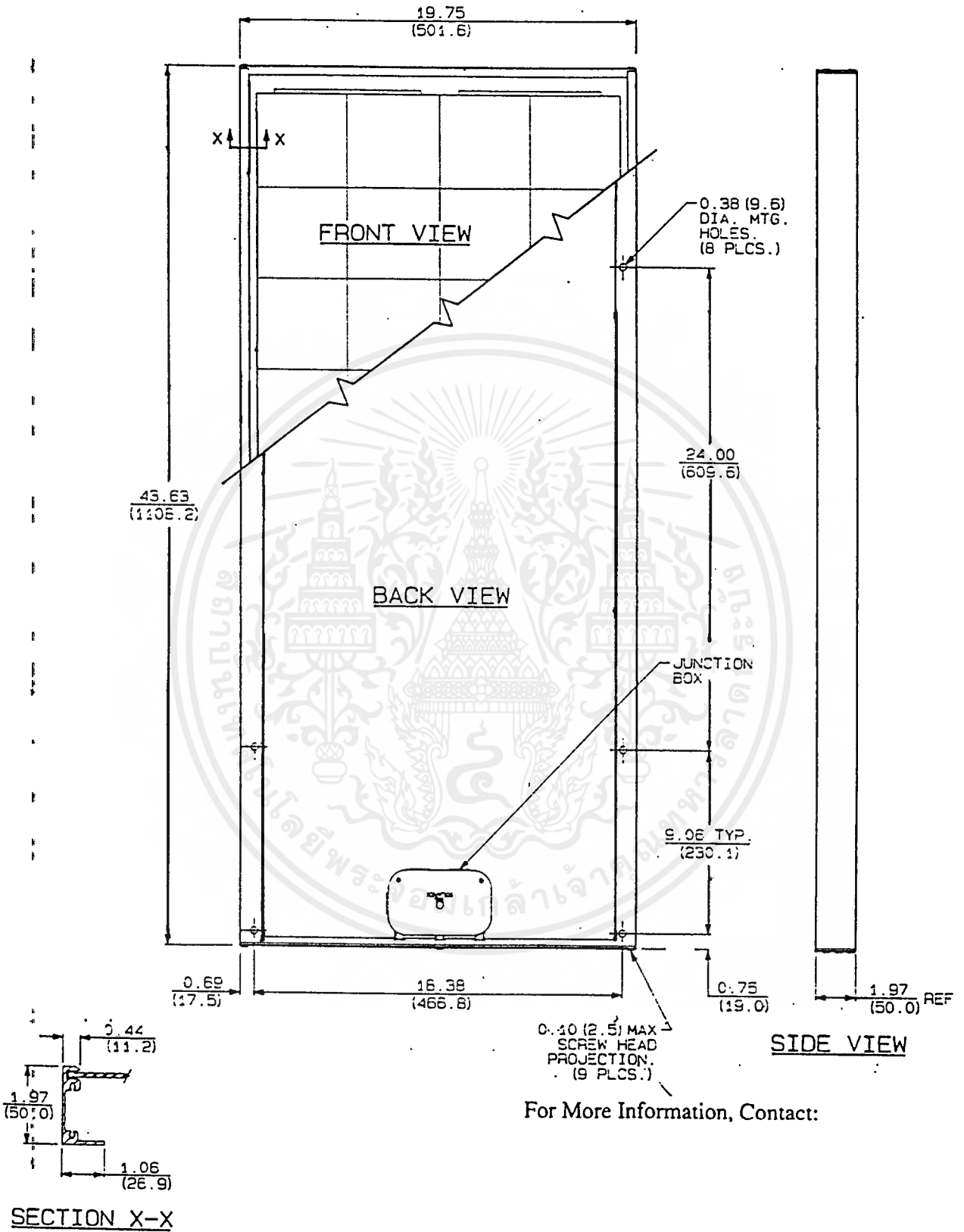
ส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ ได้นำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัท SOLAREX An Amoco Company (ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตแผง Solar Cell) นำมาใช้งาน โดยมีรายละเอียดของแผงเซลล์ มีดังต่อไปนี้

Electrical Characteristics

Module	MSX - 64
Maximum Power (watts)	64.0
Open Circuit Voltage (Voc)	21.3
Short Circuit Current (I _{sc}) (Amps)	4.0
Voltage at Load (Volts)	17.5
Current at Load (Amps)	3.66

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.

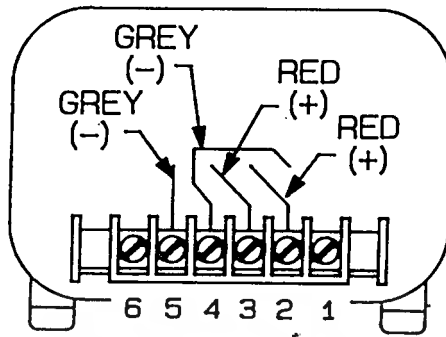
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 รูปลักษณะของแผง Solar Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านหลังของแผงเซลล์จะมีกล่องต่อสายออกไปใช้งาน ดังภาพต่อไปนี้



TERMINAL STRIP NUMBERING

รูปที่ 3.2 จุดต่อใช้งานของแผง Solar Cell

วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

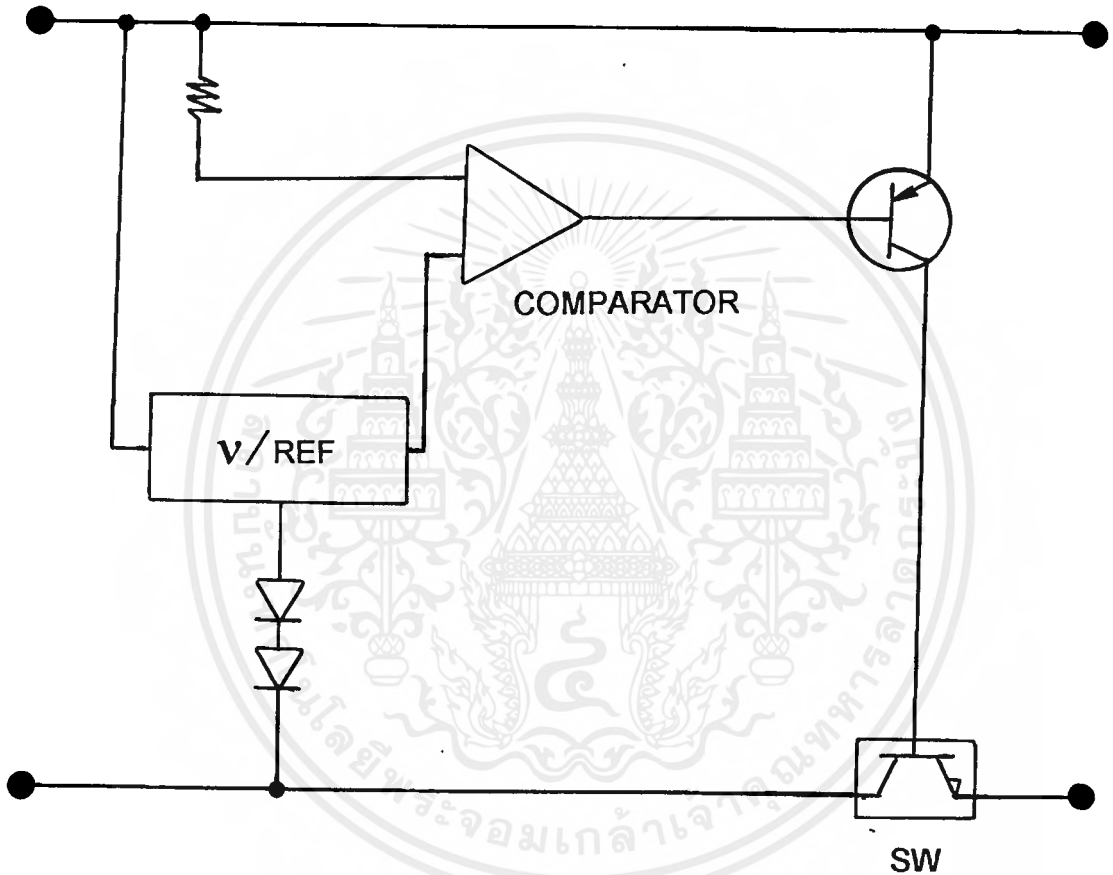
หลักการคือ

1. การนำเอาพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ มาแปลงเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวโซลาร์เซลล์และนำไฟฟ้า (D.C.) ที่ได้ออกมานั้นนำไปชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เพื่อจะเก็บไว้ใช้งานต่อไป
2. ความต้องการก็คือเราต้องการทำการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ให้อยู่ในสถานะที่ว่า เมื่อแบตเตอรี่ได้ถูกทำการชาร์จประจุเข้าไปเต็มแล้ว ณ ขณะที่มีขนาดของแรงดันเท่าที่ 13.8 โวลต์ (D.C.) ให้วงจรชาร์จแบตเตอรี่หยุดการทำงาน โดยทำการตัดแบตเตอรี่ออกจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบวงจรขาร์ตแบคเตอร์

วงจรควบคุมการขาร์ตแบคเตอร์ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วนคือ

1. วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference)
2. วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)
3. สวิตช์ควบคุม (Switch control)



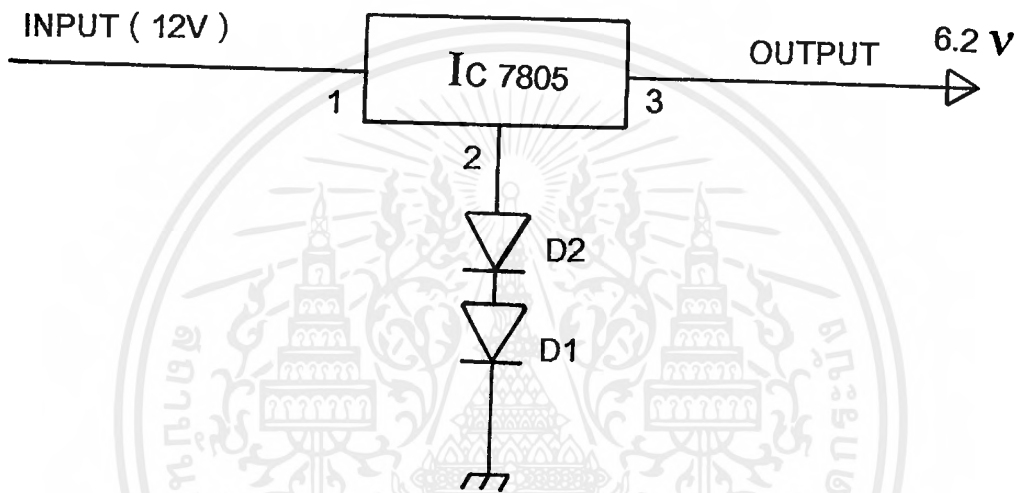
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขาร์ตแบคเตอร์

ส่วนที่ 1 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference)

วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) โดยใช้ IC 7805 ที่มีแรงดันคงที่ 5 โวลต์ ตามสเปกของบริษัทผู้ผลิต แต่เราต้องการที่จะออกแบบแรงดันอ้างอิงของวงจรที่มีค่าแรงดันที่ 6.2 โวลต์ โดยที่ IC 7805 นั้นเป็น IC ชนิด 3 ขา ขาที่ 1 เป็นขา input ขาที่ 2 เป็นขา ground ขาที่ 3 เป็นขา output โดยปกติแล้วตัว IC นั้นจะมีแรงดันอยู่ที่ 4.8 โวลต์ แต่เนื่องจากการออกแบบเราต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแรงดันอ้างอิงที่ 6.2 โวลต์ เพราะฉะนั้นที่ขา 2 ของ IC 7805 เราสามารถควบคุมตามการออกแบบได้โดยการเสริม diode เข้าไปอีก 2 ตัว โดยที่ diode แต่ละตัวจะมีค่าแรงดันตกคร่อมในตัวของมันเองอยู่ที่ 0.7 โวลต์ 2 ตัวจะให้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นอีก 1.4 โวลต์แล้วนำมาต่อเข้ากับวงจรที่ขา ที่ 2 ของ IC 7805 โดยที่ขาแคโทดของ diode จะต่อลง ground ส่วนขาแอนโอดต่อเข้ากับขา 2 ของ IC 7805 ที่ output คือที่ขา 3 ก็จะมีค่าแรงดันอ่านได้อยู่ในช่วง 6.2 โวลต์ โดยประมาณ การนำเอา IC 7805 และ diode มาต่อเข้าที่ขาควบคุม เพื่อที่ต้องการให้วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงให้มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ

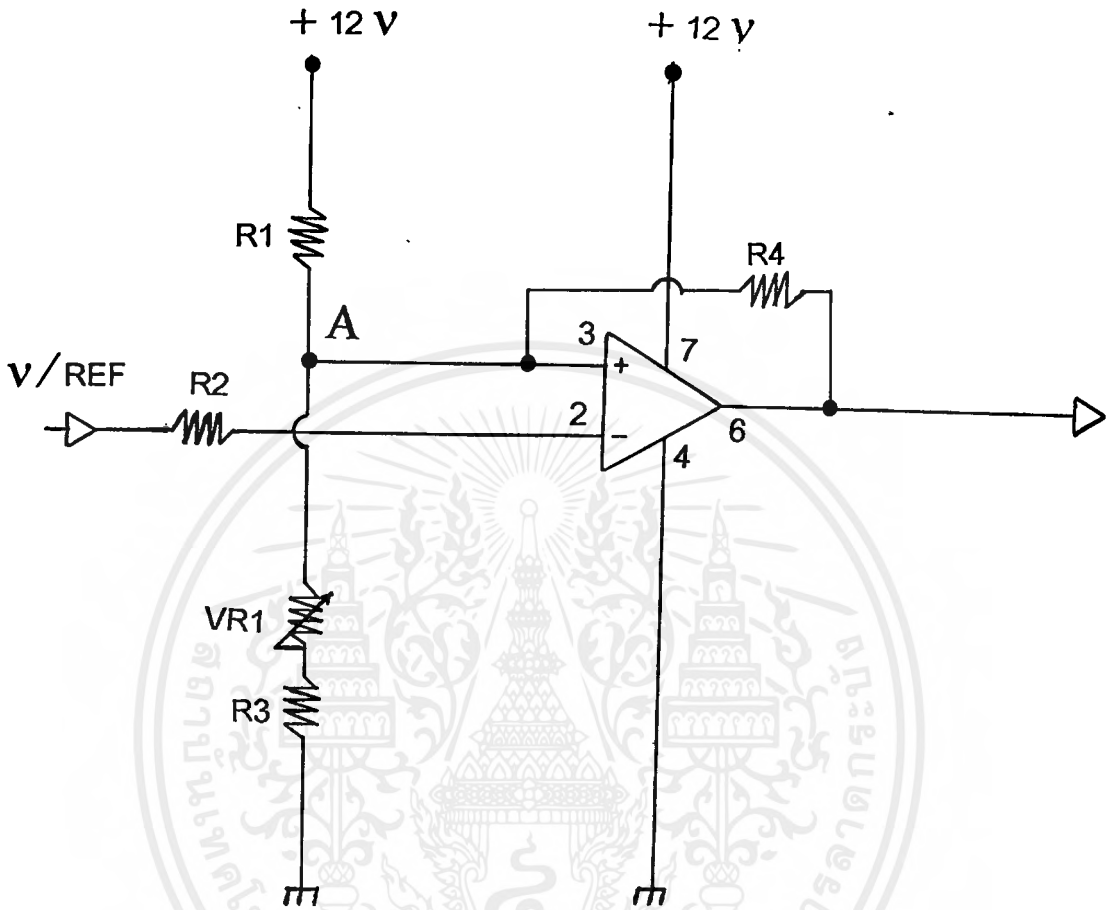


รูปที่ 3.4 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference)

ส่วนที่ 2 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

การออกแบบวงจร (Comparator) โดยใช้ IC op-amp ขอดนิยมนหาได้ง่ายในตลาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเราจะใช้ IC op-amp เบอร์ 741 โดยการนำเอาแรงดันอ้างอิงมาต่อเข้ากับขาที่ 2 ของ IC op-amp 741 คือขา inverting input และแรงดันเซ็นเซอร์ต่อเข้ากับขาที่ 3 ของ IC op-amp 741 คือขา non inverting input ส่วน VR1 และ R3 จะใส่เพื่อต้องการที่จะปรับจุดเปรียบเทียบแรงดัน โดยเราใช้การอ่านแรงดันจาก แบตเตอรี่ ในขณะที่ชาร์ตเต็ม วงจรเซ็นเซอร์จะประกอบด้วย R1, R3, VR1 ต่อวงจรในลักษณะที่เป็นวงจร โวลต์เดจิจิไวเตอร์ โดยจะมีแรงดัน ณ จุด A จะนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ที่ได้ออกมาจากวงจร สร้างแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) ที่

มาเข้าที่ขา 2 ของ IC op-amp 741 และจะมี R4 ต่ออยู่ระหว่างขา 3 และขา 6 ของ IC op-amp 741 เพื่อป้องกันการออสซิลเลเตอร์

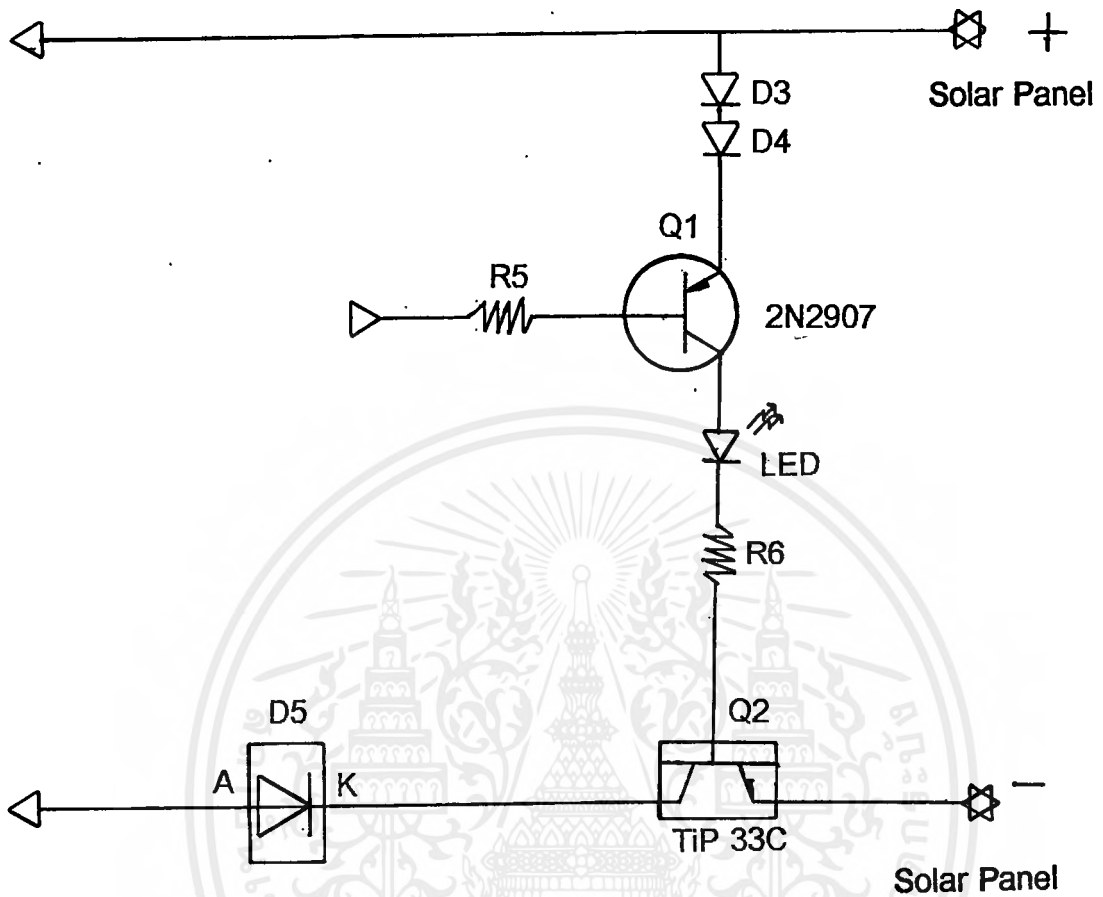


รูปที่ 3.5 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

ส่วนที่ 3 คือ วงจรสวิทช์ควบคุม (Switch Control)

