

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

Application of Photovoltaic for Road Light



T 0 3 6 9 7 4



โดย

นาย ปกรณ์

สิงห์วงศ์

นาย สุธี

เสาวดีกษณานุกุล

นาย กิตติศักดิ์

โพธิ์แก้ว

นาย ปรีดา

จอมเกาะ

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36974
วัน, เดือน, ปี..... 30 ต.ค. 2542

อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.อ.ศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบไฟแสงสว่างของถนน

ผู้จัดทำ

นายปกรณ์

สิงห์ชวงค์

นายสุธี

เสาวลักษณ์านุกุล

นายกิตติศักดิ์

โพธิ์แก้ว

นายปรีดา

จอมเกาะ

(ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนน

นายปรกรณ์ สิงห์ชูวงศ์
 นายสุธี เสาวลักษณ์านุกูล
 นายกิตติศักดิ์ โพร้แก้ว
 นายปรีดา จอมเกาะ
 ร.อ. ผศ. ดร. วีระเชษฐ จันเงิน
 อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเก็บพลังงานไว้ในรูปของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืน หรือในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ ในการทดลองนี้ได้นำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาผ่านวงจรประจุไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เมื่อถึงเวลากลางคืนจึงนำพลังงานจากแบตเตอรี่นั้น มาจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ โดยที่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับจะทำการผ่านวงจรซีคอนเวอร์เตอร์ (DC CONVERTER) ยกระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 12 โวลต์เป็น 150 โวลต์ และผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ (INVERTER) เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าทำการยกระดับแรงดันจาก 110 โวลต์เป็น 220 โวลต์ เพื่อใช้งานต่อไป

Application of Photovoltaic for Road Light

Pakorn Singchoowong
 Suthee Saowalugsananukool
 Kittisak Powkaew
 Preeda Jomkoh
 Capt.Asst.Prof.Dr. Werachat Khan-ngn
 Advisor
 1999

ABSTRAC

This thesis directly presents the conversion of solar energy to electrical engineer. The solar energy , generated from the solar cell , is charged to the battery as a back up energy. When out of sunlight , this energy will be supplied to load DC and AC . Then , load AC will proceed through DC-DC converter to increase the voltage from 12 volt to 150 volt . And , the inverter will invert the direct current to alternative current . And the alternative current will proceed through transformer to increase the voltage from 110 volt to 220 volt for using.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	3
2.1 หลักการทำงาน	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	3
2.3 โครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.4 ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.5 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.6 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	10
บทที่ 3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14
3.1 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ	14
3.2 ขั้นตอนการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	16
3.3 ผลการทดสอบ	16
3.4 สรุปผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	39
บทที่ 4 การประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่	40
4.1 การประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่	40
4.2 วงจรยกระดับแรงดัน	41
4.3 วงจรประจุไฟฟ้า	42
4.4 วงจรป้องกันเมื่อแรงดันต่ำ	43
4.5 วงจรสวิตช์แสง	44
4.6 ผลการทดสอบการประจุไฟฟ้า	45
4.7 สรุปผลการทดสอบการประจุไฟฟ้า	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	ส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	50
5.1	โครงสร้างของส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	50
5.2	สวิตช์แสง	51
5.3	วงจรแปลงปรังคั่นไฟฟ้ากระแสตรง	51
5.4	วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	52
5.5	วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์, วงจรกรองความถี่, หม้อแปลงไฟฟ้า	57
บทที่ 6	การทดสอบการนำแบตเตอรี่ไปในงานกับโหลด	58
6.1	การทดสอบในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ที่โหลดต่างๆ	58
6.2	การทดสอบเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่	63
6.3	สรุปผลการทดลอง	63
บทที่ 7	บทสรุปและวิจารณ์	65
7.1	บทสรุปและวิจารณ์	65
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม โครงสร้างของระบบ	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	4
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรกับ ความเข้มแสง	6
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจร กับอุณหภูมิ	6
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน	8
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน	8
รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	9
รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแส ไฟฟ้าตามต้องการแบบขนานและอนุกรม	10
รูปที่ 2.11 บล็อกกึ่งไดโอด	11
รูปที่ 2.12 แสดงการรีเวิร์สไบอัสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
รูปที่ 2.13 แสดงการฟอร์เวิร์ดไบอัสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
รูปที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1,2,3 เป็นชนิดอะมอร์ฟิส รุ่น US-64	14
รูปที่ 3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 4,5 เป็นชนิด อะมอร์ฟิส รุ่น BP 275 HP	15
รูปที่ 3.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 6,7 เป็นชนิด ซิลิกอน รุ่น BP 368 T	15
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1 จากตารางที่ 3.12	34
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 2 จากตารางที่ 3.13	34
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 3 จากตารางที่ 3.14	35
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4 จากตารางที่ 3.15	35
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 5 จากตารางที่ 3.16	36
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6 จากตารางที่ 3.17	36
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 7 จากตารางที่ 3.18	37
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3 จากตารางที่ 3.19	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4+5 จากตารางที่ 3.20	38
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6+7 จากตารางที่ 3.21	38
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7 จากตารางที่ 3.22	38
รูปที่ 4.1 บล็อกโคแกรมในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	40
รูปที่ 4.2 วงจรยกระดับแรงดัน (BOOST CONVERTER)	41
รูปที่ 4.3 รูปหลักการการทำงานของวงจรประจุไฟฟ้า	42
รูปที่ 4.4 วงจรประจุไฟฟ้า (CHARGER)	43
รูปที่ 4.5 วงจรสวิตช์แสง (LIGHTING SWITCH)	44
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสประจุกับแรงดันแบตเตอรี่	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องประจุไฟฟ้า กับแรงดันแบตเตอรี่	48
รูปที่ 5.1 บล็อกโคอะแกรมการทำงาน	50
รูปที่ 5.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	51
รูปที่ 5.3 บล็อกโคอะแกรมในการสร้างอินเวอร์เตอร์	52
รูปที่ 5.4 วงจรสร้างสัญญาณไซน์	53
รูปที่ 5.5 สัญญาณไซน์ที่ใช้ในการมอดูเลชั่น	54
รูปที่ 5.6 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและมอดูเลชั่น	54
รูปที่ 5.7 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในการมอดูเลชั่น	54
รูปที่ 5.8 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม	55
รูปที่ 5.9 สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลชั่น	55
รูปที่ 5.10 วงจรเคคไทม์	56
รูปที่ 5.11 วงจรขับ	56
รูปที่ 5.12 สัญญาณที่ผ่านวงจรเคคไทม์และวงจรขับ	57
รูปที่ 5.13 บล็อกโคอะแกรมการทำงานในส่วนของการจ่ายโหลดไฟสลับ	57
รูปที่ 6.1 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงขณะ ไม่มี โหลด	59
รูปที่ 6.2 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่ โหลด หลอดไส้ 50 วัตต์	59
รูปที่ 6.3 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่ โหลด หลอดไส้ 100 วัตต์	60
รูปที่ 6.4 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่ โหลด หลอดไส้ 150 วัตต์	60

รูปที่ 6.5	สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่โหลดตลอดได้ 200 วัตต์	61
รูปที่ 6.6	สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่โหลดตลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2 X 36 วัตต์	61
รูปที่ 6.7	สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่โหลดพัลลวม 45 วัตต์	62
รูปที่ 6.8	สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่โหลดไฟฉุกเฉินขนาด 24 วัตต์กับ โหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 2 X 36 วัตต์	62



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1	16
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 2	17
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 3	17
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 4	18
ตารางที่ 3.5 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 5	18
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 6	19
ตารางที่ 3.7 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 7	19
ตารางที่ 3.8 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1+2+3	20
ตารางที่ 3.9 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 4+5	21
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 6+7	21
ตารางที่ 3.11 แสดงค่าแรงดันเบิควงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7	22
ตารางที่ 3.12 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1	23
ตารางที่ 3.13 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 2	24
ตารางที่ 3.14 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 3	25
ตารางที่ 3.15 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4	26
ตารางที่ 3.16 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 5	27
ตารางที่ 3.17 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6	28
ตารางที่ 3.18 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 7	29
ตารางที่ 3.19 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3	30
ตารางที่ 3.20 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4+5	31
ตารางที่ 3.21 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6+7	32
ตารางที่ 3.22 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7	33
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่	45
ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิของแผงในการทดลองการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่	46
ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ได้จากการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่	47
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าของกระแสและแรงดันในการจ่ายโหลดต่างๆ	58
ตารางที่ 6.2 แสดงเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งปัจจุบันความเจริญได้ขยายตัวสูงขึ้น พื้นที่ต่าง ๆ ได้มีไฟฟ้าใช้กันอย่างทั่วถึง แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีสถานที่บางที่ซึ่งอยู่ห่างไกล เช่น เกาะกลางทะเล, บ้านตามภูเขา และไม่มีพลังงานไฟฟ้าใช้ หรืออาจมีบางแห่งที่สามารถผลิตไฟฟ้าใช้ตัวเอง โดยอาจผลิตจากเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น ซึ่งการผลิตแบบใช้เครื่องยนต์นั้น ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิงไว้ตลอด จึงมีความลำบากในการจัดหาเชื้อเพลิง แต่มีพลังงานอยู่ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงใด ๆ เลย นั่นก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ โครงการนี้ได้ศึกษาถึงการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า ว่ามีขั้นตอนการแปรรูปอย่างไร รวมทั้งการเก็บสะสมพลังงาน เพื่อให้พอเพียงกับความต้องการที่ใช้ในเวลากลางคืน หรือในช่วงฉุกเฉิน ซึ่งทางผู้จัดทำหวังว่า โครงการนี้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้ไม่มากนัก

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติ และการนำมาใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)
- 1.2.2 สามารถออกแบบและแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยเก็บอยู่ในรูปของแบตเตอรี่
- 1.2.3 ออกแบบและนำพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลากลางคืนและในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้า เพื่อช่วยลดอันตราย

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 ออกแบบระบบการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บในแบตเตอรี่
- 1.3.2 สร้างระบบไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ 12 โวลท์ 45 แอมป์ - ชั่วโมง สำหรับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2×36 วัตต์ และไฟฟ้าฉุกเฉินขนาด 12 โวลท์ 24 วัตต์ ที่ใช้งานในเวลากลางคืนได้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.4.2 ทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหา V-I Curve
- 1.4.3 ออกแบบวงจรชาร์จเจอร์ (Charger)
- 1.4.4 ศึกษาและออกแบบวงจร ดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์
- 1.4.5 ศึกษาและออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)
- 1.4.6 ทำการประกอบส่วนต่าง ๆ ของระบบและทำการทดสอบการนำแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมง มาทำการจ่ายโหลดไฟฉุกเฉิน ขนาด 12 โวลต์ 24 วัตต์ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2×36 วัตต์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงาน ไฟฟ้าเพื่อใช้งานได้
- 1.5.2 สามารถออกแบบระบบการทำงานต่าง ๆ ได้
- 1.5.3 สามารถออกแบบระบบวงจร ดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์ และ อินเวอร์เตอร์ ได้

สำหรับรายละเอียดของโครงการนี้ ได้แสดงไว้ในบทต่างๆดังนี้ คือ

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ และรายละเอียดของปริญญานิพนธ์
- บทที่ 2 โครงสร้างระบบ ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์
- บทที่ 3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- บทที่ 4 การประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่
- บทที่ 5 ส่วนของการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ
- บทที่ 6 การทดสอบการนำเอาแบตเตอรี่ไปใช้งานกับโหลด
- บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

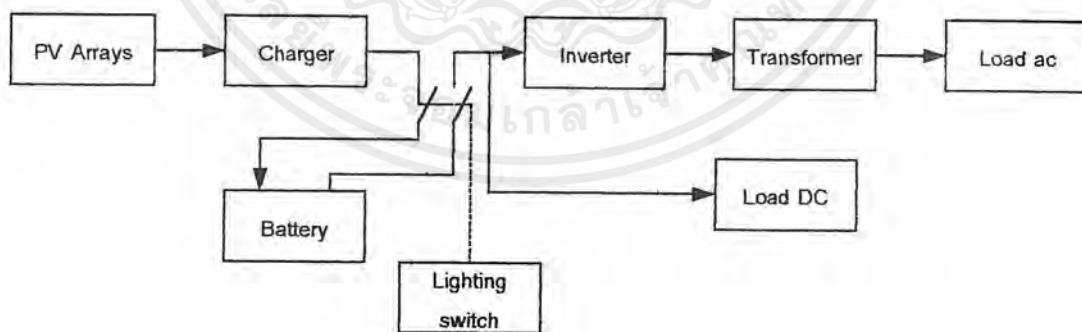
โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 หลักการทำงาน

การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะเริ่มต้นจากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Arrays) ทำการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปทำการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน และนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปจ่ายโหลดในเวลากลางคืน โดยใช้สวิทช์แสงเป็นตัวตัดต่อการทำงาน การนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้จ่ายให้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง และส่วนโหลดที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็จะนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับ หลังจากนั้นจะนำไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ไปผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ให้เป็น 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป

2.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



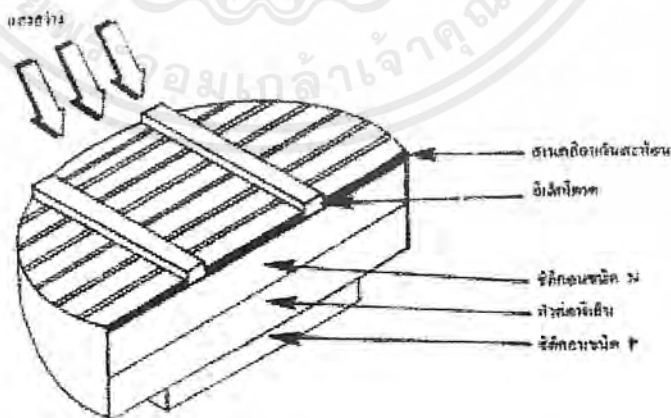
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

จากบล็อกโคอะแกรมข้างต้นจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Arrays)
2. วงจรประจุไฟฟ้า (Charger)
3. แบตเตอรี่ (Battery) ชนิด ตะกั่วกรด
4. สวิตช์แสง (Lighting switch)
5. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
6. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)
7. โหลดไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ (DC Load)
8. โหลดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Load)

2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่หัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนนั้นผลิตขึ้นโดยการนำเว็่นผลึกซิลิกอนหนาประมาณ 200-300 ไมครอน มาแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อพีเอ็น โดยมีความลึกของชั้นแพร่ซึมหรือหัวต่อประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน จากนั้นนำหัวต่อพีเอ็นไปทำผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังด้วยเงินผิวสัมผัสทาง ด้านหน้ามีลวดลายเป็นรูปนิ้วมือหรือก้างปลาเพื่อให้เหลือพื้นที่รับแสงมากที่สุดในขณะที่สามารถ ทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงมีประสิทธิภาพด้วย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์

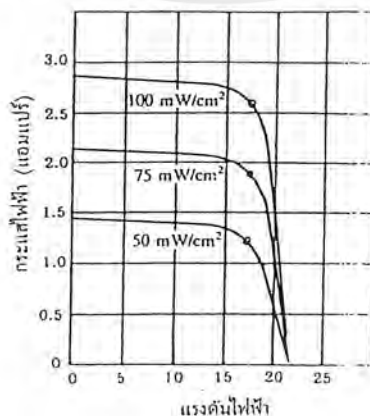
เซลล์แสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

1. ความสามารถในการใช้งานที่ถาวร
2. ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในขณะที่ใช้งาน
3. ไม่มีของเสียเหลือใช้
4. ความสามารถแปรพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าได้โดยตรง
5. เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ
6. สะอาด ปราศจากมลพิษต่างๆ เช่น ควัน เสียง กลิ่น
7. ปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินในระหว่างใช้งานเช่น ไม่เกิดปัญหาไฟไหม้ ไม่เป็นอันตรายต่อ เด็กเหมือนกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ
8. ใช้งานได้ในทุกสภาพพื้นที่และภูมิอากาศ เช่น กลางทะเล หุบเขา ทะเลทราย อวกาศ
9. สามารถทำงานได้โดยปราศจากคนดูแลและบำรุงรักษา เช่น ไม่ต้องติดเครื่อง ไม่ต้องเติมน้ำมัน
10. มีความเชื่อถือได้สูง

2.5 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ประการ คือ

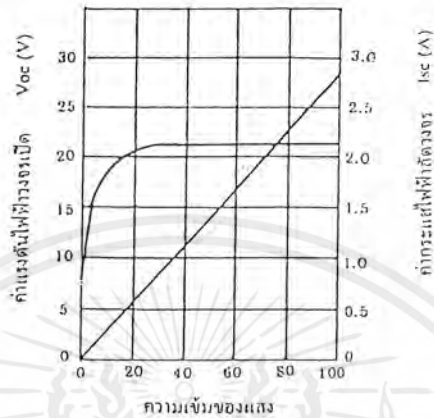
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสที่คงที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน จาก V-I CURVE โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้พลังงานสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลมในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

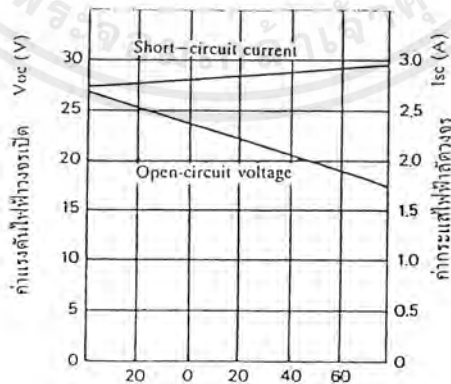
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรตามความเข้มของแสง



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร , กระแสลัดวงจร กับ ความเข้มแสง

3. กระแสจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

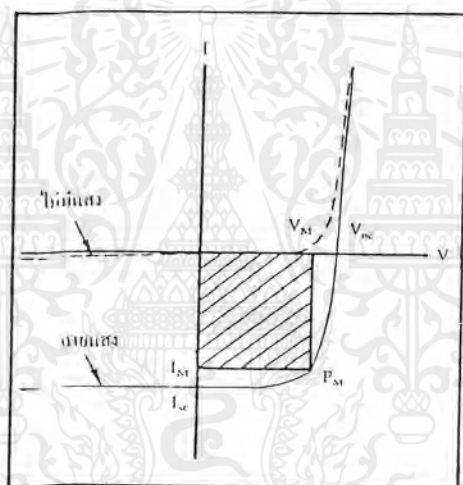


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเปิดวงจร, กระแสลัดวงจร กับ อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

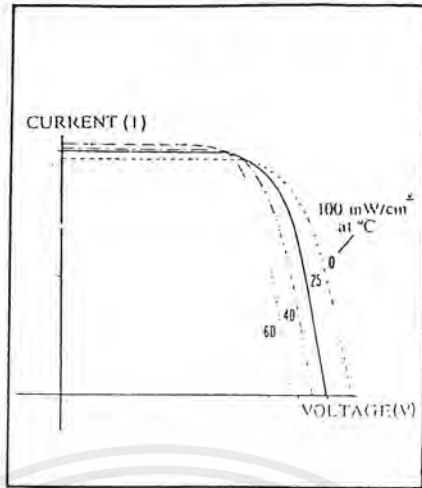
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพีและเอ็น (P-N JUNCTION) ซึ่งมีลักษณะทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับ ไดโอด โดยทั่วไป ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะกระแส-แรงดัน ดังเส้นปะในรูปที่ 2.6 ในสภาพที่ไม่ถูกแสง และมีแสงฉายมาตกกระทบ หัวต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic) ขึ้น ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็มในรูปที่ 2.6 พื้นที่ภายใต้เส้นที่แรเงาคือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถผลิตได้แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานจริง ๆ นั้นจะกำหนดได้จากการต่อ โหลดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดัน ไฟฟ้าที่สูงสุด ดังแสดงในรูปที่จุด M ซึ่งค่ากระแสและแรงดันนี้ ยังมีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่จะทำให้อันเปลี่ยนแปลง ได้อีก ดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (OPEN CIRCUIT VOLTAGE = V_{oc}) เป็นแรงดันไฟฟ้าวัดได้เมื่อเปิดวงจรและไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (MAXIMUM VOLTAGE = V_M) เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง

ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง เซลล์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่คิดตามมาก็คือ คุณสมบัติของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 2.7

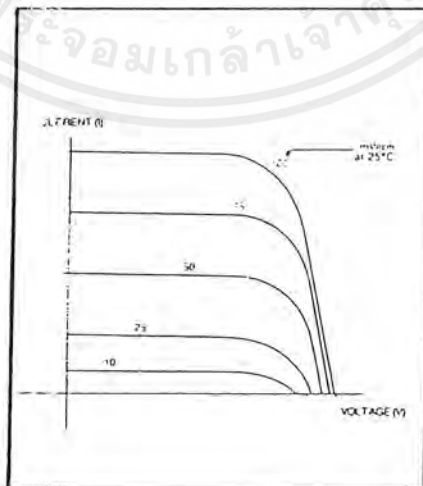


รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (SHORT CIRCUIT CURRENT = I_{SC}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์

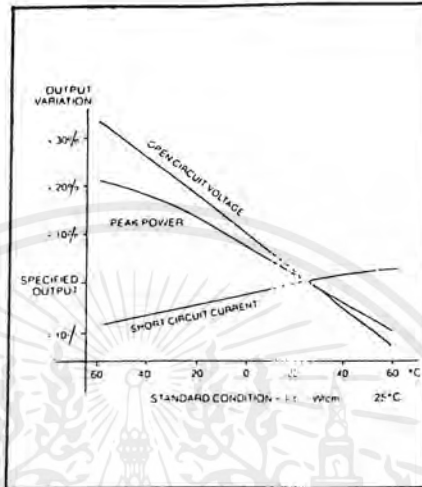
4. ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด (MAXIMUM CURRENT = I_{SC}) เป็นปริมาณที่วัดได้ขณะเมื่อต่อโหลดที่มีค่าที่ถูกต้อง

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจำเป็นต้องมีพลังงานมากระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮล ดังนั้นถ้าหากแสงที่มาตกกระทบมีความเข้มสูงมาก ก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและ โฮลสูงขึ้นด้วยจึงได้ว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ยังมีอุณหภูมิของเซลล์อีกสาเหตุหนึ่ง ที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งผลก็คือจะทำให้พลังงานลดลง เมื่อเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5. AM (AIR MASS) ความเข้มของแสงอาทิตย์วัดที่ AM = 0 (สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA) จะได้ค่ามิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ส่วนความเข้มแสงอาทิตย์วัดที่ AM 2 (สภาพของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นผิวโลก) จะมีประมาณ 72-75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

AM 1.5 ซึ่งนิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกความเข้มแสงจะมีค่า 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

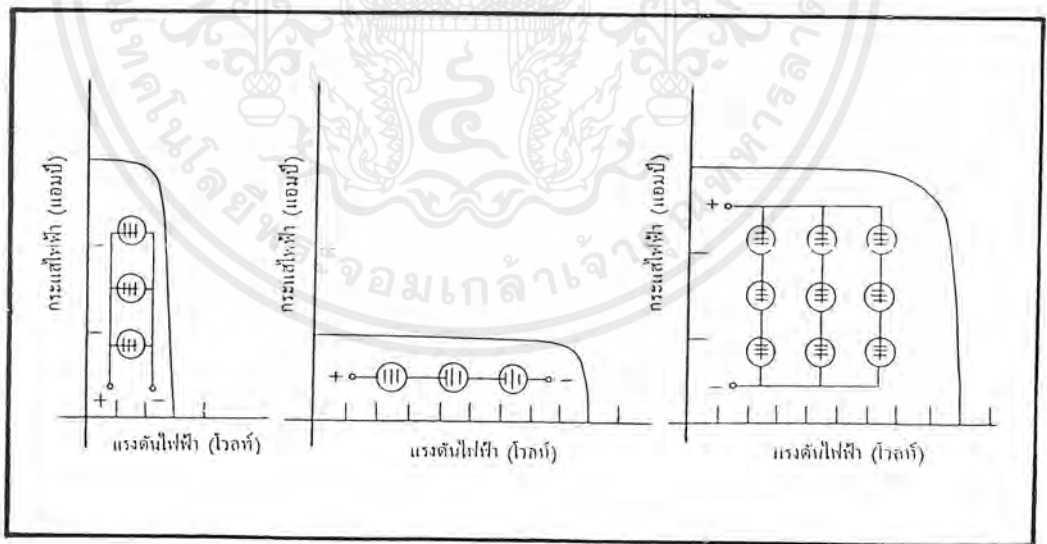
2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR PANEL)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR CELL) จะมีรูปร่างลักษณะต่างๆที่นิยมใช้กันมาก มีอยู่ 2 แบบ คือแบบสี่เหลี่ยม (100 × 100 มม.) และแบบกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม.) ซึ่งอาจถูกตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็กๆย่อยลงไปได้อีก

เซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็ชิ้นเล็กหรือชิ้นใหญ่จะมีแรงดันคงที่ประมาณ 0.5 โวลต์ แต่จำนวนกระแสจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยจะให้ค่ากระแสที่คงจรงประมาณ 3 แอมแปร์ต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

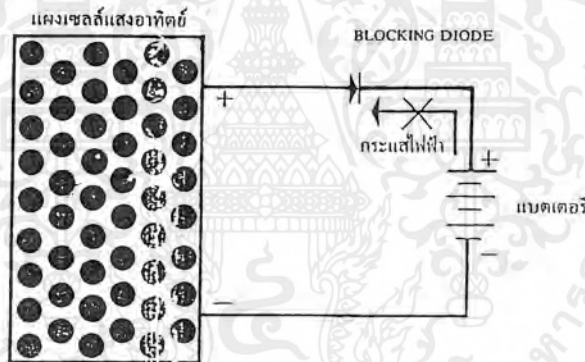
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะถูกออกแบบโดยอาศัยการนำชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนานตามความต้องการ ดังรูป โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ จึงต้องนำเอาชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 32-36 ชิ้น ก็จะได้แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 16-18 โวลต์ เพื่อที่จะประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์



รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการต่อเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ตามต้องการแบบขนานและอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

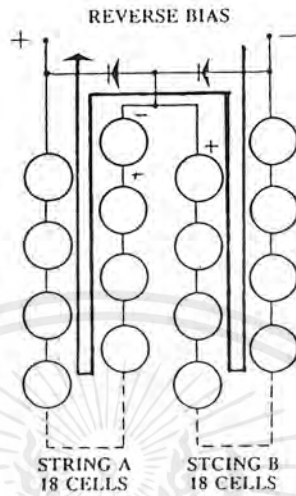
2. กระจกนิรภัย สามารถให้แสงผ่านได้สูง (TEMPERED LOW IRON - HIGH TRANSMISSION GLASS) โดยให้แสงผ่านได้ถึง 92 เปอร์เซ็นต์
3. EVA (ETHYLENE - VINYL ACETATE) สารเคลือบป้องกันไม่ให้ความชื้นและฝุ่นละอองถูกเซลล์แสงอาทิตย์
4. กรอบ (FRAME) ใช้อลูมิเนียมชุบแข็ง (ANODISED ALUMINIUM) เพื่อทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ หรือวัสดุอื่นที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม
5. แผ่นยึดด้านหลัง (BACK COVER) ใช้สาร โพลีเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า TEDLAR ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมบางๆแทรกอยู่ตรงกลาง
6. บล็อกกิ้งไดโอด (BLOCKING DIODE) เป็นไดโอดที่ต่อไว้ป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลกลับไปสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีแสงแดด ดังรูปที่ 2.11



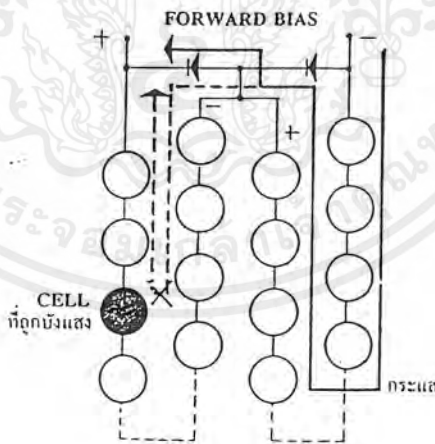
รูปที่ 2.11 บล็อกกิ้งไดโอด

7. บายพาสไดโอด (BY PASS DIODE) เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แถว เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสขาดวงจรและทำให้เกิดจุดไหม้บนเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเงามาบังบนเซลล์ ในขณะที่ใช้งานปกติบายพาสไดโอดจะถูกต่อแบบบริเวร์สไบอัส กระแสในเซลล์แต่ละแถวก็จะไหลตามปกติ แต่เมื่อเซลล์ตัวใดตัวหนึ่งถูกเงาบังหรือขาดวงจรบายพาสไดโอด ก็จะถูกต้องแบบ ฟอรวาร์ด ไบอัสกระแสก็จะไหลผ่านตัวไดโอดโดยไม่ผ่านเซลล์แถวนั้นๆ ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

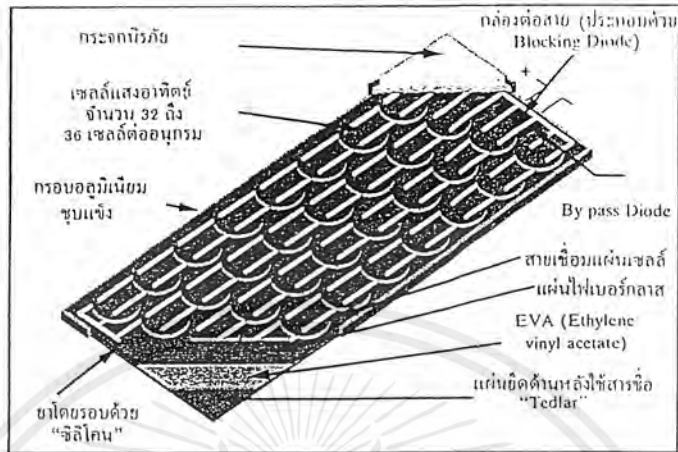


รูปที่ 2.12 แสดงการรีเวิร์สไบอัสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.13 แสดงการฟอรวาร์ดไบอัสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

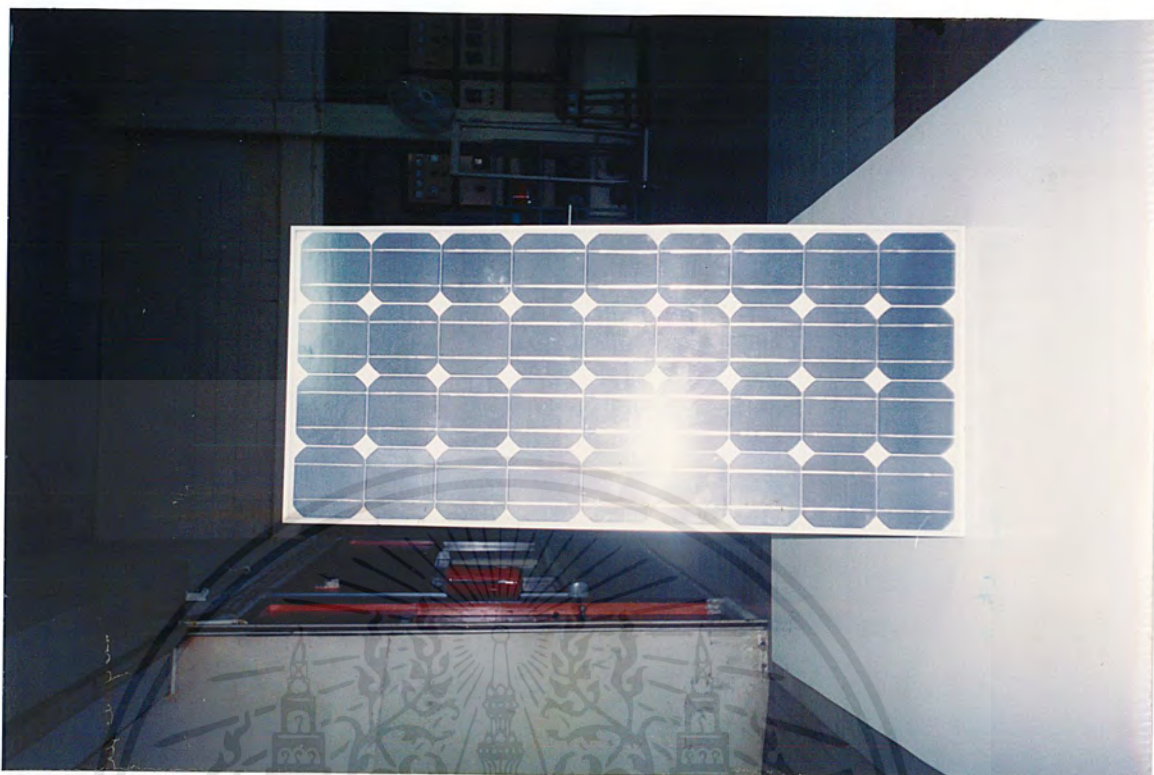
3.1 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ

ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์นี้ ได้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ ดังรูป