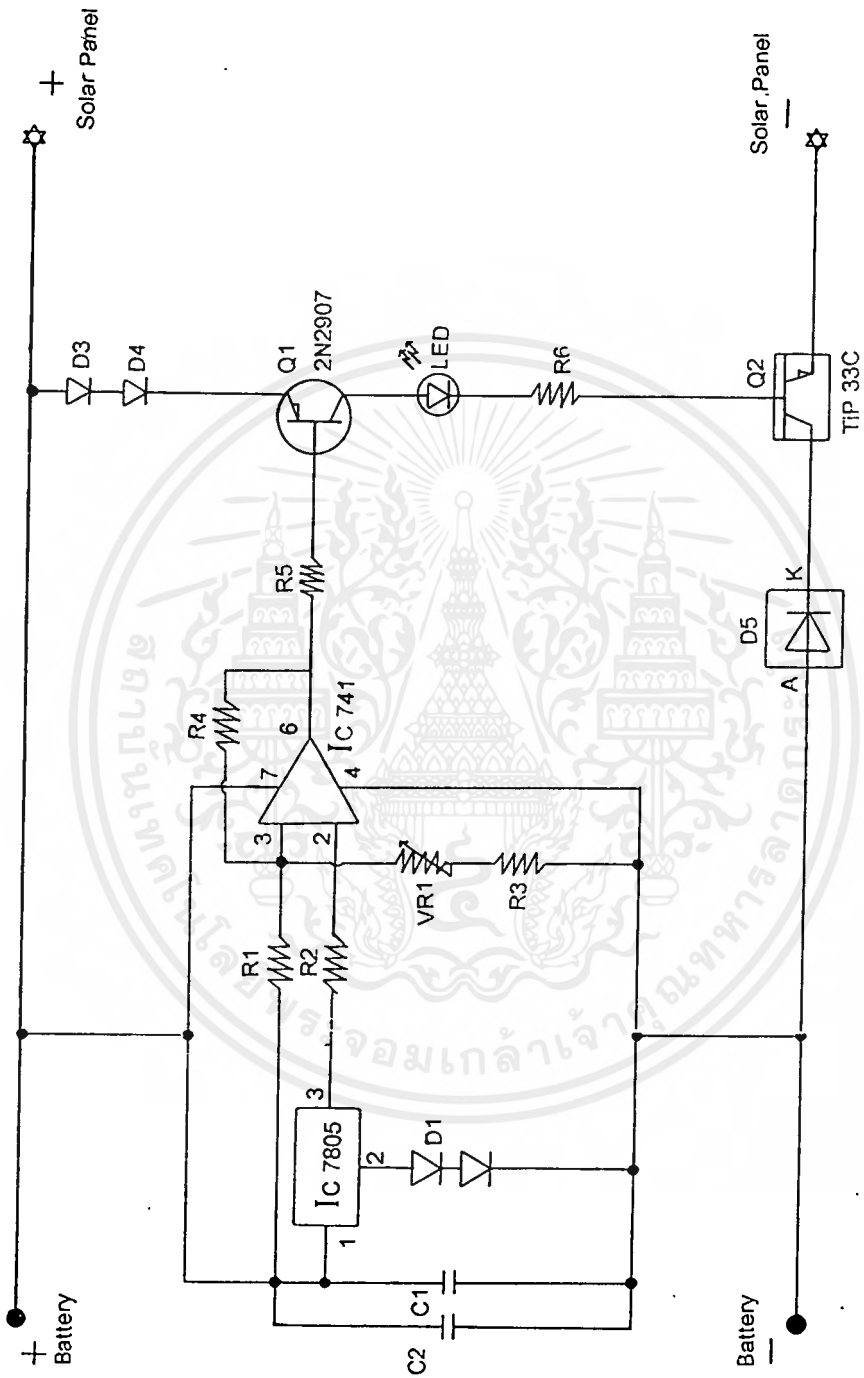
การออกแบบวงจร Switch on-off โดยเราจะใช้ Power Transistor เบอร์ TIP 33C เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด N type Power Transistor โดยมีทรานซิสเตอร์ 2N2907 เป็นตัว driver โดยได้รับ Bias กระแสจากแหล่งจ่ายจะผ่าน Diode (1N4001) 2 ตัวมารอที่ Q1 โดยเมื่อมี Output จากวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) มาทำการ Bias ที่ขา Base ที่ตัว Q1 ทำให้ Q1 นั้นจะทำการส่งกระแสมาทำการ Bias ที่ขา Base ของ Q2 ที่ทำหน้าที่เป็น Power Transistor Switch ON จะเกิดการชาร์ตไฟไปที่แบตเตอรี่ และจะมี Diode (D5) อีกตัวหนึ่งทำการกันกระแสให้ไม่ไหลย้อนกลับมายังวงจรอีกด้วย โดยการทำงานของวงจรนี้จะเป็นไปตาม Output ของวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สวิตช์ควบคุม (Switch Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ Circuit Control

R1 = 10K

R2 = 10K

R3 = 4.7K

R4 = 470K

R5 = 4.7K

R6 = 470K (5 W)

VR1 = 10K

D1,D2,D3,D4 = 1N4001

D5 = MBR 1035 (MOTOROLA)

LED = 1 ตัว

C1 = 0.33 μ f 50V

C2 = 1000 μ f 35V

IC 7805 = 1 ตัว

IC 741 = 1 ตัว

Q1 = 2N2907

Q2 = TIP 33C

รายการอุปกรณ์อื่น ๆ

Volt Meter 2 ตัว

Amp Meter 2 ตัว

Switch (ON/OFF) 3 ตัว

กล่องอเนกประสงค์ 2 กล่อง

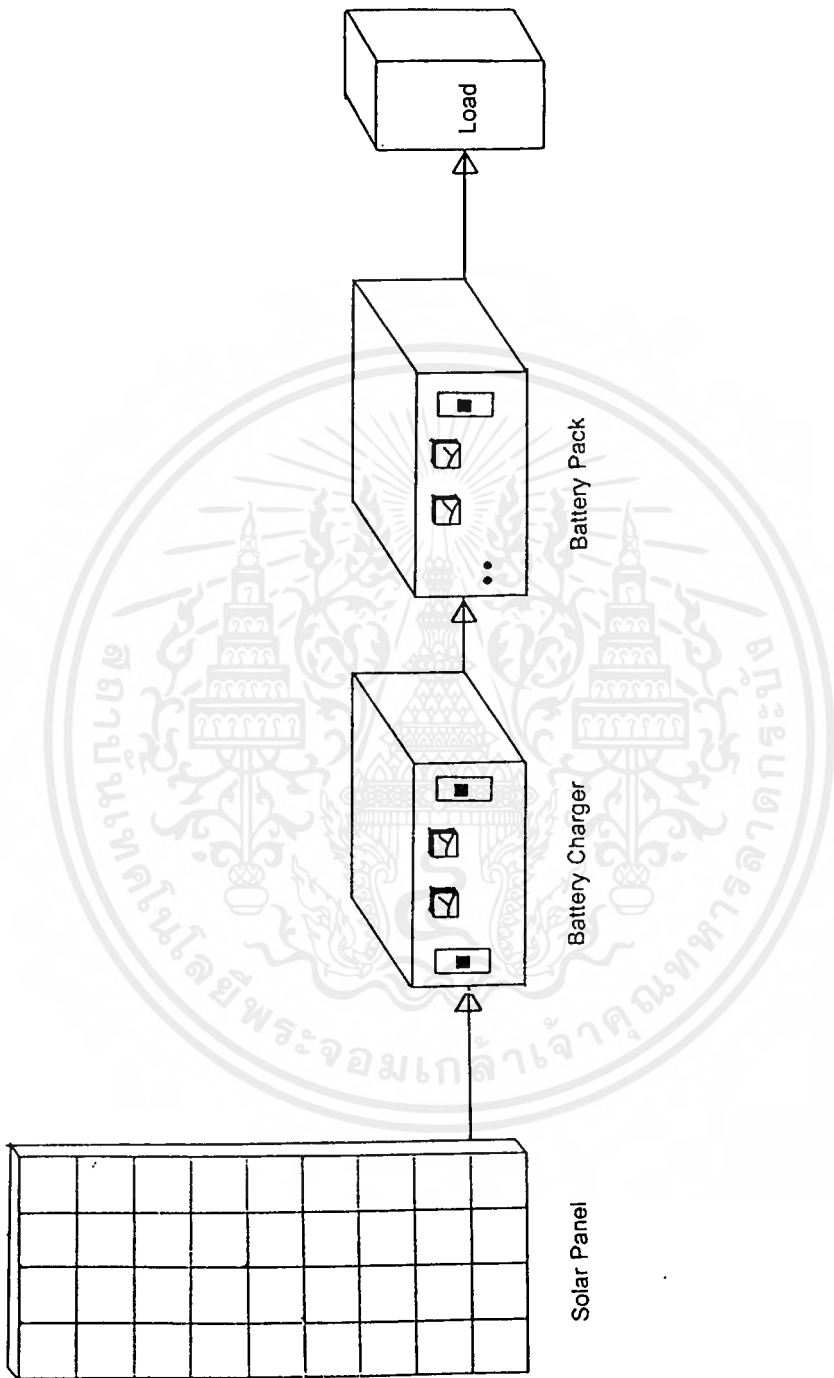
แบตเตอรี่ 1 ตัว

ขั้วเสียบสายต่อ (ใหญ่) 4 คู่

ขั้วเสียบสายต่อ (เล็ก) 1 คู่

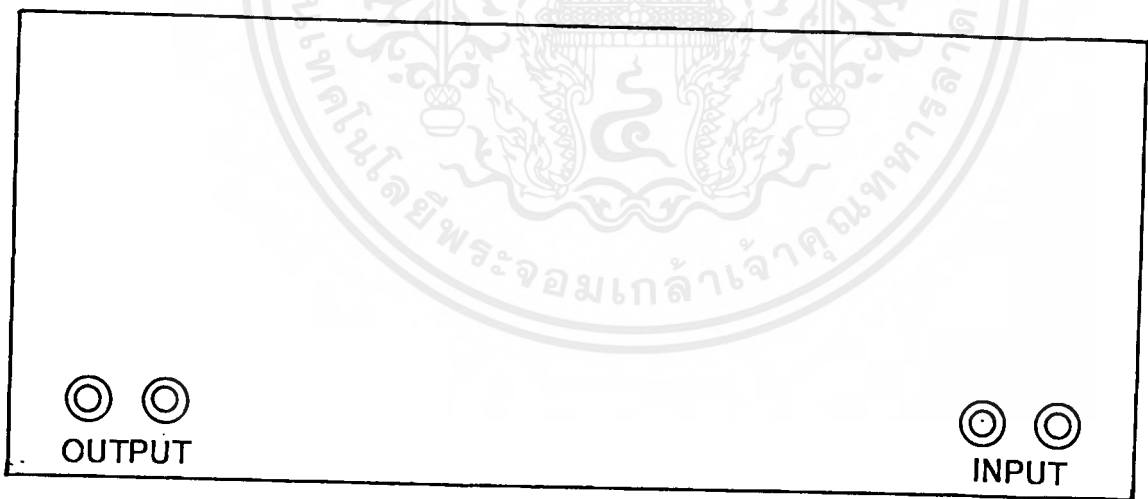
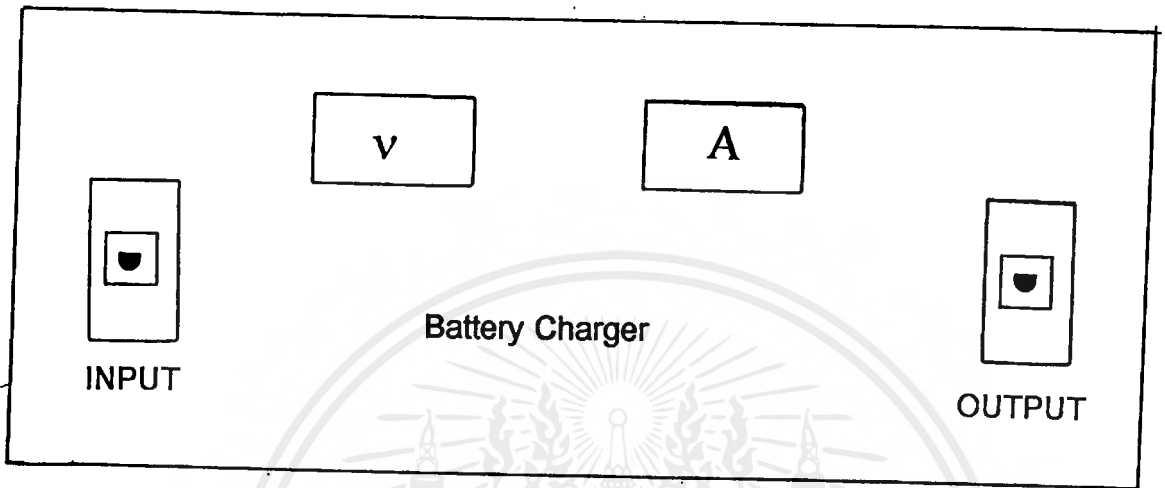
และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงการ



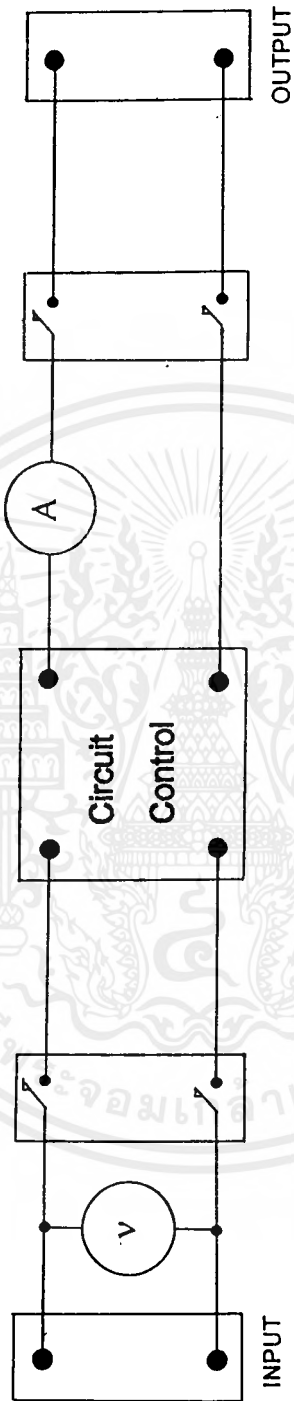
รูปที่ 3.8 แผนผังการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



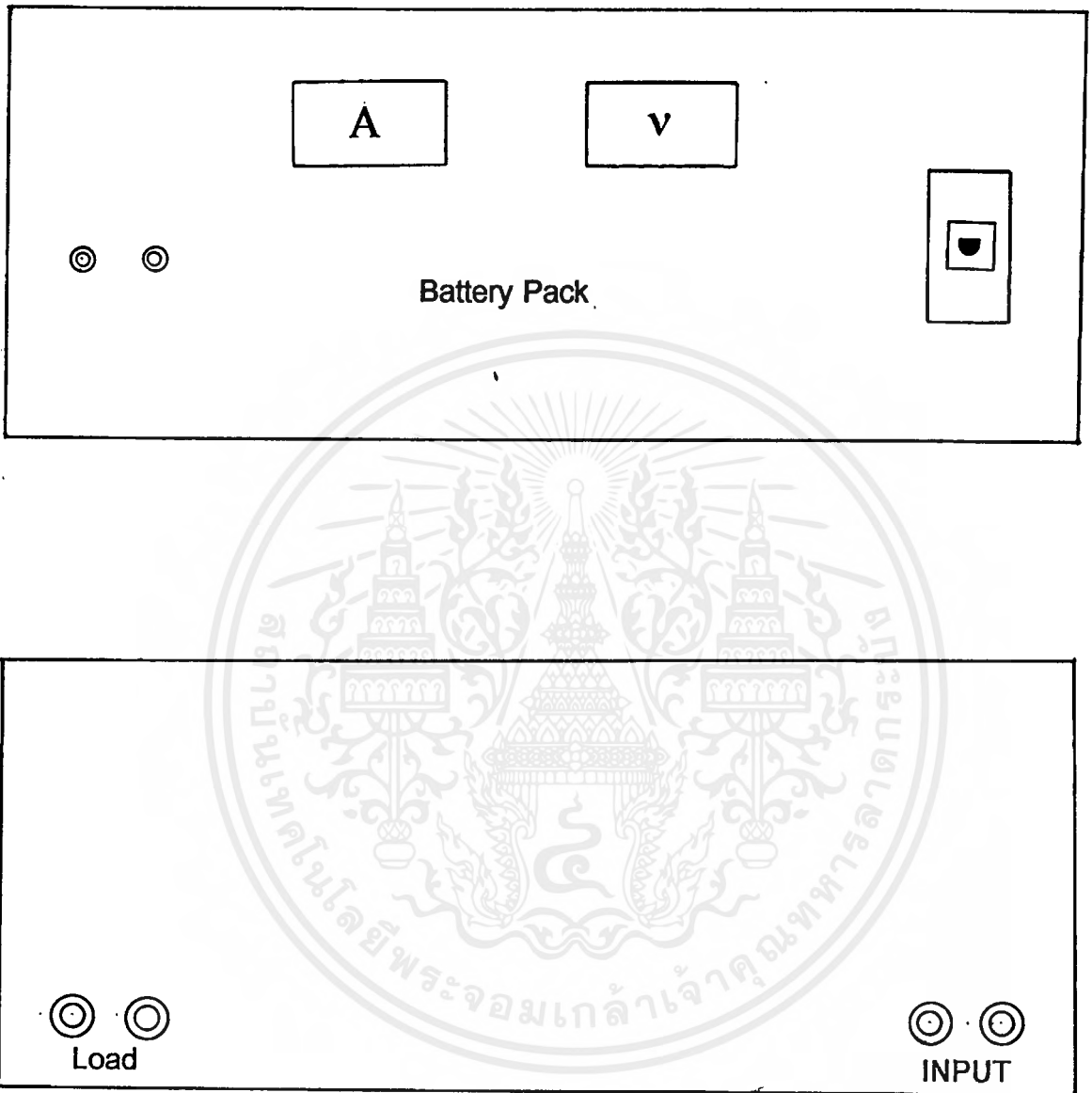
รูปที่ 3.9 รูปแบบภายนอกของ Battery Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



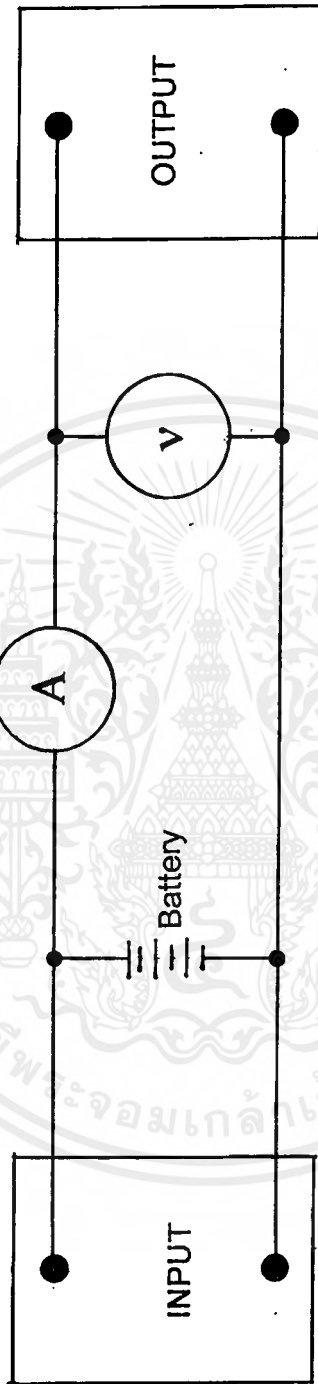
รูปที่ 3.10 การต่อวงจรภายในของ Battery Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปแบบภายนอกของ Battery Pack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การต่อวงจรภายในของ Battery Pack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองวงจร (Circuit Control)

เมื่อประกอบวงจรเสร็จสมบูรณ์แล้ว ก็จะถึงขั้นตอนการเช็ทวงจร (Circuit Control) ให้วงจรทำงานตามที่เรำทำการออกแบบ เอาไว้ข้างต้น โดยปฏิบัติตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- ใช้ Regulator ทำการป้อนไฟฟ้าที่ค่า 13.8 V เข้าที่ IN-PUT ของวงจร Circuit Control
- ทำการปรับค่าของ VR1 ทีสทางตามเข็มนาฬิกาจนสังเกตุ LED ไว้พร้อมกับทำการปรับค่าของ VR1 ไปด้วย จนกระทั่ง LED ดับ นั่นก็คือเปรียบเสมือนว่าอยู่ในสภาวะที่ Battery ถูกทำการชาร์ตจนเต็มแล้วที่ค่าประมาณ 13.8 V
- ทำการทดลองโดยปรับค่าของ Regulator ทีป้อนไฟฟ้าเข้าที่ IN-PUT ของวงจร Circuit Control ลดค่าลงประมาณ 13.5 V จะทำให้ LED ดิบขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง นั่นคือเปรียบเสมือนว่าอยู่ในสภาวะที่ Battery ถูกทำการชาร์ตขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง
- เมื่อทำตามขั้นตอนทั้งหมดแล้วเป็นอันว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามที่เรำได้ทำการออกแบบ

หลักการการทำงานของวงจร

การทำงานของโครงการทั้งหมดมีหลักการทำงานเป็นไปตาม ลักษณะดังต่อไปนี้

- เมื่อเราทำการ ON-SW1 แรงดันไฟฟ้า จากที่แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panel) ก็จะถูกปล่อยเข้าสู่แผงวงจร (Circuit Control) Volt Meter จะทำการอ่านค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากแผงโซลาร์เซลล์ในขณะนั้น
- เมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้ามาที่วงจร Volt Meter จะอ่านค่าที่ได้แล้วเราทำการ ON-SW2 จะเป็นการเริ่มการทำงานของวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ วงจร Circuit Control จะส่งไฟฟ้าไปชาร์ตที่แบตเตอรี่ ที่ Battery Pack และ Amp Meter ก็จะทำกาแสดงค่าของกระแสไฟที่ผ่าน ไปทำการชาร์ตให้กับ Battery Pack
- เมื่อไฟฟ้าถูกส่งผ่านมาทำการชาร์ตที่ Battery Pack แล้วที่ Battery Pack จะมี Volt Meter อีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ในการอ่านค่าของแรงดันไฟฟ้าที่มีอยู่ใน Battery Pack อยู่โดยตลอด เพื่อให้ทราบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าว่าใน Battery Pack นั้นมีค ี่เท่าไร
- และเมื่อเราทำการต่อ Load เพื่อทำให้เกิดงานก็จะมี Amp Meter ทำการอ่านค่าของกระแสที่ Load ได้ดึงไปใช้งานอยู่ตลอดเวลา
- การทำงานในกรณีที่ Battery ถูกทำการชาร์ตเต็มแล้ว วงจร Circuit Control จะทำการตัดตัวเองออกจาก Battery เพื่อหยุดชาร์ตของวงจร แต่เมื่อใดที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ใน Battery จนมีค่าน้อยลงไปวงจรก็จะทำการส่งไฟไปชาร์ตยัง Battery อีกครั้งหนึ่งในสภาวะเช่นนี้ตลอดเวลา