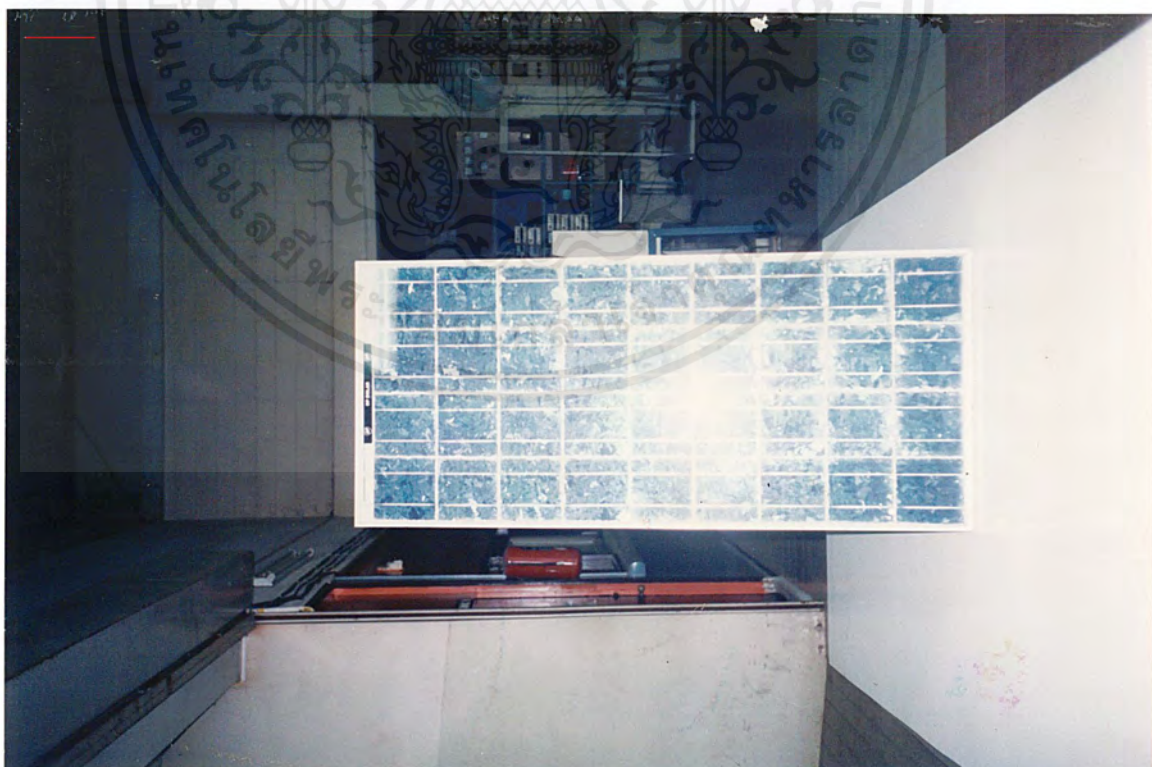


รูปที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1 , 2 , 3 เป็นชนิด Amorphous รุ่น US -64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 4 , 5 เป็นชนิด Amorphous รุ่น BP 275 HP



รูปที่ 3.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 6 , 7 เป็นชนิด Silicon รุ่น BP 368 T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ทำการทดสอบหากระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจร ที่เวลาดังแต่ 9.00 น. ถึง 17.00 น. ทำการบันทึกค่าของกระแสและแรงดันที่ได้ ความเข้มแสงที่เวลาต่างๆ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง

2. ในการทดสอบหา V-I CURVE ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทำโดยการต่อโหลดที่สามารถปรับค่าได้ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการปรับให้โหลดคือกระแสจากแผงแล้วทำการบันทึกค่าของกระแสและแรงดันที่แผงที่ค่าต่างๆ แล้วจึงนำไปพล็อตกราฟ โดยขณะที่ทำการวัดนั้นวัดที่ความเข้มแสงสูงสุดที่ได้ และบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงด้วย

ในการทดสอบแผงนี้เราได้ทำการวางแผงเอียง 25 องศา และหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ และในการทดสอบได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบคือ

1. หาคุณสมบัติของแผงแต่ละแผง
2. หาคุณสมบัติของแผงโดยการนำแผงชนิดเดียวกันมาต่อขนานกัน
3. หาคุณสมบัติของแผง โดยการนำแผงทั้งหมดมาขนานกัน

3.3 ผลการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบหากระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจร

3.3.1.1 หาคุณสมบัติของแผงแต่ละแผง

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous (Uni-solar) - แผงที่ 1				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 – 10.00	60,000	19.07	2.90	48
10.00 – 11.00	90,000	18.89	4.20	61
11.00 – 12.00	120,000	18.81	5.40	56
12.00 – 13.00	126,000	18.30	5.73	59
13.00 – 14.00	132,000	18.56	5.78	61
14.00 – 15.00	120,000	18.50	5.22	62
15.00 – 16.00	114,000	18.45	4.37	58
16.00 – 17.00	81,000	18.59	3.04	49

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous (Uni-solar) - แผงที่ 2				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	60,000	19.07	2.90	48
10.00 - 11.00	90,000	18.89	4.20	61
11.00 - 12.00	120,000	18.81	5.40	56
12.00 - 13.00	126,000	18.30	5.73	59
13.00 - 14.00	132,000	18.56	5.78	61
14.00 - 15.00	120,000	18.50	5.22	62
15.00 - 16.00	114,000	18.45	4.37	58
16.00 - 17.00	81,000	18.59	3.04	49

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 2

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous (Uni-solar) - แผงที่ 3				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	60,000	19.07	2.90	48
10.00 - 11.00	90,000	18.89	4.20	61
11.00 - 12.00	120,000	18.81	5.40	56
12.00 - 13.00	126,000	18.30	5.73	59
13.00 - 14.00	132,000	18.56	5.78	61
14.00 - 15.00	120,000	18.50	5.22	62
15.00 - 16.00	114,000	18.45	4.37	58
16.00 - 17.00	81,000	18.59	3.04	49

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 3

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous – แผงที่ 4				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	60,000	18.74	2.60	48
10.00 - 11.00	90,000	18.50	3.15	55
11.00 - 12.00	120,000	18.28	4.20	56
12.00 - 13.00	126,000	18.24	4.38	59
13.00 - 14.00	132,000	18.12	4.44	61
14.00 - 15.00	120,000	18.12	4.04	62
15.00 - 16.00	114,000	18.18	3.40	58
16.00 - 17.00	81,000	18.30	2.44	49

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 4

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous – แผงที่ 5				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	60,000	18.74	2.60	48
10.00 - 11.00	90,000	18.50	3.15	55
11.00 - 12.00	120,000	18.28	4.20	56
12.00 - 13.00	126,000	18.24	4.38	59
13.00 - 14.00	132,000	18.12	4.44	61
14.00 - 15.00	120,000	18.12	4.04	62
15.00 - 16.00	114,000	18.18	3.40	58
16.00 - 17.00	81,000	18.30	2.44	49

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง Solar Cell ชนิด Silicon – แผงที่ 6				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 – 10.00	60,000	18.24	2.02	48
10.00 – 11.00	90,000	17.95	2.95	55
11.00 – 12.00	120,000	17.75	3.25	57
12.00 – 13.00	126,000	17.70	4.00	60
13.00 – 14.00	132,000	17.64	4.03	63
14.00 – 15.00	120,000	17.55	3.66	65
15.00 – 16.00	114,000	17.63	3.10	63
16.00 – 17.00	81,000	17.74	2.22	50

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 6

แผง Solar Cell ชนิด Silicon – แผงที่ 7				
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง (เซลเซียส)
9.00 – 10.00	60,000	19.07	2.90	48
10.00 – 11.00	90,000	18.89	4.20	61
11.00 – 12.00	120,000	18.81	5.40	56
12.00 – 13.00	126,000	18.30	5.73	59
13.00 – 14.00	132,000	18.56	5.78	61
14.00 – 15.00	120,000	18.50	5.22	62
15.00 – 16.00	114,000	18.45	4.37	58
16.00 – 17.00	81,000	18.59	3.04	49

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 หากคุณสมบัติของแผง โดยการนำแผงชนิดเดียวกันมาต่อขนานกัน

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous (Uni-solar) - แผงที่ 1+2+3						
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผง ที่ 1 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผง ที่ 2 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผง ที่ 3 (เซลเซียส)
9.00 – 10.00	87,000	19.59	10.53	39.8	41.6	42.2
10.00 – 11.00	99,000	19.36	12.59	44.7	44.3	44.5
11.00 – 12.00	108,000	19.16	14.56	46	46.5	46.7
12.00 – 13.00	120,000	18.94	15.58	50.6	50.8	50.5
13.00 – 14.00	117,000	18.45	15.71	55.8	59.9	61.9
14.00 – 15.00	108,000	18.27	14.60	60.2	61.7	61.5
15.00 – 16.00	76,500	18.45	11.17	53.4	54.7	55.6
16.00 – 17.00	52,500	18.38	8.03	45.8	47.4	40.5

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1+2+3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง Solar Cell ชนิด Amorphous - แผงที่ 4+5					
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผงที่ 4 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 5 (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	78,000	19.01	5.97	40.4	40.9
10.00 - 11.00	108,000	19.14	6.77	41.5	41.8
11.00 - 12.00	114,000	18.76	7.84	47.4	49.1
12.00 - 13.00	120,000	18.18	7.69	50.2	50.6
13.00 - 14.00	126,000	18.37	8.79	51.1	51.9
14.00 - 15.00	96,000	18.44	6.44	49.3	50.8
15.00 - 16.00	72,000	18.37	5.23	46.5	47.5
16.00 - 17.00	48,000	18.56	4.62	43.7	45.1

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 4+5

แผง Solar Cell ชนิด Silicon - แผงที่ 6+7					
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผงที่ 6 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 7 (เซลเซียส)
9.00 - 10.00	78,000	18.55	5.51	40.4	41.4
10.00 - 11.00	90,000	18.70	6.09	41.3	41.7
11.00 - 12.00	114,000	18.20	6.78	48.1	48.8
12.00 - 13.00	120,000	17.95	7.43	50.6	50.9
13.00 - 14.00	126,000	18.30	7.88	51.5	51.6
14.00 - 15.00	96,000	18.06	6.49	49.4	50.4
15.00 - 16.00	72,000	17.98	5.09	47.7	47.4
16.00 - 17.00	48,000	18.10	4.22	44.6	44.9

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 6+7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 หากคุณสมบัติของแผงโดยการนำแผงทั้งหมดมาขนานกัน

แผง Solar Cell แผงที่ 1+2+3+4+5+6+7					
เวลา	ความเข้มแสง Lux	แรงดัน open (Volt)	กระแส Short (Amp)	อุณหภูมิแผงที่ 1 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 2 (เซลเซียส)
9.00 – 10.00	75,000	18.89	19.53	46.3	47.9
10.00 – 11.00	96,000	18.75	25.81	48.5	49.3
11.00 – 12.00	108,000	18.67	28.70	51.5	51.4
12.00 – 13.00	120,000	18.57	30.43	55.6	55.8
13.00 – 14.00	123,000	18.48	30.49	55.9	56.8
14.00 – 15.00	105,000	18.32	26.25	56.9	58.5
15.00 – 16.00	87,000	18.76	22.35	49.4	51.3
16.00 – 17.00	60,000	18.46	15.15	48.1	49.8

อุณหภูมิแผงที่ 3 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 4 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 5 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 6 (เซลเซียส)	อุณหภูมิแผงที่ 7 (เซลเซียส)
46.5	40.7	42	41.7	41.4
49.5	50.8	50.3	50.1	49.5
51.2	52.4	52.2	51.5	51.3
56.4	56.2	57.3	57.5	57.1
58.3	57.5	59.6	59.5	59.6
59	58.7	60.2	58.9	58.9
51.1	51.2	50.9	50.5	51.3
50	50.1	50.8	51	51.7

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าแรงดันเปิดวงจรและกระแสลัดวงจรของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตารางผลของแรงดันกับกระแส และ V-I CURVE ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 แรงดัน (Voltage) มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)
 กระแส (Current) มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Amp)

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.69	0.00	16.06	3.00	13.71	4.45
18.60	0.12	15.94	3.20	13.61	4.48
18.35	0.29	15.80	3.30	13.59	4.52
18.28	0.47	15.65	3.40	13.42	4.58
18.08	0.78	15.52	3.51	13.25	4.61
17.94	0.99	15.32	3.60	12.81	4.71
17.80	1.23	15.08	3.71	11.61	4.79
17.70	1.33	14.96	3.79	10.85	4.95
17.62	1.42	14.78	3.90	9.23	5.10
17.41	1.69	14.67	4.01	9.01	5.22
17.36	1.80	14.59	4.05	8.40	5.30
17.15	2.04	14.58	4.11	7.30	5.40
16.96	2.30	14.42	4.16	6.20	5.50
16.74	2.56	14.14	4.28	1.70	5.65
16.48	2.77	14.00	4.35		
16.31	2.89	13.84	4.36		

วันที่	22-Nov-99	อุณหภูมิมืด (องศาเซลเซียส)	50
ความเข้มแสง (Lux)	126,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.12 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.87	0.00	17.41	1.65	15.37	3.28	11.71	4.70
18.79	0.10	17.34	1.73	15.35	3.36	11.08	4.79
18.70	0.21	17.27	1.81	15.17	3.46	10.49	4.81
18.61	0.33	17.21	1.90	15.03	3.54	9.91	4.87
18.53	0.44	17.04	2.06	14.89	3.62	8.91	4.94
18.46	0.53	16.90	2.19	14.75	4.73	8.23	4.99
18.36	0.64	16.78	2.27	14.58	3.83	6.53	5.05
18.23	0.78	16.69	2.33	14.33	3.94	4.80	5.11
18.20	0.81	16.51	2.46	14.09	4.03	3.58	5.16
18.16	0.88	16.38	2.56	13.77	4.11	2.65	5.19
18.03	1.00	16.22	2.71	13.65	4.21	2.30	5.20
17.96	1.08	16.13	2.77	13.11	4.36	2.31	5.22
17.83	1.22	16.02	2.86	12.89	4.40		
17.67	1.38	15.85	3.00	12.67	4.46		
17.62	1.43	15.65	3.11	12.58	4.51		
17.55	1.52	15.55	3.20	12.22	4.59		

วันที่	23-Nov-99	อุณหภูมิแผง (องศาเซลเซียส)	59
ความเข้มแสง (Lux)	132,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.13 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.62	0.00	16.39	2.27	12.99	4.16
18.61	0.10	16.24	2.38	12.85	4.20
18.50	0.20	16.12	2.49	12.70	4.27
18.39	0.30	16.04	2.57	12.48	4.34
18.27	0.41	15.83	2.74	12.20	4.37
18.17	0.50	15.71	2.84	11.98	4.43
18.03	0.66	15.52	3.00	11.79	4.49
17.86	0.83	15.33	3.12	11.31	4.57
17.68	1.00	15.18	3.20	10.73	4.60
17.51	1.18	14.99	3.36	10.47	4.67
17.38	1.31	14.76	3.40	10.46	4.69
17.25	1.45	14.69	3.45	10.29	4.76
17.18	1.52	14.50	3.53	9.88	4.81
17.10	1.60	14.28	3.62	8.98	4.92
16.96	1.73	14.05	3.70	8.61	5.00
16.88	1.82	14.01	3.81	7.12	5.10
16.74	1.94	13.83	3.89	5.46	5.16
16.64	2.03	13.54	4.00	3.81	5.20
16.48	2.18	13.22	4.10	2.34	5.23

วันที่	24-Nov-99	อุณหภูมิแผง (องศาเซลเซียส)	62
ความเข้มแสง (Lux)	132,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.14 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
17.94	0.00	14.92	2.70	13.17	3.61
17.56	0.10	14.83	2.79	12.99	3.64
17.41	0.24	14.78	2.84	12.85	3.67
17.40	0.25	14.72	2.90	12.76	3.68
17.35	0.30	14.67	2.93	12.61	3.72
17.17	0.48	14.52	2.98	12.58	3.73
17.04	0.61	14.48	3.01	12.48	3.77
16.97	0.68	14.31	3.10	12.37	3.79
16.90	0.73	14.20	3.15	12.26	3.81
16.83	0.82	14.06	3.22	12.09	3.83
16.74	0.92	13.95	3.29	11.88	3.86
16.44	1.15	13.91	3.31	11.58	3.89
16.29	1.36	13.85	3.36	11.35	3.91
16.25	1.40	13.73	3.37	11.06	3.93
16.08	1.58	13.72	3.39	10.64	3.95
16.01	1.61	13.66	3.42	10.03	3.97
15.94	1.78	13.55	3.44	9.57	3.99
15.74	1.94	13.53	3.46	7.56	4.00
15.59	2.07	13.50	3.49	4.30	4.03
15.41	2.25	13.44	3.52	4.27	4.04
15.29	2.37	13.40	3.54	1.14	4.07
15.10	2.53	13.33	3.56		
15.01	2.65	13.25	3.58		

วันที่	25-Nov-99	อุณหภูมิตั้ง (องศาเซลเซียส)	62
ความเข้มแสง (Lux)	132,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.15 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
17.59	0.01	15.91	1.07	14.88	2.00	13.27	3.07
17.13	0.03	15.85	1.13	14.79	2.06	13.22	3.12
17.00	0.10	15.82	1.17	14.72	2.11	13.20	3.16
16.92	0.15	15.80	1.20	14.66	2.13	13.06	3.23
16.86	0.21	15.77	1.25	16.61	2.19	12.86	3.27
16.79	0.27	15.69	1.33	14.50	2.26	12.78	3.33
16.76	0.30	15.65	1.37	14.38	2.31	12.67	3.35
16.71	0.34	15.58	1.42	14.32	2.35	12.19	3.39
16.68	0.37	15.57	1.44	14.27	2.40	11.59	3.47
16.65	0.41	15.51	1.48	14.19	2.45	11.44	3.51
16.62	0.44	15.50	1.50	14.15	2.49	11.20	3.62
16.53	0.53	15.44	1.56	14.01	2.55	10.88	3.70
16.45	0.58	15.38	1.60	13.90	2.67	10.62	3.75
16.37	0.66	15.34	1.64	13.81	2.72	10.56	3.83
16.30	0.71	15.26	1.72	13.76	2.76	9.86	3.88
16.23	0.77	15.22	1.76	13.70	2.80	9.07	3.94
16.18	0.81	15.15	1.81	13.63	2.85	8.63	3.97
16.12	0.88	15.06	1.85	13.55	2.88	5.13	4.01
16.10	0.93	15.00	1.91	13.41	2.93	2.49	4.03
16.03	0.99	14.93	1.96	13.38	2.95	1.71	4.05
15.99	1.04	14.92	1.98	13.31	3.00		

วันที่	1-Dec-99	อุณหภูมิแผง (องศาเซลเซียส)	60
ความเข้มแสง (Lux)	138,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.16 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Curent	Voltage	Curent	Voltage	Curent	Voltage	Curent
17.88	0.01	16.23	1.15	14.91	2.24	13.32	3.35
17.30	0.13	16.17	1.21	14.90	2.27	13.29	3.37
17.28	0.15	16.10	1.26	14.80	2.32	13.19	3.42
17.20	0.20	16.05	1.31	14.79	2.37	13.11	3.46
17.13	0.26	16.01	1.35	14.77	2.40	13.03	3.50
17.07	0.31	15.95	1.40	14.70	2.45	12.90	3.56
17.02	0.36	15.88	1.46	14.60	2.52	12.72	3.63
16.98	0.40	15.82	1.52	14.54	2.56	12.62	3.67
16.93	0.45	15.78	1.56	14.50	2.61	12.48	3.72
16.88	0.50	15.74	1.61	14.48	2.64	12.42	3.75
16.83	0.56	15.70	1.65	14.39	2.70	12.20	3.81
16.78	0.61	15.66	1.71	14.29	2.76	12.01	3.86
16.74	0.65	15.58	1.75	14.20	2.81	11.79	3.90
16.67	0.71	15.51	1.80	14.11	2.86	11.69	3.95
16.63	0.75	15.43	1.87	14.01	2.91	11.37	4.00
16.57	0.80	15.38	1.90	13.95	2.95	10.98	4.12
16.59	0.86	15.36	1.96	13.88	3.03	9.83	4.20
16.50	0.90	15.24	2.00	13.78	3.05	9.12	4.26
16.46	0.95	15.16	2.05	13.74	3.13	8.64	4.28
16.40	1.00	15.08	2.12	13.56	3.222	7.34	4.31
16.35	1.05	15.03	2.16	13.46	3.27	3.53	4.34
16.29	1.10	14.96	2.21	13.40	3.30	1.81	4.33

วันที่	3-Dec-99	อุณหภูมิแสง (องศาเซลเซียส)	59
ความเข้มแสง (Lux)	138,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.17 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.09	0.00	16.41	1.11	14.99	2.40	13.18	3.47
17.63	0.02	16.35	1.15	14.93	2.44	13.14	3.50
17.59	0.04	16.30	1.20	14.87	2.49	12.99	3.55
17.56	0.06	16.24	1.25	14.76	2.55	12.81	3.60
17.51	0.10	16.19	1.30	14.68	2.60	12.69	3.65
17.43	0.15	16.10	1.37	14.65	2.63	12.57	3.70
17.35	0.20	16.05	1.42	14.56	2.68	12.46	3.75
17.34	0.25	16.00	1.46	14.49	2.73	12.22	3.80
17.29	0.30	15.93	1.51	14.43	2.77	12.13	3.85
17.22	0.36	15.89	1.56	14.39	2.81	11.92	3.89
17.18	0.41	15.82	1.62	14.36	2.84	11.67	3.96
17.16	0.45	15.79	1.67	14.33	2.87	11.44	4.00
17.09	0.51	15.73	1.74	14.25	2.91	11.36	4.05
17.03	0.56	15.64	1.80	14.20	2.95	10.96	4.10
16.98	0.60	15.60	1.86	14.11	3.00	10.29	4.17
16.90	0.67	15.59	1.89	14.04	3.06	9.89	4.20
16.85	0.72	15.53	1.95	13.93	3.12	9.12	4.25
16.80	0.76	15.48	2.00	13.82	3.16	7.60	4.31
16.74	0.83	15.44	2.06	13.76	3.20	2.74	4.35
16.66	0.86	15.39	2.11	13.63	3.26	1.81	4.36
16.65	0.89	15.28	2.20	13.53	3.29		
16.58	0.96	15.21	2.25	13.40	3.36		
16.54	1.00	15.11	2.31	13.35	3.41		
16.48	1.05	15.04	2.36	13.29	3.44		

วันที่	6-Dec-99	อุณหภูมิแสง (องศาเซลเซียส)	57.4
ความเข้มแสง (Lux)	129,000	แนวเฉียง(องศา)	25

ตารางที่ 3.18 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.45	0.01	16.48	3.89	14.25	9.04	10.45	13.90
17.99	0.13	16.40	4.09	14.05	9.47	9.98	14.21
17.93	0.25	16.29	4.35	13.98	9.59	9.48	14.43
17.91	0.31	16.20	4.59	13.81	9.85	8.39	14.73
17.83	0.47	16.06	4.94	13.62	10.06	7.77	14.92
17.75	0.61	15.95	5.17	13.57	10.42	6.50	15.01
17.66	0.75	15.83	5.44	13.52	10.65	5.12	15.29
17.60	0.82	15.79	5.70	13.38	10.79	3.66	15.46
17.55	0.91	15.71	5.89	13.29	11.07	2.40	15.52
17.48	1.05	15.62	6.15	13.15	11.24		
17.32	1.32	15.52	6.32	13.05	11.36		
17.26	1.45	15.46	6.56	12.96	11.52		
17.16	1.64	15.35	6.78	12.83	11.67		
17.05	1.87	15.24	6.94	12.71	11.85		
16.96	2.10	15.15	7.12	12.59	12.08		
16.90	2.28	15.05	7.39	12.40	12.08		
16.87	2.46	14.90	7.70	12.24	12.28		
16.79	2.65	14.77	7.84	12.05	12.51		
16.72	2.87	14.71	7.96	11.79	12.75		
16.63	3.07	14.69	8.12	11.62	12.91		
16.62	3.18	14.66	8.43	11.44	13.21		
16.60	3.30	14.54	8.59	11.20	13.36		
16.59	3.48	14.46	8.77	11.04	13.54		
16.56	3.72	14.38	9.04	10.80	13.68		

วันที่	15-Dec-99	อุณหภูมิแผงที่ 1 (องศาเซลเซียส)	58.8
ความเข้มแสง (Lux)	126000	อุณหภูมิแผงที่ 2 (องศาเซลเซียส)	59.9
แนวเอียง (องศา)	25	อุณหภูมิแผงที่ 3 (องศาเซลเซียส)	61.9

ตารางที่ 3.19 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.39	0.00	15.61	2.45	14.10	5.00	11.74	7.69
17.38	0.10	15.55	2.50	14.05	5.10	11.54	7.77
17.19	0.23	15.51	2.64	13.99	5.22	11.39	7.85
17.08	0.32	15.49	2.76	13.87	5.38	11.16	7.97
16.96	0.49	15.38	2.95	13.85	5.43	10.98	8.07
16.87	0.54	15.31	3.06	13.71	5.58	10.64	8.20
16.79	0.64	15.27	3.17	13.67	5.71	10.29	8.30
16.72	0.74	15.23	3.27	13.54	5.87	9.67	8.44
16.68	0.81	15.16	3.36	13.49	5.99	9.13	8.52
16.60	0.96	15.10	3.46	13.36	6.17	7.67	8.65
16.52	1.09	15.02	3.58	13.31	6.24	6.55	8.71
16.45	1.15	14.99	3.67	13.25	6.34	5.14	8.73
16.36	1.23	14.84	3.78	13.13	6.43	3.14	8.77
16.31	1.34	14.80	3.89	13.12	6.56	2.29	8.7
16.23	1.43	14.78	4.00	13.06	6.65		
16.41	1.56	14.69	4.14	12.99	6.74		
16.08	1.62	14.64	4.22	12.91	6.83		
16.03	1.75	14.60	4.34	12.80	6.94		
15.98	1.84	14.55	4.38	12.70	7.02		
15.95	1.89	14.50	4.44	12.52	7.17		
15.86	2.02	14.43	4.53	12.43	7.23		
15.80	2.15	14.37	4.61	12.26	7.36		
15.74	2.21	14.29	4.72	12.18	7.41		
15.68	2.34	14.16	4.91	11.95	7.58		

วันที่	9-Dec-99	อุณหภูมิแผงที่ 4 (องศาเซลเซียส)	51.1
ความเข้มแสง (Lux)	126000	อุณหภูมิแผงที่ 5 (องศาเซลเซียส)	51.9
แนวเอียง(องศา)	25		

ตารางที่ 3.20 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4+5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.20	0.00	14.84	3.17	12.64	5.79
17.24	0.10	14.76	3.30	12.54	5.89
17.06	0.26	14.68	3.43	12.24	5.99
16.98	0.32	14.60	3.51	12.19	6.11
16.85	0.45	14.51	3.64	12.10	6.21
16.72	0.60	14.44	3.73	12.01	6.34
16.56	0.80	14.36	3.83	11.91	6.44
16.39	1.01	14.27	3.96	11.71	6.57
16.23	1.22	14.20	4.06	11.49	6.68
16.13	1.37	14.12	4.16	11.32	6.75
16.04	1.49	14.06	4.24	11.13	6.85
15.97	1.58	13.98	4.35	10.83	6.97
15.87	1.71	13.86	4.47	10.41	7.10
15.77	1.83	13.76	4.58	9.87	7.25
15.68	1.96	13.66	4.69	9.37	7.39
15.56	2.13	13.56	4.79	9.06	7.46
15.46	2.27	13.48	4.90	7.65	7.61
15.40	2.37	13.38	5.00	6.67	7.68
15.31	2.52	13.33	5.09	4.70	7.76
15.22	2.64	13.23	5.20	3.19	7.80
15.16	2.71	13.05	5.39	2.20	7.87
15.04	2.88	12.90	5.52		
14.94	3.06	12.80	5.62		

วันที่	11-Dec-99	อุณหภูมิแผงที่ 6 (องศาเซลเซียส)	54.2
ความเข้มแสง (Lux)	126000	อุณหภูมิแผงที่ 7 (องศาเซลเซียส)	54.3
แนวเฉียง(องศา)	25		

ตารางที่ 3.21 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6+7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
18.80	0.00	16.83	3.33	15.67	9.11	13.46	19.99	10.71	27.57
18.25	0.08	16.80	3.46	15.58	9.72	13.30	20.50	10.62	27.63
18.12	0.22	16.75	3.76	15.49	10.15	13.19	20.93	10.54	27.70
17.99	0.40	16.73	3.93	15.32	11.41	13.04	21.54	10.43	27.78
17.91	0.48	16.67	4.20	15.24	11.49	12.83	22.30	10.27	27.98
17.74	0.62	16.65	4.43	15.15	12.01	12.71	22.56	10.19	28.18
17.65	0.99	16.58	4.56	15.08	12.38	12.59	22.96	10.10	28.49
17.54	1.16	16.53	4.87	15.01	12.76	12.45	23.40	9.76	28.90
17.52	1.29	16.46	5.10	14.92	13.17	12.35	23.88	9.36	29.32
17.51	1.46	16.41	5.31	14.81	13.68	12.24	24.25	8.82	29.57
17.48	1.58	16.36	5.52	14.72	14.31	12.12	24.38	7.14	30.02
17.43	1.76	16.33	5.75	14.63	14.51	12.03	24.48	6.31	30.17
17.37	1.87	16.30	5.91	14.54	14.87	11.94	24.97	5.55	30.24
17.32	1.97	16.24	6.23	14.49	15.13	11.83	25.19	5.30	30.26
17.28	2.17	16.20	6.39	14.41	15.77	11.73	25.57	4.95	30.30
17.23	2.32	16.17	6.59	14.33	16.15	11.62	25.74	4.42	30.31
17.17	2.47	16.11	6.82	14.27	16.42	11.53	25.86	3.98	30.34
17.12	2.58	16.07	6.97	14.15	17.06	11.41	26.31	3.56	30.46
17.09	2.67	16.00	7.20	14.03	17.53	11.28	26.74	3.17	30.57
17.07	2.75	15.95	7.40	13.89	18.09	11.14	26.94		
17.03	2.85	15.90	7.63	13.77	18.58	11.01	27.03		
17.00	2.93	15.79	8.07	13.67	19.04	10.93	27.14		
16.94	3.07	15.70	8.41	13.55	19.57	10.80	27.34		

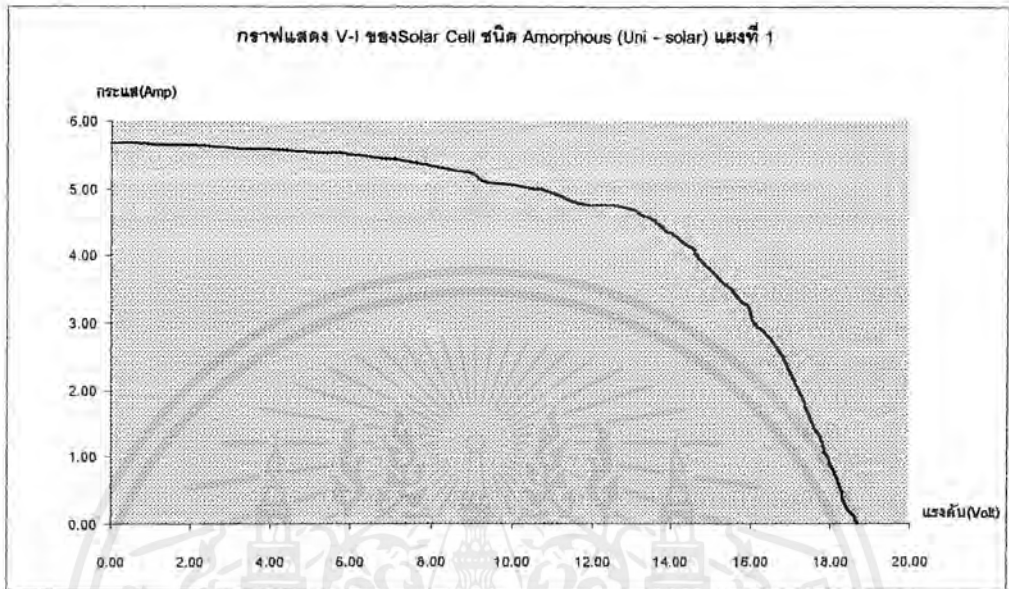
วันที่	16-Dec-99	อุณหภูมิแผงที่ 3 (องศาเซลเซียส)	56.4
ความเข้มแสง (Lux)	120000	อุณหภูมิแผงที่ 4 (องศาเซลเซียส)	56.2
แนวเอียง(องศา)	25	อุณหภูมิแผงที่ 5 (องศาเซลเซียส)	57.3
อุณหภูมิแผงที่ 1 (องศาเซลเซียส)	55.6	อุณหภูมิแผงที่ 6 (องศาเซลเซียส)	57.5

ตารางที่ 3.22 ผลของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7

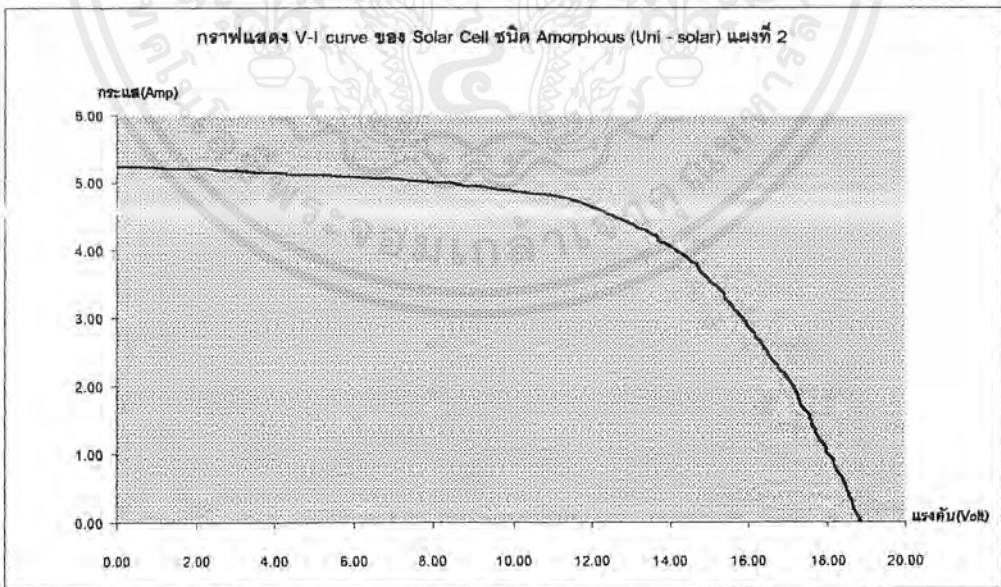
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. การทดสอบเพื่อหา V-I CURVE