บทที่ 4

ผลการทดลอง และแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน

ผลการทดลอง

เมื่อเรานำโครงการที่สร้างนำไปทำการปฏิบัติงานจริง ที่ช่วงเวลารเริ่มต้นที่เวลาประมาณ 11.00 นาฬิกา เราทำการต่อ Load เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าใน Battery ลดลง โดยทำการลดค่าลงที่แรงดันไฟฟ้าใน Battery ให้อยู่ที่ ≈ 10 V แล้วเริ่มทำการชาร์ต Battery โดยแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะนั้นค่า $V_{oc} = 13.93$ V และค่า $I_{sc} = 1.5$ A ผลการทดลองที่ได้คือ

ในการชาร์ตจน Battery เต็มที่ 13.8 V เราใช้เวลาทั้งสิ้น ≈ 2 ชั่วโมง

อีกครั้งเมื่อเรานำโครงการที่สร้างนำไปทำการทดลอง โดยเราทำการต่อ Power Supply เข้าไปแทนที่ โซล่าเซลล์ตั้งค่าการป้อนแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 14V 2A แล้วทำการต่อ Load เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าใน Battery ลดลงโดยทำการลดค่าลงที่แรงดันไฟฟ้าใน Battery ให้อยู่ที่ ≈ 10 V แบบเดิมแล้วเริ่มทำการชาร์ต Battery ผลการทดลองที่ได้คือ

ในการชาร์ตจน Battery เต็มที่ 13.8 V เราใช้เวลาทั้งสิ้น ≈ 50 นาที

แนวทางการประยุกต์ใช้งาน

เมื่อเรามีการพัฒนานำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้มีขีดความสามารถสูง ๆ ได้แล้วเราสามารถที่นำเอาเซลล์แสงอาทิตย์นี้ไปทำการออกแบบประยุกต์ใช้งานรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย โดย ในที่นี้เราจะยกตัวอย่างที่เป็นแนวทางหนึ่งของการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้มาใช้ปฏิบัติงานอย่างหนึ่งคือ การนำมาผลิตแทนกระแสไฟฟ้าใช้ภายในบ้านเรือน โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. จะมีแผง โซลาร์เซลล์เป็นตัวแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟ DC
2. จากแรงดัน ไฟฟ้าที่ได้นำไปเข้าตัว Regulator Control
3. แล้วจะส่งต่อไปทำการชาร์จที่ Solar Battery
4. ซึ่ง Solar Battery จะป้อนแรงดัน ไฟฟ้าส่งไปที่ Inverter และนำไฟที่ได้ไปใช้งาน

ดังตัวอย่างเช่น บริษัท SOLAREX ได้มีการพัฒนาระบบการสร้างไฟฟ้าใช้ในบ้านเรือนด้วยแผงโซลาร์เซลล์นี้โดยจัดเป็น Package ต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับกำลังความต้องการการใช้ไฟฟ้าของแต่ละบ้านเรือน โดยจะได้ยกตัวอย่างการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าของแต่ละบ้านดังตัวอย่างต่อไปนี้

Example สมมุติให้ที่บ้านของเรามีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ไฟฟ้าในการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

1. Bedroom lights , 2. Living lights , 3. Outside lights , 4. Television , 5. Radio , 6. Sewing machine , 7. Iron , 8. Vacuum cleaner , 9. Toaster , 10. Washing machine
- นำเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดนั้นไปทำการคิดผลรวมของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหนึ่งวัน โดยเราจะคูณค่าของ Watts และ Hours Used นำค่าทั้งสองมาคูณกันในแต่ละอุปกรณ์ใช้งานแล้วนำค่าที่คูณกันได้ทั้งหมดที่ได้มารวมกัน เพื่อหาผลรวม

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

ตารางแสดงค่า Typical Voltage , Typical Watts , Typical Hours Used ของอุปกรณ์ใช้งานชนิดต่าง ๆ ภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Washing Machine	240	500 (2000 start)	.5
Vacuum Cleaner	240	50-1000	.25
Video	240	50-100	2

จากผลการคำนวณผลรวมของความต้องการในการใช้ไฟฟ้า Total = 2715 ซึ่งเราก็จะมีข้อมูลที่สำคัญในการเลือกขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Supply) ที่มีขนาดที่เหมาะสมกับกำลังงานไฟฟ้าที่เราต้องการใช้ในแต่ละวัน ซึ่งในส่วนนี้ บริษัท SOLAREX ได้ทำการจัดเป็น Package ต่าง ๆ ในขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งานดังนี้

Package 1

Average daily load up to 200 WH

1 MODULE SYSTEM – A11 DC

Components:

1 x MSX60,60 watt solar module

1 x 1 module mounting frame kit

1 x SR8-12V regulator

2 x 100AH 12V solar batteries

Total Price: \$

Package 2

Average daily load up to 400 WH
2 MODULE SYSTEM – A11 DC

Components:

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

Total Price: \$

Package 3

Average daily load up to 720 WH
4 MODULE SYSTEM – A11 240V AC

Components:

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

Total Price: \$

Package 4

Average daily load up to 1400 WH

8 MODULE SYSTEM – A11 240V AC**Components:**

8 x MSX60,60 watt solar module

2 x 4 module mounting frame kit

1 x SC18-12V regulator

2 x 670AH 12V solar battery

1 x 1500VA,24V inverter

Total Price: \$**Package 5**

Average daily load up to 2880 WH

16 MODULE SYSTEM – A11 240V AC**Components:**

16 x MSX60,60 watt solar module

2 x 8 module mounting frame kit

1 x SC30-24V regulator

2 x 1230AH 12V solar battery

1 x 1500VA,24V inverter

Total Price: \$

จากที่เราทราบความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันภายในบ้านแล้วว่าต้องใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1715 WH เพราะฉะนั้นเราจะต้องเลือก Solar Power Supply ใน Package 5 ซึ่งจะเป็นขนาดของ Solar Power Supply ที่เหมาะสมที่สุดในการที่เราจะทำการเลือกนำไปใช้งานที่บ้านมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ส่วนของวงจรควบคุม และการปฏิบัติงาน

ในส่วนของวงจรควบคุม (Circuit Control) ที่ทำการออกแบบนั้น เป็นไปตามเป้าหมายที่เราต้องการคือ ในส่วนของวงจรควบคุมนั้น มีความสามารถที่จะทำการควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panel) นั้นนำมาทำการชาร์ตเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยที่ลักษณะในการชาร์ตจะเป็นในรูปแบบที่ว่า วงจรนั้นจะทำการชาร์ตไฟฟ้าก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่มีค่าแรงที่ลดลงจากค่าที่กำหนดที่ 13.8 V และถ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 13.8 V วงจรจะหยุดการทำงานไม่ส่งไฟไปชาร์ตให้กับแบตเตอรี่อีกเพื่อไม่ให้เกิดการ Over charger ซึ่งถ้าเกิดมีการ Over charger เกิดขึ้นก็จะทำให้มีการเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่ได้ซึ่งการปฏิบัติงานของ โครงการทั้งหมดนี้ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ตั้งไว้

การวิเคราะห์โครงการ

โครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Supply) นี้เป็นโครงการที่ศึกษาเกี่ยวกับ ลักษณะ รูปแบบ และคุณสมบัติเฉพาะ ของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานั้นเราจะทราบถึงขีดความสามารถและข้อเสียต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อที่เราสามารถที่จะนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์นี้ นำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในสภาวะปัจจุบันมีความต้องการที่จะหาพลังงานใหม่ ๆ มาทดแทนพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันซึ่งอยู่ในสภาวะที่กำลังจะหมดไปอย่างรวดเร็วตลอดเวลาและในโครงการนี้ก็จะเป็นส่วนหนึ่งของการนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งาน โดยการเปลี่ยนจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ขึ้นสูงสุด

หนังสืออ้างอิง

1. MOTOROLA INC., 1992. Bipolar Power Transistor Data
2. MOTOROLA INC., 1992. Rectifier Device Data
3. SOLAREX An Amoco Company (USA). Solar Cell Data
4. ดร.ไพรัช ชัยพงษ์, ผศ.สมเกียรติ สุภเดช. ึ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ
5. บัณฑิต บัวบูชา. ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เล่ม 1
6. มงคล ทองสงคราม. ทฤษฎีเครื่องวัดไฟฟ้า (Electrical Measurements)



ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

NPN
TIP33B*
TIP33C

PNP
TIP34B*
TIP34C

*Motorola preferred devices.

**COMPLEMENTARY SILICON
HIGH-POWER TRANSISTORS**

... for general-purpose power amplifier and switching applications.

- 10 A Collector Current
- Low Leakage Current — $I_{CEO} = 0.7 \text{ mA @ } 60 \text{ V}$
- Excellent dc Gain — $h_{FE} = 40 \text{ Typ @ } 3.0 \text{ A}$
- High Current Gain Bandwidth Product — $h_{f\beta} = 3.0 \text{ min @ } I_C = 0.5 \text{ A, } f = 1.0 \text{ MHz}$

**10 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS**

**100 VOLTS
80 WATTS**



MAXIMUM RATINGS

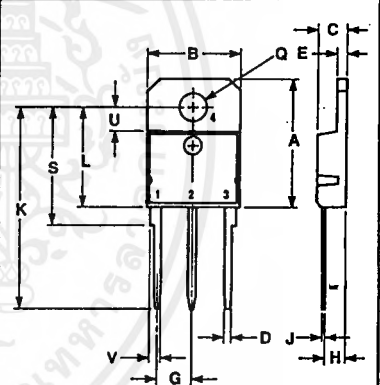
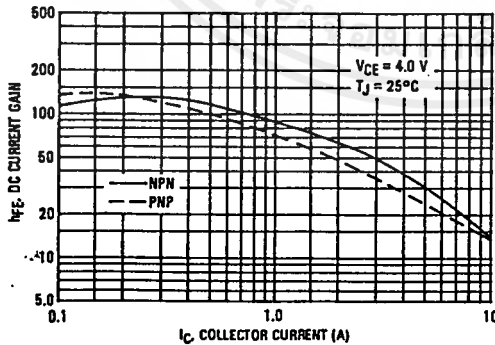
Rating	Symbol	TIP33B TIP34B	TIP33C TIP34C	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	80 V	100 V	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	80 V	100 V	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0		Vdc
Collector Current — Continuous Peak (1)	I_C	10	15	Adc
Base Current — Continuous	I_B	3.0		Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	80	0.64	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.56	°C/W
Junction-To-Free-Air Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	35.7	°C/W

(1) Pulse Test: Pulse Width = 10 ms, Duty Cycle < 10%.

FIGURE 1 — DC CURRENT GAIN



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.

STYLE 1:
1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR

SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
A	1.27	1.27	1.27	mm
B	1.27	1.27	1.27	mm
C	1.27	1.27	1.27	mm
D	1.27	1.27	1.27	mm
E	1.27	1.27	1.27	mm
F	1.27	1.27	1.27	mm
G	1.27	1.27	1.27	mm
H	1.27	1.27	1.27	mm
I	1.27	1.27	1.27	mm
J	1.27	1.27	1.27	mm
K	1.27	1.27	1.27	mm
L	1.27	1.27	1.27	mm
M	1.27	1.27	1.27	mm
N	1.27	1.27	1.27	mm
O	1.27	1.27	1.27	mm
P	1.27	1.27	1.27	mm
Q	1.27	1.27	1.27	mm
R	1.27	1.27	1.27	mm
S	1.27	1.27	1.27	mm
T	1.27	1.27	1.27	mm
U	1.27	1.27	1.27	mm
V	1.27	1.27	1.27	mm

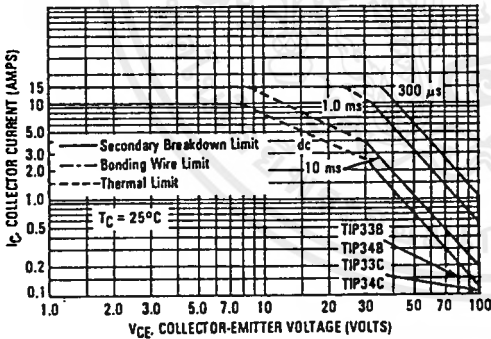
**CASE3400-01
TO-218AC**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 30\text{ mA}, I_B = 0$)	TIP33B, TIP34B TIP33C, TIP34C	$V_{CE(sus)}$	80 100	— —	Vdc
Collector-Emitter Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ V}, I_B = 0$)	TIP33B, TIP33C, TIP34B, TIP34C	I_{CEO}	—	0.7	mA
Collector-Emitter Cutoff Current ($V_{CE} = \text{Rated } V_{CEO}, V_{EB} = 0$)		I_{CES}	—	0.4	mA
Emitter-Base Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0\text{ V}, I_C = 0$)		I_{EBO}	—	1.0	mA
ON CHARACTERISTICS (1)					
DC Current Gain ($I_C = 1.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$) ($I_C = 3.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$)		h_{FE}	40 20	— 100	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ A}, I_B = 0.3\text{ A}$) ($I_C = 10\text{ A}, I_B = 2.5\text{ A}$)		$V_{CE(sat)}$	— —	1.0 4.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$) ($I_C = 10\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	— —	1.6 3.0	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Small-Signal Current Gain ($I_C = 0.5\text{ A}, V_{CE} = 10\text{ V}, f = 1.0\text{ kHz}$)		h_{fe}	20	—	—
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ A}, V_{CE} = 10\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$)		f_T	3.0	—	MHz

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

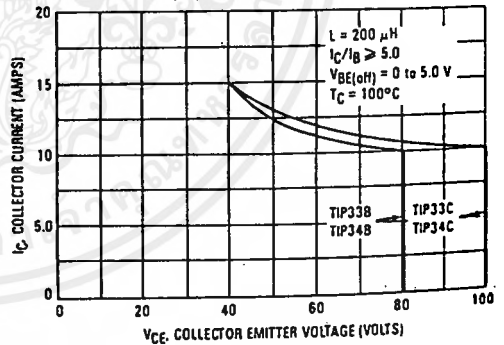
FIGURE 2 — MAXIMUM RATED FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA



FORWARD BIAS

The Forward Bias Safe Operating Area represents the voltage and current conditions these devices can withstand during forward bias. The data is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10%, and must be derated thermally for $T_C > 25^\circ\text{C}$.

FIGURE 3 — MAXIMUM RATED REVERSE BIAS SAFE OPERATING AREA



REVERSE BIAS

The Reverse Bias Safe Operating Area represents the voltage and current conditions these devices can withstand during reverse biased turn-off. This rating is verified under clamped conditions so the device is never subjected to an avalanche mode.

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MBR1035
MBR1045

MBR1045 is a
Motorola Preferred Device

SWITCHMODE POWER RECTIFIERS

... using the Schottky Barrier principle with a platinum barrier metal.
These state-of-the-art devices have the following features:

- Guardring for Stress Protection
- Low Forward Voltage
- 150°C Operating Junction Temperature
- Guaranteed Reverse Avalanche
- Epoxy Meets UL94, V0 at 1/8"

**SCHOTTKY BARRIER
RECTIFIERS**

10 AMPERES
20 to 45 VOLTS



CASE 221B-02
TO-220AC
PLASTIC

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MBR1035	MBR1045	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	35	45	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated V _R) T _C = 135°C	I _{F(AV)}	10	10	Amps
Peak Repetitive Forward Current (Rated V _R , Square Wave, 20 kHz) T _C = 135°C	I _{FRM}	20	20	Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I _{FSM}	150	150	Amps
Peak Repetitive Reverse Surge Current (2.0 μs, 1.0 kHz) See Figure 12	I _{RRM}	1.0	1.0	Amps
Operating Junction Temperature	T _J	-65 to +150	-65 to +150	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-65 to +175	-65 to +175	°C
Voltage Rate of Change (Rated V _R)	dv/dt	1000	1000	V/μs

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	MBR1035	MBR1045	Unit
Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	2.0	2.0	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	MBR1035	MBR1045	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) (I _F = 10 A, T _C = 125°C) (I _F = 20 A, T _C = 125°C) (I _F = 20 A, T _C = 25°C)	v _F	0.57 0.72 0.84	0.57 0.72 0.84	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated dc Voltage, T _C = 125°C) (Rated dc Voltage, T _C = 25°C)	i _R	15 0.1	15 0.1	mA

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIG 1 MAXIMUM FORWARD VOLTAGE

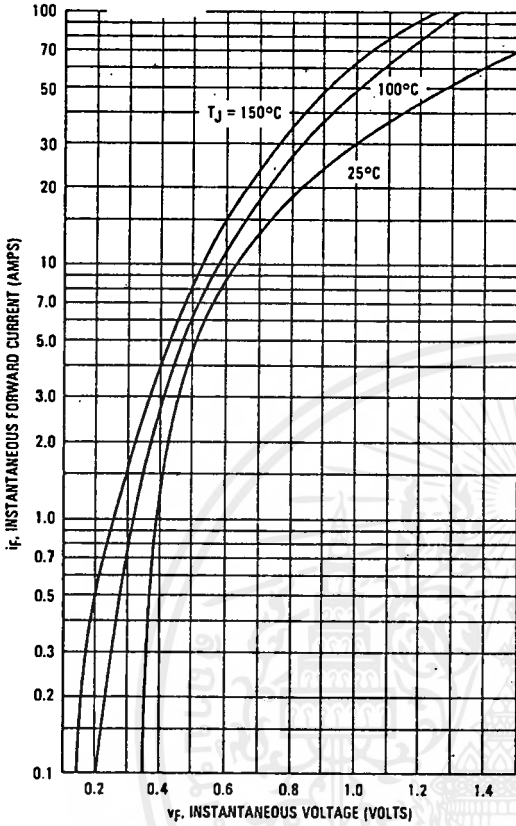


FIGURE 2 — TYPICAL FORWARD VOLTAGE

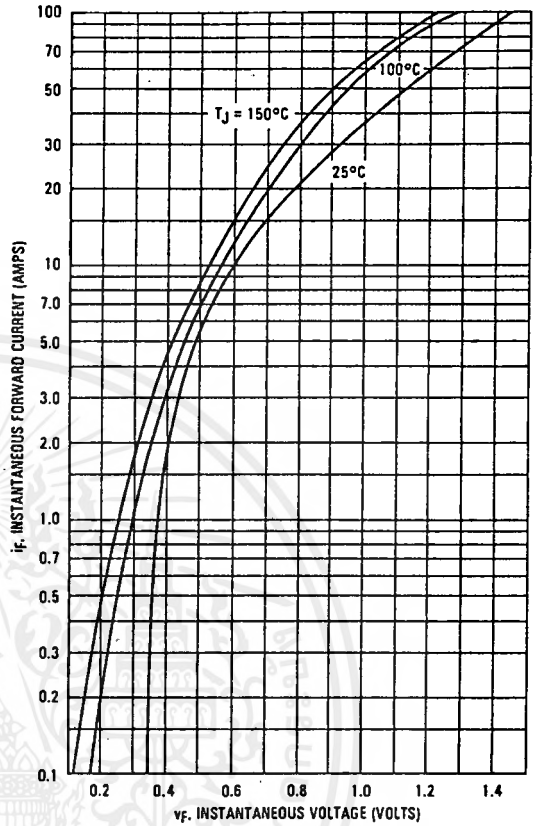


FIGURE 3 — MAXIMUM REVERSE CURRENT

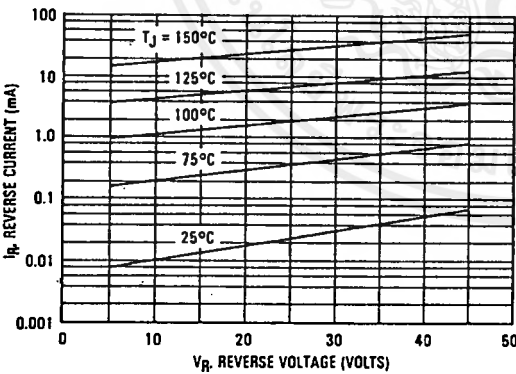
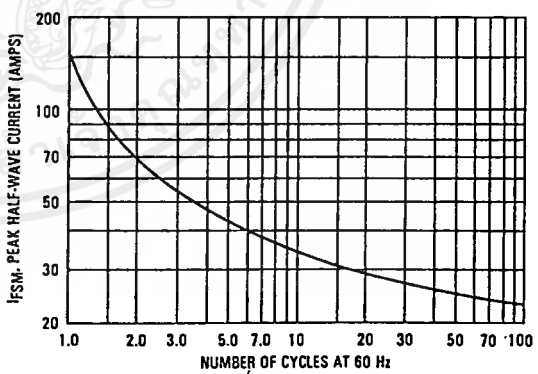


FIGURE 4 — MAXIMUM SURGE CAPABILITY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 5 — CURRENT DERATING, INFINITE HEATSINK