3.3.3. 1 หาคคุณสมบัติของแผงแต่ละแผง

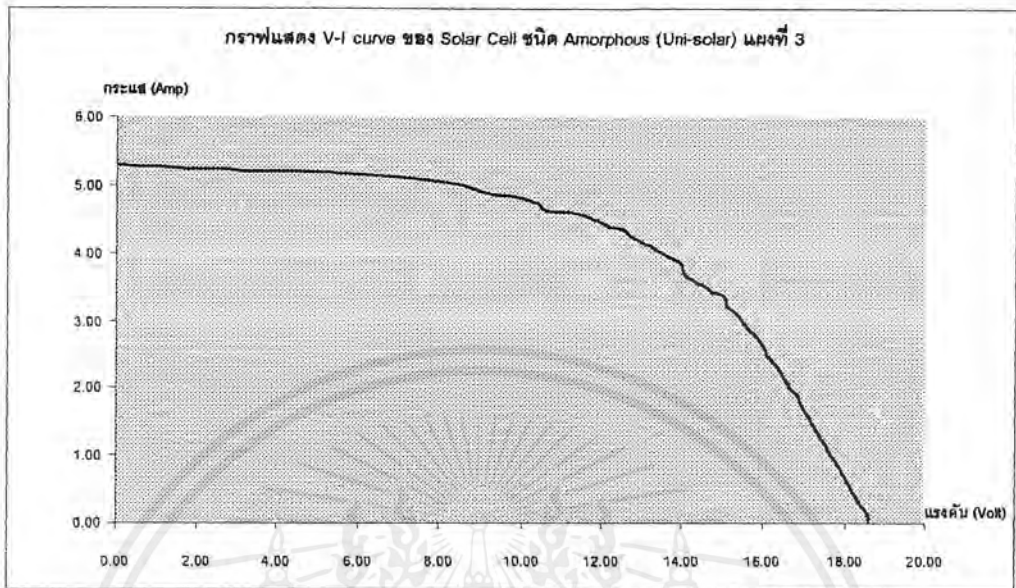


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1 จากตารางที่ 3.12

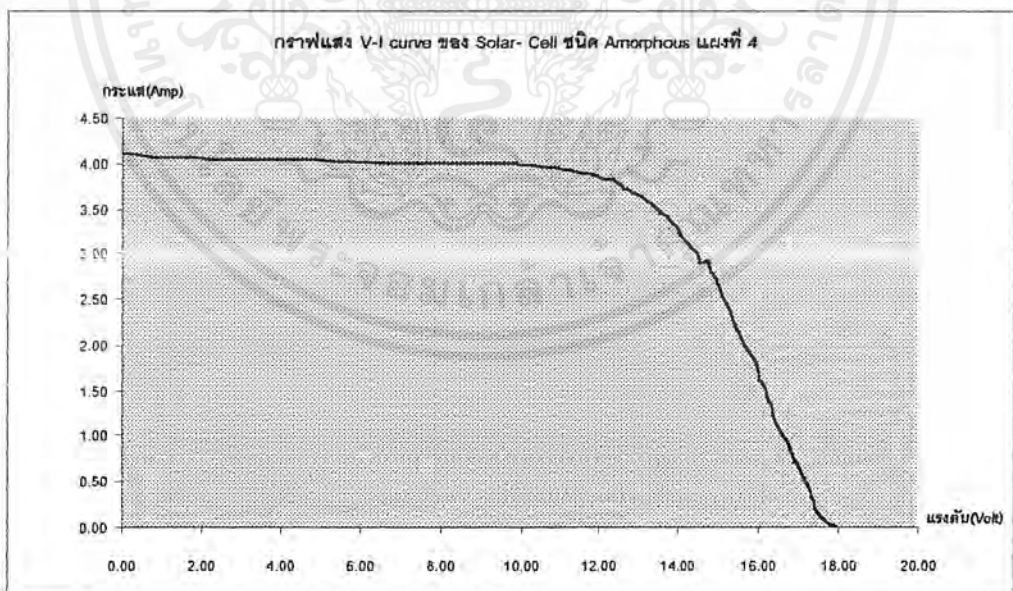


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 2 จากตารางที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

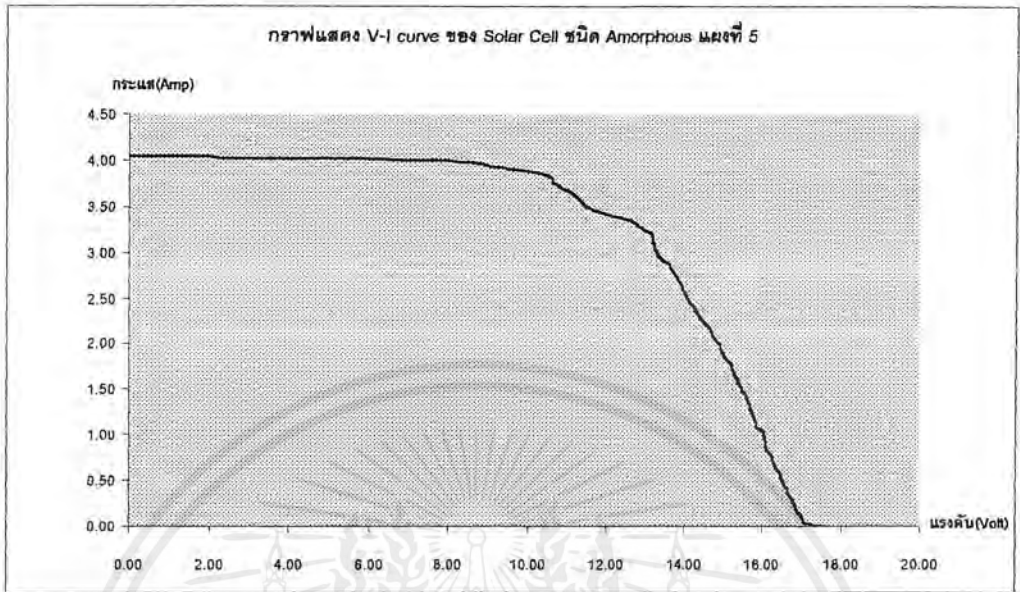


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 3 จากตารางที่ 3.14

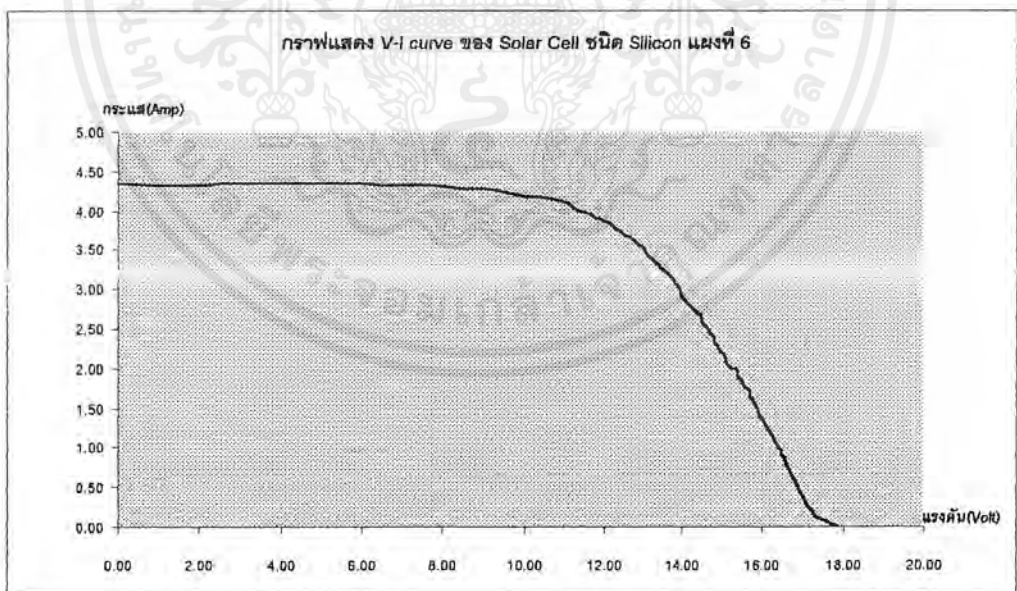


รูปที่ 3.7 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4 จากตารางที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

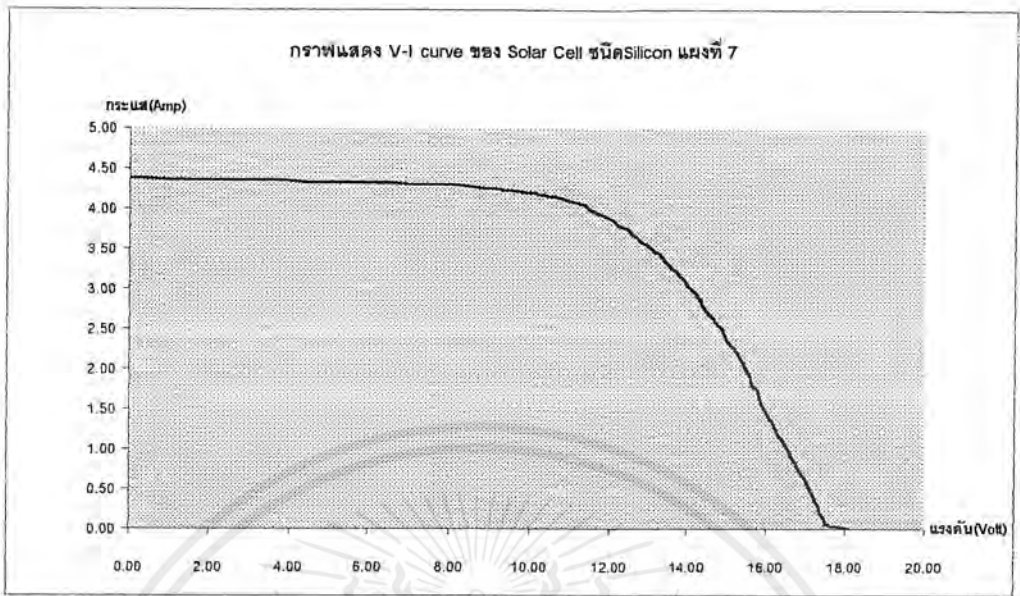


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 5 จากตารางที่ 3.16



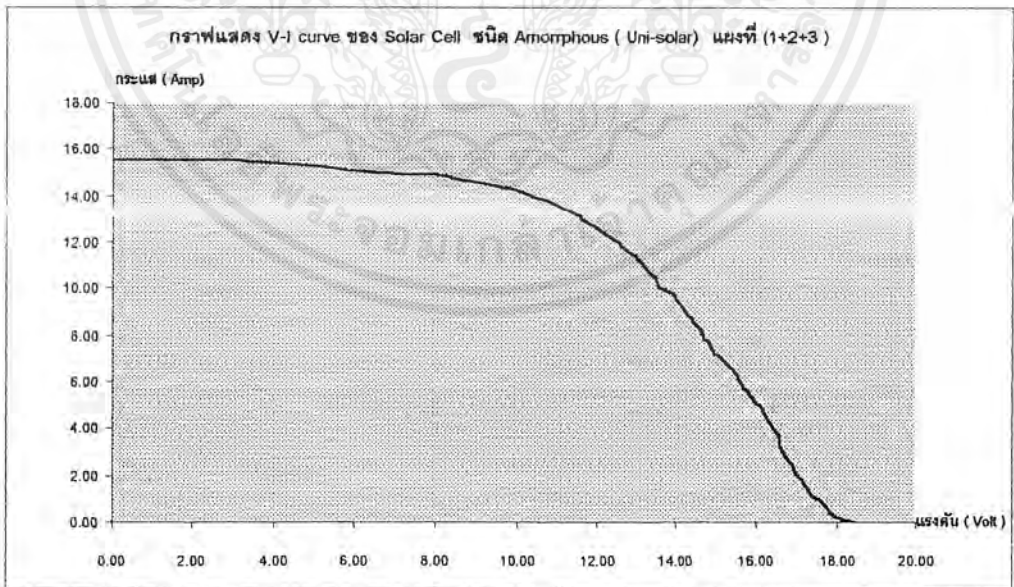
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6 จากตารางที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



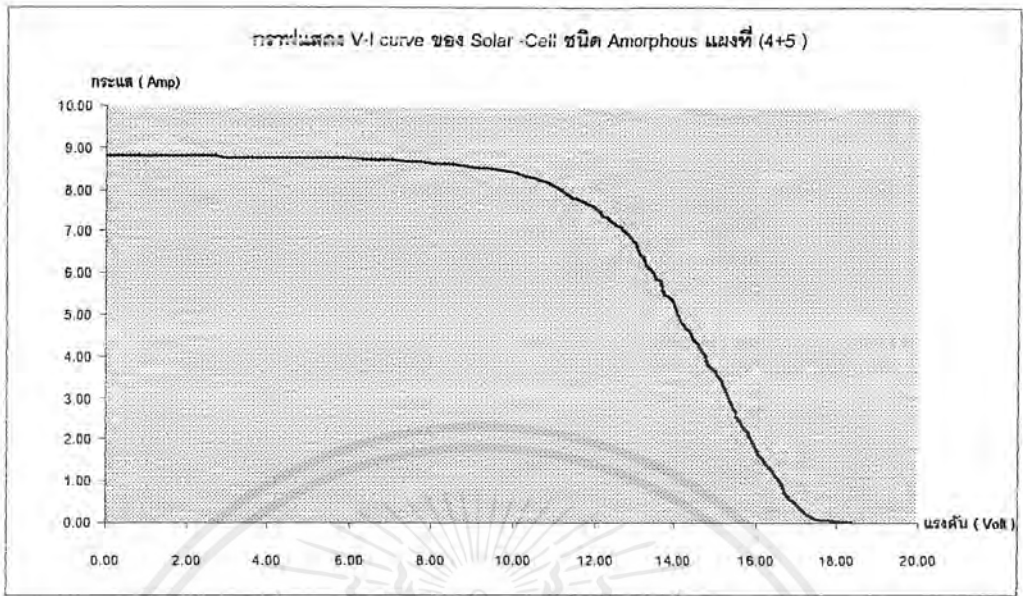
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 7 จากตารางที่ 3.18

3.3.3.2 ทาคคุณสมบัติของแผงโดยการนำแผงชนิดเดียวกันมาต่อขนานกัน

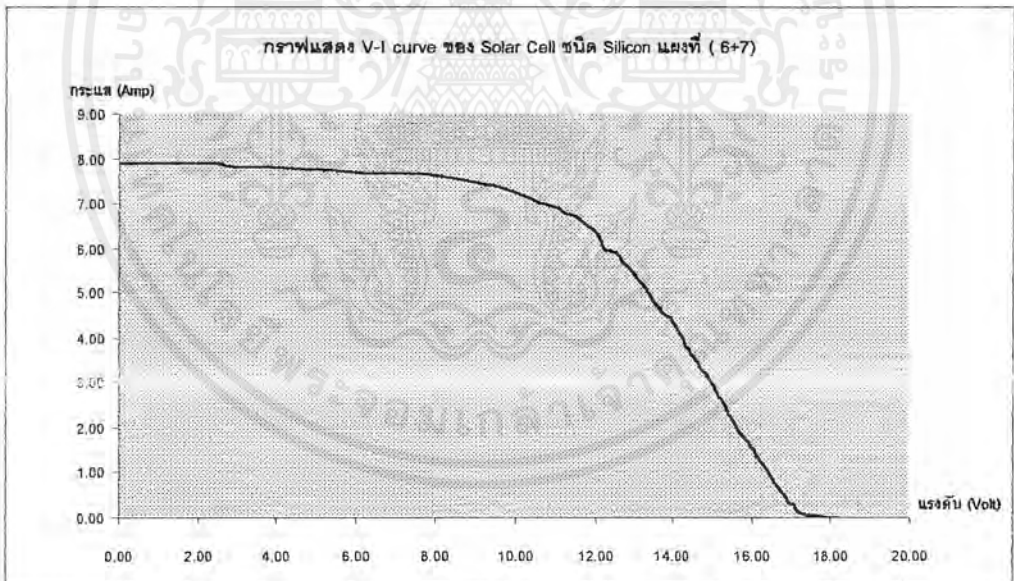


รูปที่ 3.11 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3 จากตารางที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



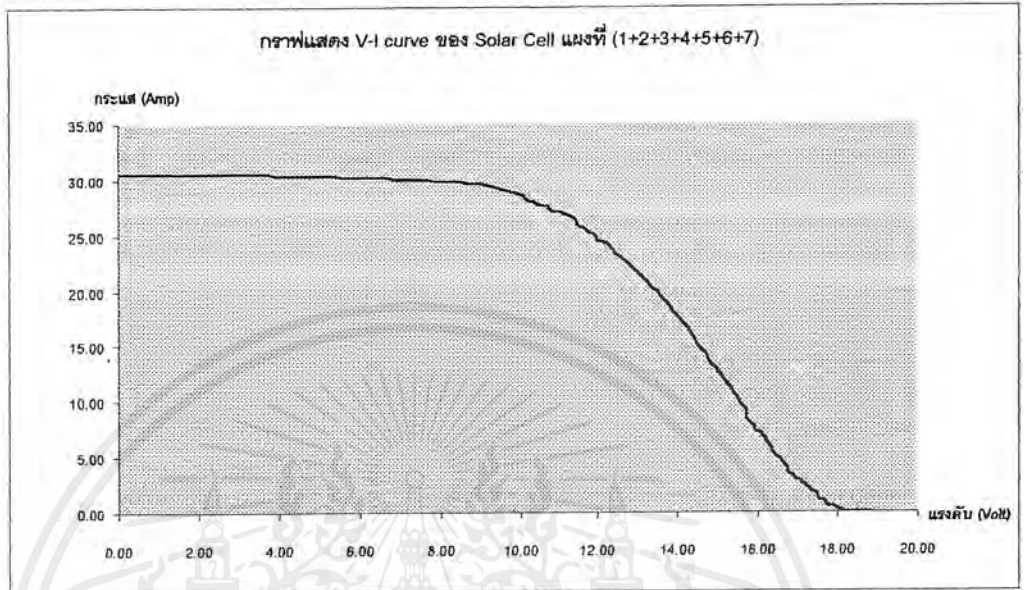
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 4+5 จากตารางที่ 3.20



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 6+7 จากตารางที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 การทดสอบเพื่อหา V-I CURVE โดยการนำแผงทั้งหมดมาต่อขนานกัน



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสของแผงที่ 1+2+3+4+5+6+7 จากตารางที่ 3.22

3.4 สรุปผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหา V-I CURVE ของแผงแต่ละแผงเพื่อที่จะนำไปใช้ในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ ในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่นั้น เราได้นำแผงทั้งหมดมาทำการต่อขนานกันทั้งหมด ทำให้ได้พิกัดต่างๆคือ แรงดันเปิดวงจรที่ประมาณ 18.89 โวลต์ กระแสลัดวงจรที่ประมาณ 30.49 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ประมาณ 301.63 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์ และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 56 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะนำไปประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมง ต่อไป ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

ในการทดสอบแผงนี้ทำให้เห็นว่าความเข้มแสงจะมีผลกับกระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือที่ความเข้มแสงมากแผงจะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้มากและเมื่อความเข้มแสงน้อยแผงจะจ่ายกระแสออกมาได้น้อย และแรงดันจะมีผลกับความเข้มแสงเล็กน้อย โดยวัดที่อุณหภูมิเท่ากัน ส่วนอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่แผงคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันที่แผงจะลดลงและเมื่ออุณหภูมิต่ำลงแรงดันที่ได้จากแผงจะสูงขึ้น และกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยที่ความเข้มแสงเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่

4.1 การประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่

ผลที่ได้จากการทดสอบแผงที่ผ่านมาในข้างต้นนั้น เราได้นำผลของการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดมาต่อขนานกันเพื่อทำการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมง เป็นเวลาประมาณ 9 ชั่วโมง ซึ่งในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่นั้นแรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกผ่านวงจรยกระดับแรงดัน (BOOST CONVERTER) ให้คงที่แรงดันที่จ่ายให้แก่วงจรประจุไฟฟ้า (CHARGER) ไว้ที่ 17 โวลต์ เนื่องจากแรงดันของแผงนั้นจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แล้วจึงผ่านวงจรประจุไฟฟ้าเพื่อประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.1

จากรูปจะมีวงจรสวิทช์แสงซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงาน คือในตอนกลางวันสวิทช์แสงจะไม่ทำงานซึ่งเป็นช่วงเวลาในการประจุไฟฟ้า แต่เมื่อถึงเวลากลางคืนสวิทช์แสงจะทำงานเพื่อให้แบตเตอรี่ไปจ่ายโหลด และอีกส่วนคือวงจรตัดเมื่อแรงดันที่แผงเซลล์อาทิตย์ต่ำเกินไปไม่สามารถทำการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ได้ เพื่อช่วยป้องกันส่วนของวงจรยกระดับแรงดัน และแผงเซลล์แสงอาทิตย์

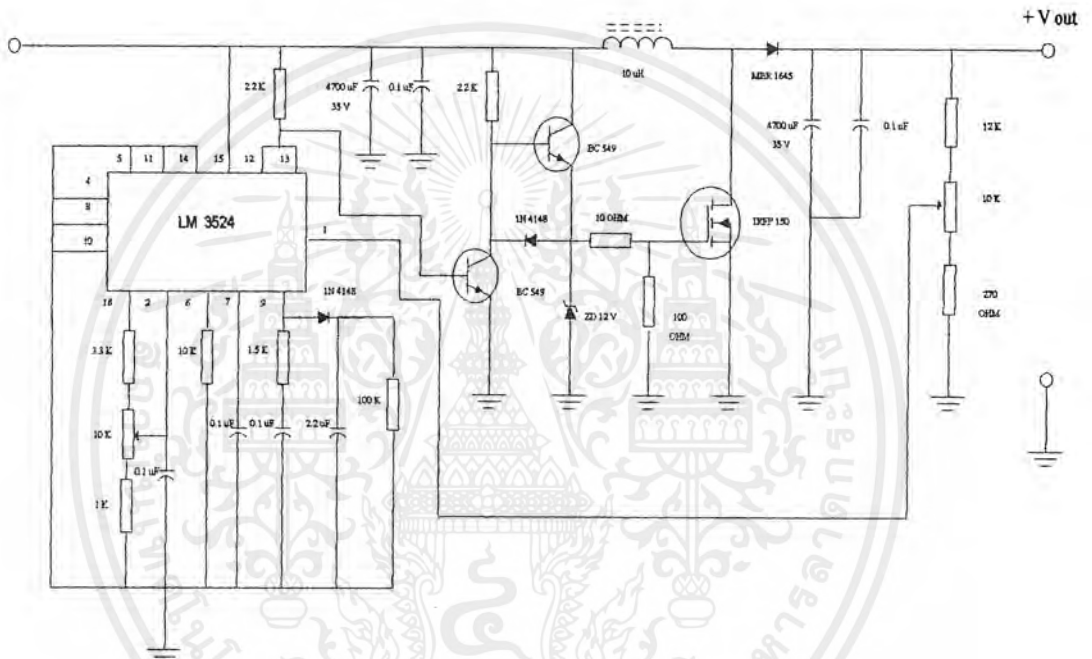


รูปที่ 4.1 บล็อกโคอะแกรมในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรยกแรงดัน (BOOST CONVERTER)

เนื่องจากแรงดันที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเราจึงต้องทำการยกแรงดันและทำให้แรงดันคงที่ โดยที่เราได้ทำการยกแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรยกแรงดันให้คงที่ไว้ที่ 17 โวลต์ เพื่อจ่ายให้แก่วงจรประจุไฟฟ้า

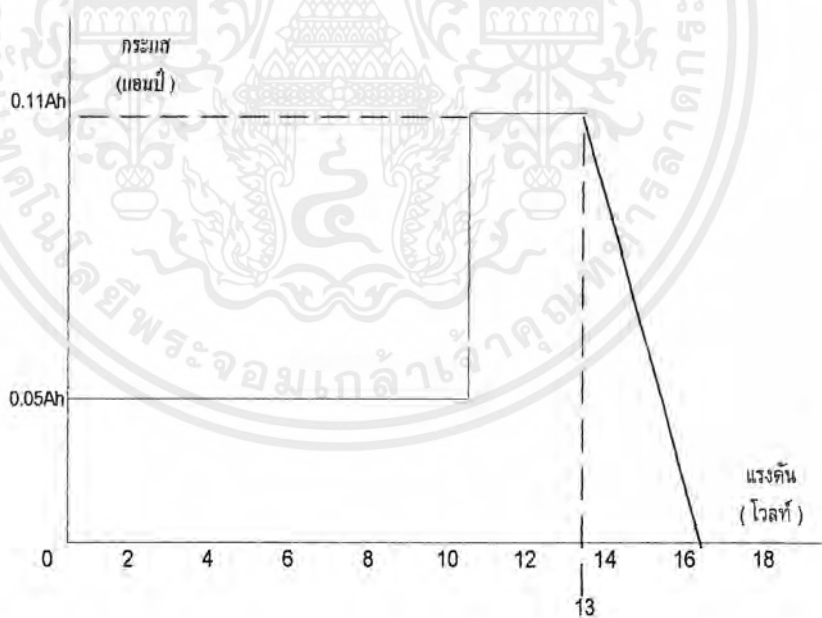


รูปที่ 4.2 วงจรยกแรงดัน (BOOST CONVERTER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

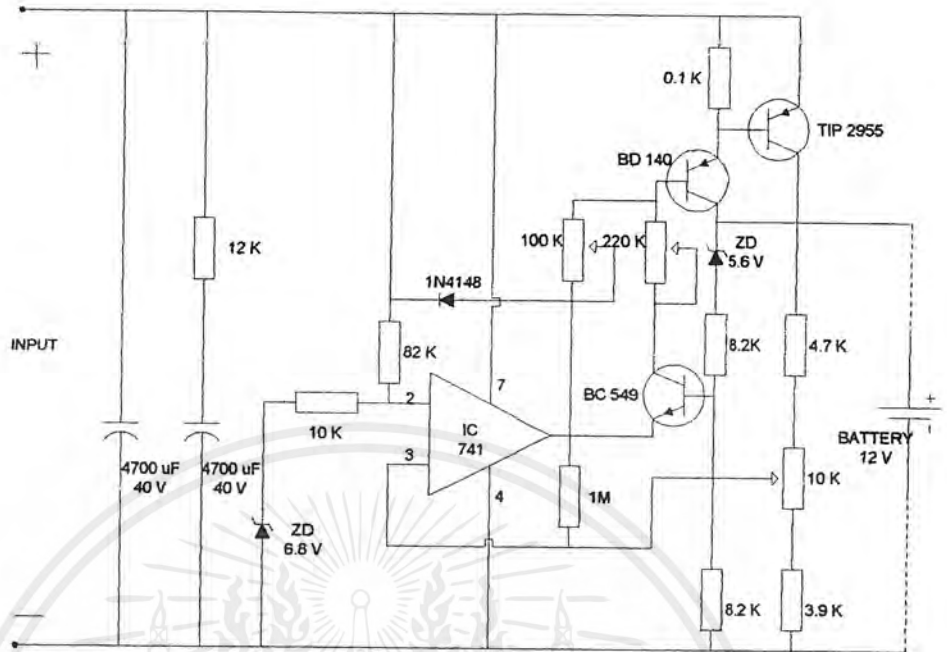
4.3 วงจรประจุไฟฟ้า (CHARGER)

แรงดันที่ด้านเอาต์พุตของวงจรระดับแรงดันจะต่อเข้ากับอินพุตของวงจรประจุไฟฟ้า วงจรนี้ถูกออกแบบให้ใช้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์เท่านั้น แบ่งช่วงในการประจุเป็น 3 ช่วง ในช่วงแรกซึ่งเป็นช่วงที่แบตเตอรี่ ถูกใช้จนหมดเกลี้ยง จะถูกกำหนดให้อัดประจุด้วยกระแสค่อนข้างน้อยเพียงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere – Hour) ค่าความจุในการใช้งานของแบตเตอรี่เท่านั้น เพราะว่าการที่เครื่องอัดแบตเตอรี่ยังจ่ายกระแสมากในขณะที่แบตเตอรี่มีแรงดันน้อยกำลังที่สูญเสียไปในทรานซิสเตอร์ในเครื่องอัดแบตเตอรี่จะยิ่งสูงมากเป็นการเพิ่มขนาดกำลังของทรานซิสเตอร์โดยไม่จำเป็นแรงดันของแบตเตอรี่ช่วงนี้ถูกกำหนดไว้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลท์ และในทันทีที่แรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึง 10 โวลท์ การอัดประจุจะเข้าสู่ช่วงที่ 2 ทันที ซึ่งจะเพิ่มอัตราการอัดขึ้นทันที ซึ่งเราได้ปรับตั้งไว้ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ของขนาดแบตเตอรี่ คือที่ประมาณ 5 แอมแปร์ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นไปอีกจนถึง ประมาณ 13 โวลท์ กระแสที่อัดประจุอยู่จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ จนถึงที่ประมาณ 16.5 โวลท์จึงเป็นศูนย์



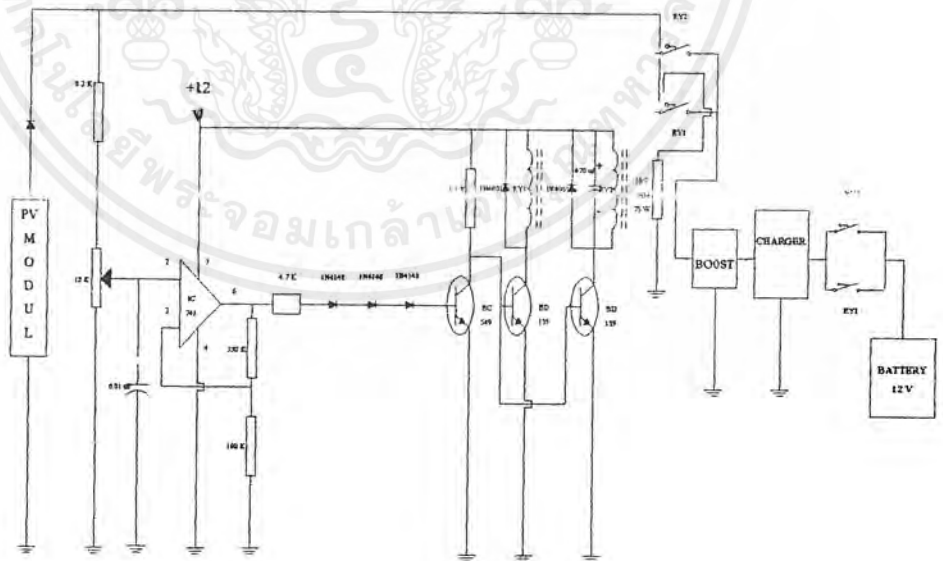
รูปที่ 4.3 รูปหลักการทำการทำงานของวงจรประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วงจรประจุไฟฟ้า (CHARGER)

4.4 วงจรป้องกันเมื่อแรงดันต่ำ (UNDER VOLTAGE PROTECTION)

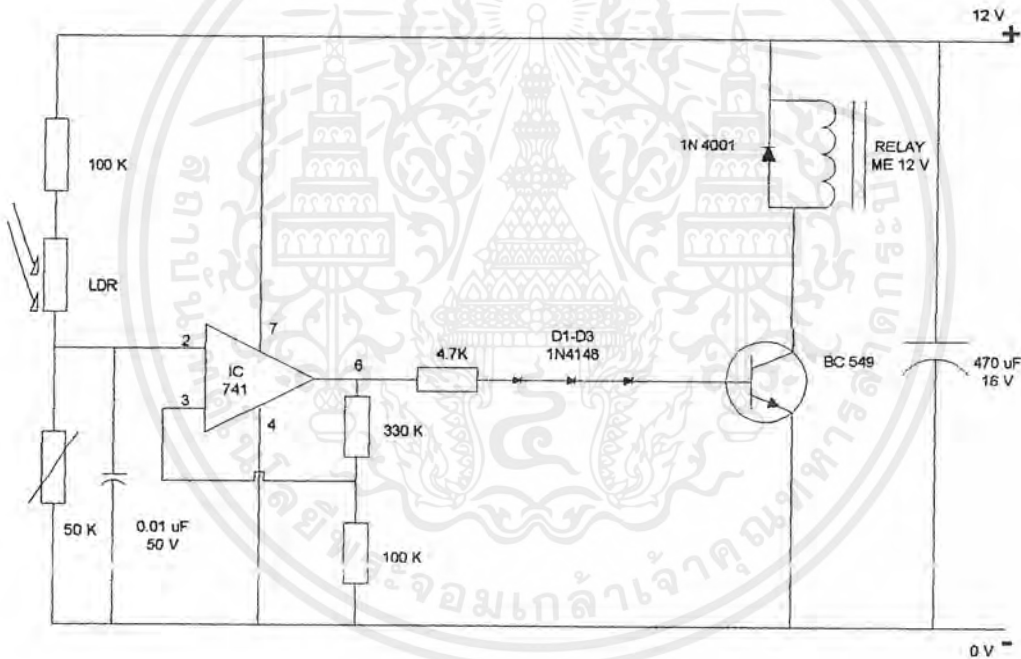


รูปที่ 4.5 วงจรป้องกันเมื่อแรงดันต่ำ (UNDER VOLTAGE PROTECTION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรป้องกันเมื่อแรงดันต่ำ จะทำหน้าที่ป้องกันวงจรระดับแรงดันเพื่อให้วงจรระดับแรงดันสามารถทำงานได้ เนื่องจากในการยกระดับแรงดันนั้นเราได้ทำการออกแบบวงจรให้สามารถยกระดับแรงดันได้ประมาณ 2 เท่า เมื่อเอาท์พุทเท่ากับ 17 โวลต์ แรงดันทางด้านอินพุทหรือที่แผงต้องไม่ต่ำกว่าประมาณ 9 โวลต์ เมื่อแรงดันที่แผงต่ำกว่า 9 โวลต์ วงจรป้องกันแรงดันต่ำจะทำงานทันที โดยให้แรงดันของแผงไปตกคร่อมที่ตัวความต้านทาน 10/7 โอห์ม แทนและเมื่อแรงดันที่แผงมีค่ามากกว่า 17 โวลต์ วงจรป้องกันแรงดันต่ำก็จะทำการต่อแผงเข้ากับวงจรยกระดับแรงดันอีกครั้งเพื่อทำการประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่