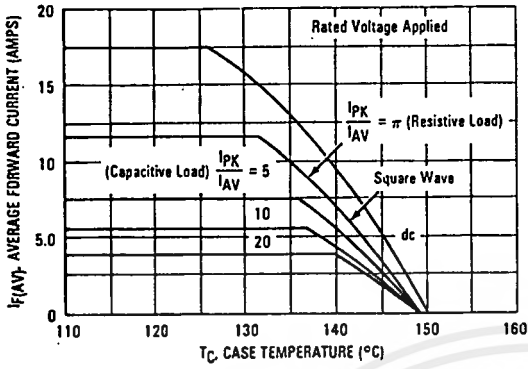


FIGURE 6 — CURRENT DERATING, $R_{\theta JA} = 16^{\circ}C/W$

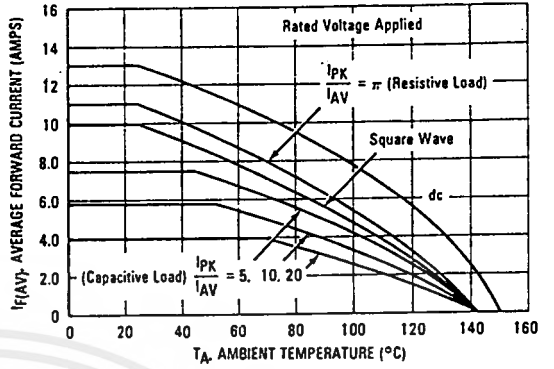


FIGURE 7 — FORWARD POWER DISSIPATION

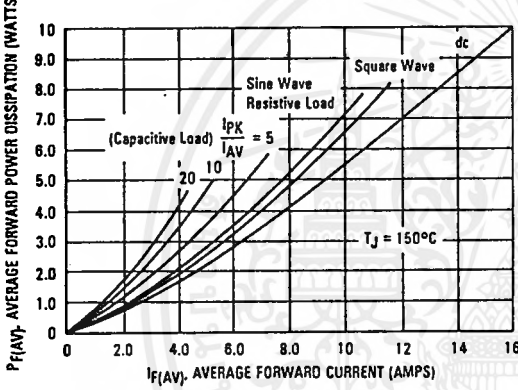


FIGURE 8 — CURRENT DERATING, FREE AIR

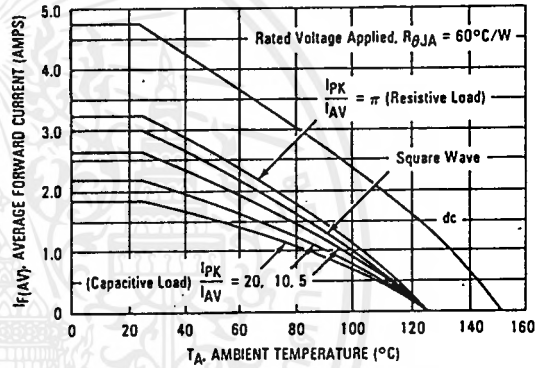
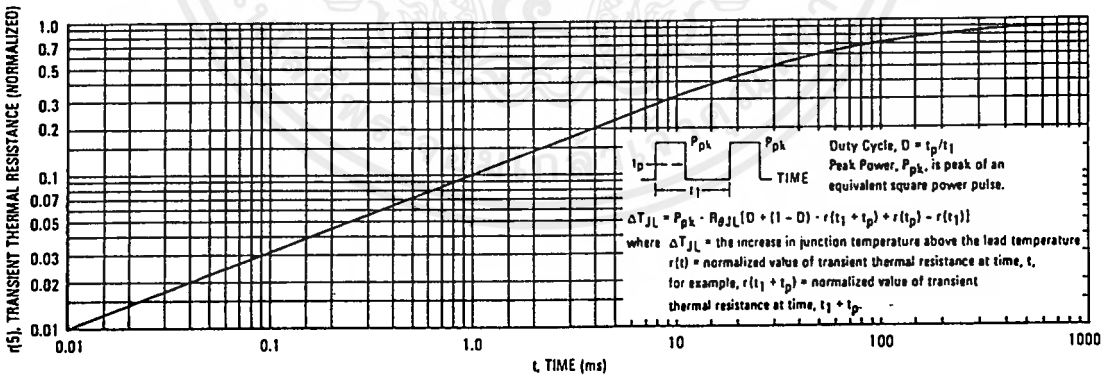


FIGURE 9 — THERMAL RESPONSE



HIGH FREQUENCY OPERATION

Since current flow in a Schottky rectifier is the result of majority carrier conduction, it is not subject to junction diode forward and reverse recovery transients due to minority carrier injection and stored charge. Satisfactory circuit analysis work may be performed by using a model consisting of an ideal diode in parallel with a variable capacitance. (See Figure 10.)

Rectification efficiency measurements show that operation will be satisfactory up to several megahertz. For example, relative waveform rectification efficiency is approximately 70 per cent at 2.0 MHz, e.g., the ratio of dc power to RMS power in the load is 0.28 at this frequency, whereas perfect rectification would yield 0.406 for sine wave inputs. However, in contrast to ordinary junction diodes, the loss in waveform efficiency is not indicative of power loss; it is simply a result of reverse current flow through the diode capacitance, which lowers the dc output voltage.

FIGURE 10 — CAPACITANCE

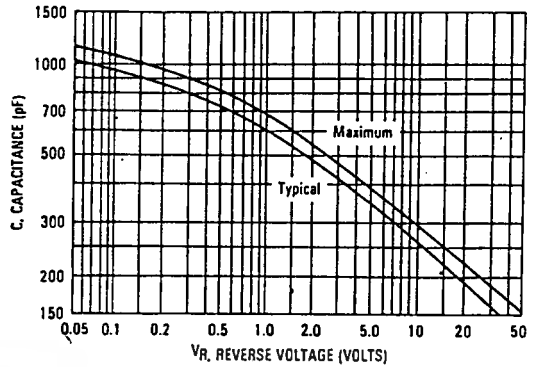
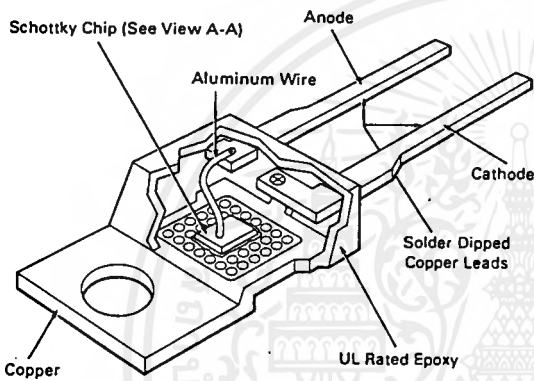
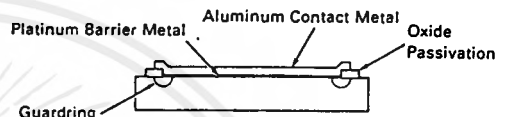


FIGURE 11 — SCHOTTKY RECTIFIER



Schottky Chip — View A-A



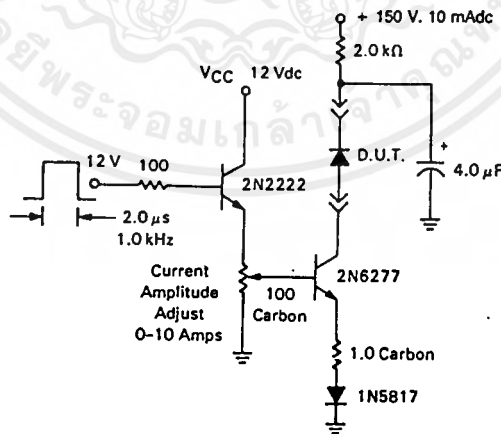
Motorola builds quality and reliability into its Schottky Rectifiers.

First is the chip, which has an interface metal between the barrier metal and aluminum-contact metal to eliminate any possible interaction between the two. The indicated guardring prevents dv/dt problems, so snubbers are not mandatory. The guardring also operates like a zener to absorb over-voltage transients.

Second is the package. The Schottky chip is bonded to the copper heat sink using a specially formulated solder. This gives the unit the capability of passing 10,000 operating thermal-fatigue cycles having a ΔT_J of 100°C. The epoxy molding compound is rated per UL 94, VO @ 1/8". Wire bonds are 100% tested in assembly as they are made.

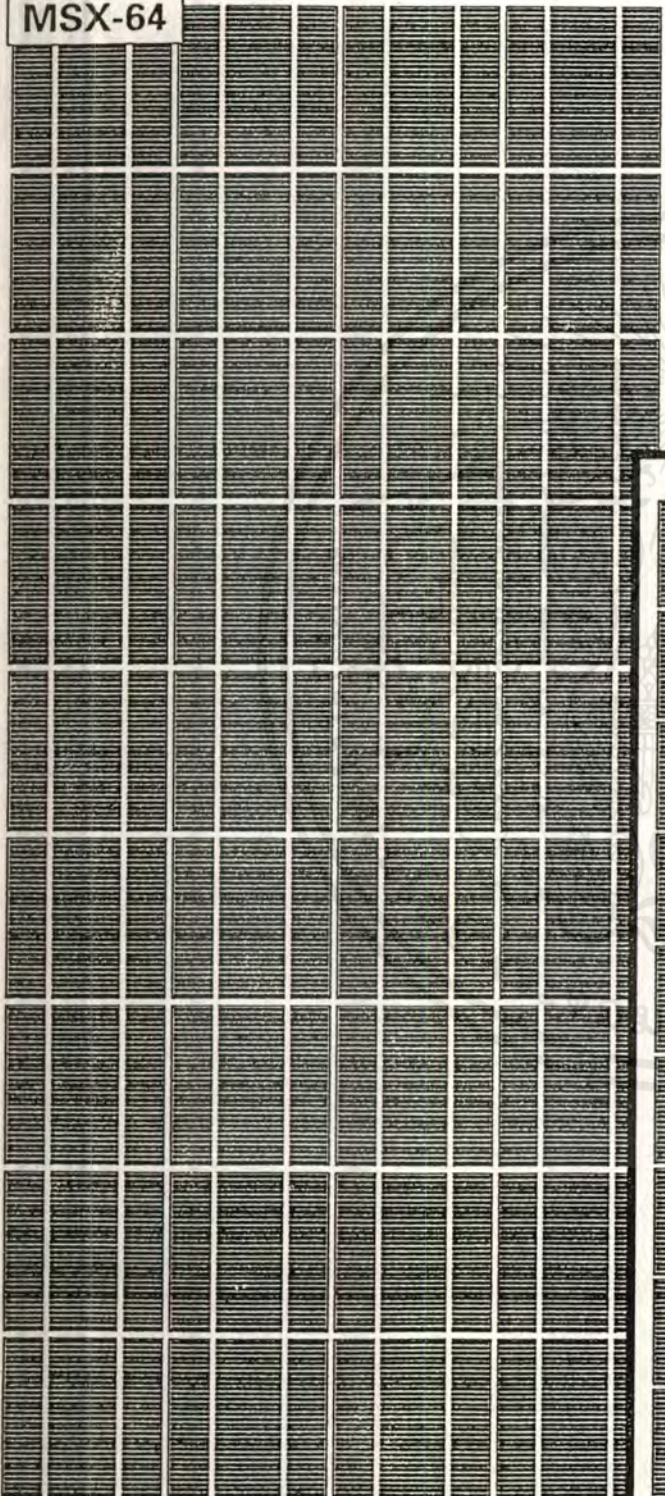
Third is the electrical testing, which includes 100% dv/dt at 1600 V/ μ s and reverse avalanche as part of device characterization.

FIGURE 12 — TEST CIRCUIT FOR dv/dt AND REVERSE SURGE CURRENT

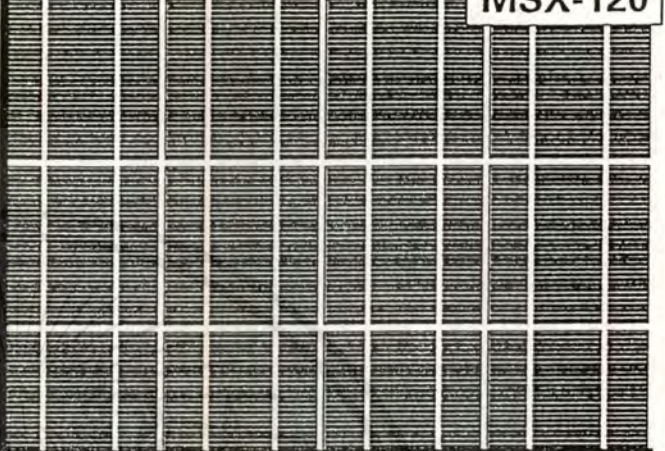


Mega™ Modules Over 38 Watts

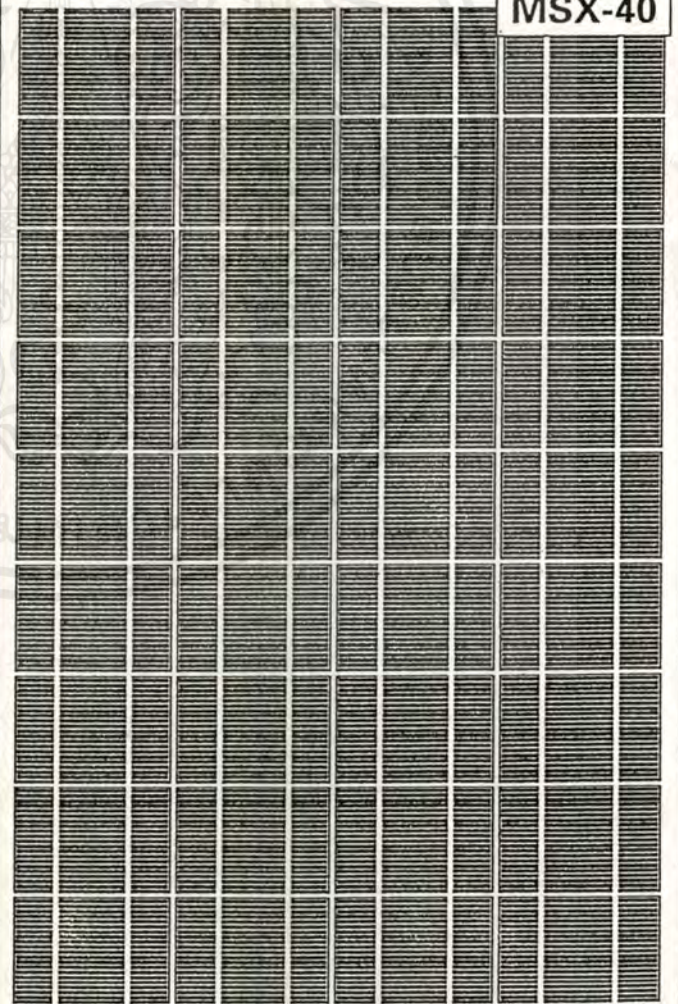
MSX-64



MSX-120



MSX-40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้บริการใช้ข้อมูลนี้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

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.

Installation

Mounting Dimensions

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

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

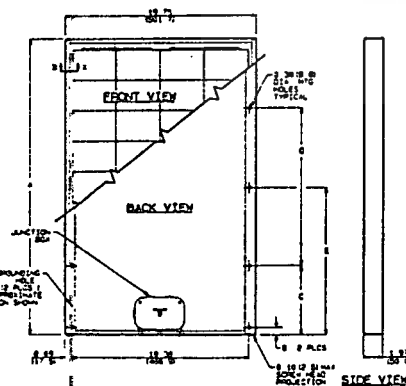
A broad range of pre-engineered mounting kits and hardware for these modules is available from Solarex. Contact your Solarex Distributor or Representative for information on these

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

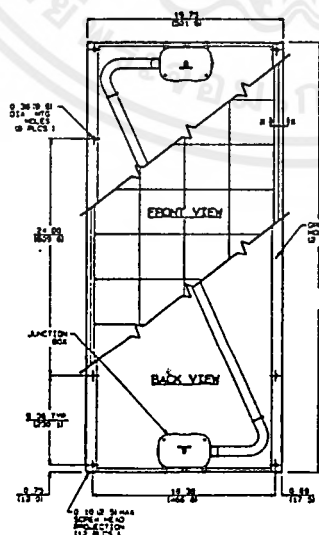
Orientation

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.

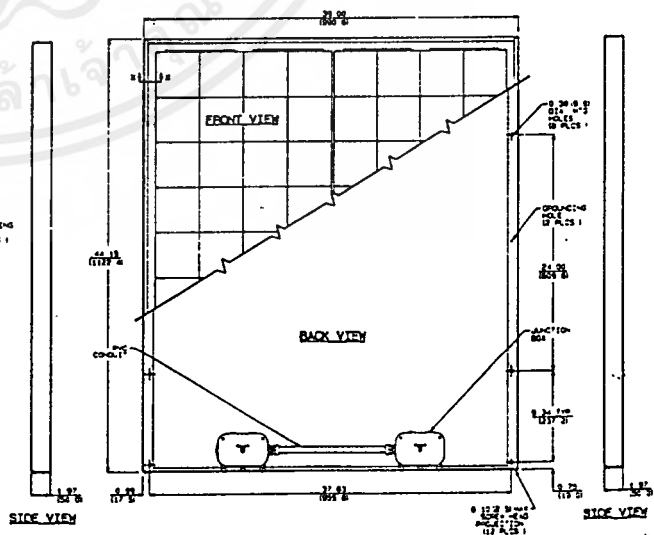
	DIM. A	DIM. B	DIM. C	DIM. D	DIM. E
MSX-60	43.63 (1108.2)	0.75 (19.1)	9.81 (249.2)	24.00 (609.6)	—
MSX-50	38.90 (987.3)	0.75 (19.1)	6.45 (163.8)	24.00 (609.6)	—
MSX-40	30.13 (765.3)	—	7.06 (179.3)	16.00 (406.4)	15.06 (382.5)



MSX-40 through MSX-64



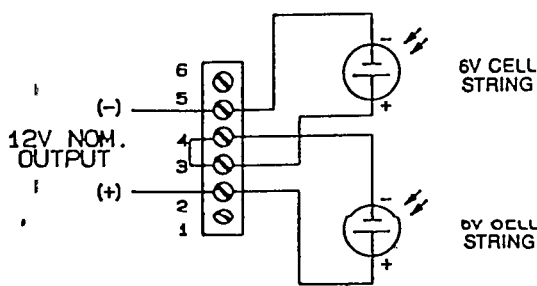
MSX-50CP



MSX-120

Dimensions given in Inches and Millimeters (Millimeters shown in parenthesis)

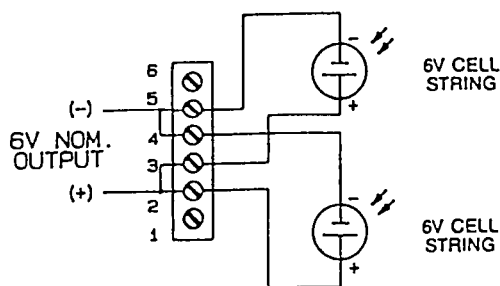
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า
 มิใช่การนำออกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 มิใช่การนำออกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 มิใช่การนำออกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต



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.¹

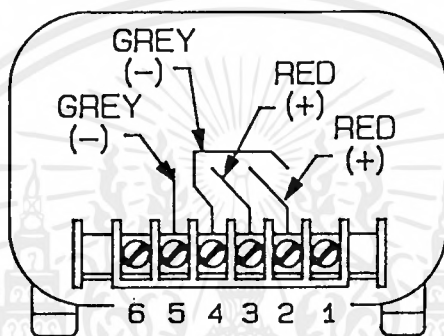
If modules are not cleaned regularly, it is recommended that they not be mounted at an angle flatter than 15°. Flatter angles cannot take full advantage of the cleansing action of rainfall.

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.

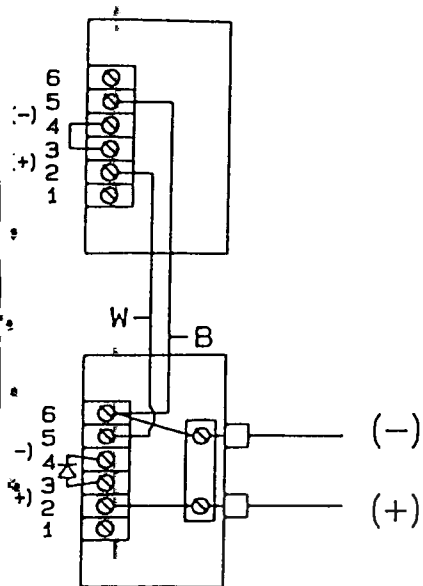
For applications requiring charge regulation, Solarex recommends its Solarstate™ Control, which includes a blocking diode. This regulator is efficient, inexpensive, and easy to install.

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

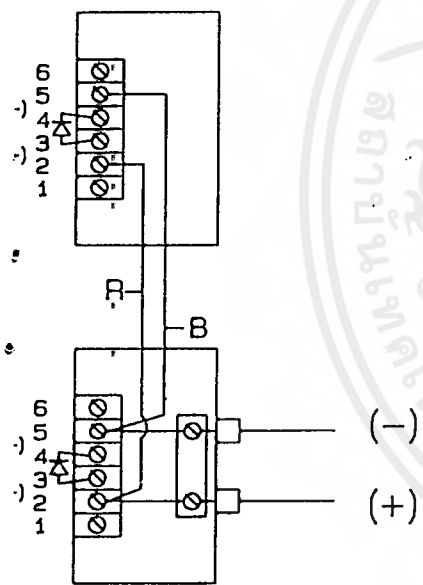
Multiple Module Arrays

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)

Note: Modules connected in series must have the same power rating.



Drawing E (Parallel)

If 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.

Obtaining Warranty Performance

If you feel you have a claim under this warranty, contact the vendor who sold you the product, any authorized Solarex service representative, or Solarex at the address set forth below. You will be advised 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 LEGAL RIGHTS, AND YOU MAY ALSO HAVE OTHER RIGHTS WHICH VARY FROM STATE TO STATE.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ 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) modules, a product line which is the culmination of 10 years of extensive research in semi-line 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.

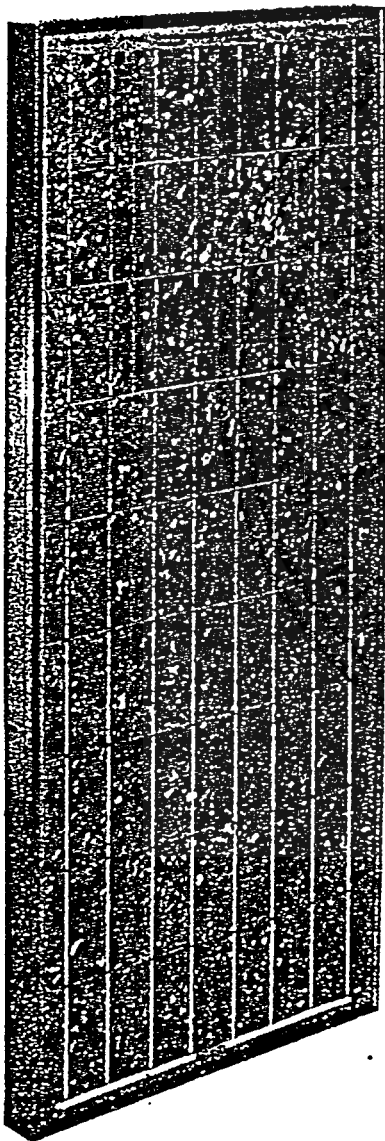
INDIVIDUALLY TESTED, LABELED AND WARRANTED

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;



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

UAL 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.

ARGE, 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.

ROVEN 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.

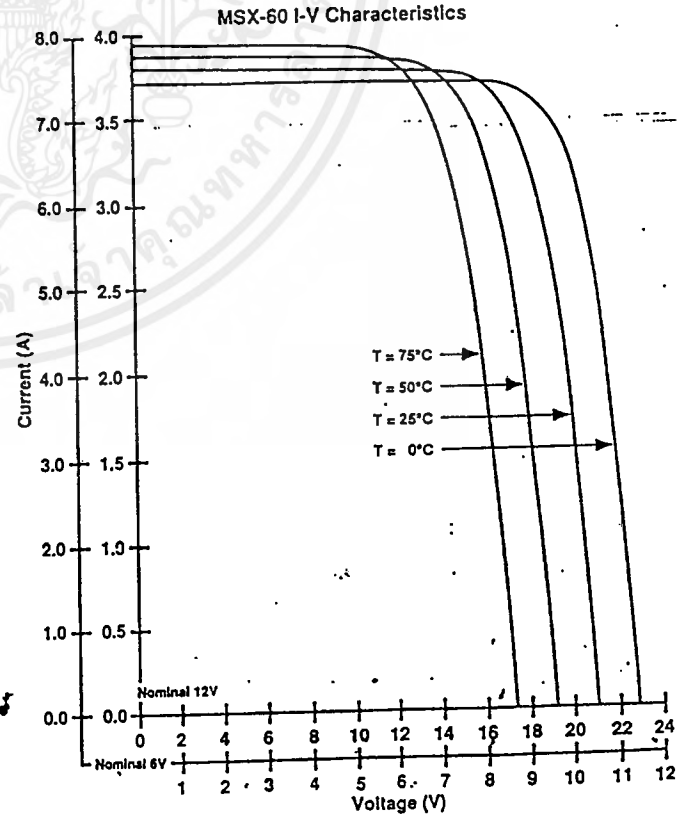
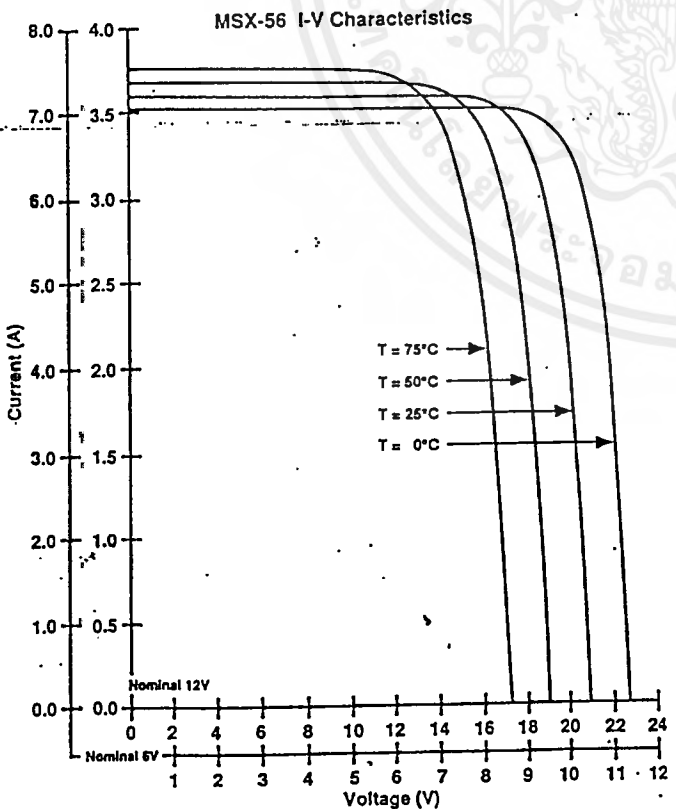
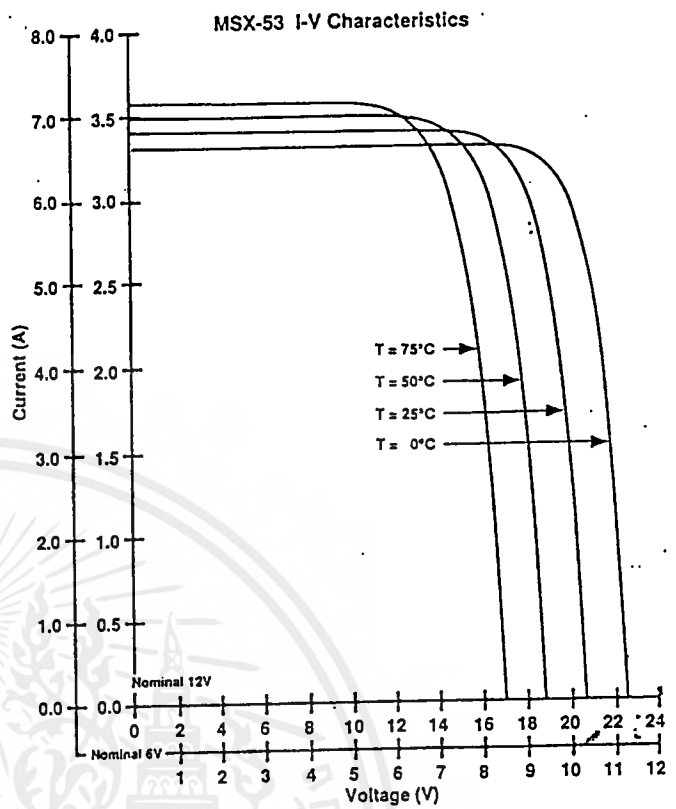
The current and power output of photovoltaic modules are approximately proportional to illumination intensity. At a given intensity, a module's output current and operating voltage are determined by the characteristics of the load. If that load is a battery, the battery's internal impedance will dictate 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.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS(1)

12 VOLT CONFIGURATION(2)

	MSX-53	MSX-56	MSX-60
Typical 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:**
- (1) 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).
 - (2) 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.
 - (3) 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.



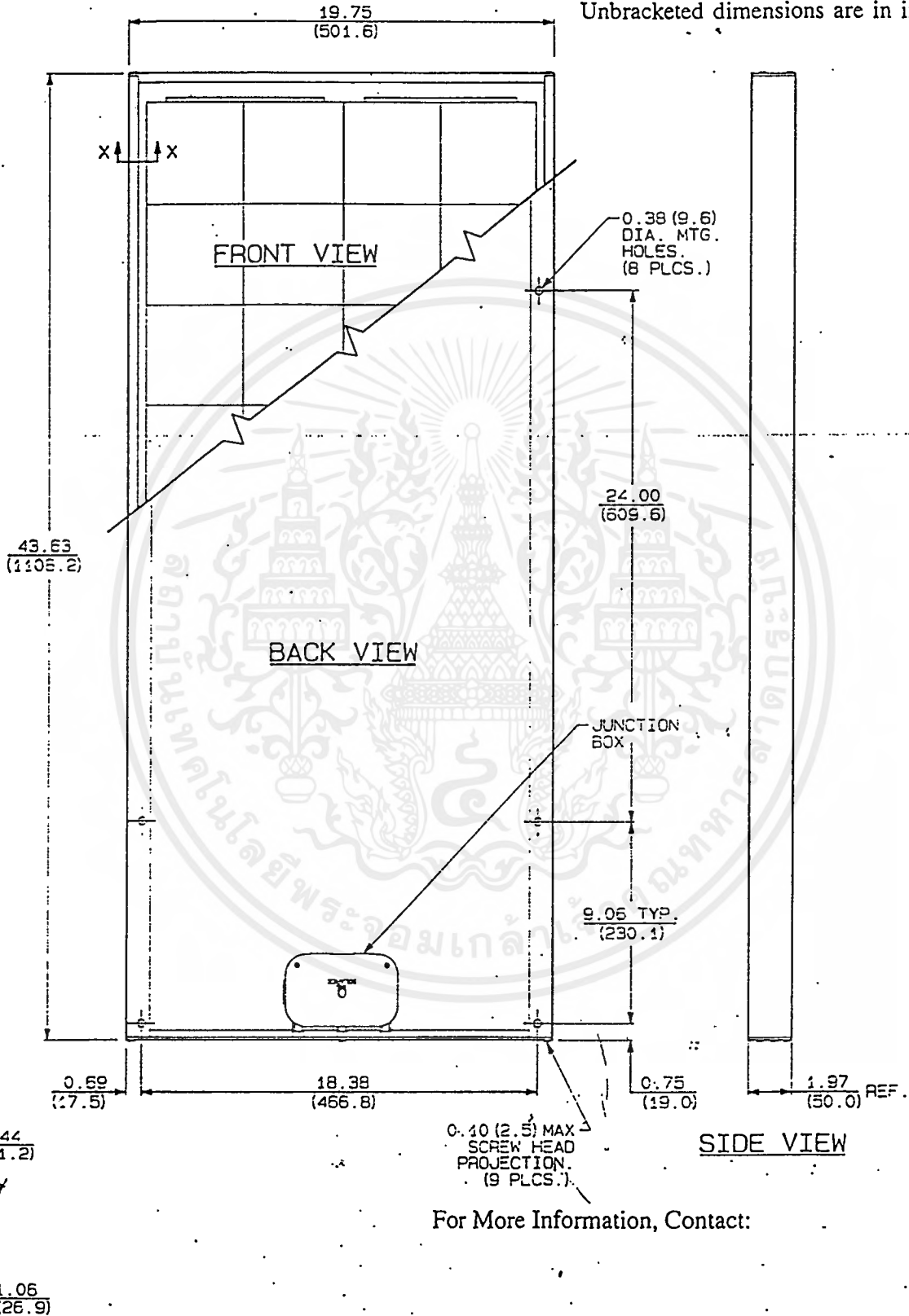
MECHANICAL CHARACTERISTICS

EGA 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

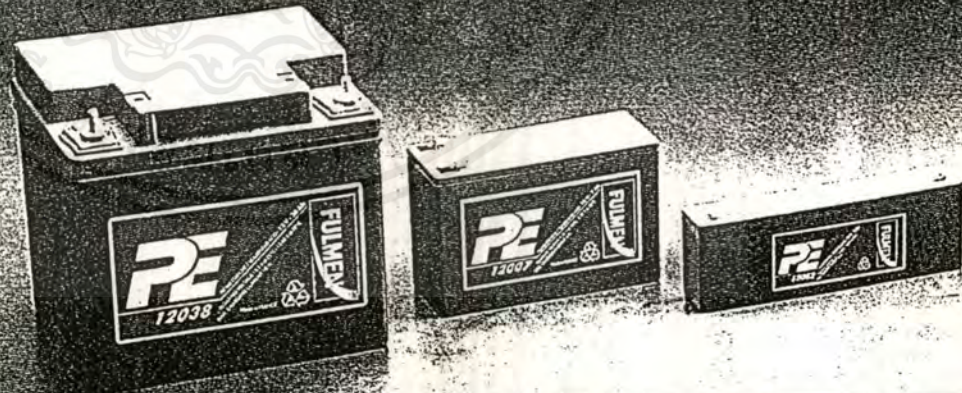
Unbracketed dimensions are in inches



For More Information, Contact:

PE

STATIONARY BATTERIES
VALVE REGULATED LEAD ACID



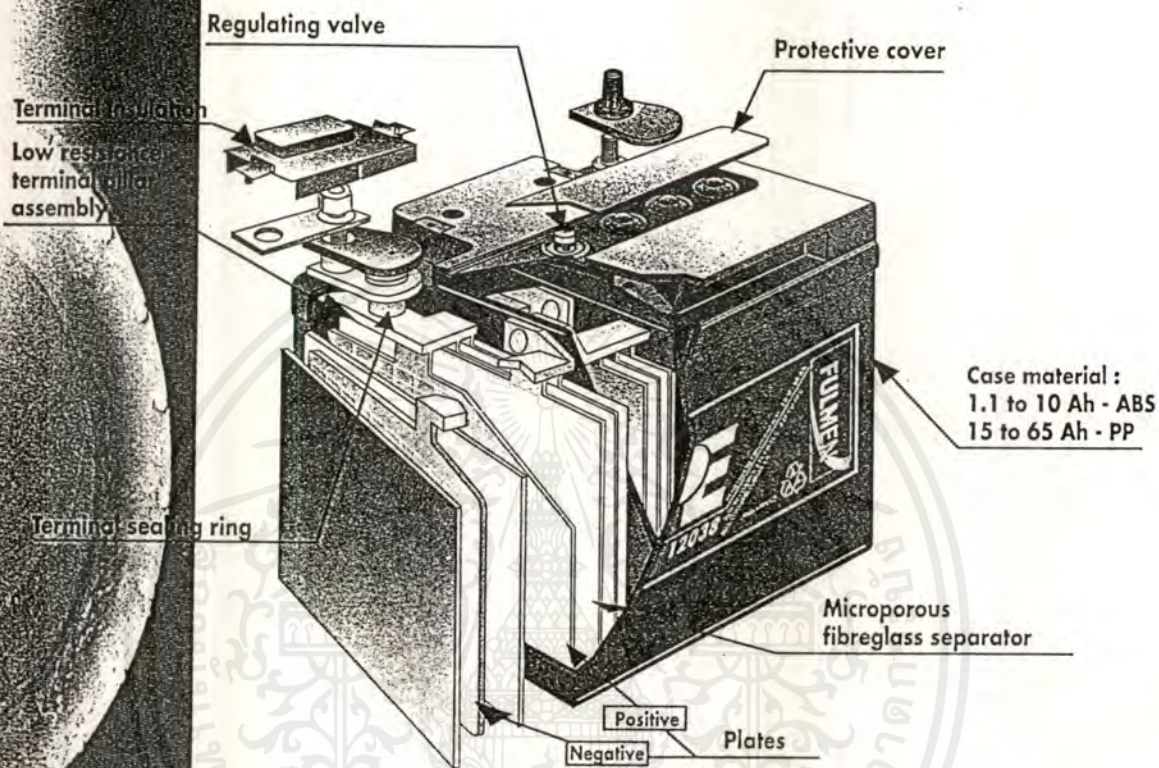
FULMEN

N° 1 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** serie, 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

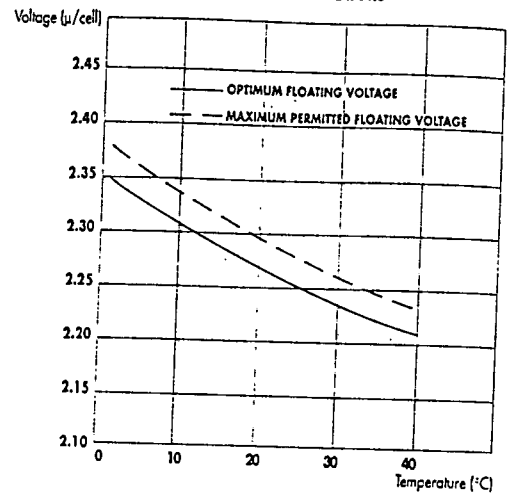
Float charge voltage level

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



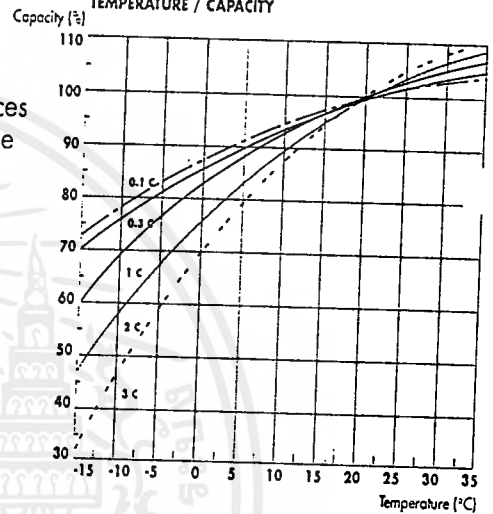
Influence of temperature on capacity

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

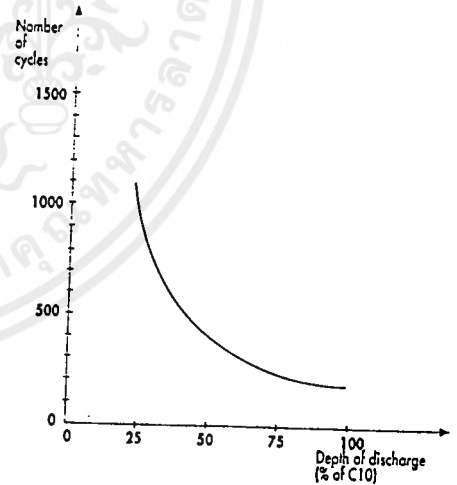


Cycling applications

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

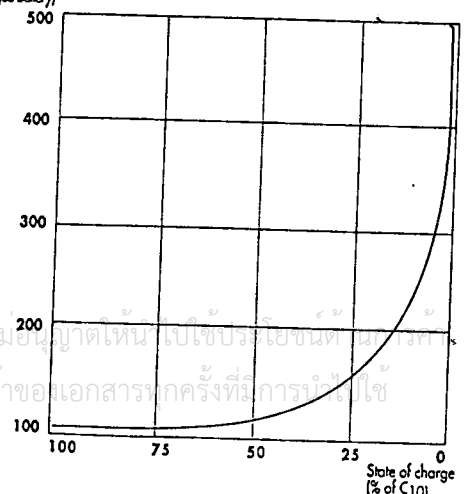


Internal resistance

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 PZ 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.

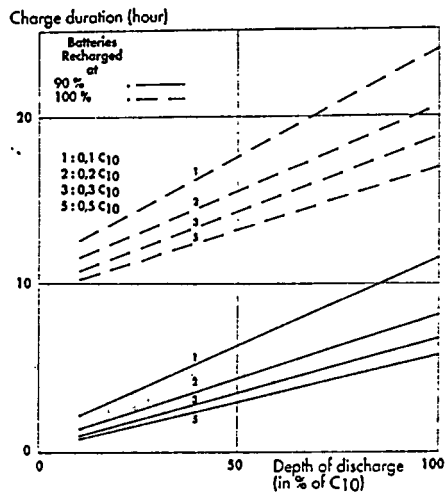
Example :

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.

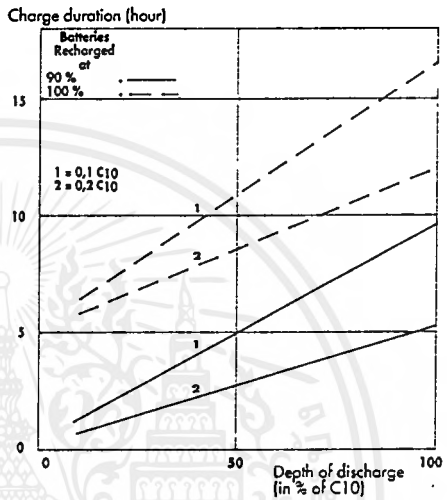
We recommend that the batteries are not discharged more than 80% of nominal capacity.

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

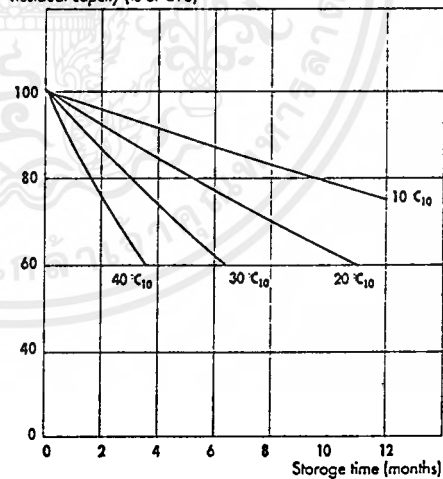
CHARGES IN USE AT CONSTANT VOLTAGE WITH LIMITED CURRENT. $m = 2,27 \text{ V} / \text{CELL} (+20^\circ \text{C})$



CHARGES IN USE AT CONSTANT VOLTAGE WITH LIMITED CURRENT. $m = 2,40 \text{ V} / \text{CELL} (+20^\circ \text{C})$ (CYCLING)



CHARGE STATE / STORAGE TEMPERATURE



Storage temperature / Self discharge

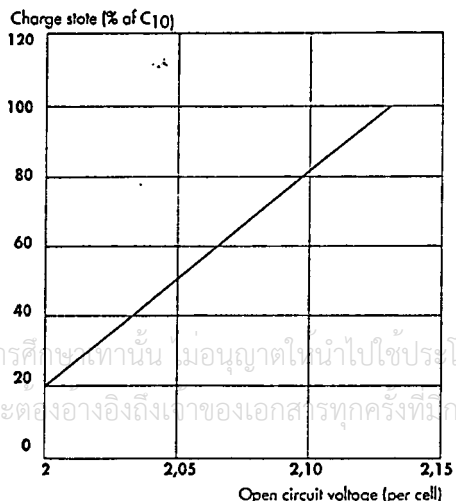
The rate of self discharge of a battery depends on the temperature of storage. A battery will lose charge state more rapidly when temperatures are high.

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 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	0.09	0.05
PE 1201.2	0.9	0.52	0.23	0.16	0.11	0.09	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	0.6	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.