4.5 วงจรสวิตช์แสง (LIGHTING SWITCH)



รูปที่ 4.6 วงจรสวิตช์แสง (LIGHTING SWITCH)

วงจรสวิตช์แสงทำหน้าที่ในช่วงกลางวันต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับวงจรประจุไฟฟ้าเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ ส่วนในช่วงกลางคืนจะตัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากวงจรประจุไฟฟ้าและต่อแบตเตอรี่เข้ากับโหลด เพื่อใช้ในการจ่ายโหลดในเวลากลางคืน โดยใช้คุณสมบัติของตัวความต้านแสง (LDR) เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจร

4.6 ผลการทดสอบการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

เวลา	Vin	Iin	Vout	Iout	Lux
8.30-9.00	16.91	5.77	12.40	5.00	37,500
9.00-9.30	16.13	5.84	12.44	5.05	60,000
9.30-10.00	15.58	5.90	12.54	5.00	66,000
10.00-10.30	15.64	5.97	12.67	5.03	78,000
10.30-11.00	15.94	5.83	12.81	4.99	87,000
11.00-11.30	15.98	5.81	13.00	4.97	96,000
11.30-12.00	15.90	5.79	13.10	4.93	120,000
12.00-12.30	15.64	5.83	13.29	4.89	114,000
12.30-13.00	15.66	5.80	13.45	4.81	120,000
13.00-13.30	15.57	5.77	13.68	4.77	126,000
13.30-14.00	15.61	5.61	14.09	4.65	108,000
14.00-14.30	16.18	5.32	14.58	4.55	90,000
14.30-15.00	15.88	5.22	14.95	4.46	84,000
15.00-15.30	15.78	5.16	15.14	4.37	75,000
15.30-16.00	15.69	4.68	15.34	4.08	63,000
16.00-16.30	15.60	4.49	15.41	3.85	54,000
16.30-17.00	15.35	4.38	15.44	3.71	42,000
17.00-17.30	15.25	4.40	15.42	3.62	27,000

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

เมื่อ Vin คือ แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (โวลต์)

Iin คือ กระแสที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับวงจรประจุไฟฟ้า (แอมป์)

Vout คือ แรงดันที่แบตเตอรี่ (โวลต์)

Iout คือ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (แอมป์)

Lux คือ ความเข้มแสง (ลักซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	Temp 1	Temp 2	Temp 3	Temp 4	Temp 5	Temp 6	Temp 7
8.30-9.00	37	37	36	35	35	35	35
9.00-9.30	44	44	42	41	39	41	41
9.30-10.00	46	46	45	46	45	46	46
10.00-10.30	50	49	48	49	48	48	48
10.30-11.00	50	50	50	49	49	49	49
11.00-11.30	52	51	52	50	51	51	51
11.30-12.00	56	57	56	56	55	56	56
12.00-12.30	55	55	55	56	57	58	58
12.30-13.00	55	55	55	56	57	58	58
13.00-13.30	62	62	61	60	60	61	61
13.30-14.00	60	60	59	57	57	58	58
14.00-14.30	55	56	56	56	57	56	56
14.30-15.00	49	50	50	50	52	52	52
15.00-15.30	48	48	48	51	50	52	51
15.30-16.00	45	45	46	46	47	47	47
16.00-16.30	45	45	44	46	47	47	47
16.30-17.00	41	42	42	43	43	43	43
17.00-17.30	39	39	39	40	41	40	40

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิของแผงในการทดลองการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

- เมื่อ Temp 1 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 1
 Temp 2 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 2
 Temp 3 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 3
 Temp 4 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 4
 Temp 5 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 5
 Temp 6 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 6
 Temp 7 คือ อุณหภูมิของแผงที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

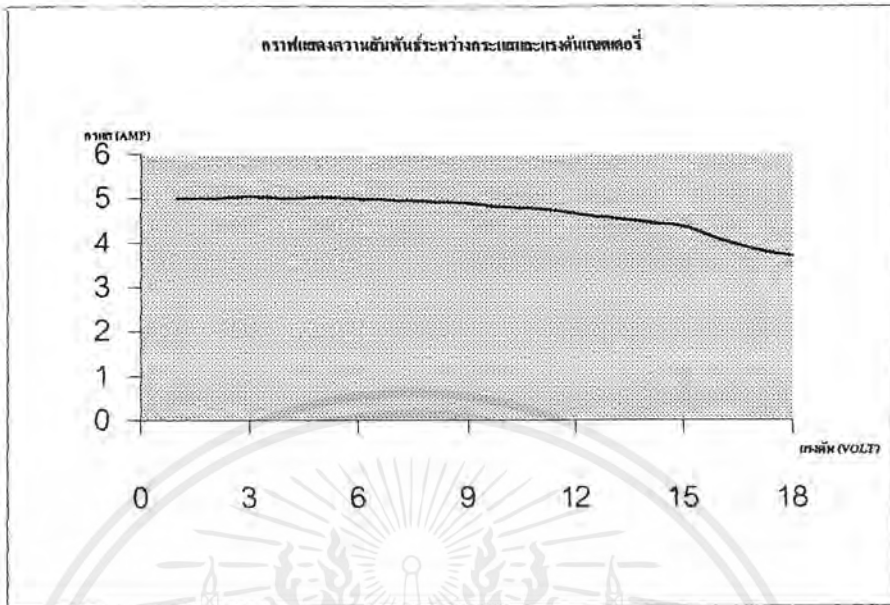
เวลา	Pin	Pout	$\eta\%$
8.30-9.00	97.57	62.00	63.5
9.00-9.30	94.19	62.82	66.67
9.30-10.00	91.92	62.70	68.21
10.00-10.30	93.37	63.73	68.25
10.30-11.00	92.93	63.92	68.78
11.00-11.30	92.84	64.61	69.58
11.30-12.00	92.06	64.58	70.01
12.00-12.30	91.18	64.98	71.26
12.30-13.00	90.82	64.69	71.22
13.00-13.30	89.83	65.25	72.63
13.30-14.00	87.57	65.51	74.80
14.00-14.30	86.07	66.34	77.07
14.30-15.00	82.89	66.67	80.43
15.00-15.30	81.42	66.16	81.25
15.30-16.00	73.42	62.58	85.23
16.00-16.30	70.04	59.32	84.69
16.30-17.00	67.23	57.28	85.20
17.00-17.30	67.10	55.82	83.12

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ได้จากการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

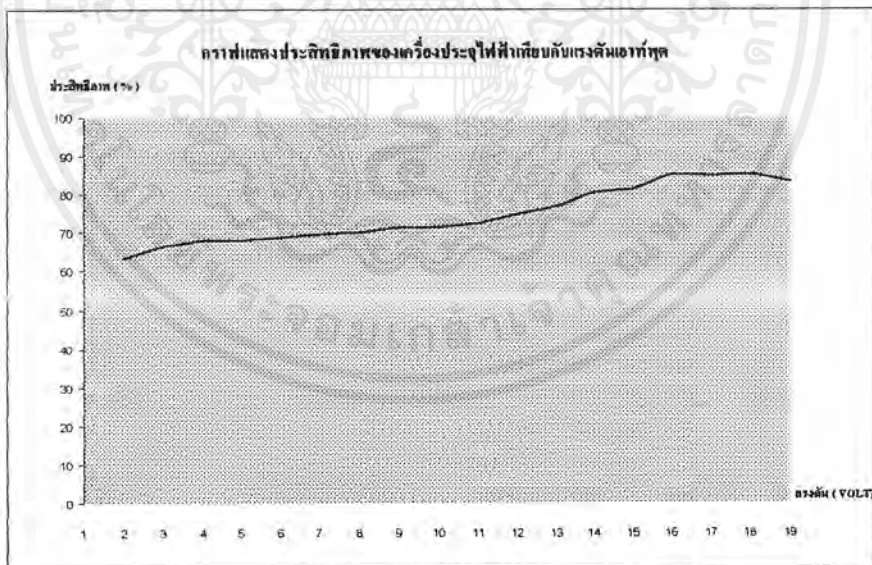
เมื่อ Pin คือ กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($V_{in} \times I_{in}$)

Pout คือ กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ($V_{out} \times I_{out}$)

$\eta\%$ คือ ประสิทธิภาพของเครื่องประจุไฟฟ้า ($(P_{out} / P_{in}) \times 100\%$)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสประจุกับแรงดันแบตเตอรี่



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องประจุไฟฟ้ากับแรงดันแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 สรุปผลการทดสอบการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

ในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่นั้นเราได้นำแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ทั้งหมดมาทำการต่อขนานกันทำให้ได้พิกัดของแอมป์มิเตอร์โดยประมาณ คือ

กระแสตัววงจรประมาณ	30.49 แอมป์	ที่ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์
แรงดันเปิดวงจรประมาณ	18.89 โวลต์	ที่ความเข้มแสง 78,000 ลักซ์
กระแสไฟฟ้าสูงสุดประมาณ	26.74 แอมป์	ที่ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์
แรงดันไฟฟ้าสูงสุดประมาณ	11.28 โวลต์	ที่ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์
กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ	301.63 วัตต์	ที่ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์

ในการทดสอบการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่นั้น เราได้ทำการเริ่มประจุไฟฟ้าตั้งแต่เวลาประมาณ 8.30 น. จนถึง 17.30 น. รวมเป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยเริ่มประจุไฟฟ้าตั้งแต่ตอนที่แบตเตอรี่ถูกใช้จนหมด โดยที่แรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่เริ่มประจุเท่ากับ 12.40 โวลต์ และเมื่อถึงชั่วโมงที่ 9 แรงดันที่แบตเตอรี่เท่ากับ 15.42 โวลต์ ซึ่งถือว่าใกล้เต็มแล้ว โดยที่

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการประจุไฟฟ้าโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณเท่ากับ

$$(62+62.82+62.7+63.73+63.92+64.61+64.58+64.98+64.69+65.25+65.51+66.33+66.67+66.16+62.58+59.32+57.28+55.82) / 18 = 63.275 \text{ วัตต์}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ได้โดยเฉลี่ยจะเท่ากับ

$$63.275 \times 9 = 569.475 \text{ วัตต์-ชั่วโมง}$$

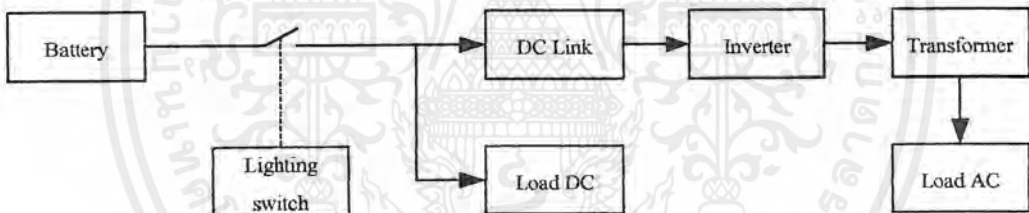
ในส่วน of เครื่องประจุไฟฟ้านั้นจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 4.7 ว่าจะมีประสิทธิภาพในการประจุของเครื่องจะมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นและจากกราฟที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ประจุให้แก่แบตเตอรี่กับแรงดันที่แบตเตอรี่ จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่มากขึ้นกระแสที่ใช้ในการประจุไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงด้วยจากการทดสอบการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์-ชั่วโมง 20 ชั่วโมงเป็นเวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมงนี้ แรงดันของแบตเตอรี่ที่ได้ทำการประจุนั้นเราถือว่าใกล้เต็มแล้ว และสามารถนำไปใช้งานได้ในเวลาถ่วงคืน

บทที่ 5

ส่วนแปลงไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ

5.1 โครงสร้างของส่วนแปลงไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ

ในการใช้แบตเตอรี่ในการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้น จำเป็นต้องทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเสียก่อนจึงสามารถใช้งานได้ ในการทดลองนี้เราได้ทำการนำแรงดันกระแสตรงที่แบตเตอรี่มาทำการยกระดับขึ้นจากแรงดันที่แบตเตอรี่ประมาณ 12 โวลต์ เป็น 150 โวลต์ เพื่อนำไปผ่านในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรง 150 โวลต์ เป็นกระแสสลับที่ ประมาณ 110 โวลต์ แล้วนำไปผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันเป็น 220 โวลต์ เพื่อนำไปใช้งานกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานมีส่วนประกอบในการทำงานคือ

1. แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 45 แอมป์ – ชั่วโมง 20 ชั่วโมง
2. สวิตช์แสง (Lighting switch)
3. วงจรแปลงแรงดันกระแสตรง (DC-DC Converter)
4. วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)
5. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 110/220 โวลต์ 250 โวลต์แอมป์
6. โหลดไฟฟ้ากระแสตรง ฟลูออเรสเซนต์ 12 โวลต์ 24 วัตต์
7. โหลดไฟฟ้ากระแสสลับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 2 หลอด

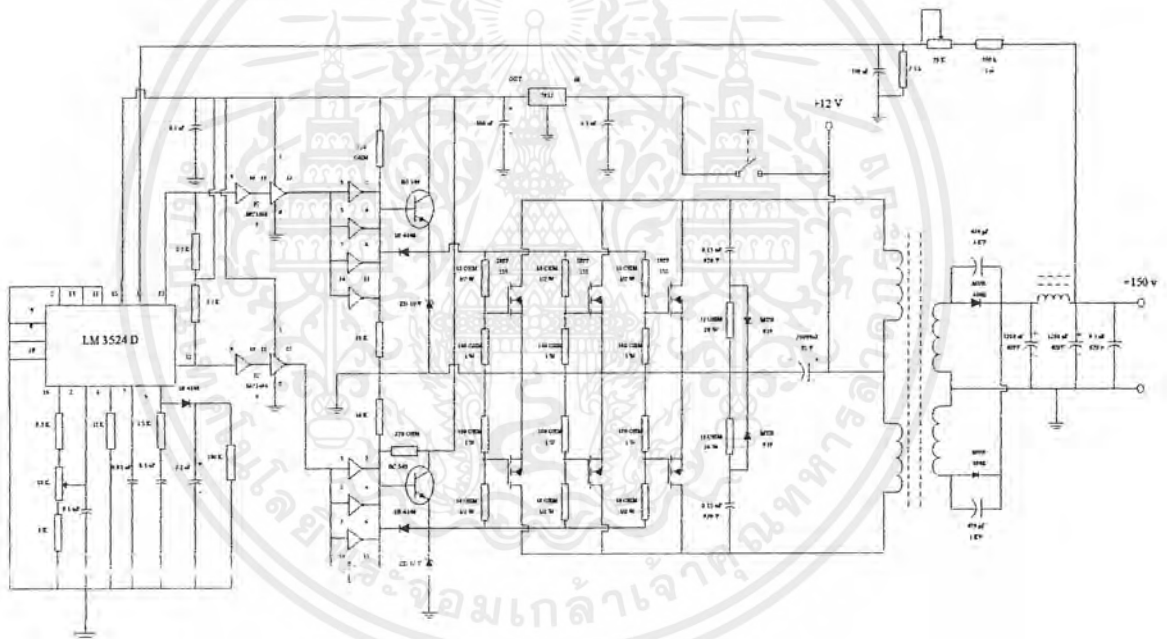
5.2 สวิตช์แสง (Lighting Switch)

ในส่วนของวงจรสวิตช์แสงนี้ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 4.5

5.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC – DC Converter)

ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ที่ประมาณ 12 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 150 โวลต์ เพื่อนำไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป

ในการสร้างวงจรแปลงแรงดันนี้ได้ใช้หลักการของวงจร พูชพูล (Push-Pull Converter) มาใช้ในการแปลงแรงดัน



รูปที่ 5.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

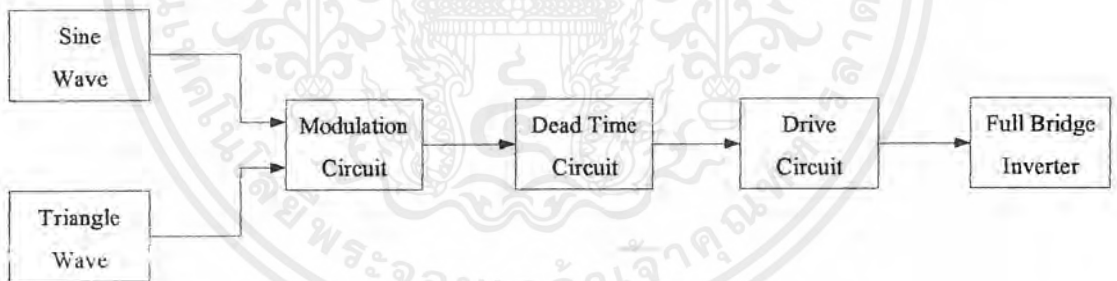
5.4 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC – AC Converter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (DC to AC Converter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันอินพุตไฟตรงเป็นแรงดันเอาต์พุตกระแสสลับที่สามารถปรับความถี่และขนาดได้ตามต้องการ

ในการทดลองนี้ได้นำเอา อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส (Single Phase Inverter) แบบป้อนแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter : VSI) โดยที่สัญญาณที่ใช้ในการป้อนให้แก่อุปกรณ์สวิตช์เป็นแบบมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation Inverter : SPWM Inverter) โดยใช้วงจรในสวิตช์แบบ ฟูลบริดจ์ (Full Bridge)

5.4.1 โครงสร้างของวงจรแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสสลับ

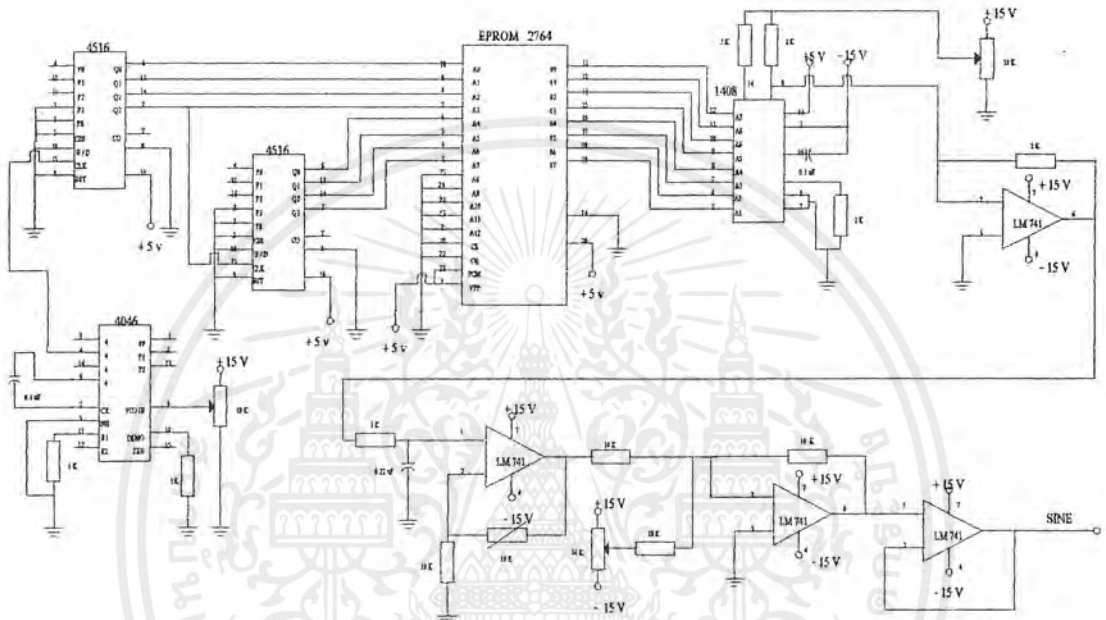
จากรูปที่ 5.3 เป็นบล็อกไดอะแกรมในการสร้างอินเวอร์เตอร์โดยการนำเอาสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50 เฮิรต์ มาทำการมอดูเลชันกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 15 กิโลเฮิรต์สัญญาณมอดูเลชันที่ได้จะผ่านวงจรเดคไทม์ โดยปรับเวลาเดคไทม์ไว้ที่ 5 ไมโครวินาที และผ่านวงจรขับอุปกรณ์สวิตช์ ส่งไปยังวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ ต่อไป



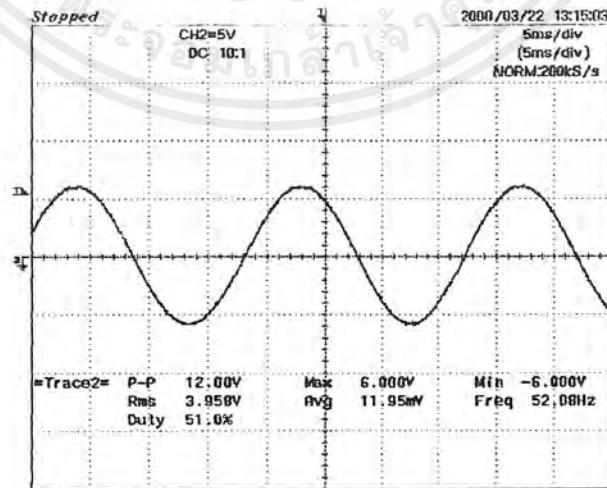
รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมในการสร้างอินเวอร์เตอร์

5.4.2 สัญญาณไซน์ (Sine Wave)

ในการสร้างสัญญาณไซน์เราได้สร้างจากอีพ롬 เป็นสัญญาณไซน์ที่สามารถปรับความถี่ได้ โดยที่เราทำการปรับความถี่ของสัญญาณไซน์ไว้ที่ 50 เฮิรตซ์ เป็นความถี่มาตรฐานปรับแอมพลิจูดของสัญญาณไว้ที่ 6 โวลต์



รูปที่ 5.4 วงจรสร้างสัญญาณไซน์

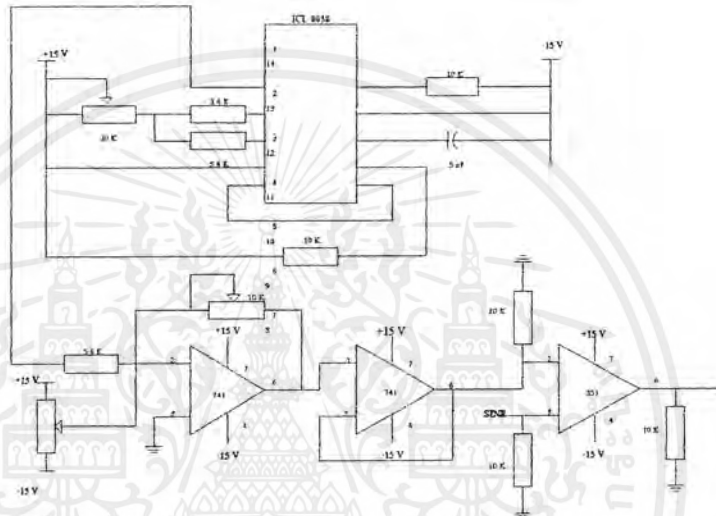


รูปที่ 5.5 สัญญาณไซน์ที่ใช้ในม็อคคูลเกชั่น

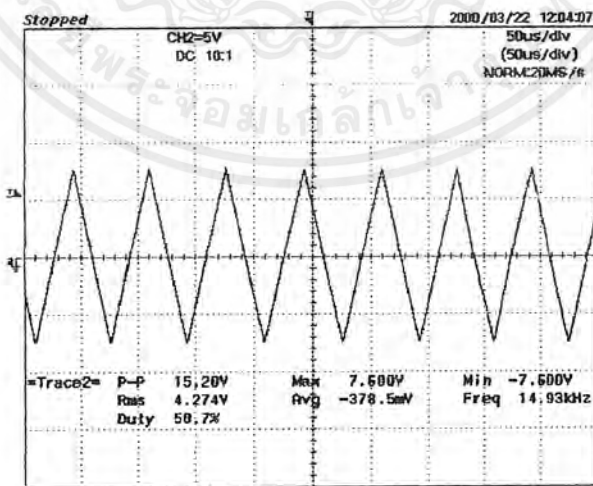
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณมอดูเลชัน(Triangle Wave and Modulation)

ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมเราได้สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 15 กิโลเฮิรต์ และมีแอมพลิจูดของสัญญาณเท่ากับ 7.6 โวลต์ ทำให้ได้สัญญาณมอดูเลชัน ที่มีค่ามอดูเลชันอินดิเคซ์ (Modulation Index) เท่ากับ $6 / 7.6$ เท่ากับประมาณ 0.79 และมีค่ามอดูเลชันของความถี่ (Frequency Modulation Ratio) เท่ากับ $15 \times 10^3 / 50$ เท่ากับ 300

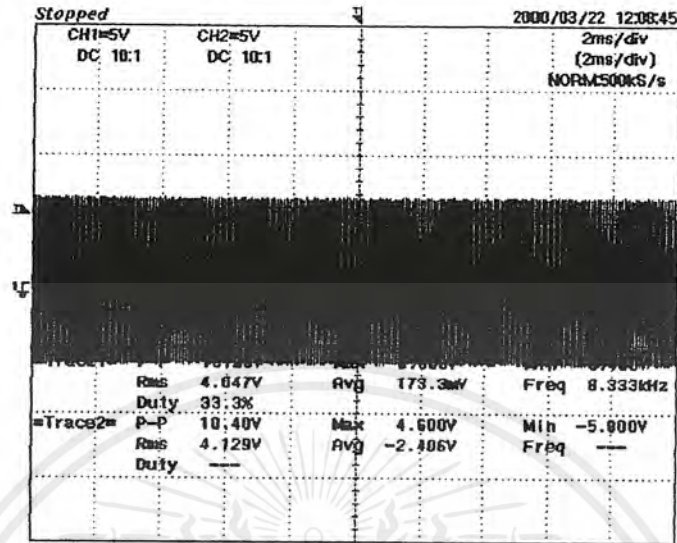


รูปที่ 5.6 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม และ มอดูเลชัน

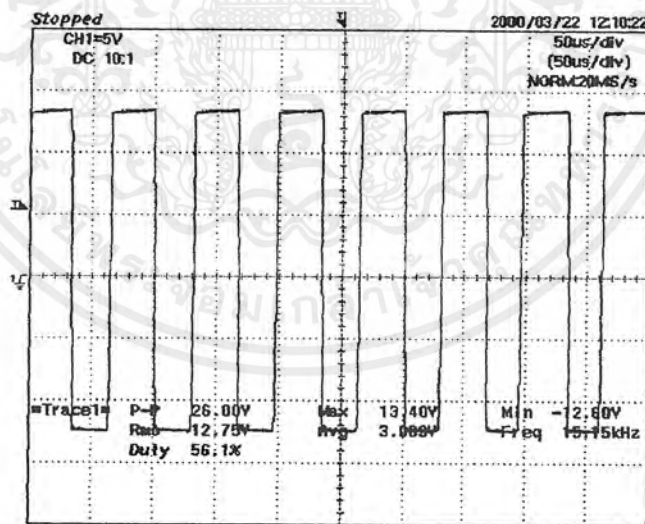


รูปที่ 5.7 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม

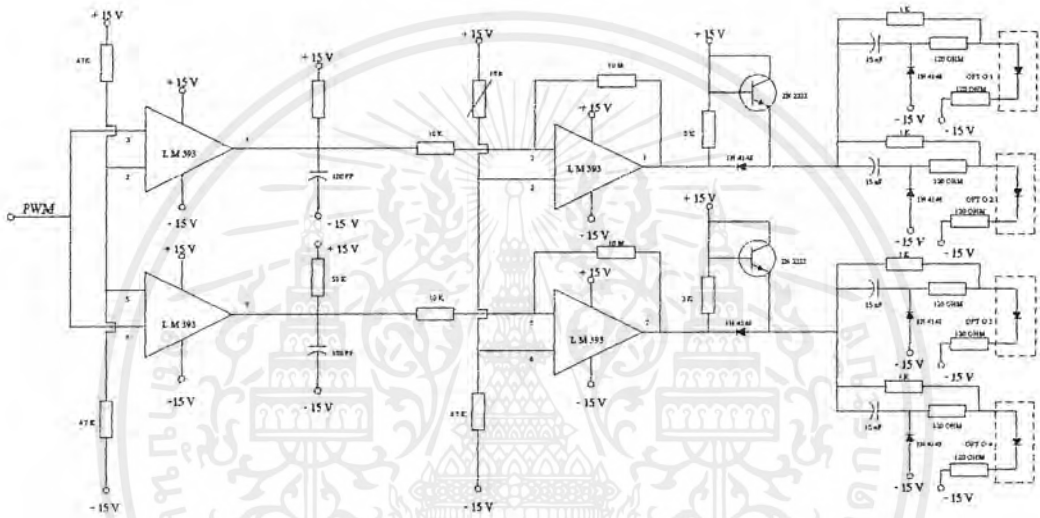


รูปที่ 5.9 สัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลขขึ้น

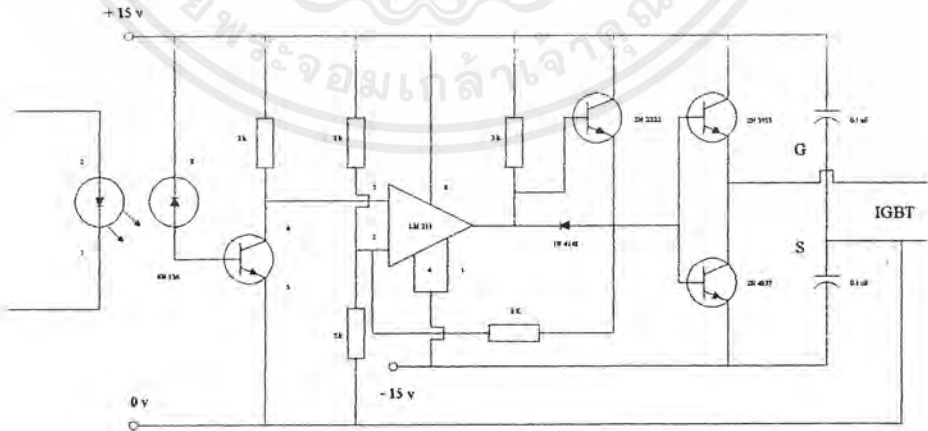
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 วงจรเดดไทม์ (Dead Time) และ วงจรขับ (Drive)

ในการสร้างสัญญาณในการขับอุปกรณ์สวิตช์ที่ต่อแบบ ฟูลบริดจ์ จำเป็นจะต้องมีการสร้างสัญญาณเป็น 2 ส่วน ที่มีช่วงเวลาที่ห่างกัน (Dead Time) เพื่อป้องกันกันลัดวงจรในกิ่งของอุปกรณ์สวิตช์ ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ทำการปรับเวลาเดดไทม์ไว้ที่ 5 ไมโครวินาที ในส่วนของวงจรขับนั้น ได้ออกแบบให้ใช้กับอุปกรณ์สวิตช์ IGBT

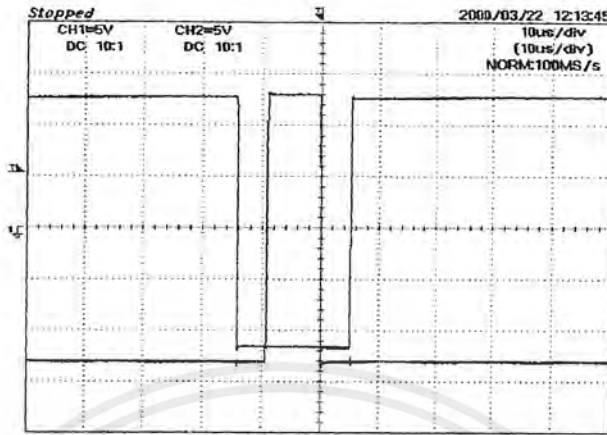


รูปที่ 5.10 วงจรเดดไทม์



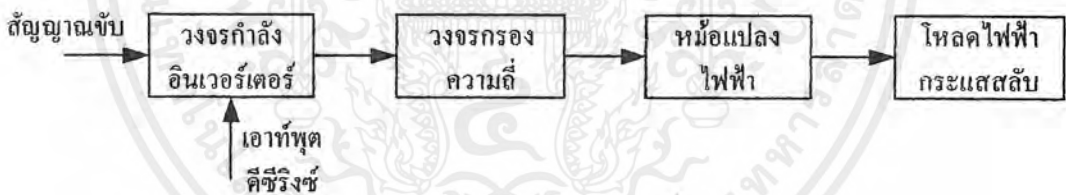
รูปที่ 5.11 วงจรขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 สัญญาณที่ผ่านวงจรเคดไทม์และวงจรขับ

5.5 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์, วงจรกรองความถี่ (Filter) และหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)



รูปที่ 5.13 บล็อกไดอะแกรมการทำงานในส่วนของการจ่ายโหลดไฟสลับ

สัญญาณที่ได้จากการนำแรงดันที่วงจรคีซีริงซ์มาผ่านวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ โดยที่ใช้สัญญาณขับแบบ SPWM มาใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตช์ ซึ่งวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์เป็นแบบฟูลบริดจ์ หนึ่งเฟส เอาต์พุตของวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ที่ได้จะยังมีความถี่สูงปนอยู่จึงต้องมาผ่านวงจรกรองความถี่เสียก่อน ซึ่งวงจรกรองความถี่นี้ใช้วงจร LC Filter ในการกรองความถี่ซึ่งใช้ค่าของความจุไฟฟ้าขนาด 70 ไมโครฟารัด และค่าความเหนี่ยวนำขนาด 50 มิลลิเฮนรี่ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ 110 โวลท์ 50 เฮิร์ต

หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิคคขนาด 110 / 220 โวลท์ 250 โวลท์แอมป์ เพื่อใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการผ่านในส่วนของการกรองแรงดันที่ได้จากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ 220 โวลท์ ที่ 50 เฮิร์ต

บทที่ 6

การทดสอบการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานกับโหลด

6.1 การทดสอบในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ที่โหลดต่างๆ

โหลด	Vin	Iin	Vout	Iout
ไม่มีโหลด	13.6	12.46	253	0
โหลดไส้ขนาด				
50 วัตต์	11.70	12.46	240.5	0.23
100 วัตต์	11.58	33	220	0.45
150 วัตต์	11.61	29	155	0.57
200 วัตต์	11.56	31	140	0.7
โหลดฟลูออเรส				
เซนส์ 2 × 36 วัตต์	11.89	21.6	196.3	1.2
พัดลม 45 วัตต์	11.82	24.6	221.5	0.32
ไฟฉุกเฉิน +				
โหลดฟลูออเรส				
เซนส์ 2 × 36 วัตต์	11.65	23.4	204	0.48

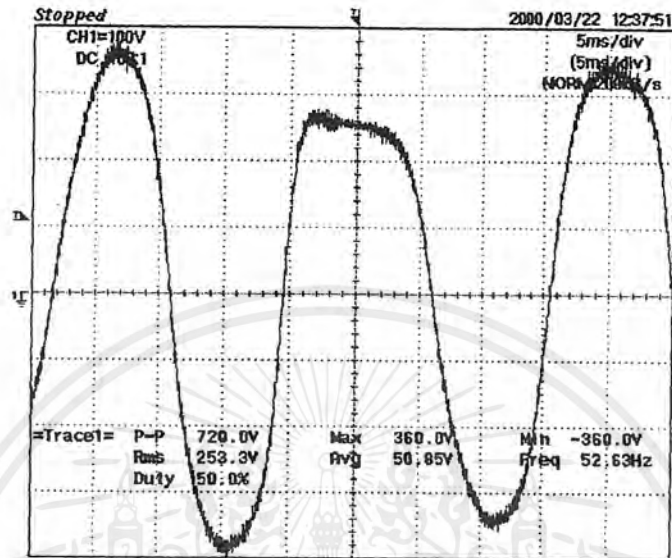
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าของกระแสและแรงดันในการจ่ายโหลดต่างๆ

เมื่อ Vin คือ แรงดันที่แบตเตอรี่ (โวลท์)

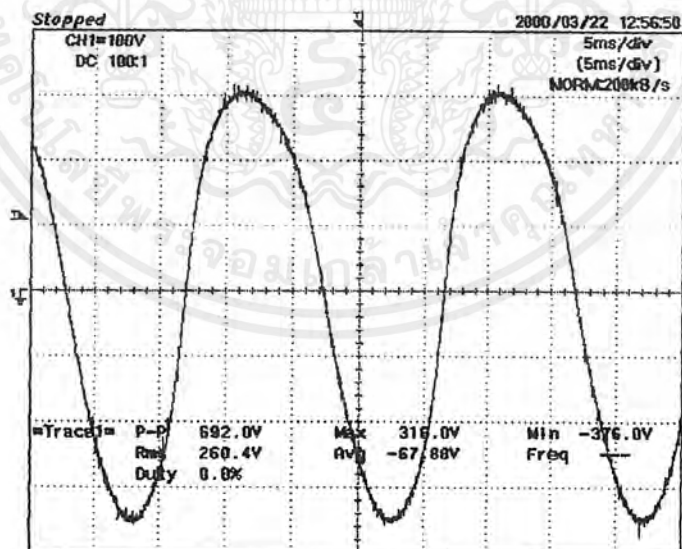
Iin คือ กระแสที่แบตเตอรี่ (แอมแปร์)

Vout คือ แรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลง (โวลท์)

Iout คือ กระแสที่โหลด (แอมแปร์)

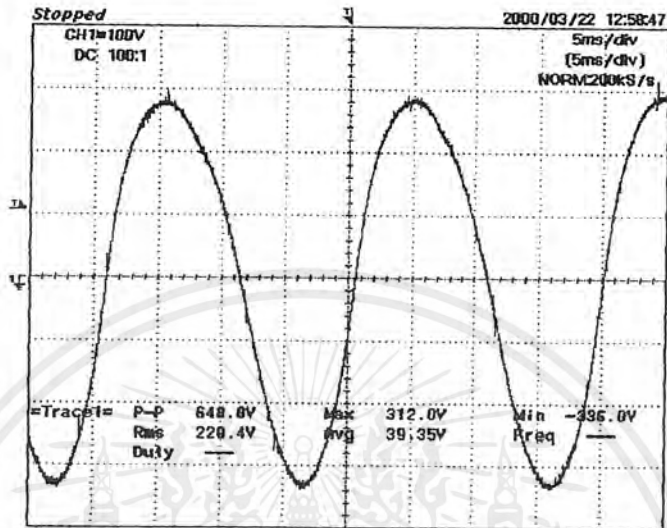


รูปที่ 6.1 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

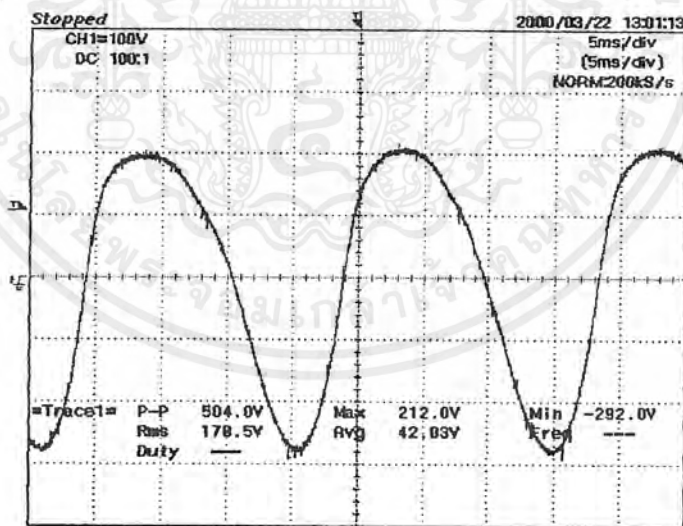


รูปที่ 6.2 สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลงที่โหลดตลอดใส่ 50 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

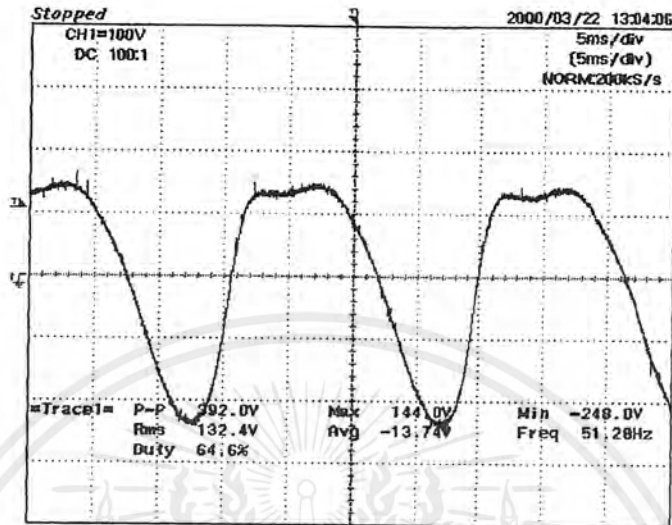


รูปที่ 6.3 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดหกดใส่ 100 วัตต์

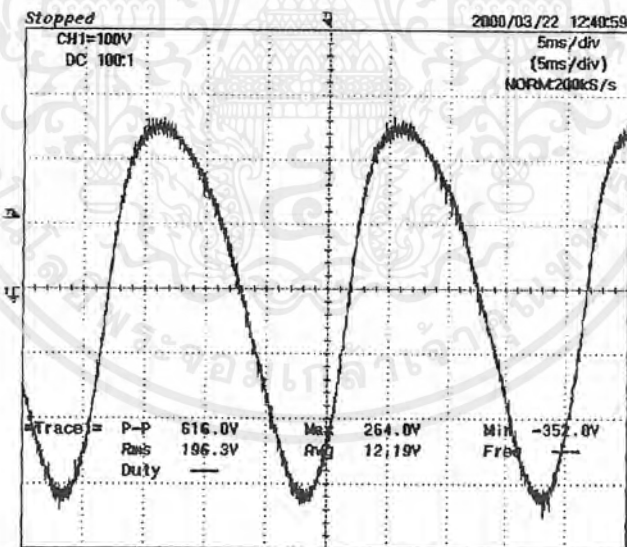


รูปที่ 6.4 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดหกดใส่ 150 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

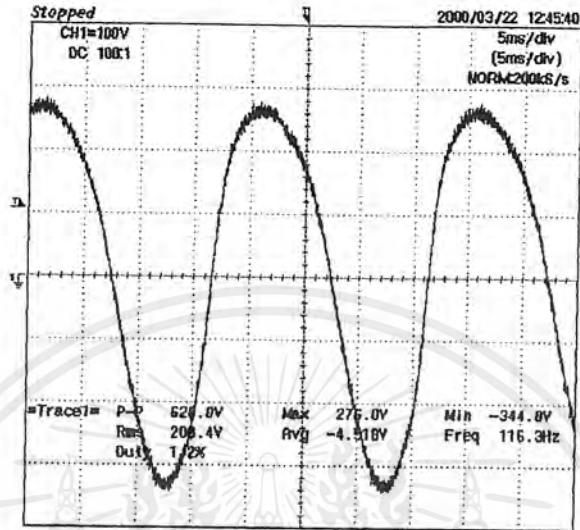


รูปที่ 6.5 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดตลอดใส่ 200 วัตต์

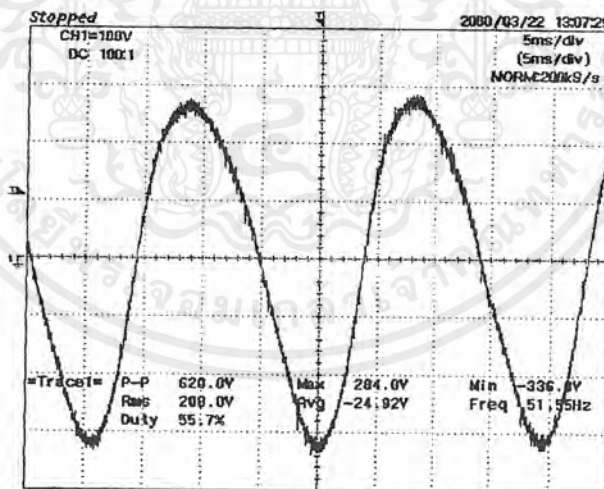


รูปที่ 6.6 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดตลอดฟลูออเรสเซนต์ 2×36 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดพัลลวม 45 วัตต์



รูปที่ 6.8 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลงที่โหลดไฟฟลูคาเจนขนาด 24 วัตต์ กับ
โหลดฟลูออเรสเซนต์ 2×36 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดสอบเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่

ในการทดสอบเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมง โดยทดลองที่โหลดไฟฟลูจเงิน 24 วัตต์ กับโหลดคฟลูออเรสเซนต์ 2×36 วัตต์

เวลา (นาที)	แรงดันแบตเตอรี่ (โวลท์)	กระแสแบตเตอรี่ (แอมป์)	กำลังไฟฟ้าขาเข้า (วัตต์)
2	13.1	22.91	300.12
7	12.0	25.46	305.52
13	11.8	25.18	297.12
19	11.7	25.09	293.55
23	11.6	23.86	276.78
33	11.5	23.44	269.56
38	11.4	23.66	269.72
44	11.3	23.24	262.61
49	11.2	22.99	257.49
กำลังไฟฟ้ารวม			2,532.47
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = กำลังไฟฟ้ารวม / 9			281.38
ประสิทธิภาพในการใช้งานโดยประมาณ = $(96 / 281.38) \times 100\%$			34.1 %

ตารางที่ 6.2 แสดงเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่

6.3 สรุปผลการทดสอบ

ในการทดสอบหาแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับ โหลดต่างๆนั้นเพื่อต้องการแสดงให้เห็นรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่โหลดต่างๆกันและปริมาณกระแสที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้แก่โหลดต่างๆนั้น

ในการทดสอบหาเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมงในโครงการนี้นั้นได้ใช้โหลดไฟฟลูจเงินและโหลดคฟลูออเรสเซนต์ในการใช้ทดสอบ โดยที่สามารถพิจารณาการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

โหลดไฟกระแสตรงไฟฟลูจเงิน ขนาด 12 โวลท์ 24 วัตต์ เมื่อนำไปใช้งานกับแบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์ - ชั่วโมง 20 ชั่วโมง จะสามารถใช้งานได้ยาวนานประมาณ $(45 / 2) = 22.5$ ชั่วโมง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2×36 วัตต์ จากการทดลองจะดึงกระแสจากแบตเตอรี่ 21.6 แอมป์ เมื่อนำไปใช้งานกับแบตเตอรี่ ขนาด 45 แอมป์ – ชั่วโมง 20 ชั่วโมง จะสามารถใช้งานได้ นานประมาณ $(45 / 21.6) = 2.08$ ชั่วโมง

โหลดไฟฉุกเฉิน กับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ จากการทดลองจะดึงกระแสจากแบตเตอรี่ 23.4 แอมป์ เมื่อนำไปใช้งานกับแบตเตอรี่ ขนาด 45 แอมป์ – ชั่วโมง 20 ชั่วโมง จะสามารถใช้งานได้ นานประมาณ $(45 / 23.4) = 1.92$ ชั่วโมง แต่จากการทดลองในตารางที่ 6.2 พบว่าสามารถจ่าย โหลดดังกล่าวได้เพียงประมาณ 49 นาทีเท่านั้น โดยที่แรงดันของแบตเตอรี่ยังเหลือที่ 11.2 โวลท์ แต่เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ไม่สามารถรักษาระดับแรงดันได้โดยเกิดการ กระเพื่อมของแรงดันทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์เกิดการกระพริบไม่สามารถใช้งานได้ และประสิทธิภาพในการใช้งานโดยประมาณเท่ากับ 34.1 เปอร์เซ็นต์

ในการที่จะจ่ายโหลดไฟฉุกเฉิน 24 วัตต์ กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2×36 วัตต์ ในเวลา กลางคืนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องทำการเปลี่ยนขนาดของแบตเตอรี่ใหม่โดยมีขนาดใหม่ดังนี้

กระแสที่แบตเตอรี่จ่ายประมาณ 25 แอมป์ ,เวลาในการใช้งาน 8 ชั่วโมง ดังนั้น

ขนาดของแบตเตอรี่ใหม่มีขนาด $25 \times 8 = 200$ แอมป์ – ชั่วโมง

ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ใหม่ 12 โวลท์ 200 แอมป์ – ชั่วโมง 10 ชั่วโมง

ในการใช้แบตเตอรี่มีขนาดใหญ่ขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ สามารถทำการประจุไฟฟ้าได้ภายในเวลา 9 ชั่วโมง โดยสามารถคำนวณโดยประมาณได้โดยที่เรา ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น US-64 โดยให้ แผงแต่ละแผงมีพิภักในการจ่ายกระแสสูงสุด 2 แอมป์ เวลาในการประจุไฟฟ้าให้เต็ม 9 ชั่วโมง ดังนั้น

กระแสในการประจุไฟฟ้า $= 200 / 9 = 22.22$ แอมป์

ค่าในการอัดประจุ $= 22.22 / 200 = 0.11$ CA

จำนวนแผงที่จะต้องใส่ $= 22.22 / 2 = 11.11$ แผง

จำนวนแผงที่ใช้ในการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ 200 แอมป์ – ชั่วโมง 10 ชั่วโมง ภายในเวลา 9 ชั่วโมง โดยที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด US-64 ซึ่งจะต้องใช้จำนวนแผงประมาณ 12 แผง

บทที่ 7

บทสรุปและวิจารณ์

7.1 บทสรุปและวิจารณ์

ในการทำโครงการนี้เพื่อต้องการนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาแปลงรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ และนำมาใช้ให้แสงสว่างในที่อับถนในเวลากลางคืน

การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหา V-I CURVE ของแผง โดยได้ค่าจากการทดสอบดังนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติของแผงแต่ละแผง โดยหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ดังนี้
 - แผงที่1=13.71 × 4.45 = 60.34วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
 - แผงที่2=14.09 × 4.03 = 56.78วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 132,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส
 - แผงที่3=13.22 × 4.10 = 54.20วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 132,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส
 - แผงที่4=13.66 × 3.42 = 46.71วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 64 องศาเซลเซียส
 - แผงที่5=13.06 × 3.23 = 42.18วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 138,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
 - แผงที่6=12.42 × 3.75 = 46.57วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 138,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส
 - แผงที่7=12.13 × 3.85 = 46.70วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
2. ทดสอบคุณสมบัติเมื่อนำแผงชนิดเดียวกันมาต่อขนานกัน โดยหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ดังนี้
 - แผงที่1+2+3 = 11.79 × 12.75 = 152.61 วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์
อุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อแผง 60 องศาเซลเซียส
 - แผงที่ 4+5 = 11.95 × 7.58 = 90.58 วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์
อุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อแผง 61 องศาเซลเซียส
 - แผงที่ 6+7 = 11.71 × 6.57 = 76.93 วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์
อุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อแผง 54 องศาเซลเซียส
3. ทดสอบคุณสมบัติเมื่อนำแผงทั้งหมดมาต่อขนานกัน โดยหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ดังนี้
 - แผงที่ 1+2+3+4+5+6+7 = 11.28 × 26.74 = 301.63 วัตต์ ที่ ความเข้มแสง 120,000 ลักซ์
อุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อแผง 56 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบแผงข้อมูลที่ได้นี้ทำให้เราสามารถตัดสินใจได้ว่าควรที่จะนำแผงชนิดอะมอร์ฟิส รุ่น US-64 ในการนำไปใช้งานเนื่องจากให้กำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการประจุไฟฟ้า

ในการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ในโครงการนี้พบว่าสามารถที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงพลังงานไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ได้ประมาณ 570 วัตต์-ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบนี้เต็มได้

ปัญหาที่พบ วงจรประจุไฟฟ้าที่ใช้ไม่สามารถที่จะปรับค่ากระแสในการประจุให้เป็นไปตามความเข้มของแสงได้ ซึ่งทำให้บางช่วงเวลาไม่สามารถประจุไฟฟ้าได้

แนวทางแก้ไข ควรใช้วงจรประจุไฟฟ้าที่มีความสามารถในการตรวจจับความเข้มแสงแล้วทำการจ่ายกระแสในการประจุไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเข้มแสง นั่นคือถ้าช่วงใดที่มีความเข้มสูงก็ประจุไฟฟ้าด้วยกระแสที่สูง ช่วงใดที่มีความเข้มต่ำก็ประจุไฟฟ้าด้วยกระแสที่ต่ำ โดยที่กระแสในการประจุไฟฟ้าต้องไม่เกิน 25 % ของขนาดแอมแปร์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ถูกประจุไฟฟ้าได้ตลอดเวลาจนกว่าแบตเตอรี่จะเต็มถึงจะหยุดการประจุ ทำให้สามารถลดเวลาในการประจุไฟฟ้าลง ลดจำนวนแผง และเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

ส่วนของการจ่ายโหลด

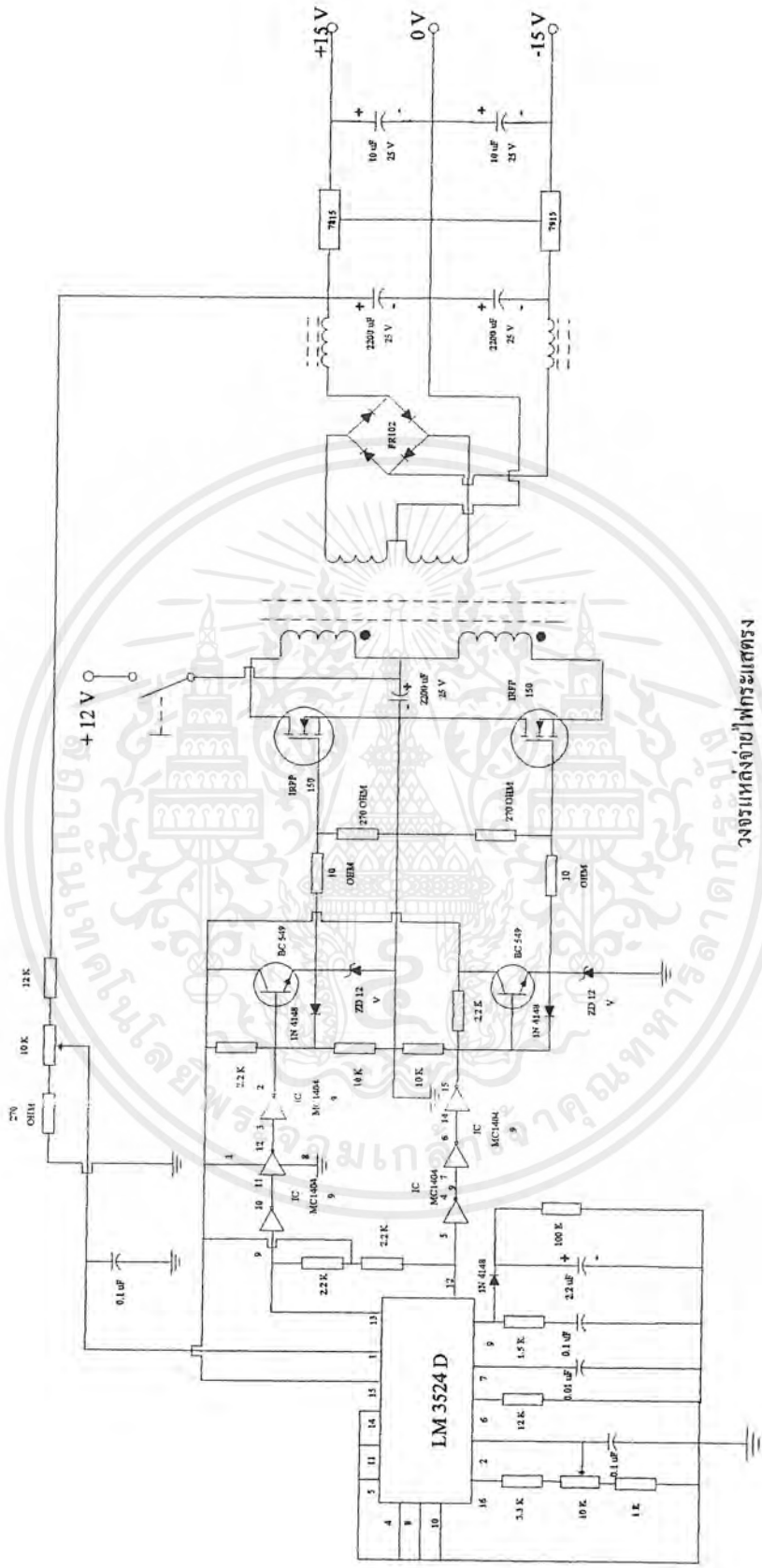
ในการทดสอบนำแบตเตอรี่มาใช้ในการจ่ายโหลดไฟฉุกเฉินและหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นจากการทดสอบพบว่าไม่สามารถที่จะนำแบตเตอรี่ขนาดนี้ไปทำการจ่ายโหลดได้ 8 ชั่วโมงตามต้องการได้ เนื่องจากขนาดของแบตเตอรี่มีขนาดที่ไม่เหมาะสม

ปัญหาที่พบ ในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 12 โวลต์ เป็น 150 โวลต์ โดยใช้วงจรยกแรงดันแรงดันกระแสตรงจะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงดันที่แปลงขึ้นมีขนาดต่ำทำให้ดึงกระแสจากแบตเตอรี่สูง ซึ่งควรที่จะใช้แบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันสูงขึ้น จะช่วยลดการสูญเสียได้และทำให้ขนาดของแบตเตอรี่เล็กลงด้วย และในส่วนของอินเวอร์เตอร์ มีส่วนประกอบของวงจรที่มากและต้องใช้แหล่งจ่ายไฟหลายแหล่งจ่ายเพื่อแยกกราวด์ทำให้พลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไป และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ยังมีสัญญาณรบกวนสูง ทำให้ไม่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงมากกว่า 160 โวลต์ได้ จึงต้องใช้หม้อแปลงในการแปลงแรงดันขึ้นเป็น 220 โวลต์ ทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น

แนวทางการแก้ไข ควรใช้วงจรที่มี IC ตัวเดียวในการสร้างสัญญาณต่างๆและในวงจรขับด้วย ทำให้ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟหลายแหล่งจ่ายมากเกินไปและยังสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้ทำให้สามารถจ่ายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรง ได้สูงขึ้นด้วยและทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอีกด้วย