ข้อมูลเหล่านี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น โปรดดูคู่มือการใช้งานเพื่อข้อมูลเพิ่มเติม
ข้อมูลเหล่านี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น โปรดดูคู่มือการใช้งานเพื่อข้อมูลเพิ่มเติม
ข้อมูลเหล่านี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น โปรดดูคู่มือการใช้งานเพื่อข้อมูลเพิ่มเติม

Rapid determination tables (in Watts)

End of discharge voltage 1.60 v

End of discharge voltage 1.65 v

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	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	

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		

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

End of discharge voltage 1.80 v

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	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	

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		

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	

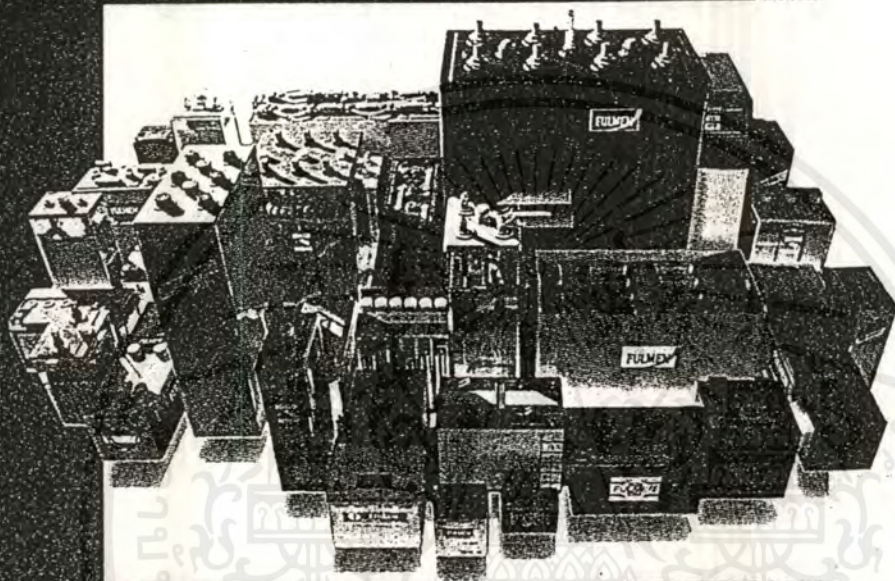
Installation and Mounting

• 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

ติดต่อเราไปรษณีย์หรือโทรสาร
เอกสารทุกครั้งที่มีกรรมาไปใช้

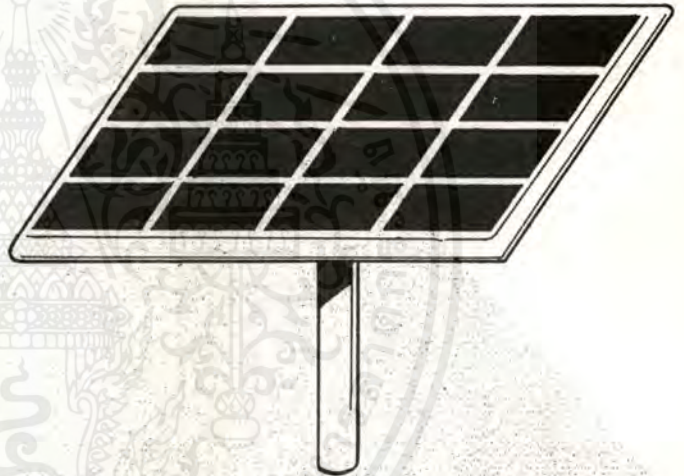


SOLAREX

An Amoco Company



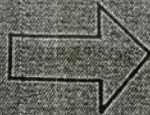
Facts & Figures



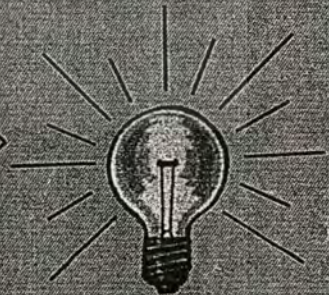
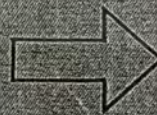
A COMPLETE PHOTOVOLTAIC SYSTEM



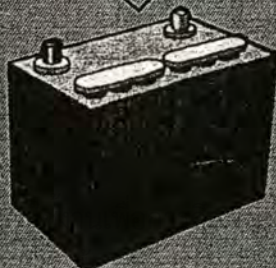
SOLAR CELL
ARRAY



CONTROLS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า.

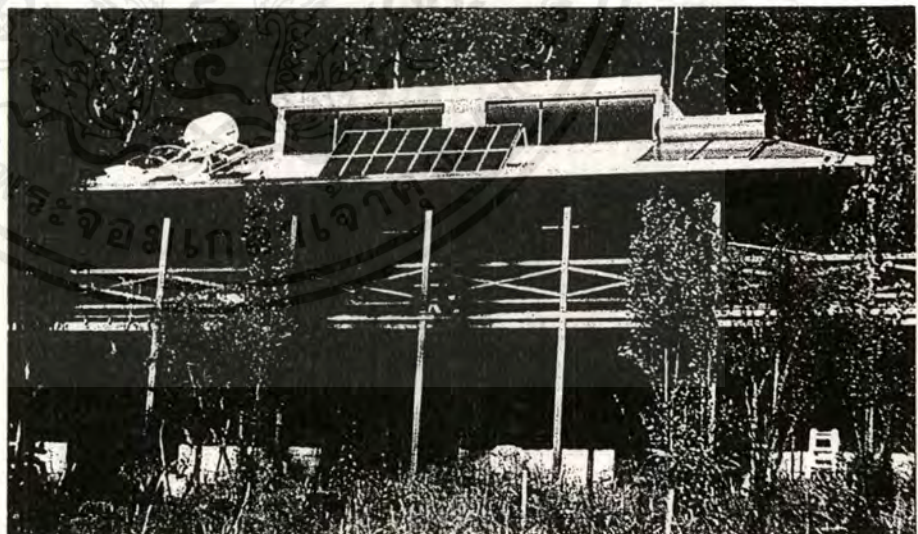
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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: \$

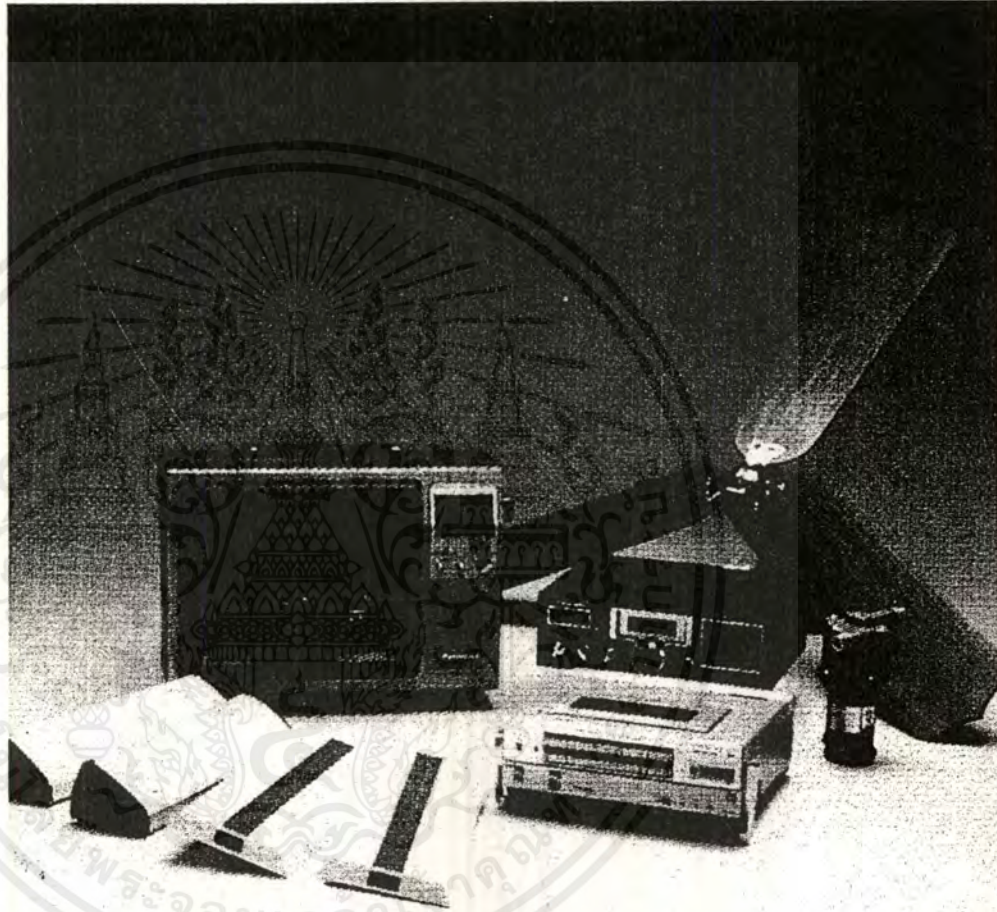
WHAT YOU CAN RUN

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

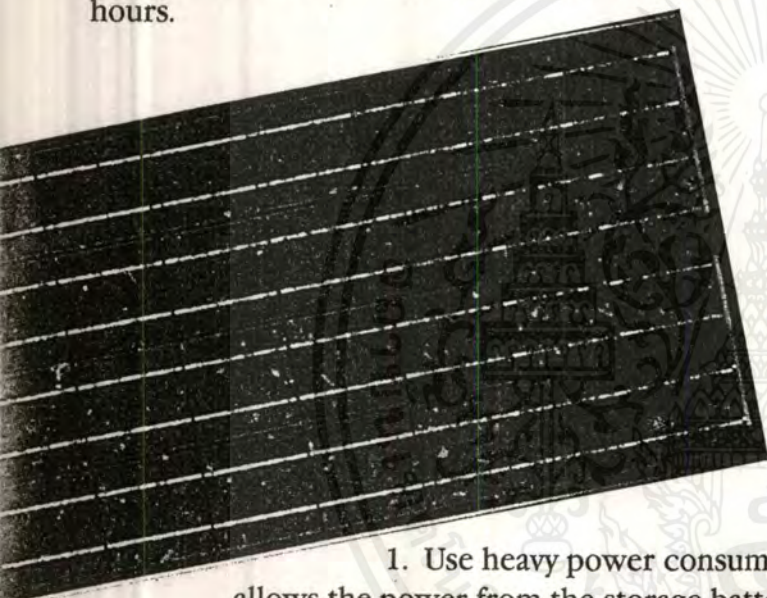
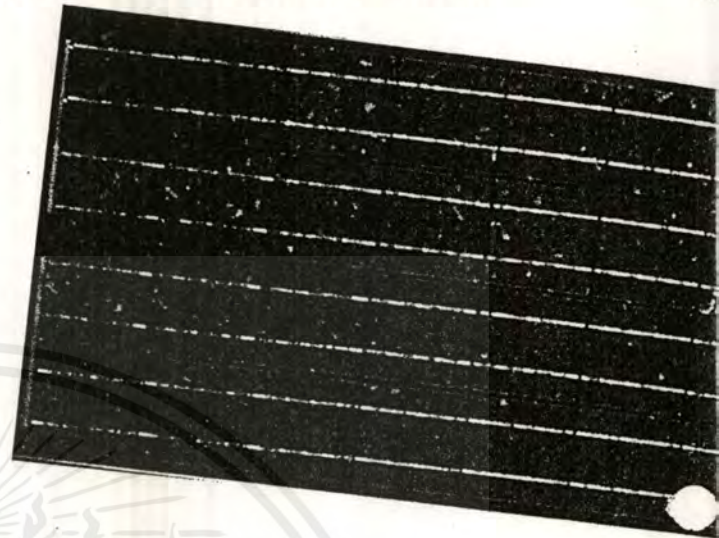
The purpose of this brochure is to provide you with an accurate guide to your photovoltaic requirements. By working out your appliance usage based on a daily average you will be able to ascertain the Solarex photovoltaic system that will best meet your demands. However, please remember that this is a 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO
An Amoco Sun

Table 3.7 Estimated global solar radiation. (Non-normalized method).

(Unit: cal./cm².day)

Code	Name of Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
303	CHIANG RAI	348.9	373.1	376.4	423.7	437.6	384.6	378.8	361.7	372.3	386.7	344.9	303.9	374.4
327	CHIANG MAI	363.4	387.2	405.7	437.8	444.7	392.4	376.6	356.7	371.9	398.7	360.7	326.9	385.2
353	LOEI	354.9	369.0	378.6	417.9	419.5	382.6	380.5	355.4	350.4	382.9	349.2	322.4	371.9
356	SAKON NAKHON	369.7	373.6	389.0	418.9	424.2	376.5	391.1	354.3	365.0	411.8	373.9	342.0	382.5
357	NAKHON PHANOM	352.6	354.1	366.2	402.0	406.5	358.3	358.7	335.7	351.0	393.8	360.5	329.0	364.0
378	PHITSANULOK	361.3	362.1	402.5	443.9	450.9	396.8	388.6	368.2	357.6	399.4	369.8	377.4	386.5
379	PHETCHABUN	343.4	351.8	390.9	418.8	412.2	368.4	355.2	325.5	329.4	384.0	364.4	334.7	364.9
381	XHON KHAEN	375.2	382.7	394.2	427.2	441.4	396.0	394.0	366.3	357.4	406.3	378.2	348.5	389.0
400	NAKHON SAWAN	372.1	384.5	400.1	438.1	439.5	389.6	385.6	365.0	351.0	397.1	373.3	347.1	386.9
405	PHI ET	368.2	378.8	396.3	433.4	448.6	403.8	410.0	375.8	360.7	405.6	372.2	343.2	391.4

Table 3.7 (Cont.)

Code	Name of Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
407	UBON RATCHATHANI	383.1	395.0	410.0	430.8	440.5	396.7	405.6	372.0	356.3	403.8	380.9	346.9	393.5
341	NAKHON RATCHASIMA	364.9	370.8	384.8	412.8	442.8	389.1	384.6	366.0	347.3	379.4	368.1	344.0	377.9
432	SUKIN	377.3	393.6	409.7	425.2	437.4	394.6	400.7	382.8	367.1	406.9	375.3	350.3	393.4
455	BANGKOK METROPOLIS	380.3	393.9	417.2	431.9	419.7	385.1	375.8	358.7	341.6	380.8	374.2	354.4	384.5
475	HUA HIN	383.8	400.3	416.3	429.6	410.1	362.2	355.6	340.9	337.6	370.4	363.5	359.3	377.5
480	CHANTABURI	387.2	392.9	403.5	419.9	388.1	349.0	342.0	329.5	312.7	366.7	378.5	368.4	369.9
551	SURAT THANI	376.2	423.7	428.5	419.1	395.6	365.9	376.2	363.9	338.2	336.7	309.2	334.8	372.3
565	PHUKET AIRPORT	405.6	444.3	446.9	426.0	381.5	345.4	359.7	352.6	323.3	354.2	346.9	372.3	379.9
568	SONGKHLA	387.6	428.0	438.6	441.2	412.0	378.8	390.1	379.4	351.5	350.2	313.5	338.6	384.1

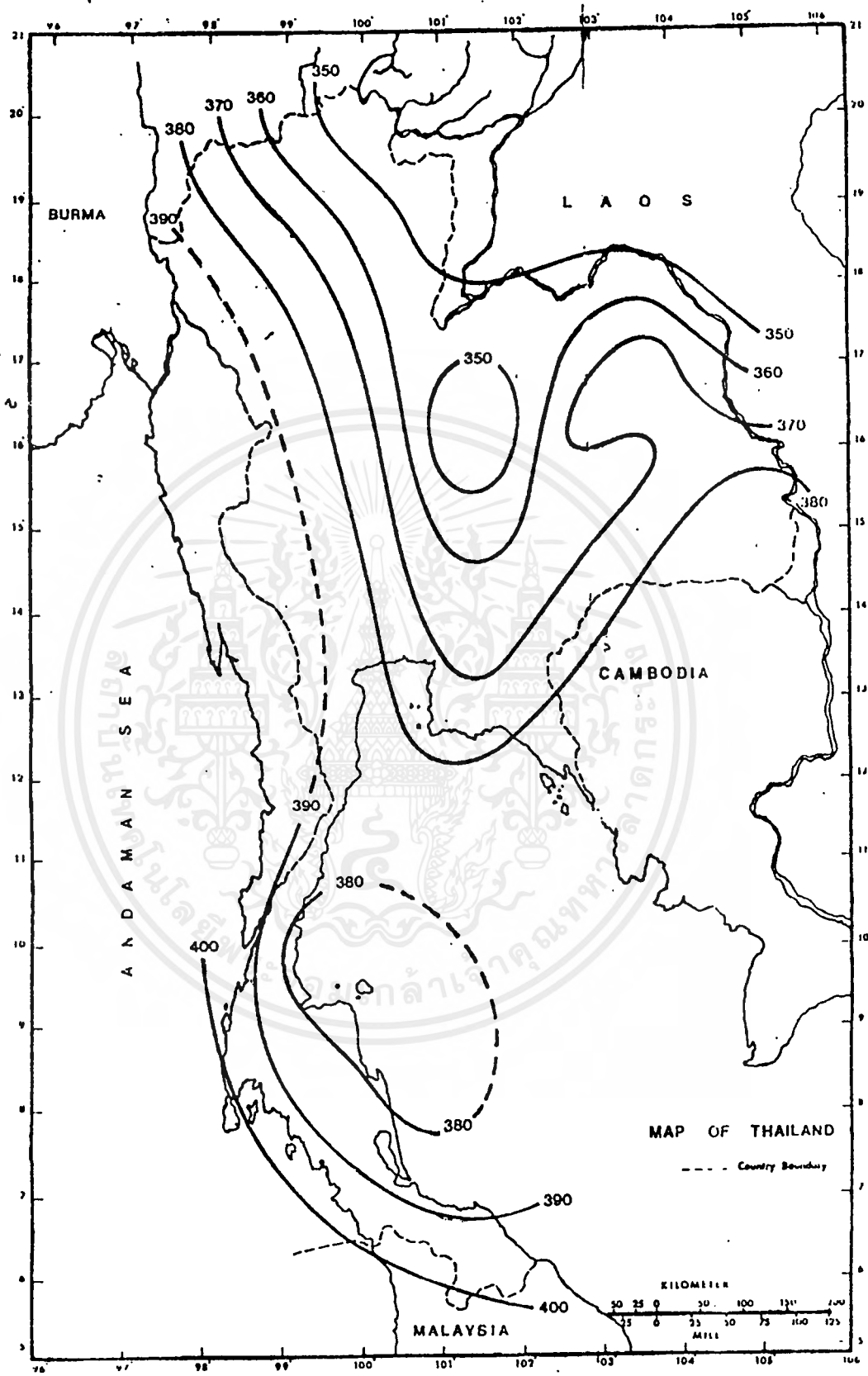


Fig.3.6 Monthly mean daily global solar radiation map of January.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (Unit: $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

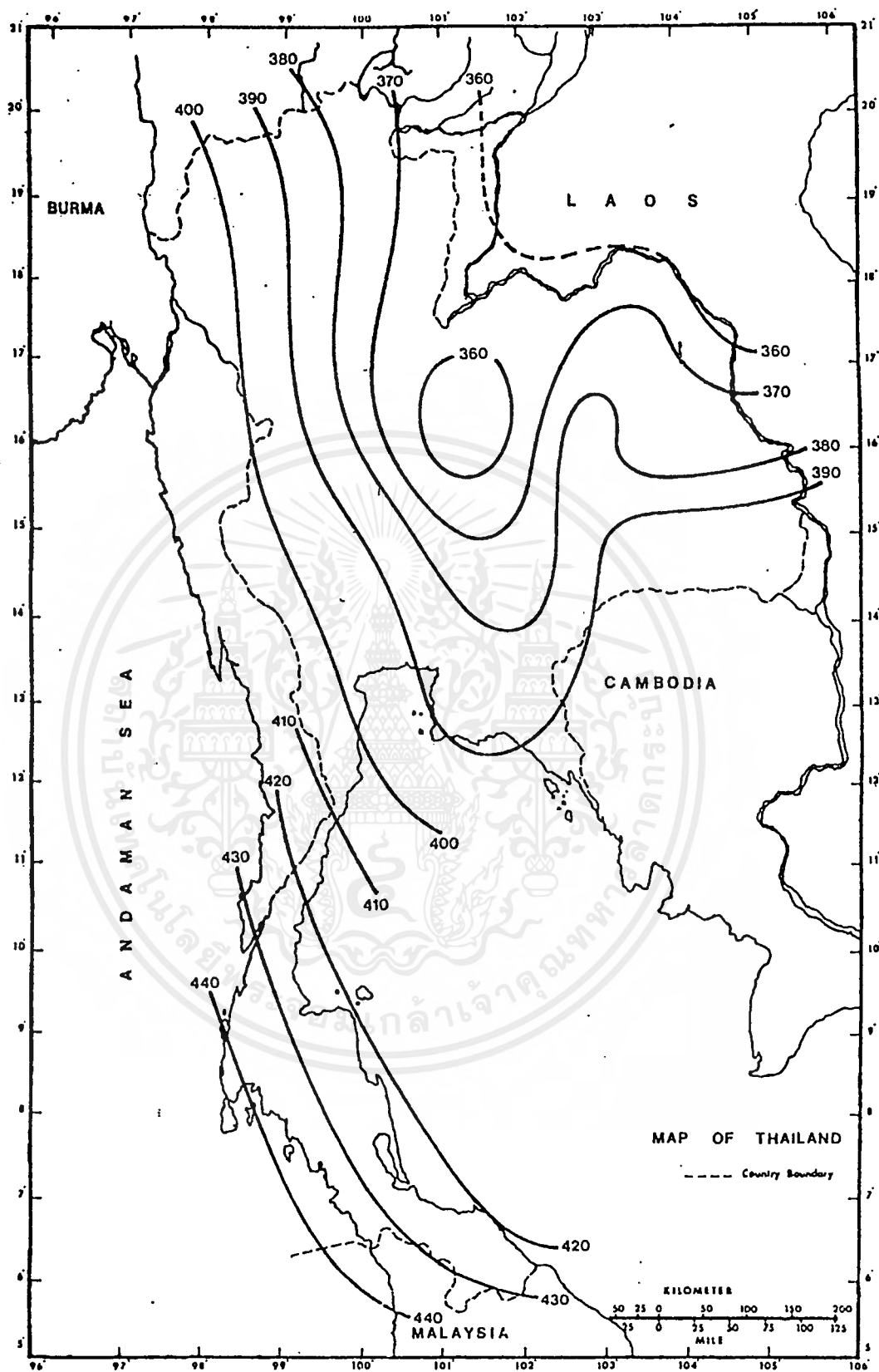


Fig.3.7 Monthly mean daily global solar radiation map of February:
(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

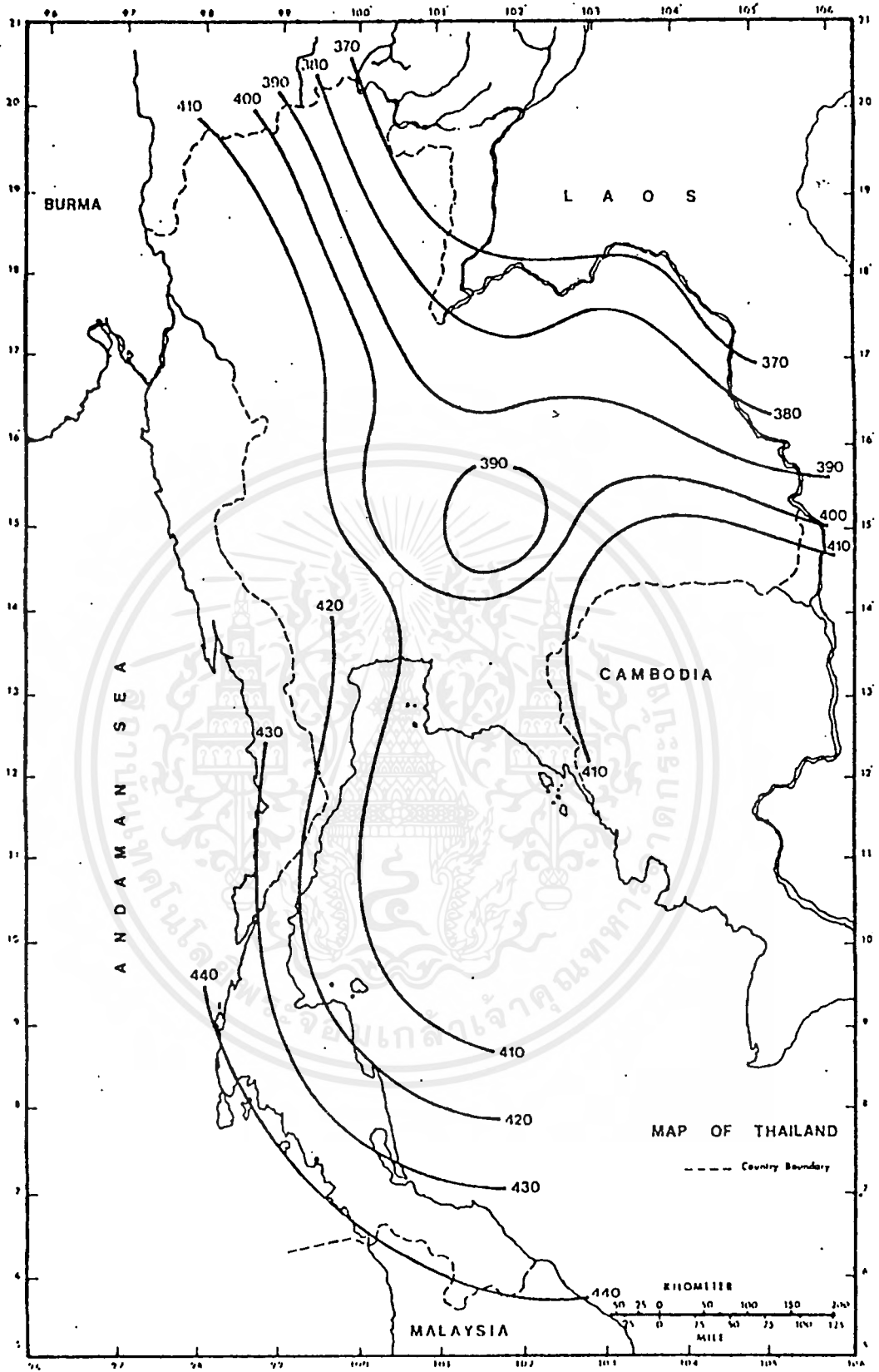


Fig. 3.3 Monthly mean daily global solar radiation map of March.
(Unit : cal/cm²/day)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

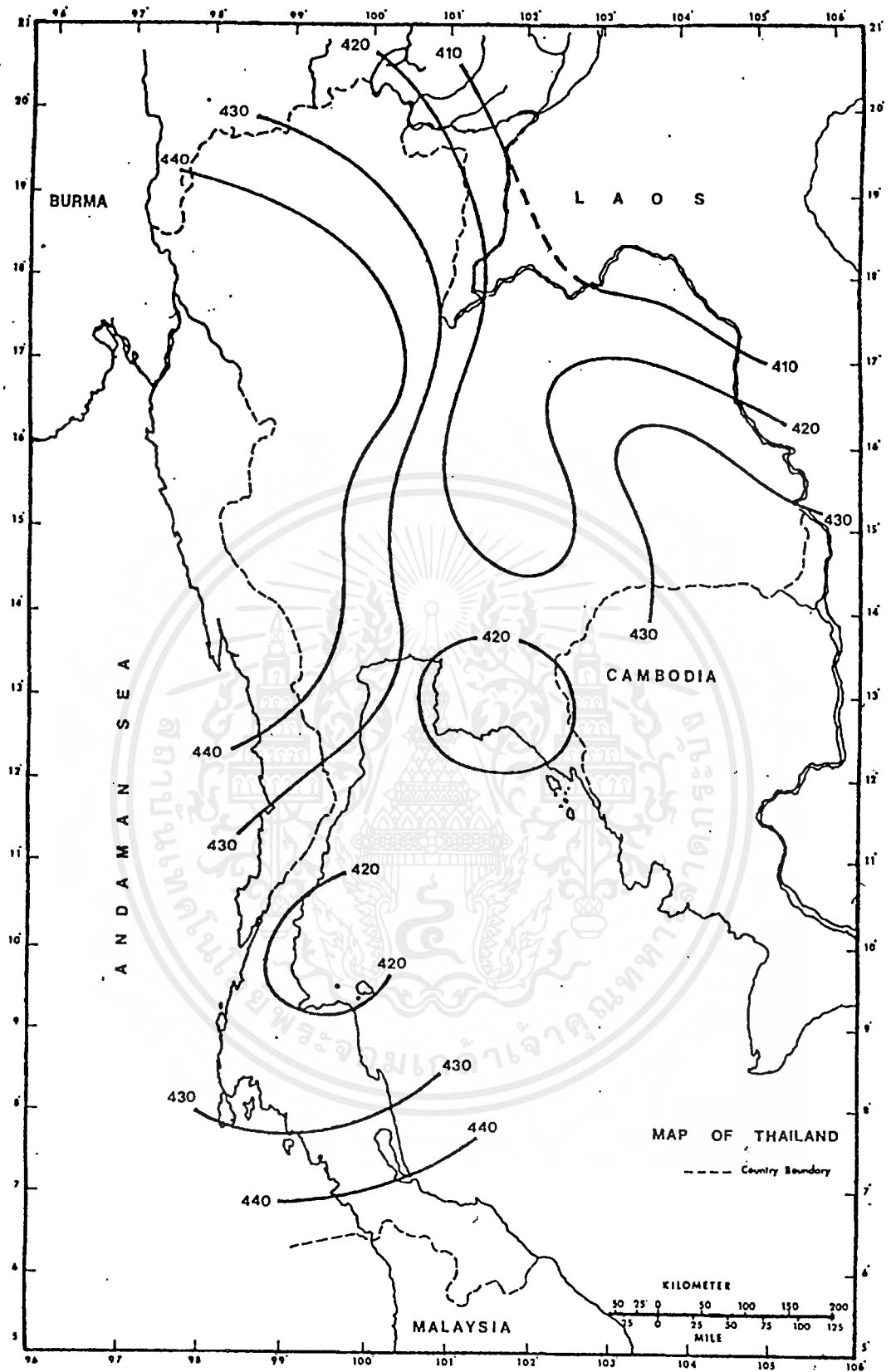


Fig.3.9 Monthly mean daily global solar radiation map of April.

(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

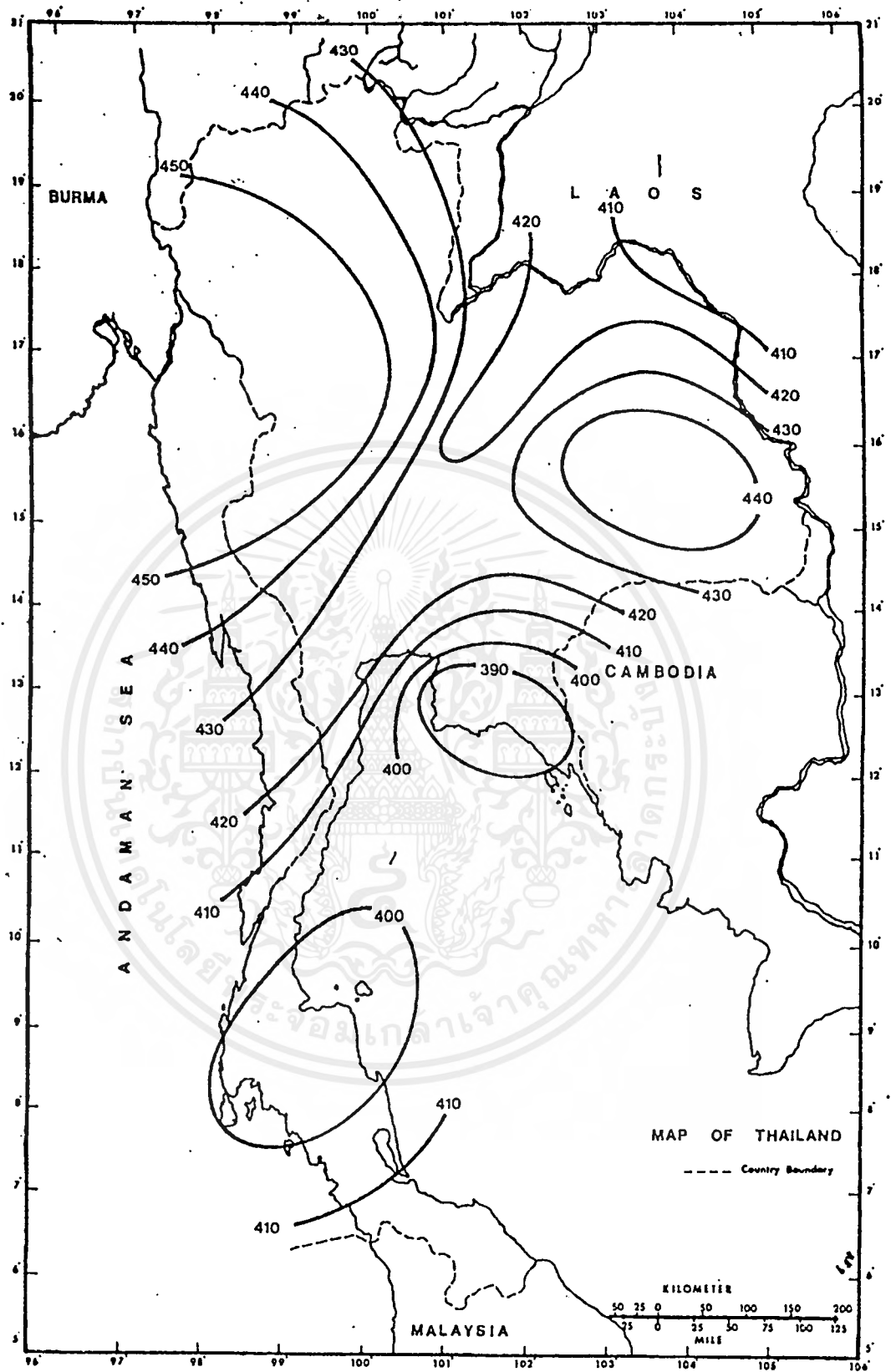


Fig.3.10 Monthly mean daily global solar radiation map of May.

(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

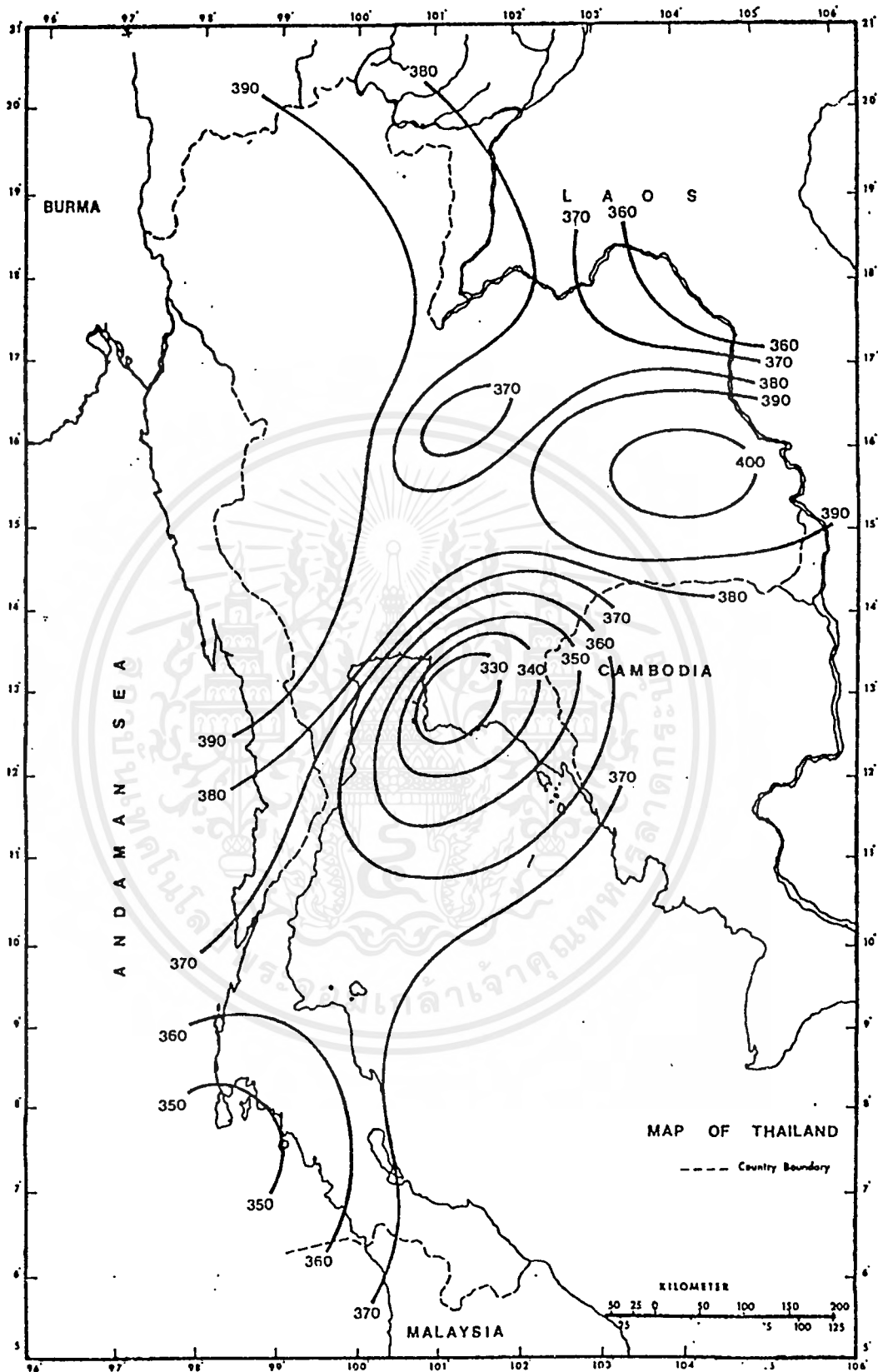


Fig.3.11 Monthly mean daily global solar radiation map of June.

(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

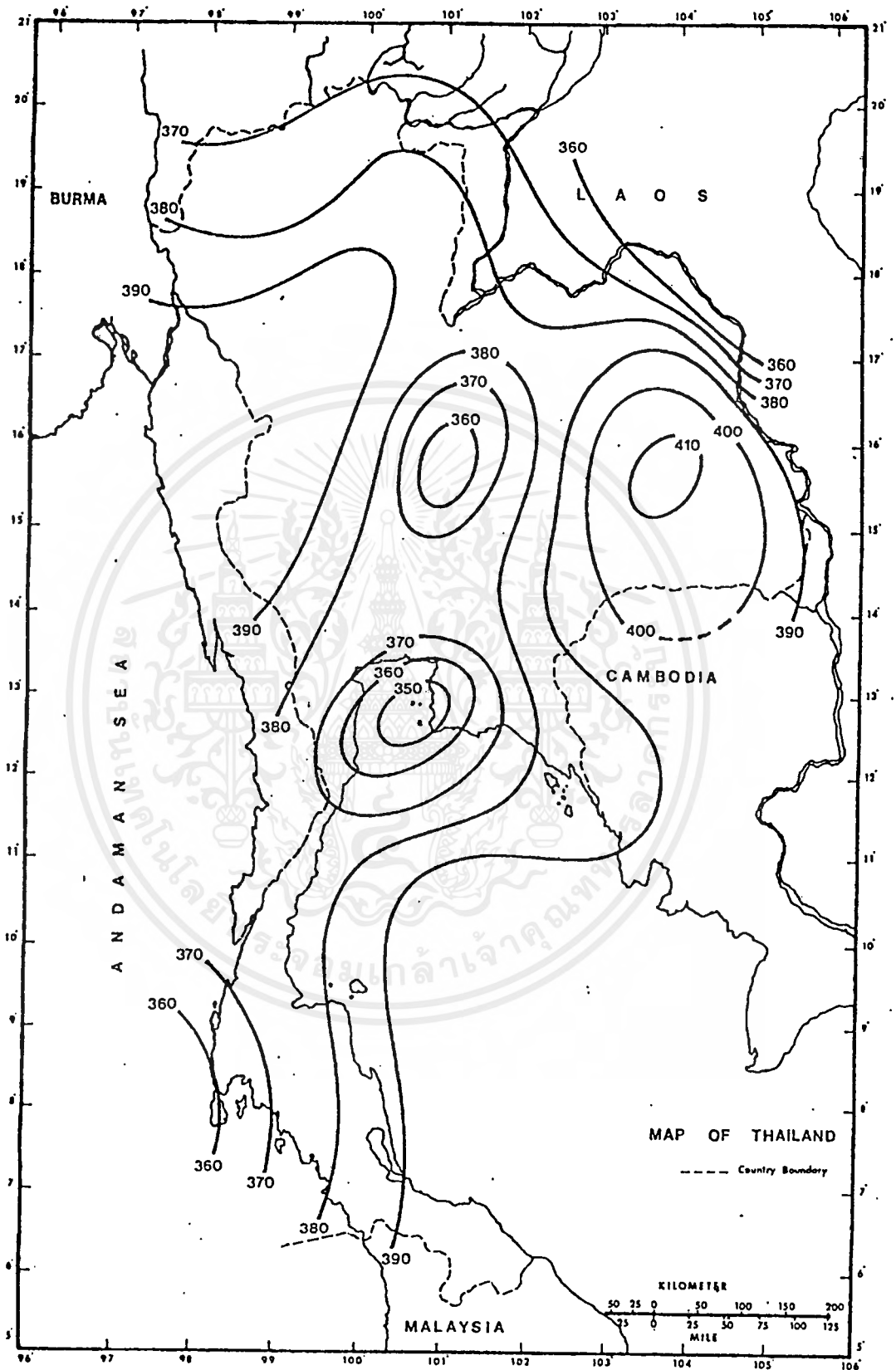


Fig.3.12 Monthly mean daily global solar radiation map of July.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$) หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