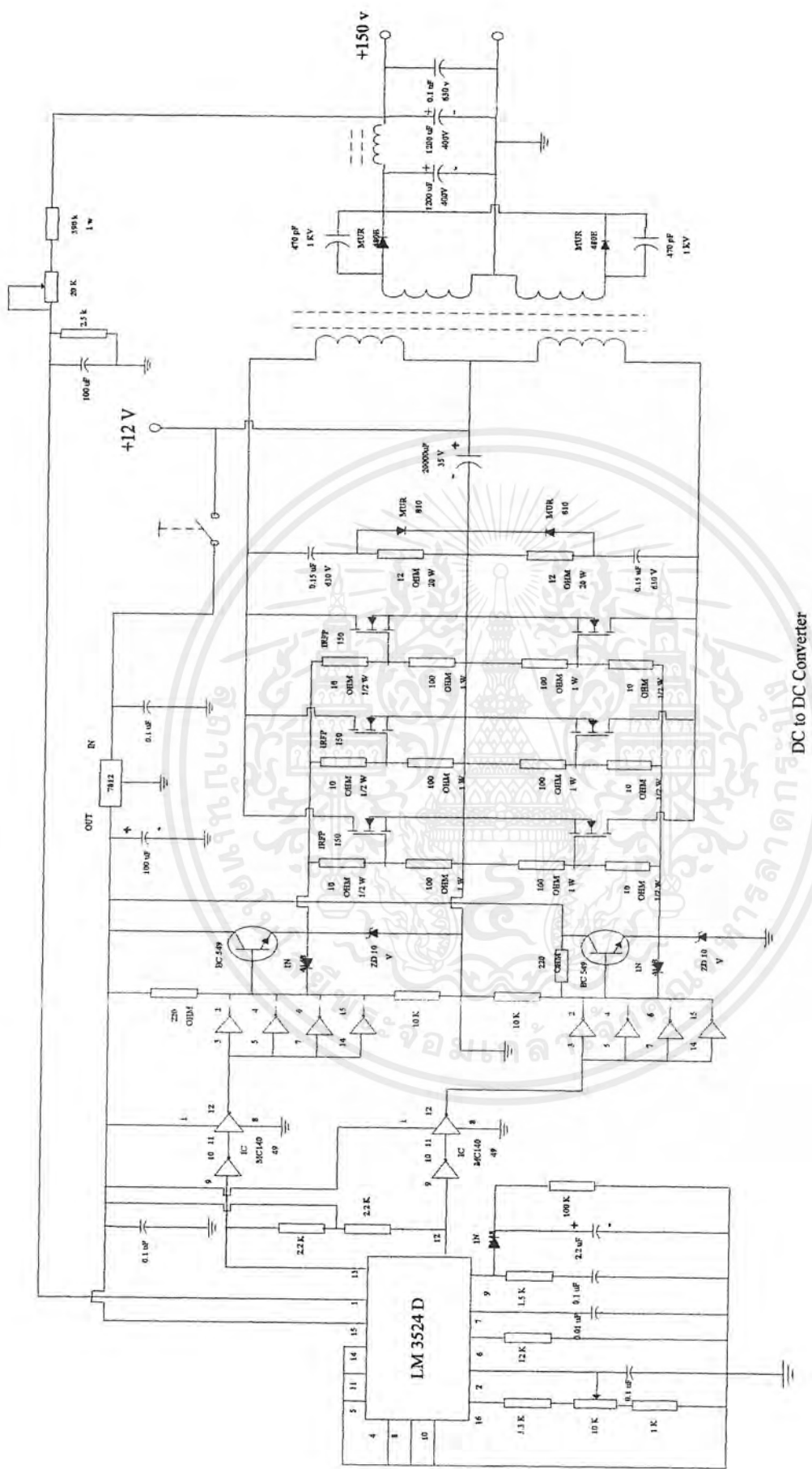


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

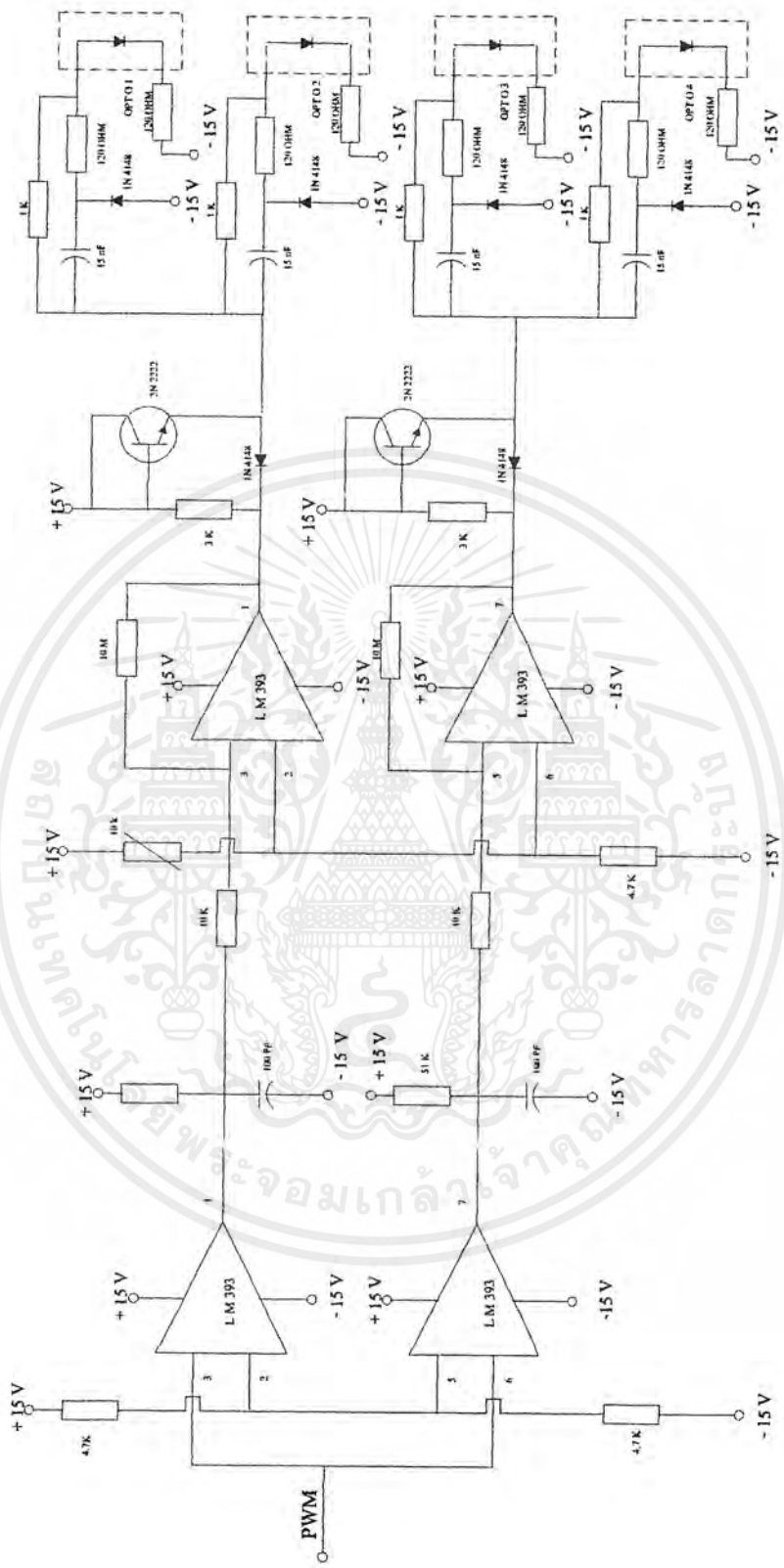


วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

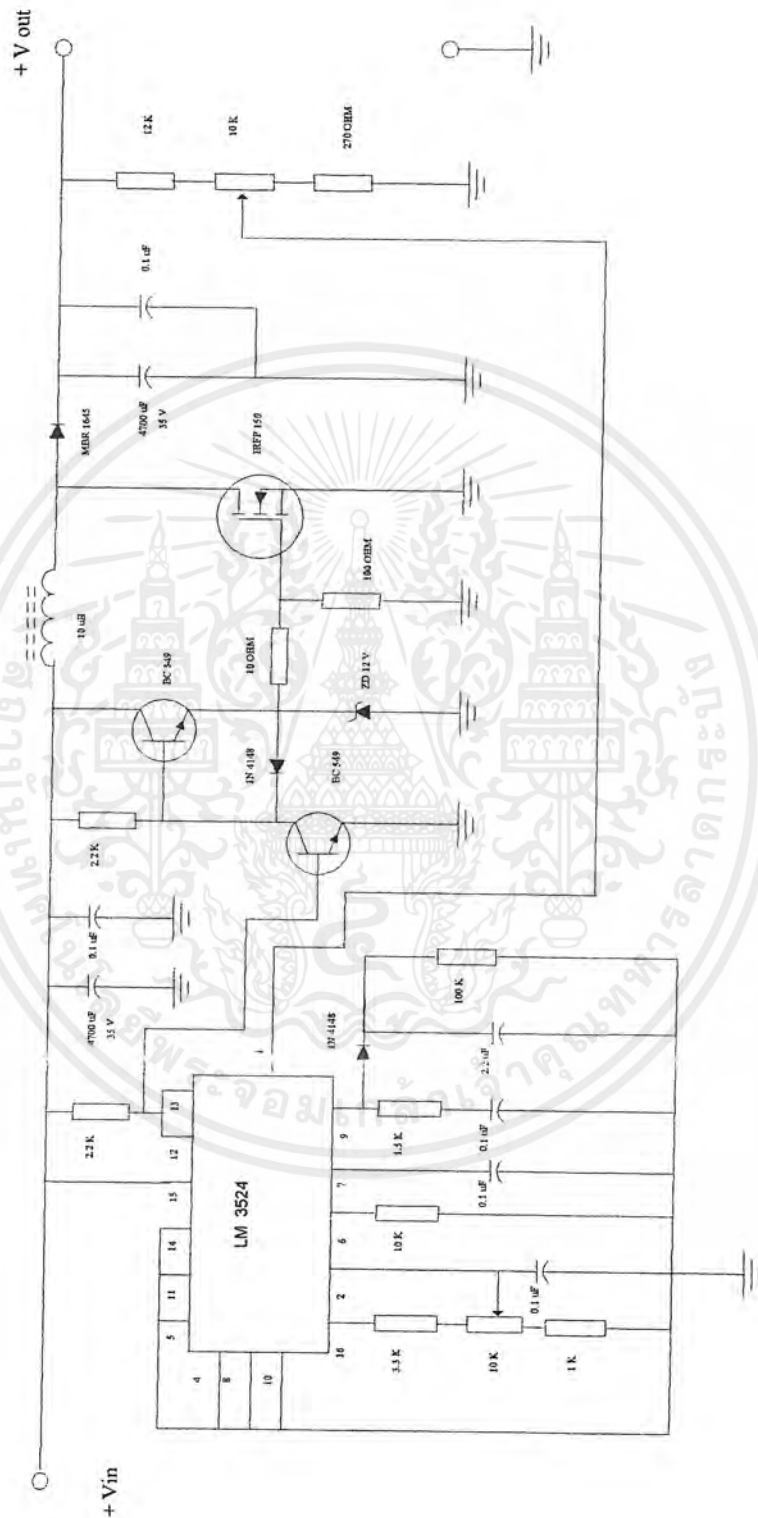


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



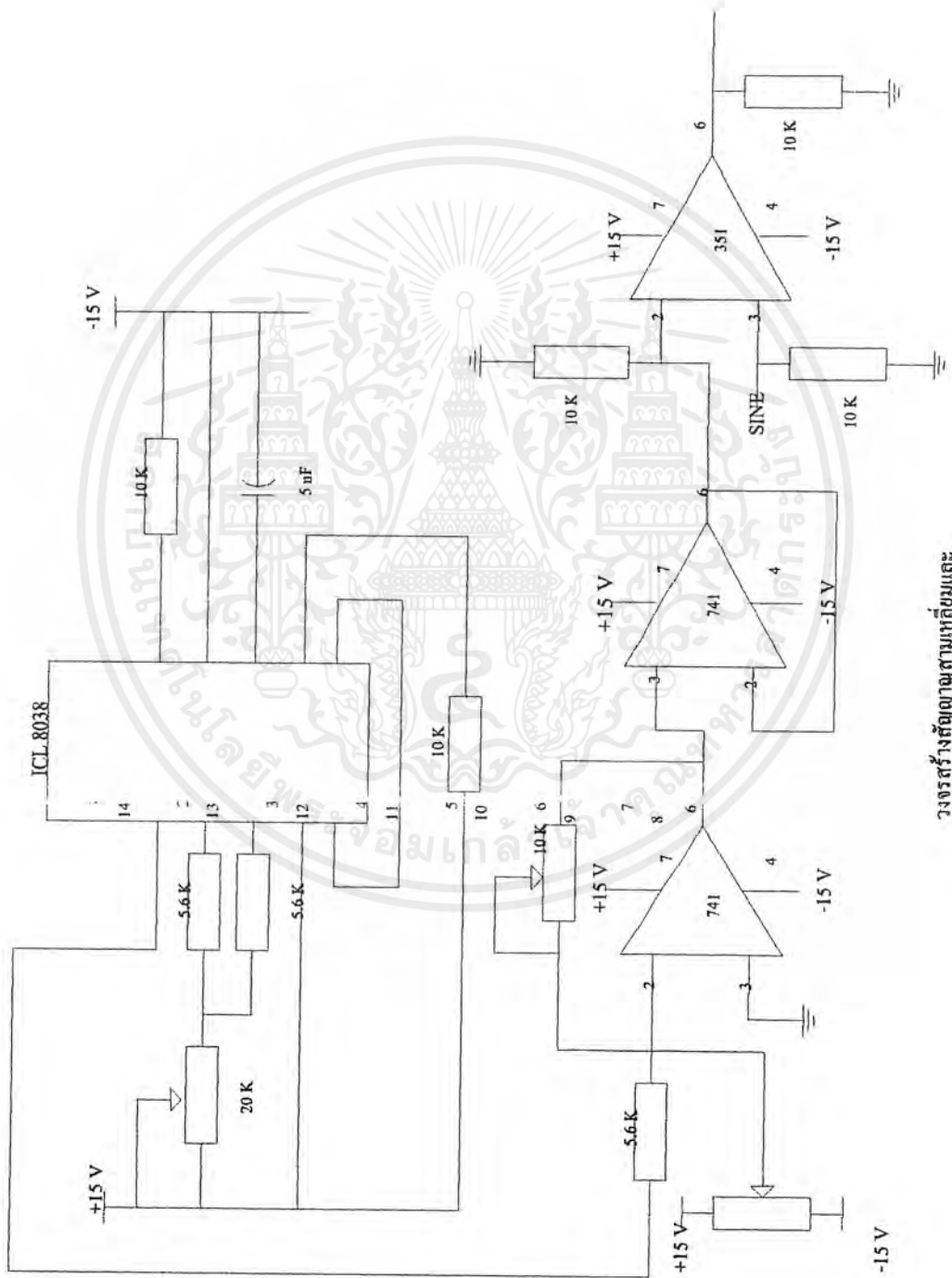
วงจรเดดไทม์
Dead Time Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



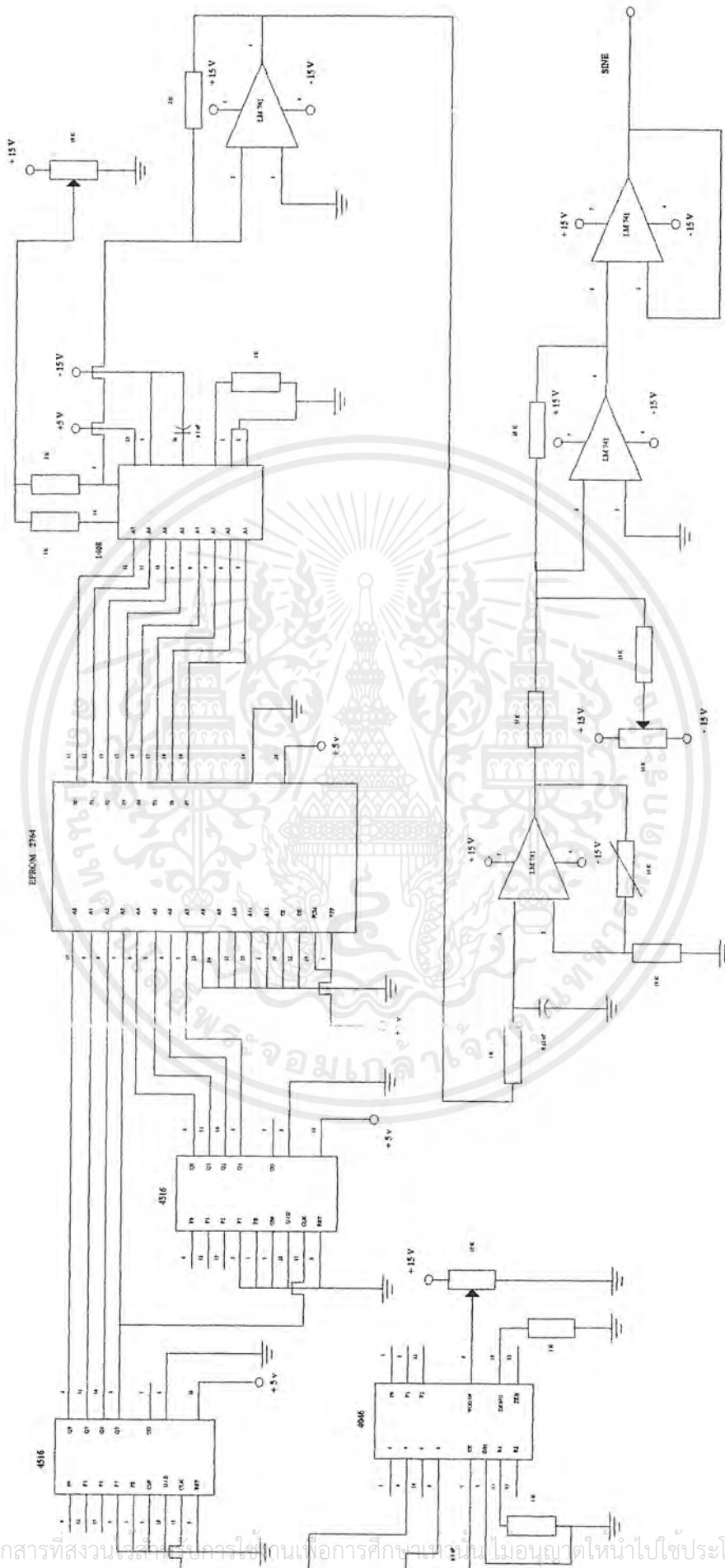
วงจรมอเตอร์แรงดัน Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและ
สัญญาณมีอคติเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

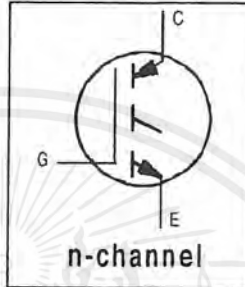


วงจรที่ ๑๕๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

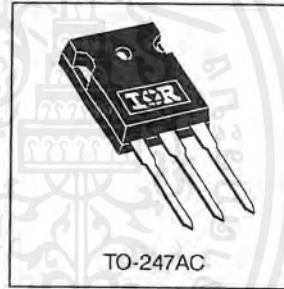
- UltraFast: Optimized for high operating frequencies 8-40 kHz in hard switching, >200 kHz in resonant mode
- Generation 4 IGBT design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than Generation 3
- Industry standard TO-247AC package



$V_{CES} = 600V$
$V_{CE(ON)} \text{ typ.} = 1.72V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 20A$

Benefits

- Generation 4 IGBT's offer highest efficiency available
- IGBT's optimized for specified application conditions
- Designed to be a "drop-in" replacement for equivalent industry-standard Generation 3 IR IGBT's



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	600	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	40	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	20	
I_{CM}	Pulsed Collector Current ①	160	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current ②	160	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
E_{ARV}	Reverse Voltage Avalanche Energy ③	15	mJ
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	160	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	65	
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	-----	-----	0.77	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, flat, greased surface	-----	0.24	-----	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	-----	-----	40	
WI	Weight	-----	6 (0.21)	-----	g (oz)

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	600	----	----	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$
$V_{(BR)ECS}$	Emitter-to-Collector Breakdown Voltage ①	18	----	----	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0A$ See Fig. 2, 5
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	----	0.63	----	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	----	1.72	2.1	V	$I_C = 20A$ $V_{GE} = 15V$ $I_C = 40A$ $I_C = 20A, T_J = 150^\circ\text{C}$
		----	2.15	----		
		----	1.7	----		
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	----	6.0		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T$	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	----	-13	----	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
g_{fe}	Forward Transconductance ②	11	18	----	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 20A$
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	----	----	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V$
		----	----	2.0		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 10V, T_J = 25^\circ\text{C}$
		----	----	2500		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	----	----	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	----	100	150	nC	$I_C = 20A$ $V_{CC} = 400V$ See Fig. 8 $V_{GE} = 15V$
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	----	16	25		
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	----	40	60		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	----	34	----	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 20A, V_{CC} = 480V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail"
t_r	Rise Time	----	19	----		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	----	110	175		
t_f	Fall Time	----	120	180		
E_{on}	Turn-On Switching Loss	----	0.32	----		
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	----	0.35	----		
E_{ts}	Total Switching Loss	----	0.67	1.0		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	----	30	----		
t_r	Rise Time	----	19	----		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	----	220	----		
t_f	Fall Time	----	160	----		
E_s	Total Switching Loss	----	1.4	----	mJ	See Fig. 10, 11, 13, 14
L_E	Internal Emitter Inductance	----	13	----	nH	Measured 5mm from package
C_{ies}	Input Capacitance	----	2100	----	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ See Fig. 7 $f = 1.0MHz$
C_{oes}	Output Capacitance	----	140	----		
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	----	34	----		

Notes:

- ① Repetitive rating; $V_{GE} = 20V$, pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 13b)
- ② $V_{CC} = 80\%(V_{CES})$, $V_{GE} = 20V$, $L = 10\mu H$, $R_G = 10\Omega$. (See fig. 13a)
- ③ Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.
- ④ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.
- ⑤ Pulse width $5.0\mu s$, single shot.

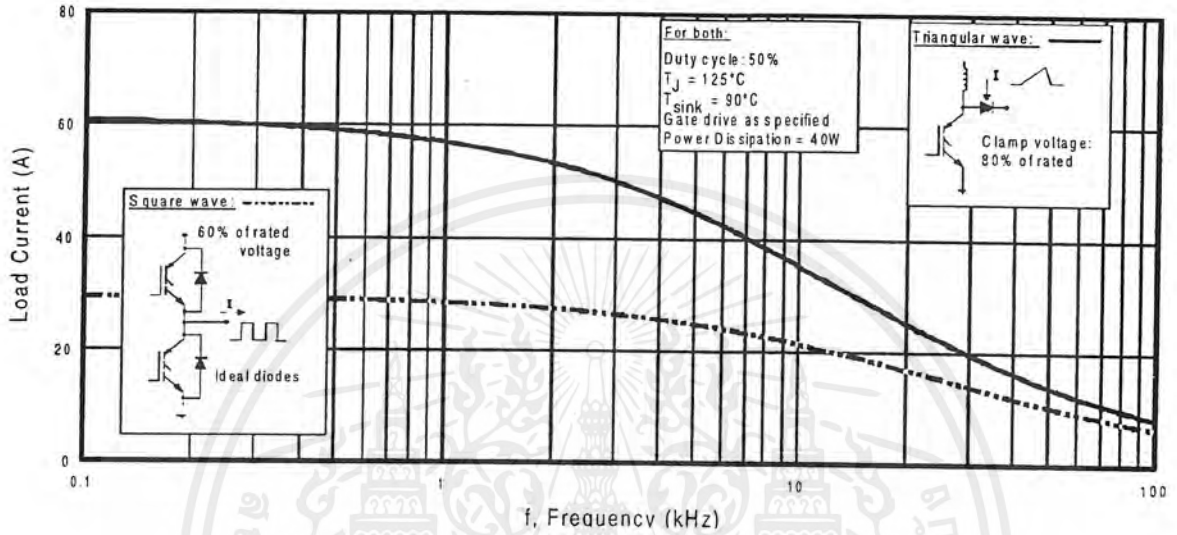


Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
 (For square wave, $I = I_{RMS}$ of fundamental; for triangular wave, $I = I_{PK}$)

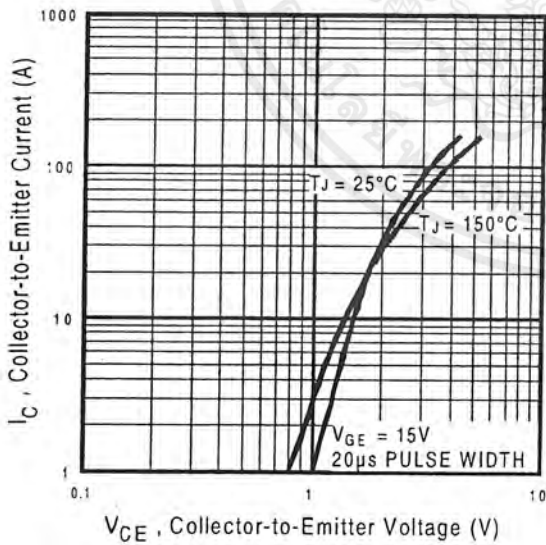


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

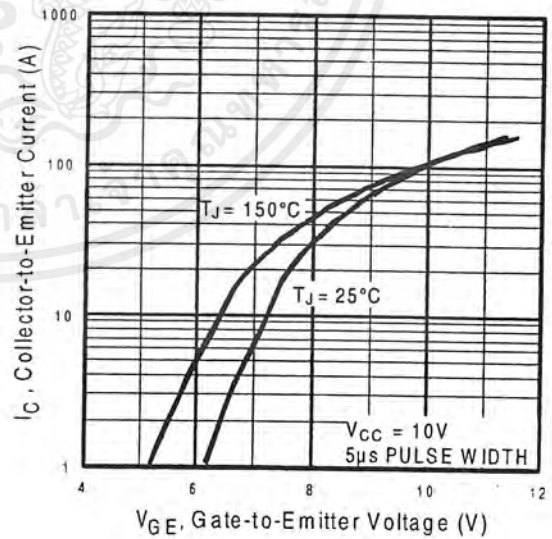


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

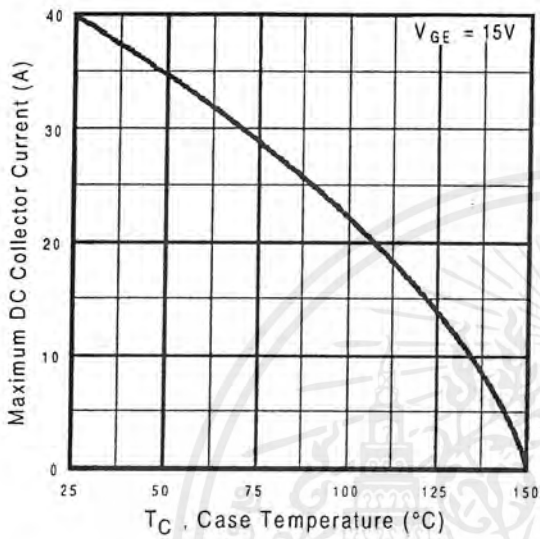


Fig. 4 - Maximum Collector Current vs. Case Temperature

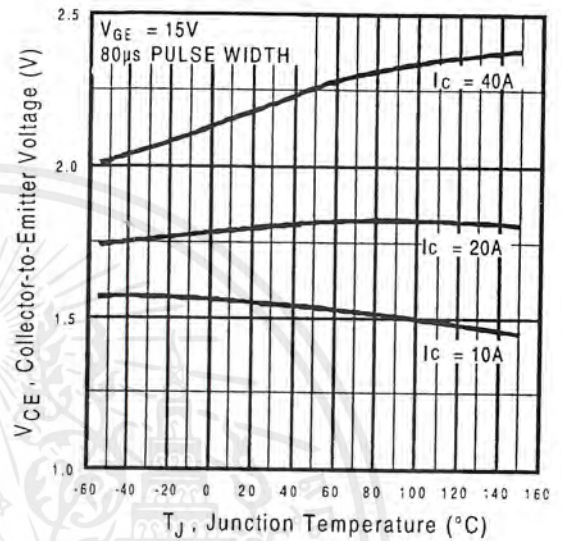


Fig. 5 - Collector-to-Emitter Voltage vs. Junction Temperature

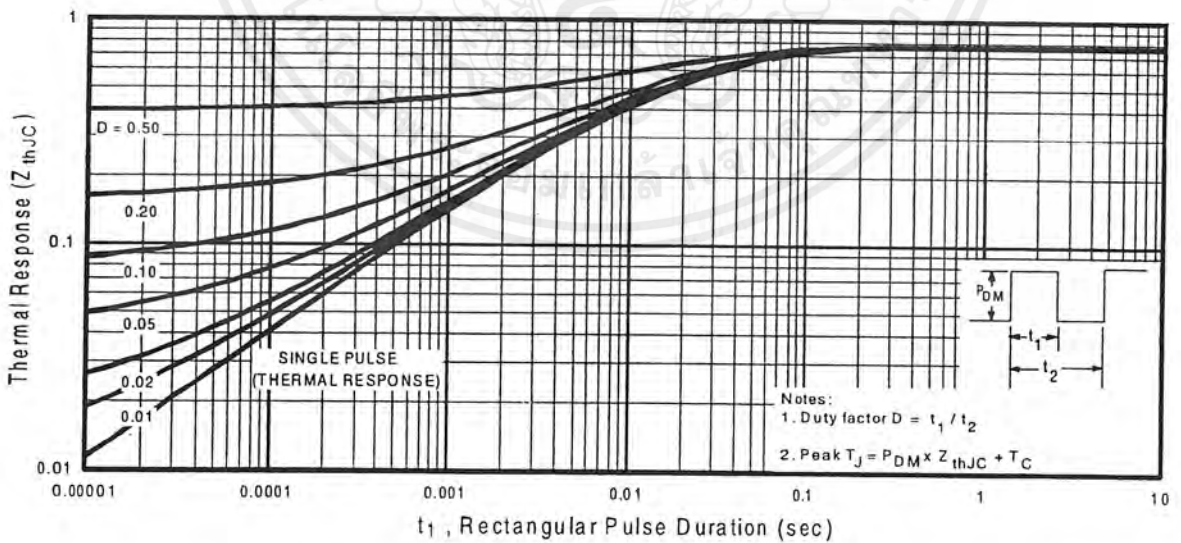


Fig. 6 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

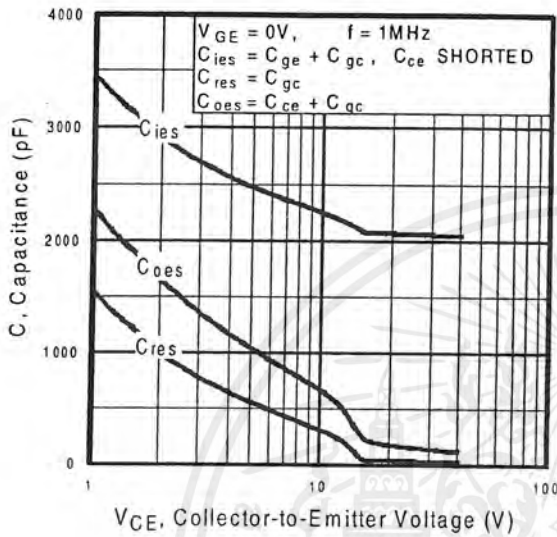


Fig. 7 - Typical Capacitance vs. Collector-to-Emitter Voltage

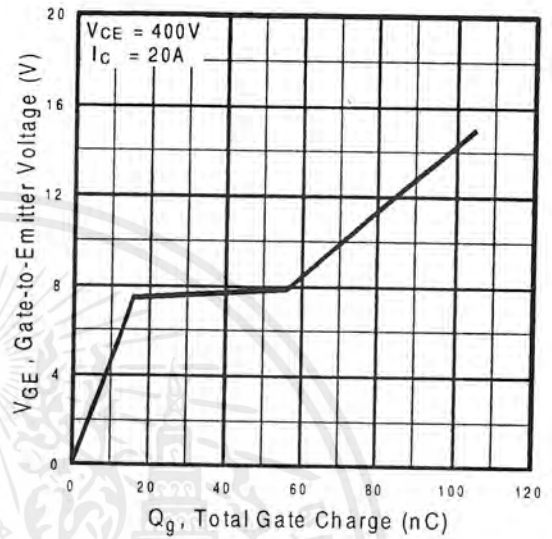


Fig. 8 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Emitter Voltage

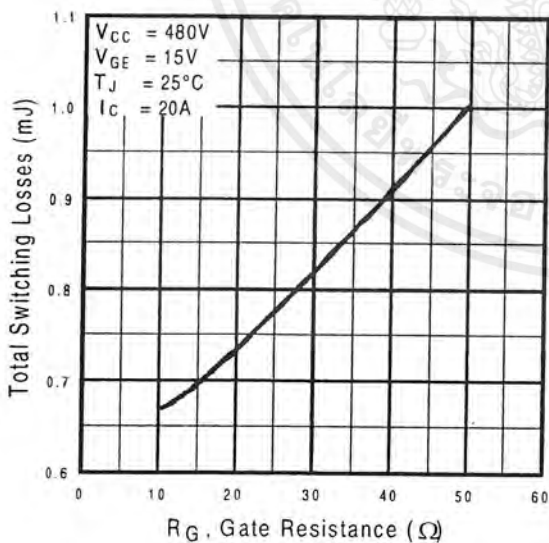


Fig. 9 - Typical Switching Losses vs. Gate Resistance

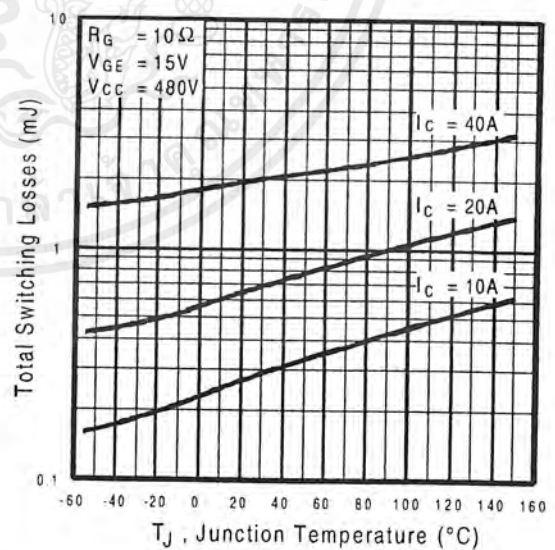


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

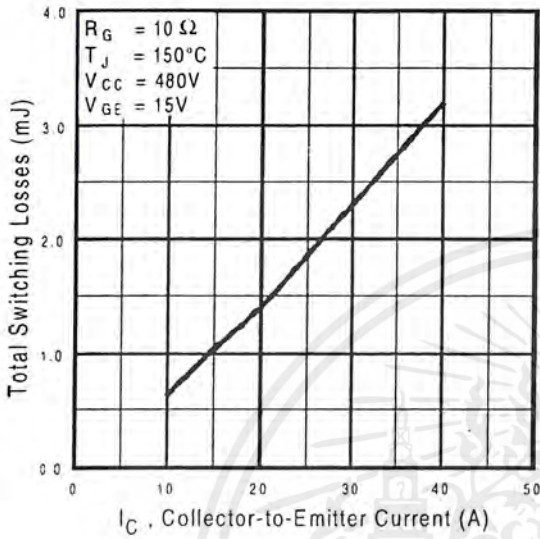


Fig. 11 - Typical Switching Losses vs. Collector-to-Emitter Current

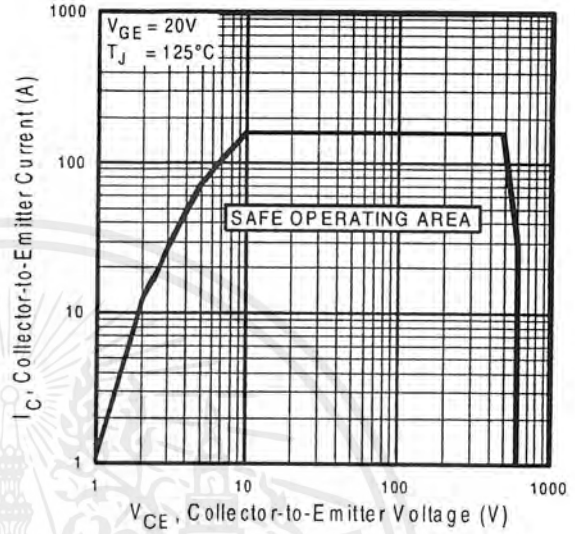
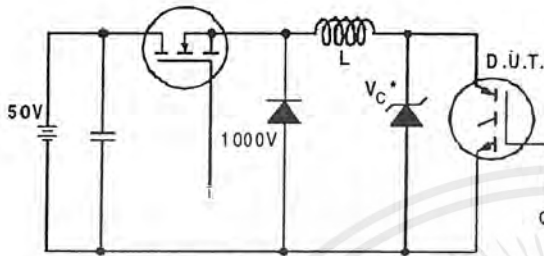


Fig. 12 - Turn-Off SOA



* Driver same type as D.U.T.; $V_c = 80\%$ of $V_{ce(max)}$
* Note: Due to the 50V power supply, pulse width and inductor will increase to obtain rated I_d .

Fig. 13a - Clamped Inductive Load Test Circuit

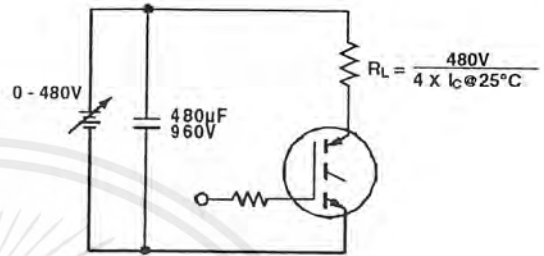


Fig. 13b - Pulsed Collector Current Test Circuit

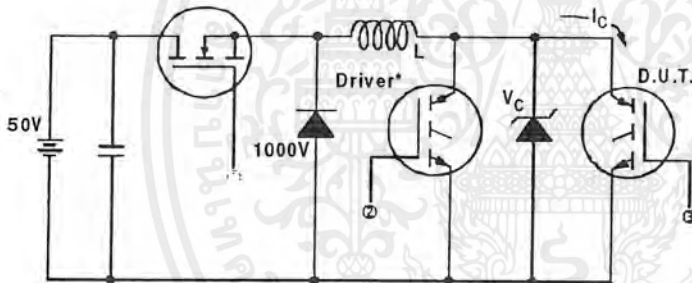


Fig. 14a - Switching Loss Test Circuit

* Driver same type as D.U.T., $V_c = 480V$

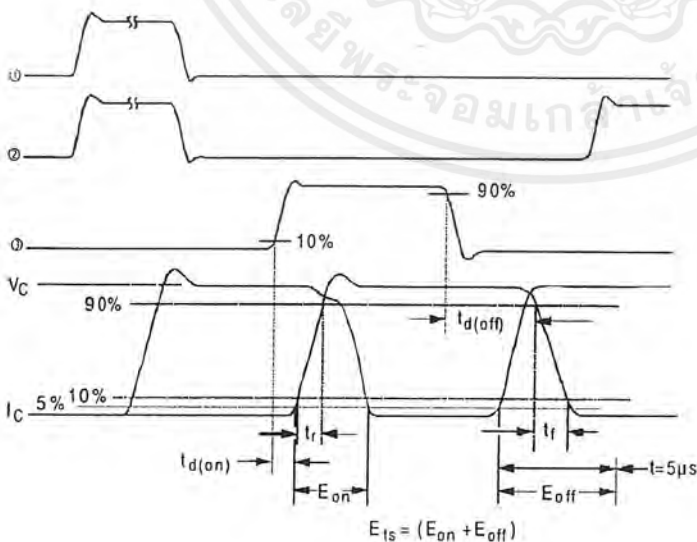


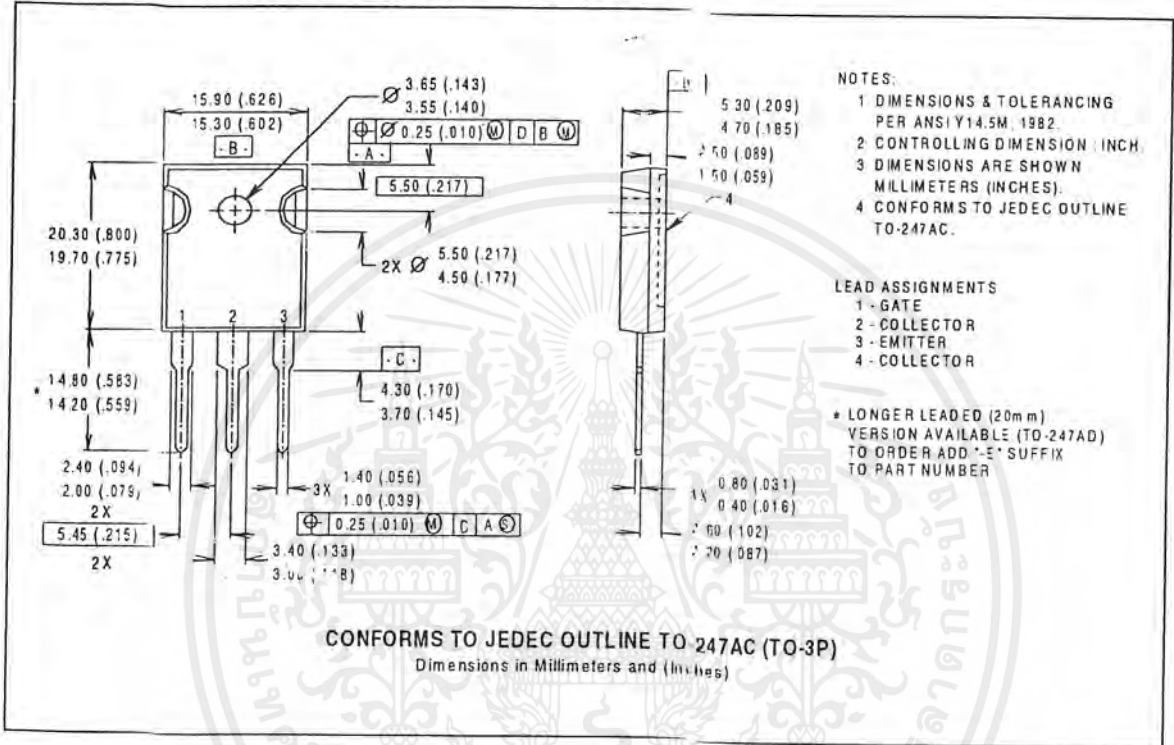
Fig. 14b - Switching Loss Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRG4PC40U

International
IOR Rectifier

Case Outline and Dimensions — TO-247AC



International
IOR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331
EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxley, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020
IR CANADA: 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897
IR GERMANY: Saalburgstrasse 11/7, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590
IR ITALY: Via Liguria 4m, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111
IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086
IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Broom Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371
<http://www.irt.com/> Data and specifications subject to change without notice.4/97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
 TECHNICAL DATA



MUR820
MUR840
MUR860

Motorola Preferred Devices

Switchmode Power Rectifiers

designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

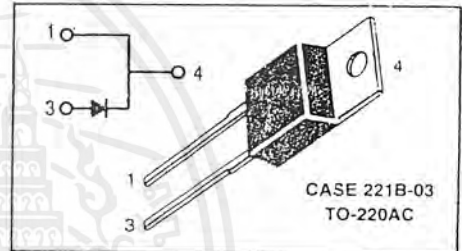
- Ultrafast 25, 50 and 75 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- Popular TO-220 Package
- Epoxy meets UL94, V₀ @ 1/8"
- Low Forward Voltage
- Low Leakage Current
- High Temperature Glass Passivated Junction
- Reverse Voltage to 600 Volts

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube
- Marking: U820, U840, U860

ULTRAFAST
RECTIFIERS

8 AMPERES
200-400-600 VOLTS



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR			Unit
		820	840	860	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	200	400	600	Volts
Average Rectified Forward Current Total Device, (Rated V_R), $T_C = 150^\circ\text{C}$	$I_F(AV)$	8.0			Amps
Peak Repetitive Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz), $T_C = 150^\circ\text{C}$	I_{FM}	16			Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	100			Amps
Operating Junction Temperature and Storage Temperature	T_J, T_{stg}	-65 to +175			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	3.0	2.0	°C/W
--	-----------------	-----	-----	------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) ($I_F = 8.0$ Amp, $T_C = 150^\circ\text{C}$) ($I_F = 8.0$ Amp, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.895 0.975	1.00 1.30	1.20 1.50	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated dc Voltage, $T_J = 150^\circ\text{C}$) (Rated dc Voltage, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	i_R	250 5.0	500 10		μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ Amp, $di/dt = 50$ Amp/ μs) ($I_F = 0.5$ Amp, $I_R = 1.0$ Amp, $I_{REC} = 0.25$ Amp)	t_{rr}	35 25	60 50		ns

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR820, MUR840, MUR860

MUR820

FIGURE 1 — TYPICAL FORWARD VOLTAGE

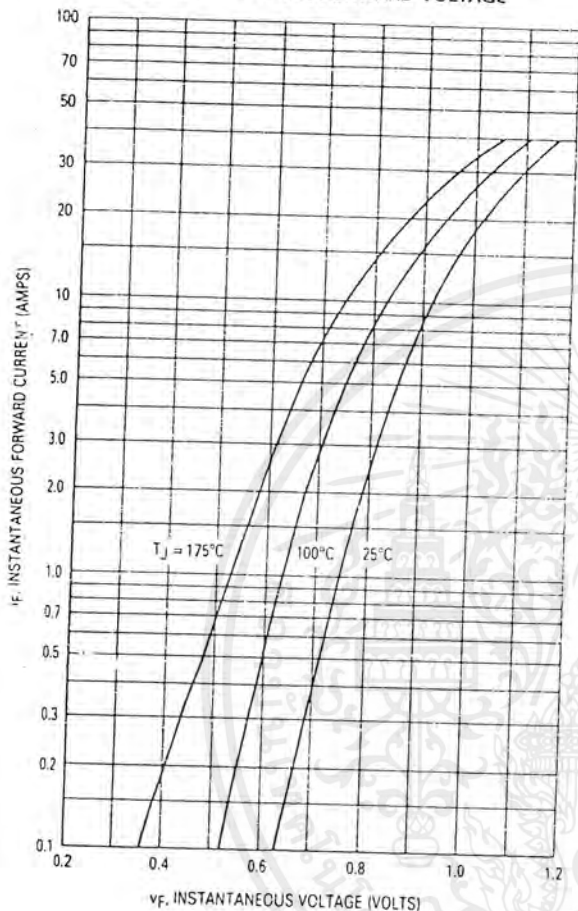


FIGURE 2 — TYPICAL REVERSE CURRENT*

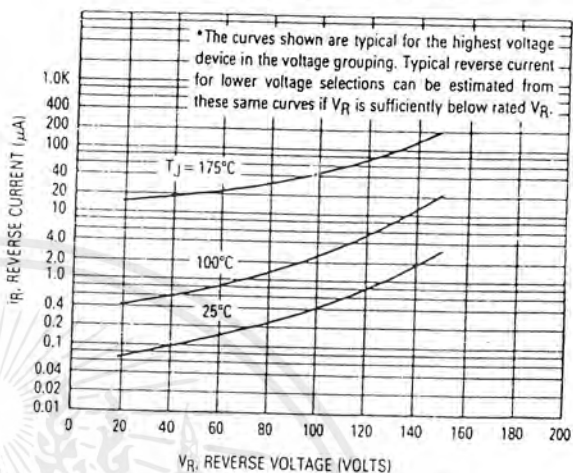


FIGURE 3 — CURRENT DERATING, CASE

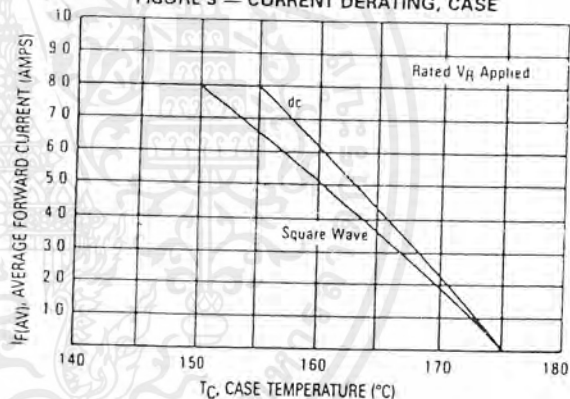


FIGURE 4 — CURRENT DERATING, AMBIENT

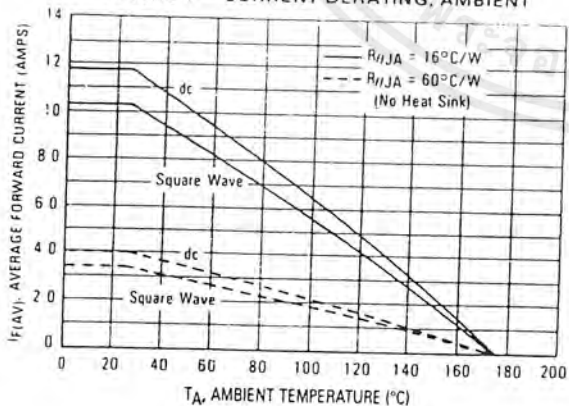
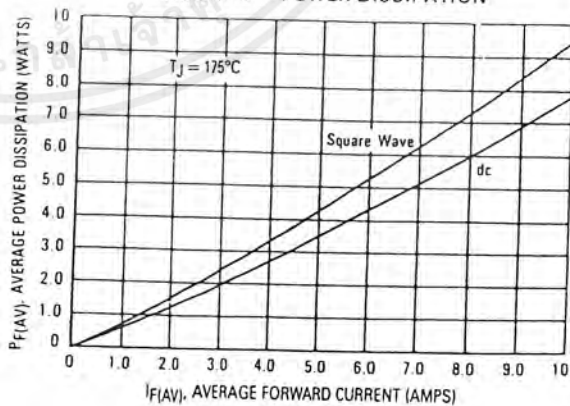


FIGURE 5 — POWER DISSIPATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR820, MUR840, MUR860

MUR840

FIGURE 6 — TYPICAL FORWARD VOLTAGE

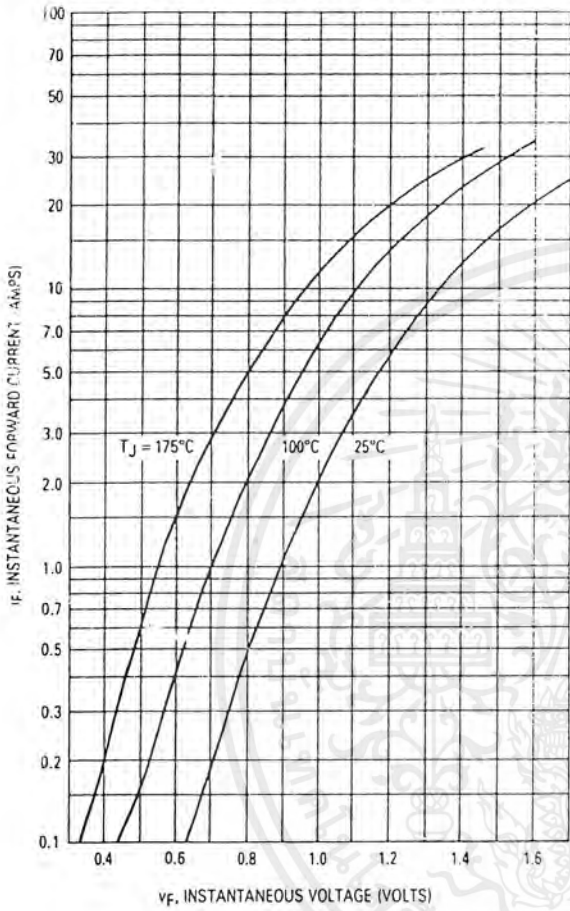


FIGURE 7 — TYPICAL REVERSE CURRENT*

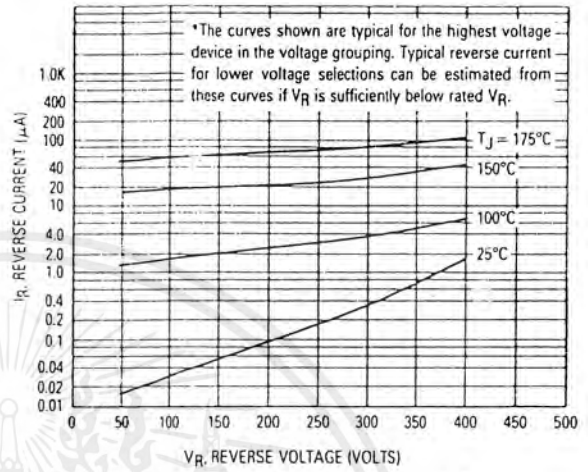


FIGURE 8 — CURRENT DERATING, CASE

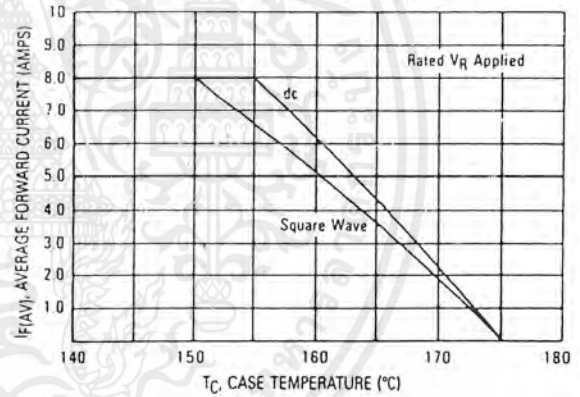


FIGURE 9 — CURRENT DERATING, AMBIENT

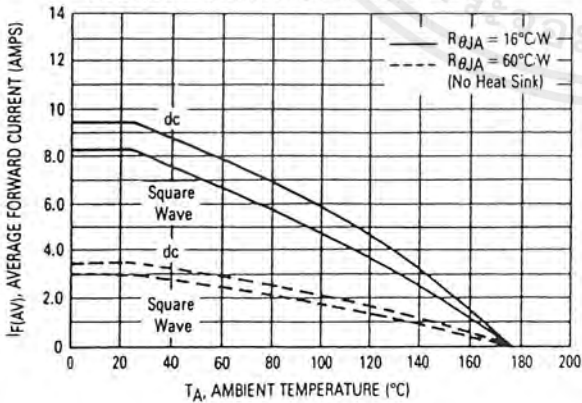
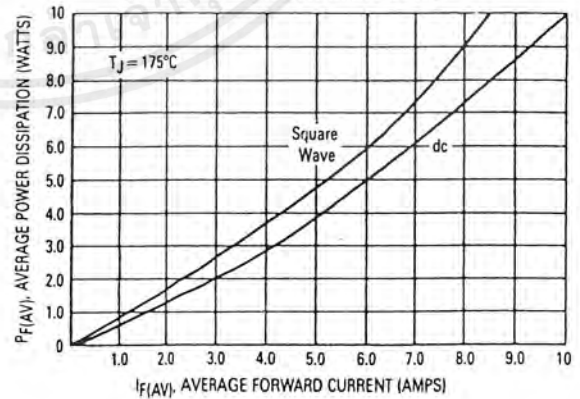


FIGURE 10 — POWER DISSIPATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR820, MUR840, MUR860

MUR860

FIGURE 11 — TYPICAL FORWARD VOLTAGE

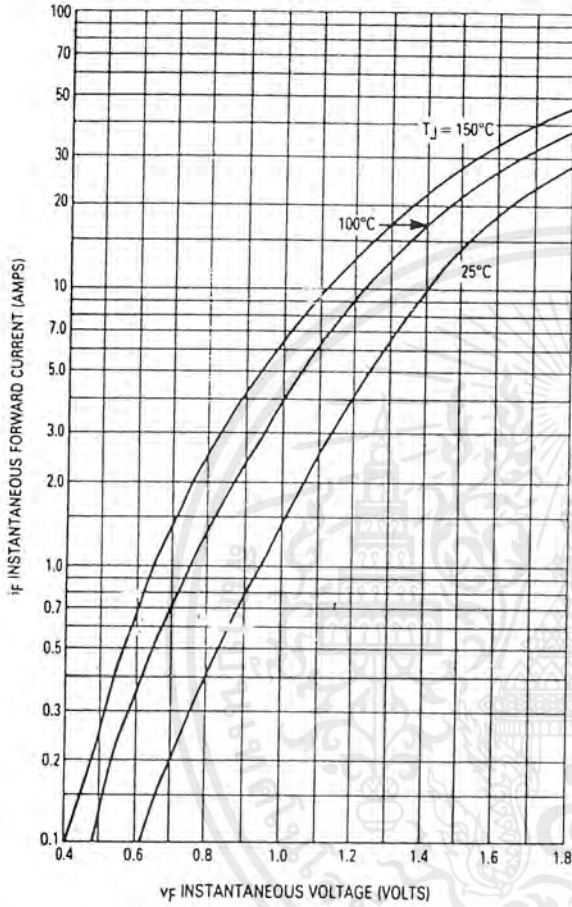


FIGURE 12 — TYPICAL REVERSE CURRENT*

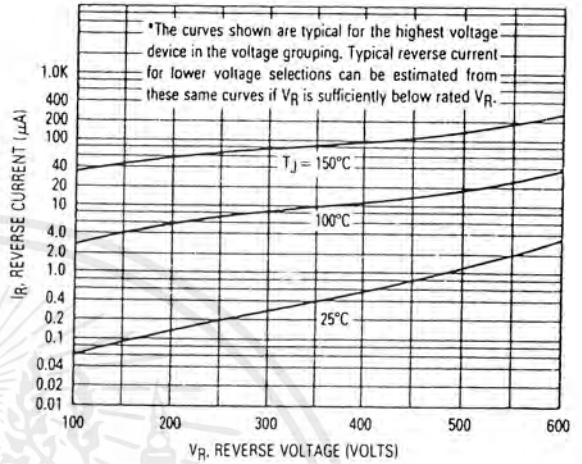


FIGURE 13 — CURRENT DERATING, CASE

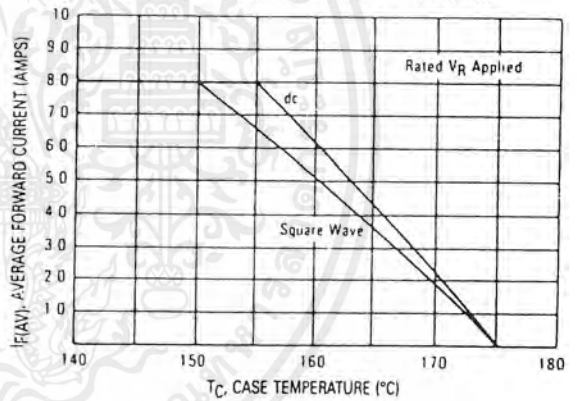


FIGURE 14 — CURRENT DERATING, AMBIENT

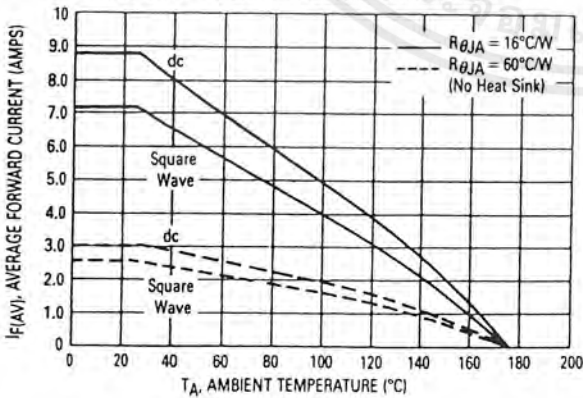
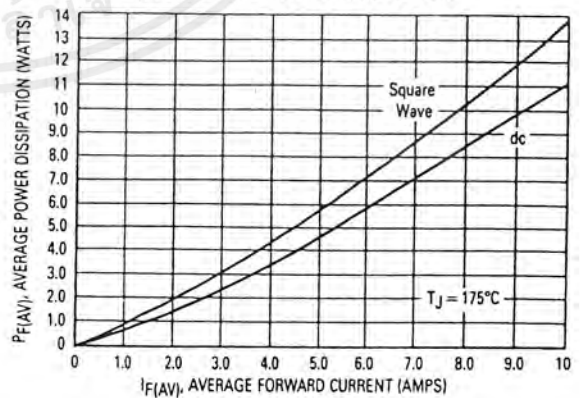


FIGURE 15 — POWER DISSIPATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR820, MUR840, MUR860

FIGURE 16 — THERMAL RESPONSE

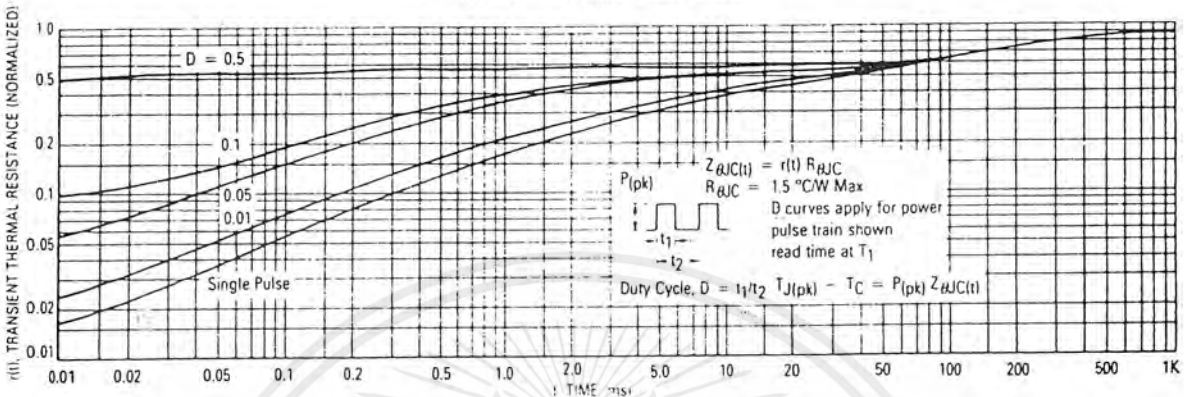
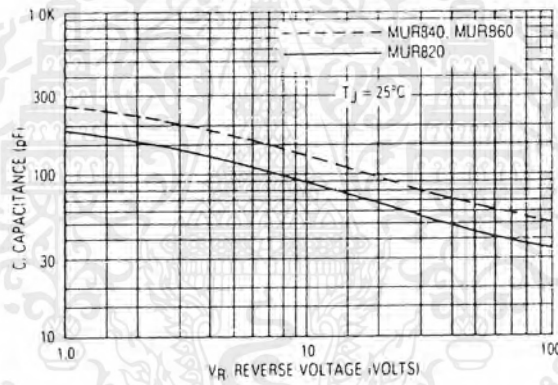


FIGURE 17 — TYPICAL CAPACITANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MBR1645 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:

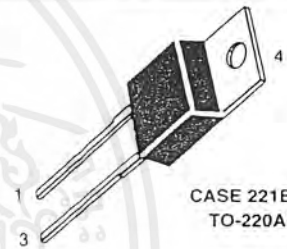
- Guardring for Stress Protection
- Low Forward Voltage
- 150°C Operating Junction Temperature
- Guaranteed Reverse Avalanche

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube
- Marking: B1635, B1645

SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS

16 AMPERES
 35 and 45 VOLTS



CASE 221B-03
 TO-220AC

MAXIMUM RATINGS					
Rating	Symbol	MBR1635	MBR1645	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) $T_C = 125^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$	16	16	Amps	
Peak Repetitive Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz) $T_C = 125^\circ\text{C}$	I_{FRM}	32	32	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)	I_{RRM}	1.0	1.0	Amps	
Operating Junction Temperature	T_J	-65 to +150	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	
Storage Temperature	T_{stg}	-65 to +175	-65 to +175	$^\circ\text{C}$	
Voltage Rate of Change (Rated V_R)	dv/dt	1000	10000	$\text{V}/\mu\text{s}$	

THERMAL CHARACTERISTICS					
Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.5	1.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS					
Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) ($I_F = 16$ Amp, $T_C = 125^\circ\text{C}$) ($I_F = 16$ Amp, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.57 0.63	0.57 0.63	Volts	
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated dc Voltage, $T_C = 125^\circ\text{C}$) (Rated dc Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	I_R	40 0.2	40 0.2	mA	

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1 — TYPICAL FORWARD VOLTAGE

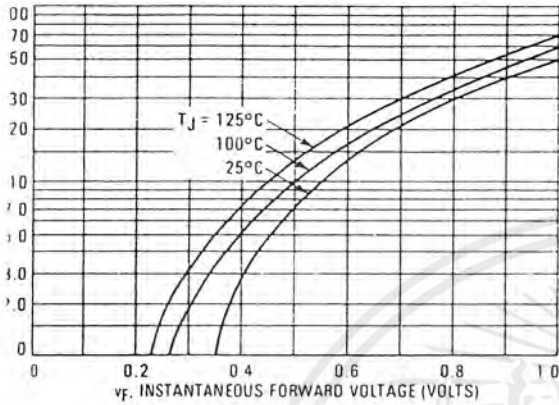


FIGURE 2 — TYPICAL REVERSE CURRENT

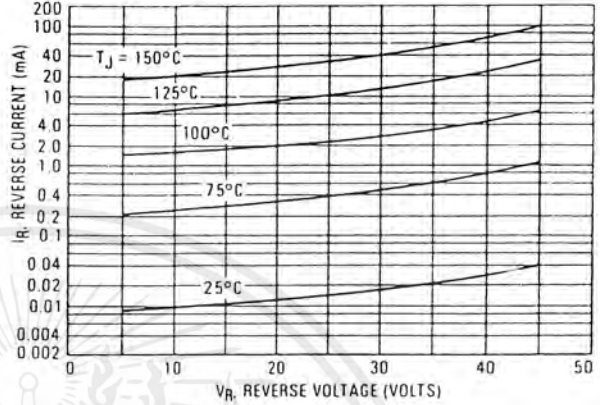


FIGURE 3 — CURRENT DERATING, CASE

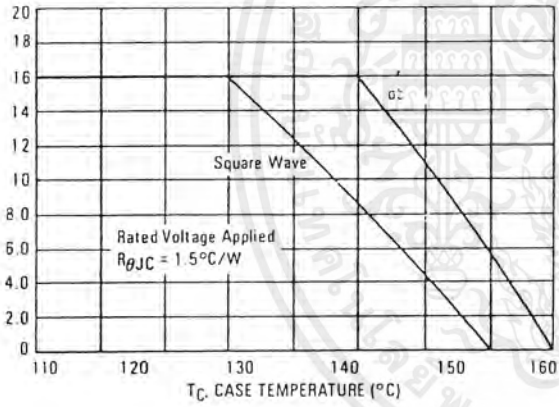


FIGURE 4 — CURRENT DERATING, AMBIENT

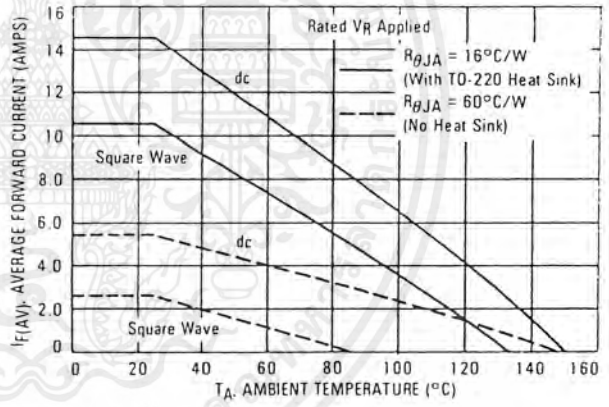
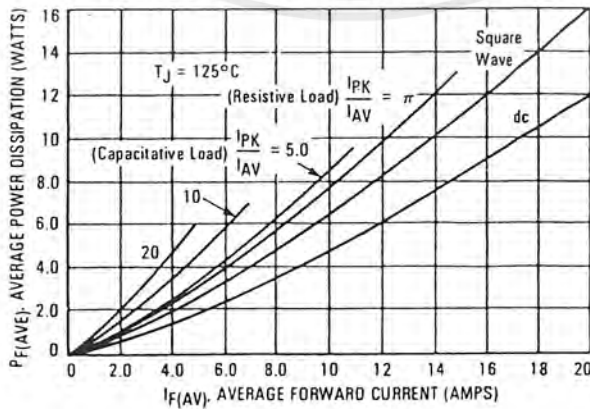


FIGURE 5 — FORWARD POWER DISSIPATION



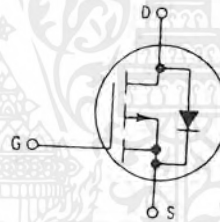
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL DATA

Designer's Data Sheet Power Field Effect Transistor P-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate TMOS

These TMOS Power FETs are designed for medium voltage, high speed power switching applications such as switching regulators, converters, solenoid and relay drivers.

- Silicon Gate for Fast Switching Speeds — Switching Times Specified at 100°C
- Designer's Data — I_{DSS} , $V_{DS(on)}$, $V_{GS(th)}$ and SOA Specified at Elevated Temperature
- Rugged — SOA is Power Dissipation Limited
- Source-to-Drain Diode Characterized for Use With Inductive Loads



**MTM12P05
MTM12P06
MTM12P08
MTM12P10
MTP12P05
MTP12P06
MTP12P08
MTP12P10**

**TMOS POWER FETs
12 AMPERES
 $r_{DS(on)} = 0.3 \text{ OHM}$
50, 60, 80 and 100 VOLTS**

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MTM OR MTP				Unit
		12P05	12P06	12P08	12P10	
Drain-Source Voltage	V_{DSS}	50	60	80	100	Vdc
Drain-Gate Voltage ($R_{GS} = 1 \text{ M}\Omega$)	V_{DGR}	50	60	80	100	Vdc
Gate-Source Voltage — Continuous — Non-repetitive ($t_p \leq 50 \mu\text{s}$)	V_{GS}	± 20				Vdc
	V_{GSM}	± 40				Vpk
Drain Current Continuous Pulsed	I_D	12				Adc
	I_{DM}	28				
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	75 0.6				Watts $W/^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to 150				$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Thermal Resistance		$R_{\theta JC}$	$R_{\theta JA}$	T_L	Unit
Junction to Case		1.67			$^\circ\text{C/W}$
Junction to Ambient	TO-204		30		$^\circ\text{C}$
	TO-220		62.5		
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds				275	$^\circ\text{C}$



**MTM12P05
MTM12P06
MTM12P08
MTM12P10
CASE 1-04
TO-204AA**



**MTP12P05
MTP12P06
MTP12P08
MTP12P10
CASE 221A-04
TO-220AB**

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented.
 Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Drain-Source Breakdown Voltage ($V_{GS} = 0, I_D = 0.25 \text{ mA}$)	MTM/MTP12P05 MTM/MTP12P06 MTM/MTP12P08 MTM/MTP12P10	$V_{(BR)DSS}$	50 60 80 100	—	Vdc
Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{DS} = \text{Rated } V_{DSS}, V_{GS} = 0$) ($V_{DS} = \text{Rated } V_{DSS}, V_{GS} = 0, T_J = 125^\circ\text{C}$)		I_{DSS}	—	10 100	μAdc
Gate-Body Leakage Current, Forward ($V_{GSF} = 20 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$)		I_{GSSF}	—	100	nAdc
Gate-Body Leakage Current, Reverse ($V_{GSR} = 20 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$)		I_{GSSR}	—	100	nAdc

ON CHARACTERISTICS*

Gate Threshold Voltage ($V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1 \text{ mA}$) $T_J = 100^\circ\text{C}$		$V_{GS(th)}$	2 1.5	4.5 4	Vdc
Static Drain-Source On-Resistance ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 6 \text{ Adc}$)		$r_{DS(on)}$	—	0.3	Ohm
Drain-Source On-Voltage ($V_{GS} = 10 \text{ V}$) ($I_D = 12 \text{ Adc}$) ($I_D = 6 \text{ Adc}, T_J = 100^\circ\text{C}$)		$V_{DS(on)}$	—	4.2 3.8	Vdc
Forward Transconductance ($V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 6 \text{ A}$)		g_{FS}	2	—	mhos

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Input Capacitance	$(V_{DS} = 25 \text{ V}, V_{GS} = 0, f = 1 \text{ MHz})$ See Figure 10	C_{iss}	—	920	pF
Output Capacitance		C_{oss}	—	575	
Reverse Transfer Capacitance		C_{rss}	—	200	

SWITCHING CHARACTERISTICS* ($T_J = 100^\circ\text{C}$)

Turn-On Delay Time	$(V_{DD} = 25 \text{ V}, I_D = 0.5 \text{ Rated } I_D, R_{gen} = 50 \text{ ohms})$ See Figures 12 and 13	$t_{d(on)}$	—	50	ns
Rise Time		t_r	—	150	
Turn-Off Delay Time		$t_{d(off)}$	—	150	
Fall Time		t_f	—	150	
Total Gate Charge	$(V_{DS} = 0.8 \text{ Rated } V_{DSS}, I_D = \text{Rated } I_D, V_{GS} = 10 \text{ V})$ See Figure 11	Q_g	33 (Typ)	50	nC
Gate-Source Charge		Q_{gs}	16 (Typ)	—	
Gate-Drain Charge		Q_{gd}	17 (Typ)	—	

SOURCE DRAIN DIODE CHARACTERISTICS*

Forward On-Voltage	$(I_S = \text{Rated } I_D, V_{GS} = 0)$	V_{SD}	4 (Typ)	5.5	Vdc
Forward Turn-On Time		t_{on}	Limited by stray inductance		
Reverse Recovery Time		t_{rr}	300 (Typ)	—	ns

INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE (TO-204)

Internal Drain Inductance (Measured from the contact screw on the header closer to the source pin and the center of the die)	L_d	5 (Typ)	—	nH
Internal Source Inductance (Measured from the source pin, 0.25" from the package to the source bond pad)	L_s	12.5 (Typ)	—	nH

INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE (TO-220)

Internal Drain Inductance (Measured from the contact screw on tab to center of die) (Measured from the drain lead 0.25" from package to center of die)	L_d	3.5 (Typ) 4.5 (Typ)	—	nH
Internal Source Inductance (Measured from the source lead 0.25" from package to source bond pad.)	L_s	7.5 (Typ)	—	nH

*Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายที่แตกต่างและต้องอ้างอิงถึงเอกสารจากบริษัท Motorola Inc.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