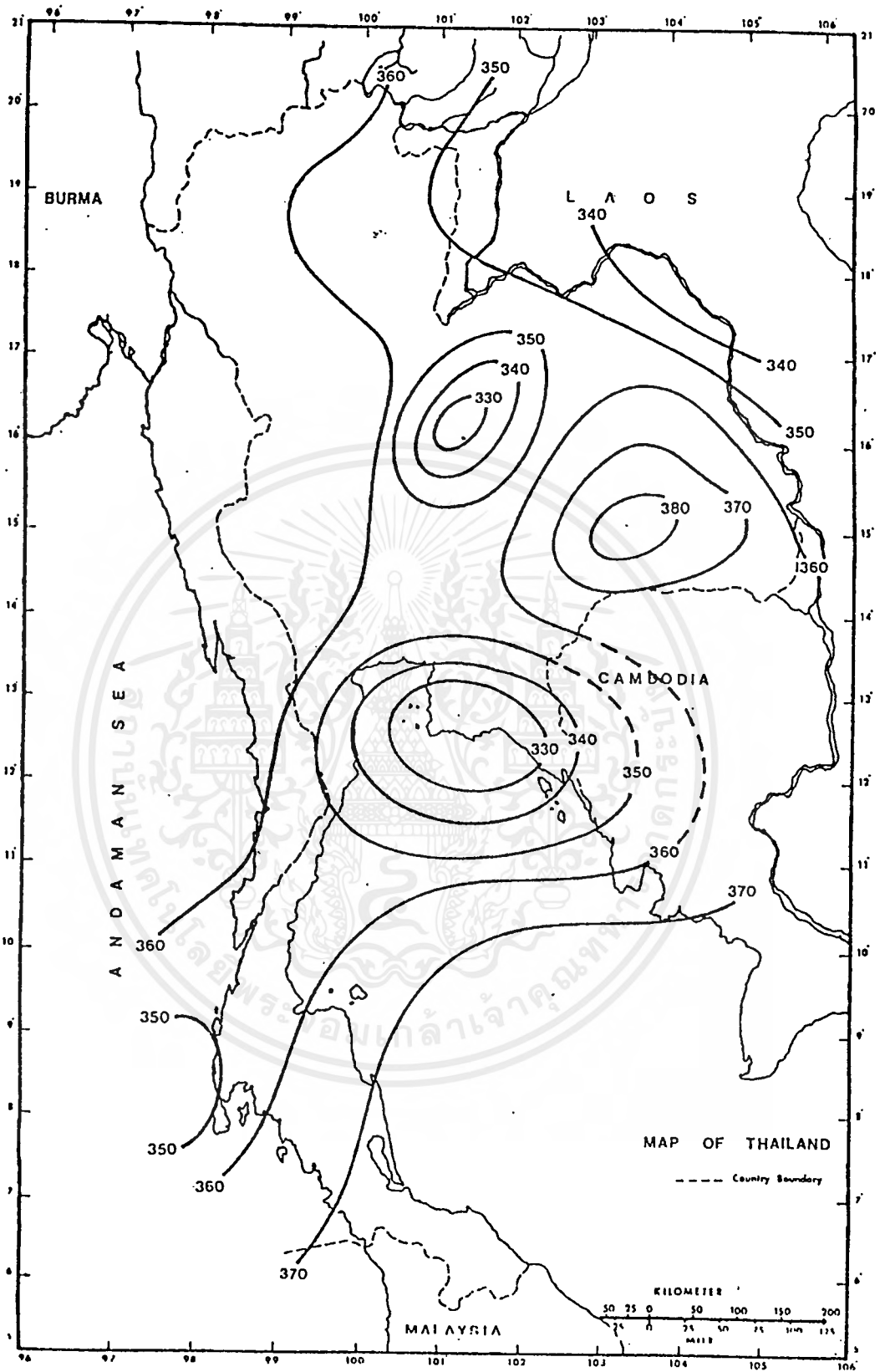


Fig.3.13 Monthly mean daily global solar radiation map of August.
(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

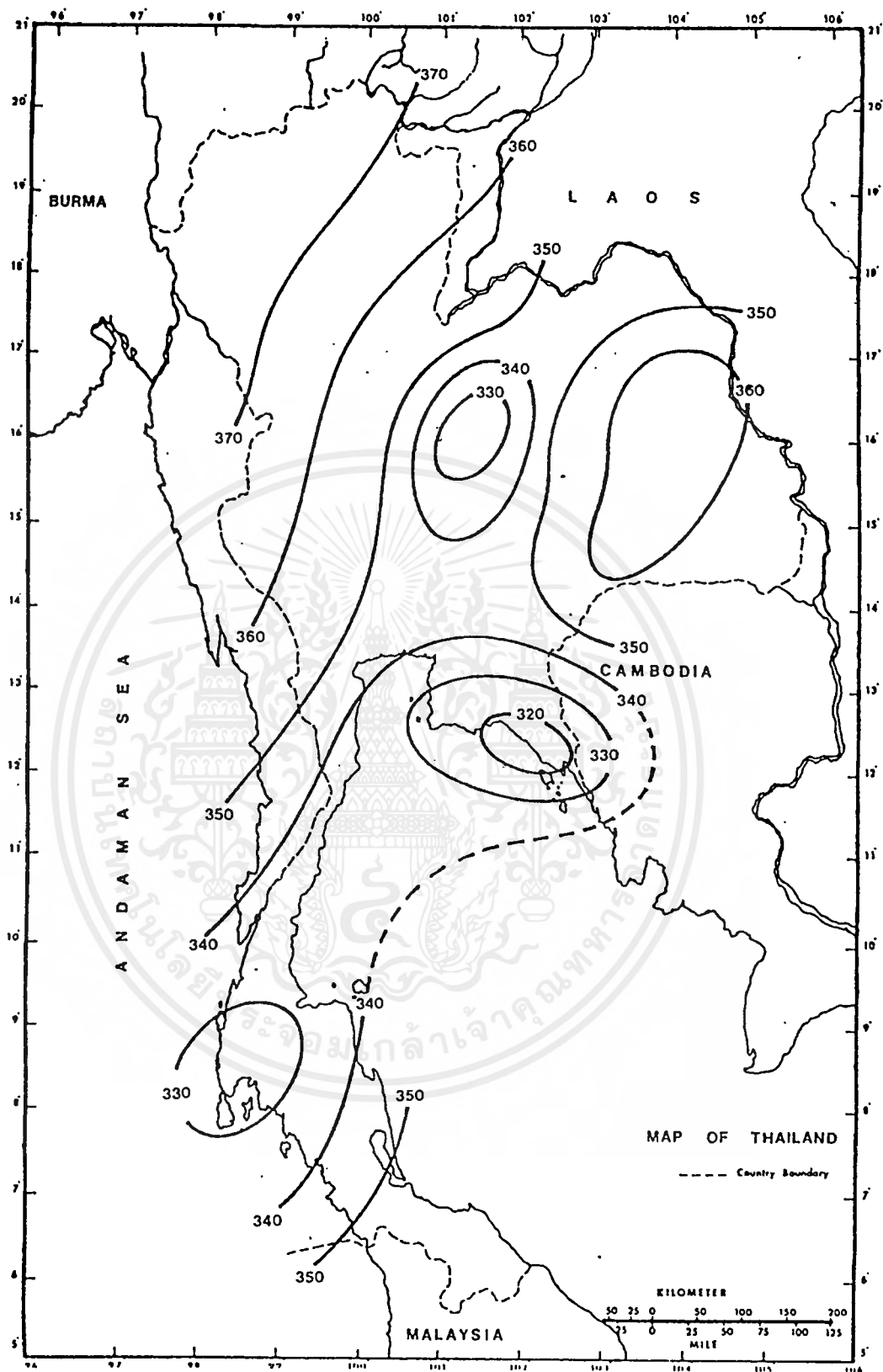


Fig.3.14 Monthly mean daily global solar radiation map of September.
 (Unit : cal/cm².day)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

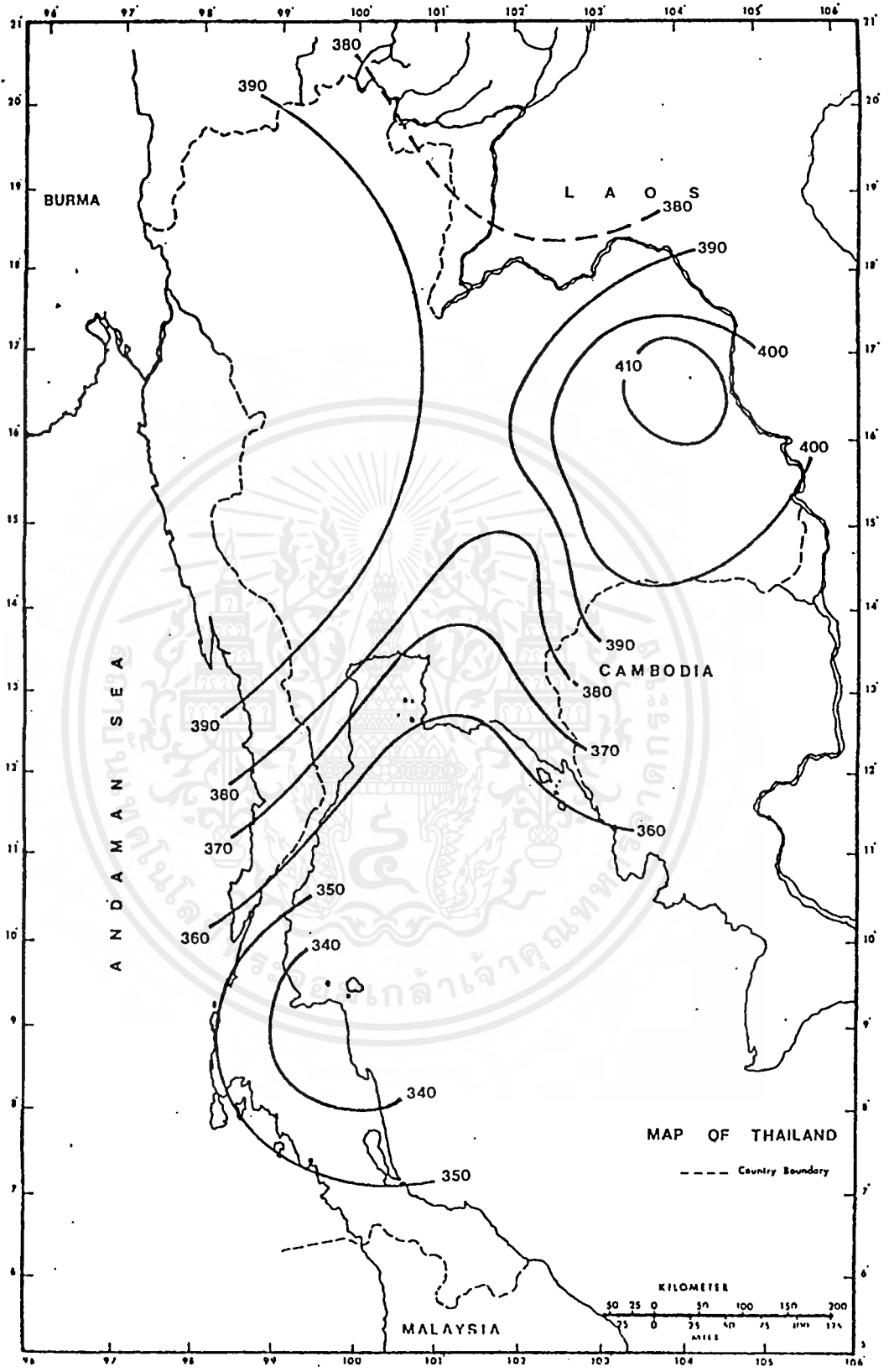


Fig. 3.15 Monthly mean daily global solar radiation map of October.

(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

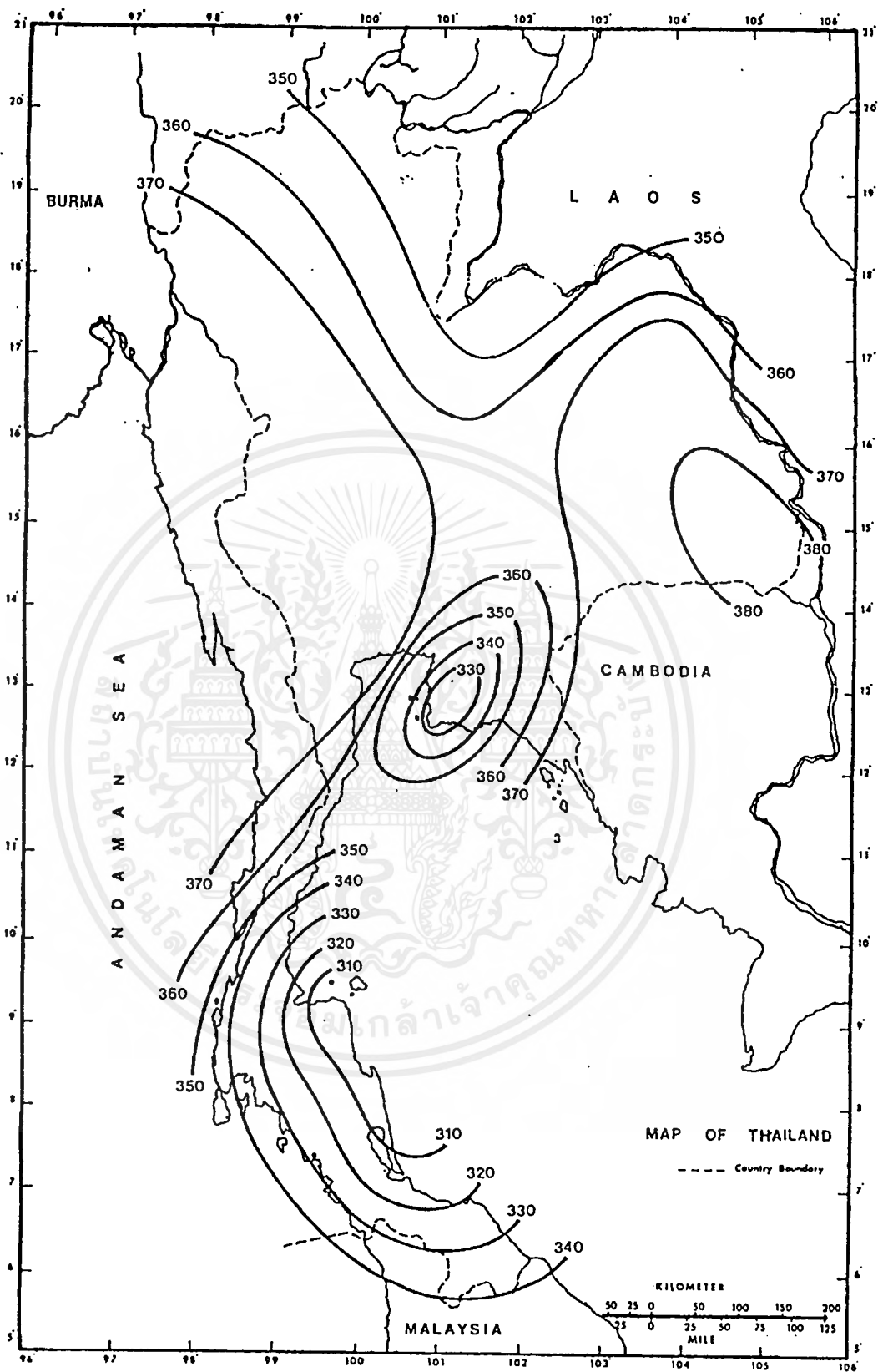


Fig.3.16 Monthly mean daily global solar radiation map of November.
(Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

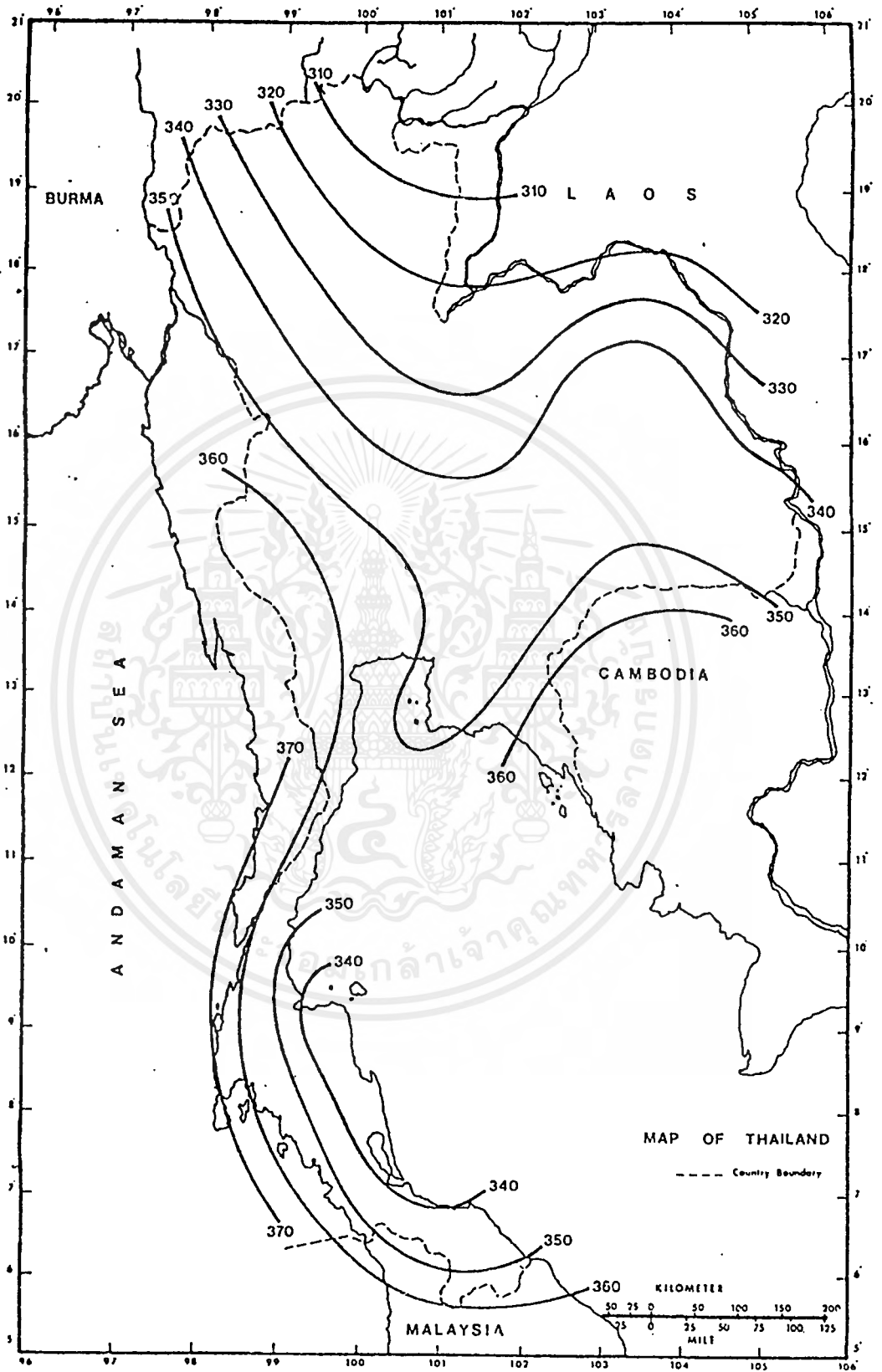


Fig. 3.17 Monthly mean daily global solar radiation map of December.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (Unit : $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

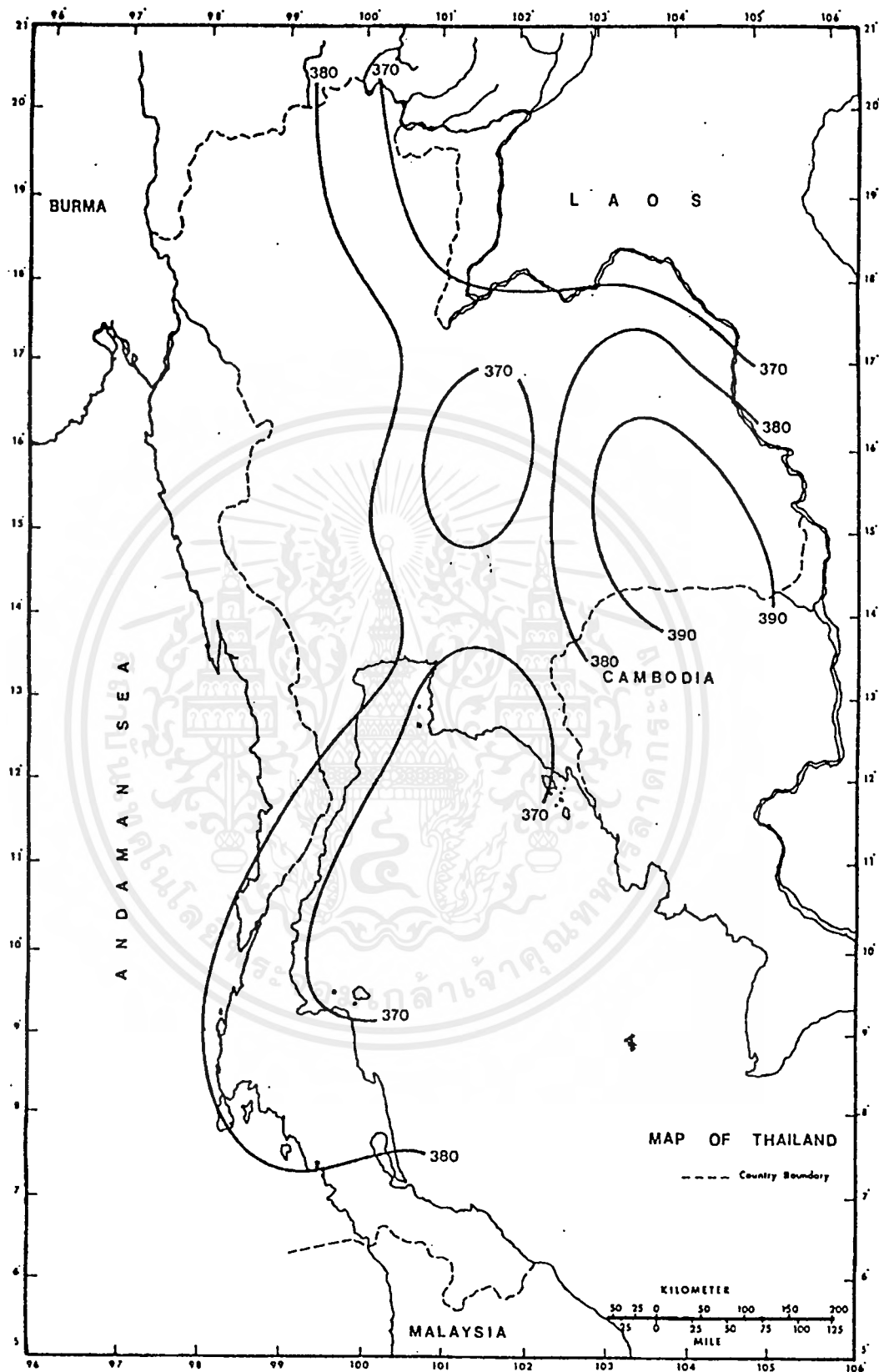


Fig.3.18 Annual mean daily global solar radiation map.

(Unit : $\text{cal}/\text{cm}^2.\text{day}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้