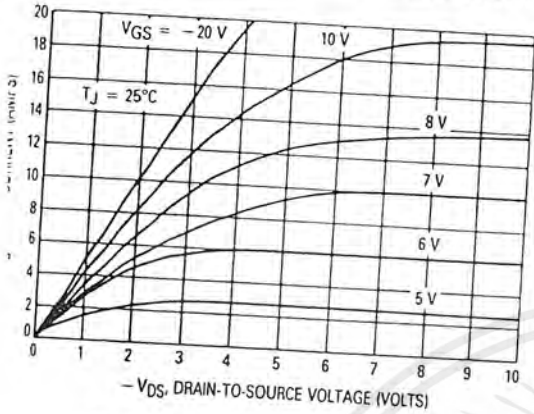


Figure 1. On-Region Characteristics

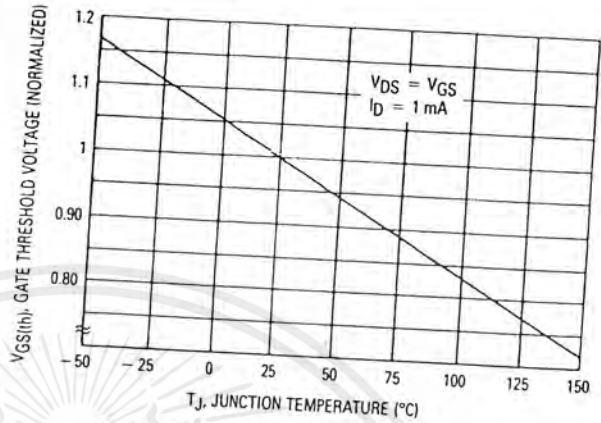


Figure 2. Gate-Threshold Voltage Variation With Temperature

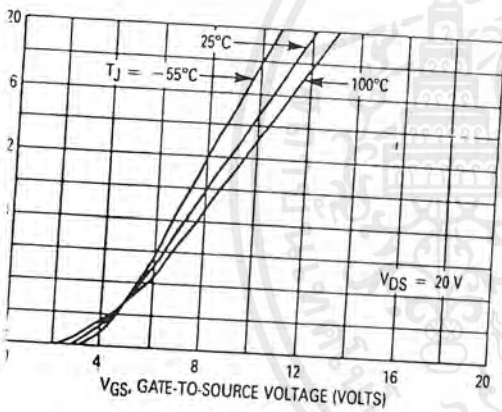


Figure 3. Transfer Characteristics

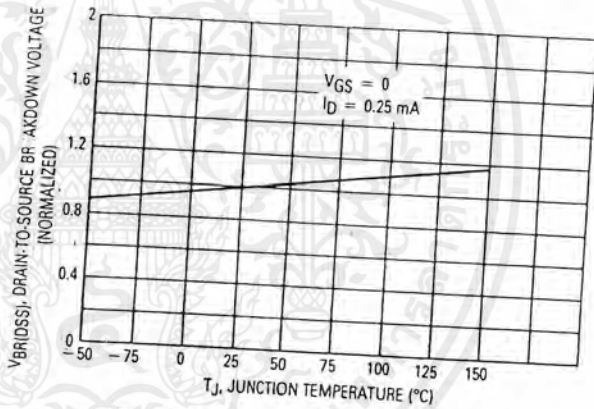


Figure 4. Normalized Breakdown Voltage versus Temperature

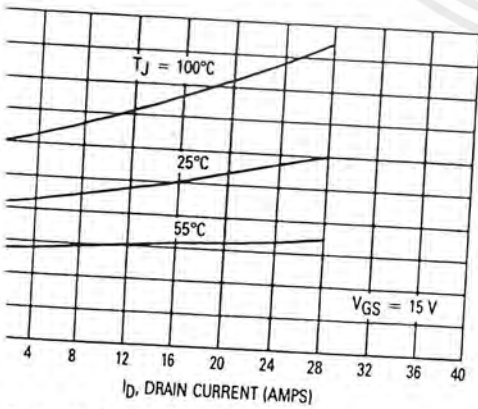


Figure 5. On-Resistance versus Drain Current

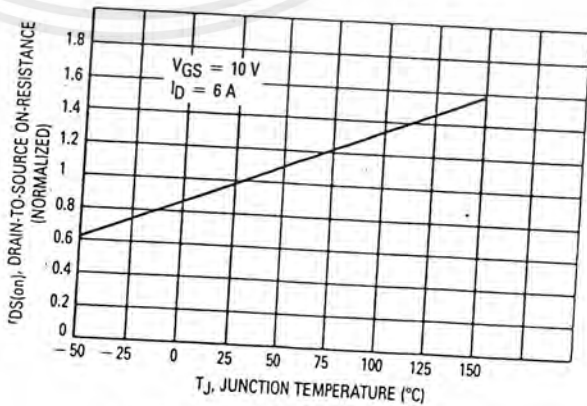


Figure 6. On-Resistance Variation With Temperature

MTM/MTP12P05, 06, 08, 10

SAFE OPERATING AREA INFORMATION

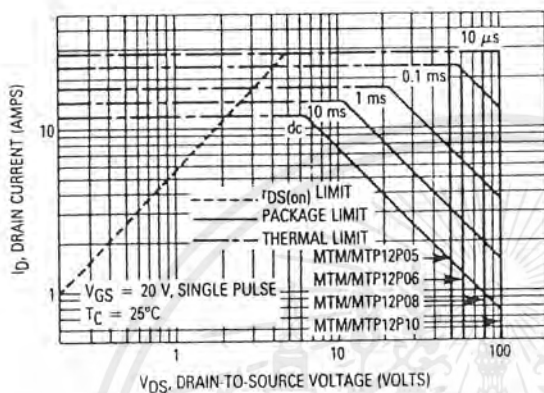


Figure 7. Maximum Rated Forward Biased Safe Operating Area

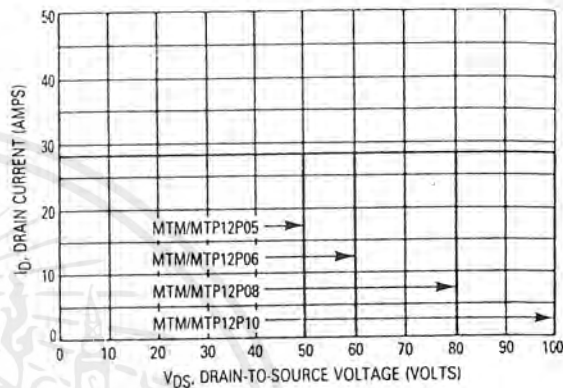


Figure 8. Maximum Rated Switching Safe Operating Area

FORWARD BIASED SAFE OPERATING AREA

The FBSOA curves define the maximum drain-to-source voltage and drain current that a device can safely handle when it is forward biased, or when it is on, or being turned on. Because these curves include the limitations of simultaneous high voltage and high current, up to the rating of the device, they are especially useful to designers of linear systems. The curves are based on a case temperature of 25°C and a maximum junction temperature of 150°C. Limitations for repetitive pulses at various case temperatures can be determined by using the thermal response curves. Motorola Application Note, AN569, "Transient Thermal Resistance-General Data and Its Use" provides detailed instructions.

SWITCHING SAFE OPERATING AREA

The switching safe operating area (SOA) of Figure 8 is the boundary that the load line may traverse without incurring damage to the MOSFET. The fundamental limits are the peak current, I_{DM} and the break-down voltage, $V_{(BR)DSS}$. The switching SOA shown in Figure 8 is applicable for both turn-on and turn-off of the devices for switching times less than one microsecond.

The power averaged over a complete switching cycle must be less than:

$$\frac{T_{J(max)} - T_C}{R_{\theta JC}}$$

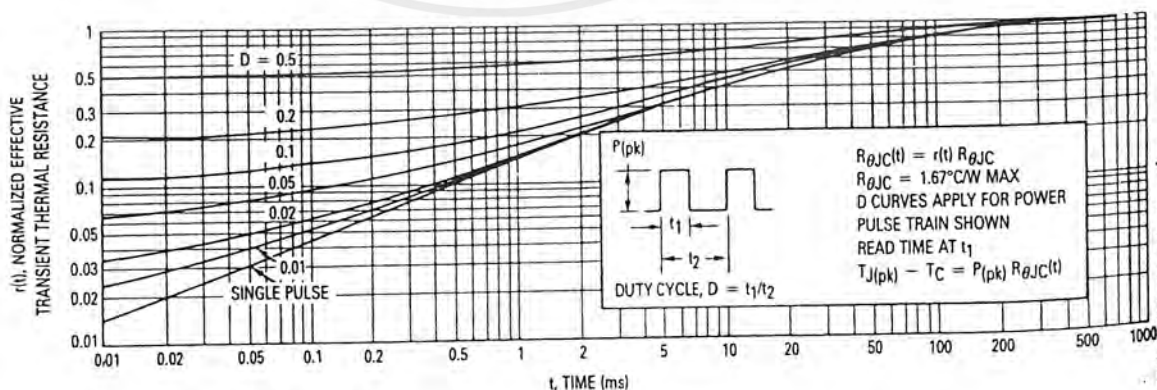


Figure 9. Thermal Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

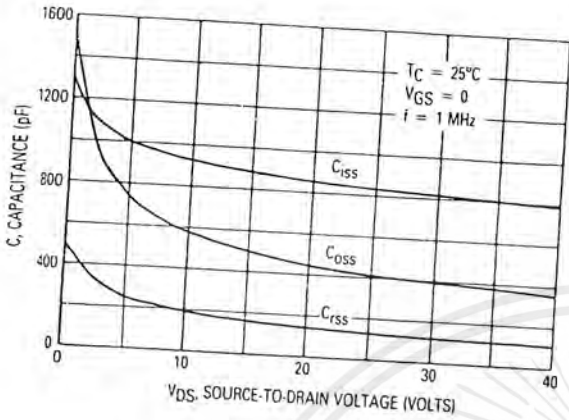


Figure 10. Capacitance Variation

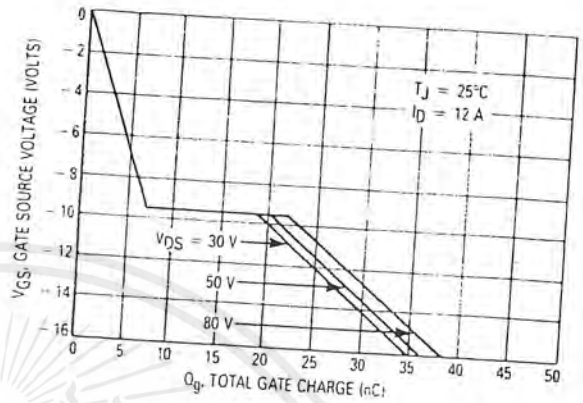


Figure 11. Gate Charge versus Gate-to-Source Voltage

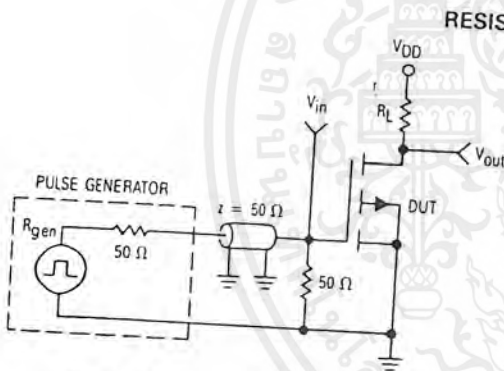


Figure 12. Switching Test Circuit

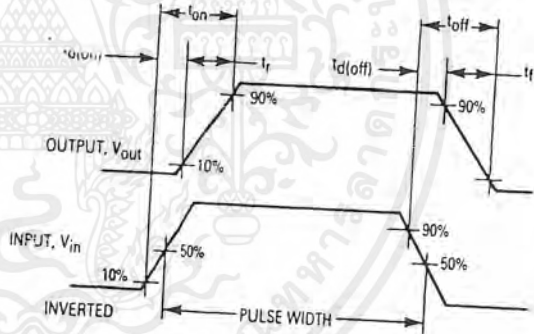
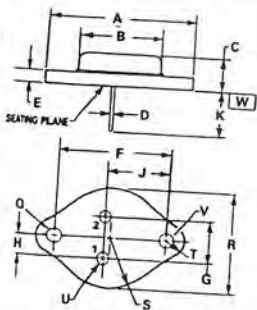
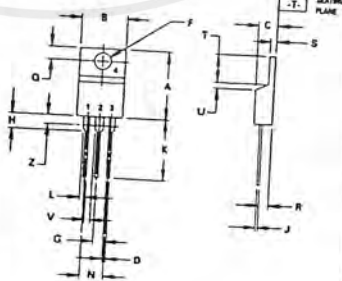


Figure 13. Switching Waveforms

OUTLINE DIMENSIONS



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	—	39.37	—	1.550
B	—	21.08	—	0.830
C	6.35	7.62	0.250	0.300
D	0.97	1.09	0.038	0.043
E	1.40	1.78	0.055	0.070
F	30.15 BSC		1.187 BSC	
G	10.92 BSC		0.430 BSC	
H	5.46 BSC		0.215 BSC	
J	16.89 BSC		0.665 BSC	
K	11.18	12.19	0.440	0.480
Q	3.81	4.19	0.151	0.165
R	—	26.67	—	1.050
U	2.54	3.05	0.100	0.120
V	3.81	4.19	0.151	0.165



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	14.48	15.25	0.570	0.600
B	9.56	10.28	0.380	0.405
C	4.07	4.82	0.160	0.190
D	0.64	0.88	0.025	0.035
F	3.81	3.73	0.147	0.147
S	2.42	2.06	0.095	0.081
M	2.80	3.03	0.110	0.120
J	0.36	0.56	0.014	0.022
K	12.20	14.27	0.500	0.562
L	1.15	1.38	0.045	0.054
N	4.83	5.31	0.190	0.210
O	2.54	2.54	0.100	0.100
R	2.04	2.29	0.080	0.112
S	1.15	1.29	0.045	0.051
T	3.97	4.47	0.156	0.176
U	0.90	1.27	0.035	0.050
V	1.15	—	0.045	—
Z	—	2.54	—	0.100

- NOTES:
1. DIAMETER V AND SURFACE W ARE DATUMS.
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR HOLE Q: $\pm \phi 0.25 (0.010) \text{ W V Q}$
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR LEADS: $\pm \phi 0.30 (0.012) \text{ W V Q}$

STYLE 3:
PIN 1 GATE
2 SOURCE
CASE DRAIN

STYLE 3:
PIN 1 GATE
2 DRAIN
3 SOURCE
4 DRAIN

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIM Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

CASE 1-04
TO-204AA

CASE 221A-04
TO-220AB

LM2524D/LM3524D Regulating Pulse Width Modulator

General Description

The LM3524D family is an improved version of the industry standard LM3524. It has improved specifications and additional features yet is pin for pin compatible with existing 3524 families. New features reduce the need for additional external circuitry often required in the original version.

The LM3524D has a $\pm 1\%$ precision 5V reference. The current carrying capability of the output drive transistors has been raised to 200 mA while reducing V_{CEsat} and increasing V_{CE} breakdown to 60V. The common mode voltage range of the error-amp has been raised to 5.5V to eliminate the need for a resistive divider from the 5V reference.

In the LM3524D the circuit bias line has been isolated from the shut-down pin. This prevents the oscillator pulse amplitude and frequency from being disturbed by shut-down. Also at high frequencies (≈ 300 kHz) the max. duty cycle per output has been improved to 44% compared to 35% max. duty cycle in other 3524s.

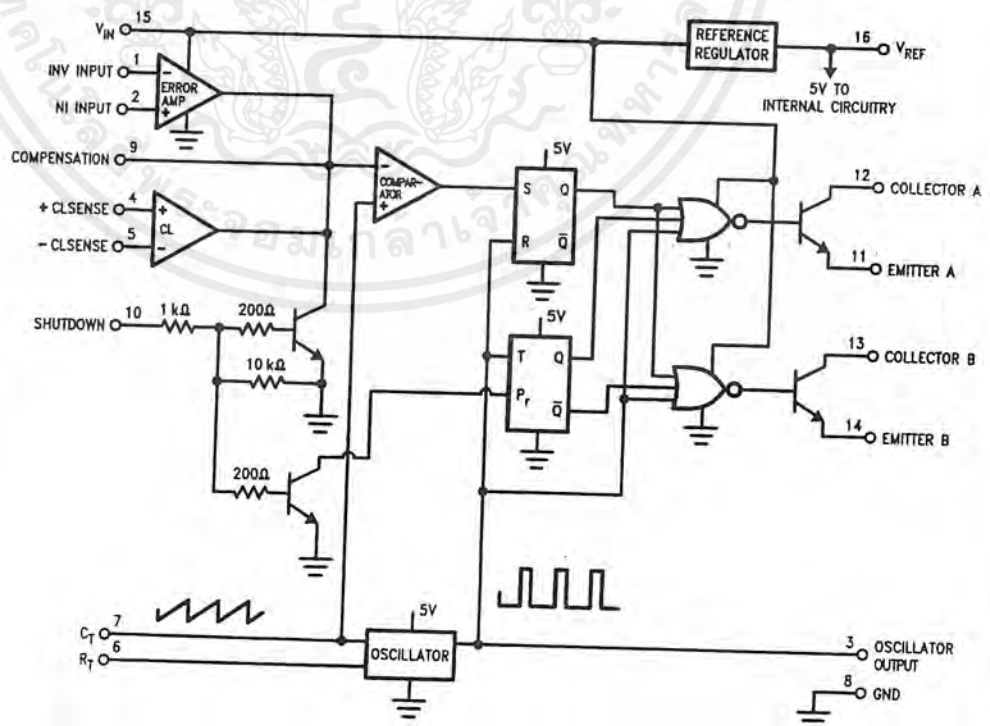
In addition, the LM3524D can now be synchronized externally, through pin 3. Also a latch has been added to insure

one pulse per period even in noisy environments. The LM3524D includes double pulse suppression logic that insures when a shut-down condition is removed the state of the T-flip-flop will change only after the first clock pulse has arrived. This feature prevents the same output from being pulsed twice in a row, thus reducing the possibility of core saturation in push-pull designs.

Features

- Fully interchangeable with standard LM3524 family
- $\pm 1\%$ precision 5V reference with thermal shut-down
- Output current to 200 mA DC
- 60V output capability
- Wide common mode input range for error-amp
- One pulse per period (noise suppression)
- Improved max. duty cycle at high frequencies
- Double pulse suppression
- Synchronize through pin 3

Block Diagram



TL/H/8650-1

Absolute Maximum Ratings (Note 5)

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

Supply Voltage	40V
Collector Supply Voltage (LM2524D)	55V
(LM3524D)	40V
Output Current DC (each)	200 mA
Oscillator Charging Current (Pin 7)	5 mA
Internal Power Dissipation	1W

Operating Junction Temperature Range (Note 2)	
LM2524D	-40°C to +125°C
LM3524D	0°C to +125°C
Maximum Junction Temperature	150°
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 4 sec.) M, N Pkg.	260°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Symbol	Parameter	Conditions	LM2524D			LM3524D			Units
			Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	
REFERENCE SECTION									
V _{REF}	Output Voltage		5	4.85	4.80	5	4.75		V _{Min}
				5.15	5.20		5.25	V _{Max}	
V _{RLine}	Line Regulation	V _{IN} = 8V to 40V	10	15	30	10	25	50	mV _{Max}
V _{RLoad}	Load Regulation	I _L = 0 mA to 20 mA	10	15	25	10	25	50	mV _{Max}
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{REF}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz	66			66			dB
I _{OS}	Short Circuit Current	V _{REF} = 0	50	25		50	25		mA Min
				180			200	mA Max	
N _O	Output Noise	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz	40		100	40		100	μV _{rms} Max
	Long Term Stability	T _A = 125°C	20			20			mV/kHr
OSCILLATOR SECTION									
f _{OSC}	Max. Freq.	R _T = 1k, C _T = 0.001 μF (Note 7)	550		500	350			kHz _{Min}
f _{OSC}	Initial Accuracy	R _T = 5.6k, C _T = 0.01 μF (Note 7)	20	17.5		20	17.5		kHz _{Min}
				22.5			22.5		kHz _{Max}
		R _T = 2.7k, C _T = 0.01 μF (Note 7)	38	34		38	30		kHz _{Min}
				42			46		kHz _{Max}
Δf _{OSC}	Freq. Change with V _{IN}	V _{IN} = 8 to 40V	0.5	1		0.5	1.0		% _{Max}
Δf _{OSC}	Freq. Change with Temp.	T _A = -55°C to +125°C at 20 kHz R _T = 5.6k, C _T = 0.01 μF	5			5			%
V _{OSC}	Output Amplitude (Pin 3) (Note 8)	R _T = 5.6k, C _T = 0.01 μF	3	2.4		3	2.4		V _{Min}
t _{pw}	Output Pulse Width (Pin 3)	R _T = 5.6k, C _T = 0.01 μF	0.5	1.5		0.5	1.5		μs _{Max}

LM2524D/LM3524D

Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	LM2524D			LM3524D			Units
			Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	
OSCILLATOR SECTION (Continued)									
	Sawtooth Peak Voltage	$R_T = 5.6k, C_T = 0.01 \mu F$	3.4	3.6	3.8		3.8		V_{Max}
	Sawtooth Valley Voltage	$R_T = 5.6k, C_T = 0.01 \mu F$	1.1	0.8	0.6		0.6		V_{Min}
ERROR-AMP SECTION									
V_{IO}	Input Offset Voltage	$V_{CM} = 2.5V$	2	8	10	2	10		mV $_{Max}$
I_B	Input Bias Current	$V_{CM} = 2.5V$	1	8	10	1	10		μA_{Max}
I_{IO}	Input Offset Current	$V_{CM} = 2.5V$	0.5	1.0	1	0.5	1		μA_{Max}
I_{COSI}	Compensation Current (Sink)	$V_{IN(I)} - V_{IN(NI)} = 150 mV$	95	65		95	65		μA_{Min}
I_{COSO}	Compensation Current (Source)	$V_{IN(NI)} - V_{IN(I)} = 150 mV$	-95	-125		-95	-125		μA_{Max}
				-65			-65		μA_{Min}
A_{VOL}	Open Loop Gain	$R_L = \infty, V_{CM} = 2.5V$	80	74	60	80	70	60	dB $_{Min}$
V_{CMR}	Common Mode Input Voltage Range			1.5	1.4		1.5		V_{Min}
				5.5	5.4		5.5		V_{Max}
$CMRR$	Common Mode Rejection Ratio		90	80		90	80		dB $_{Min}$
GBW	Unity Gain Bandwidth	$A_{VOL} = 0 dB, V_{CM} = 2.5V$	3			2			MHz
V_O	Output Voltage Swing	$R_L = \infty$		0.5			0.5		V_{Min}
				5.5			5.5		V_{Max}
$PSRR$	Power Supply Rejection Ratio	$V_{IN} = 8 \text{ to } 40V$	80		70	80	65		dB $_{Min}$
COMPARATOR SECTION									
t_{ON}	Minimum Duty Cycle	$Pin 9 = 0.8V, [R_T = 5.6k, C_T = 0.01 \mu F]$	0	0		0	0		% $_{Max}$
t_{OSC}	Maximum Duty Cycle	$Pin 9 = 3.9V, [R_T = 5.6k, C_T = 0.01 \mu F]$	49	45		49	45		% $_{Min}$
t_{ON}	Minimum Duty Cycle	$Pin 9 = 3.9V, [R_T = 1k, C_T = 0.001 \mu F]$	44	35		44	35		% $_{Min}$
t_{OSC}	Maximum Duty Cycle								
V_{COMPZ}	Input Threshold (Pin 9)	Zero Duty Cycle	1			1			V
V_{COMPM}	Input Threshold (Pin 9)	Maximum Duty Cycle	3.5			3.5			V
I_B	Input Bias Current		-1			-1			μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	LM2524D			LM3524D			Units
			Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	Typ	Tested Limit (Note 3)	Design Limit (Note 4)	
CURRENT LIMIT SECTION									
V _{SEN}	Sense Voltage	$V_{(Pin\ 2)} - V_{(Pin\ 1)} \geq 150\text{ mV}$	200	180		200	180		mV _{Min}
				220			220		mV _{Max}
TC-V _{sense}	Sense Voltage T.C.		0.2			0.2			mV/°C
	Common Mode Voltage Range	$V_5 - V_4 = 300\text{ mV}$	-0.7			-0.7			V _{Min} V _{Max}
			1			1			
SHUT DOWN SECTION									
V _{SD}	High Input Voltage	$V_{(Pin\ 2)} - V_{(Pin\ 1)} \geq 150\text{ mV}$	1	0.5 1.5		1	0.5 1.5		V _{Min} V _{Max}
I _{SD}	High Input Current	$I_{(pin\ 10)}$	1			1			mA
OUTPUT SECTION (EACH OUTPUT)									
V _{CEs}	Collector Emitter Voltage Breakdown	$I_C \leq 100\ \mu\text{A}$		55			40		V _{Min}
I _{CEs}	Collector Package Current	$V_{CE} = 60\text{V}$							
		$V_{CE} = 55\text{V}$	0.1	50					μA_{Max}
		$V_{CE} = 40\text{V}$				0.1	50		
V _{CEsAT}	Saturation Voltage	$I_E = 20\text{ mA}$	0.2	0.5		0.2	0.7		V _{Max}
		$I_E = 200\text{ mA}$	1.5	2.2		1.5	2.5		
V _{EO}	Emitter Output Voltage	$I_E = 50\text{ mA}$	18	17		18	17		V _{Min}
t _R	Rise Time	$V_{IN} = 20\text{V}$, $I_E = -250\ \mu\text{A}$, $R_C = 2\text{k}$	200			200			ns
t _F	Fall Time	$R_C = 2\text{k}$	100			100			ns
SUPPLY CHARACTERISTICS SECTION									
V _{IN}	Input Voltage Range	After Turn-on		8 40			8 40		V _{Min} V _{Max}
T	Thermal Shutdown Temp.	(Note 2)	160			160			°C
I _{IN}	Stand By Current	$V_{IN} = 40\text{V}$ (Note 6)	5	10		5	10		mA

Note 1: Unless otherwise stated, these specifications apply for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$. Boldface numbers apply over the rated temperature range: LM2524D is -40°C to 85°C and LM3524D is 0°C to 70°C . $V_{IN} = 20\text{V}$ and $f_{OSC} = 20\text{ kHz}$.

Note 2: For operation at elevated temperatures, devices in the N package must be derated based on a thermal resistance of $86^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient. Devices in the M package must be derated at $125^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient.

Note 3: Tested limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 4: Design limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage range. These limits are not used to calculate outgoing quality level.

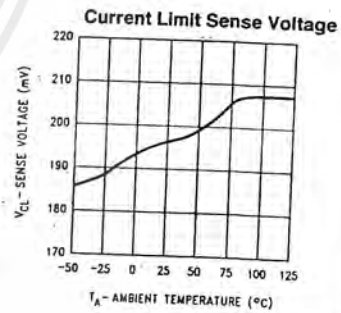
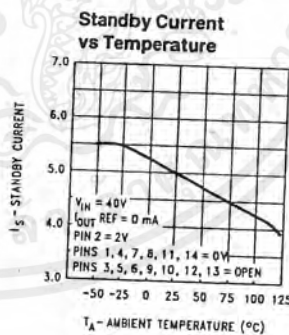
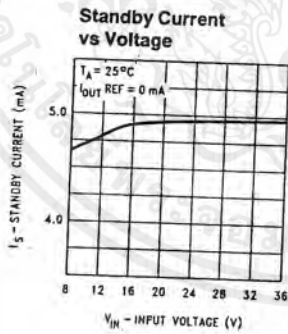
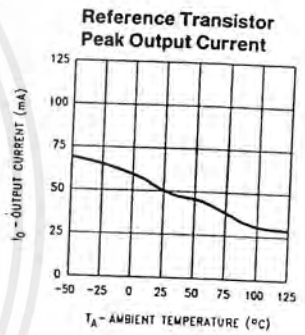
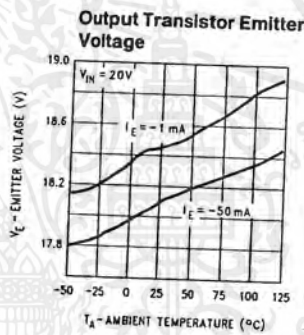
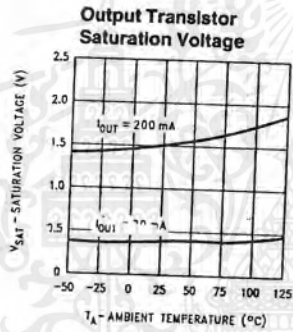
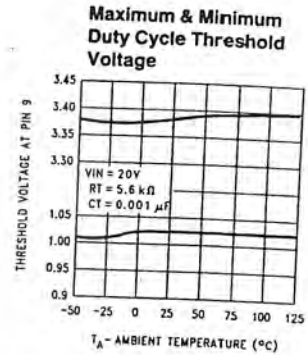
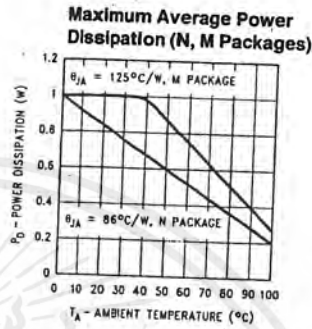
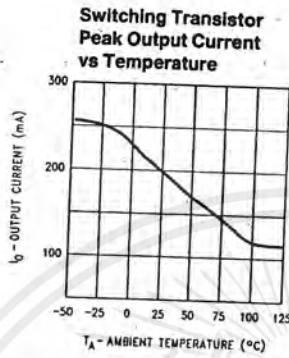
Note 5: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 6: Pins 1, 4, 7, 8, 11, and 14 are grounded; Pin 2 = 2V. All other inputs and outputs open.

Note 7: The value of a C_t capacitor can vary with frequency. Careful selection of this capacitor must be made for high frequency operation. Polystyrene was used in this test. NPO ceramic or polypropylene can also be used.

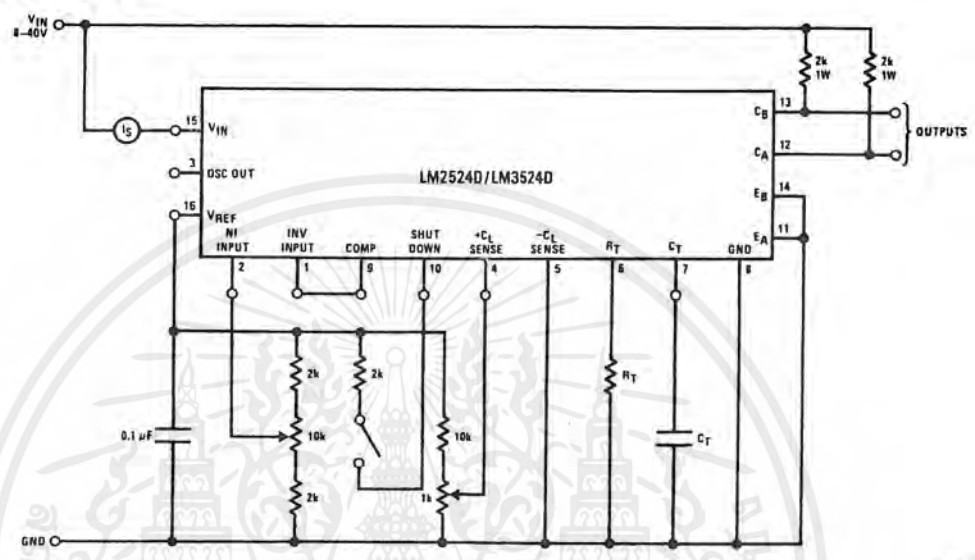
Note 8: OSC amplitude is measured open circuit. Available current is limited to 1 mA so care must be exercised to limit capacitive loading of fast pulses.

Typical Performance Characteristics



TL/H/8650-3

Test Circuit



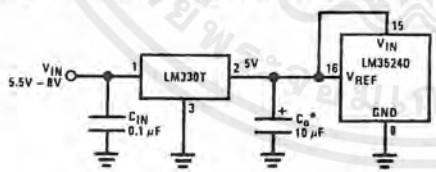
TL/H/8650-4

Functional Description

INTERNAL VOLTAGE REGULATOR

The LM3524D has an on-chip 5V, 50 mA, short circuit protected voltage regulator. This voltage regulator provides a supply for all internal circuitry of the device and can be used as an external reference.

For input voltages of less than 8V the 5V output should be shorted to pin 15, VIN, which disables the 5V regulator. With these pins shorted the input voltage must be limited to a maximum of 6V. If input voltages of 6V-8V are to be used, a pre-regulator, as shown in Figure 1, must be added.



TL/H/8650-10

*Minimum CO of 10 μF required for stability.
FIGURE 1

OSCILLATOR

The LM3524D provides a stable on-board oscillator. Its frequency is set by an external resistor, RT and capacitor, CT. A graph of RT, CT vs oscillator frequency is shown in Figure 2. The oscillator's output provides the signals for triggering an internal flip-flop, which directs the PWM information to the outputs, and a blanking pulse to turn off both outputs during transitions to ensure that cross conduction does not occur. The width of the blanking pulse, or dead time, is controlled by the value of CT, as shown in Figure 3. The recommended values of RT are 1.8 kΩ to 100 kΩ, and for CT, 0.001 μF to 0.1 μF.

If two or more LM3524D's must be synchronized together, the easiest method is to interconnect all pin 3 terminals, tie all pin 7's (together) to a single CT, and leave all pin 6's open except one which is connected to a single RT. This method works well unless the LM3524D's are more than 6" apart.

A second synchronization method is appropriate for any circuit layout. One LM3524D, designated as master, must have its RTCT set for the correct period. The other slave LM3524D(s) should each have an RTCT set for a 10% longer period. All pin 3's must then be interconnected to allow the master to properly reset the slave units.

The oscillator may be synchronized to an external clock source by setting the internal free-running oscillator frequency 10% slower than the external clock and driving pin 3 with a pulse train (approx. 3V) from the clock. Pulse width should be greater than 50 ns to insure full synchronization.

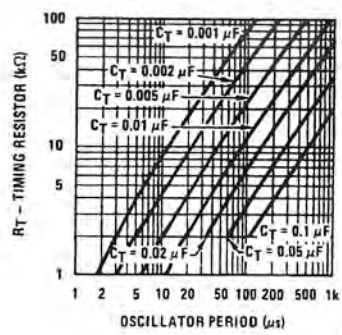


FIGURE 2

TL/H/8650-5

Functional Description (Continued)

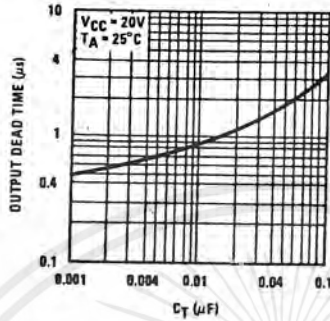


FIGURE 3

TL/H/8650-6

ERROR AMPLIFIER

The error amplifier is a differential input, transconductance amplifier. Its gain, nominally 86 dB, is set by either feedback or output loading. This output loading can be done with either purely resistive or a combination of resistive and reactive components. A graph of the amplifier's gain vs output load resistance is shown in Figure 4.

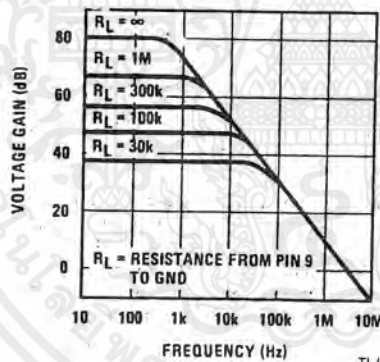


FIGURE 4

TL/H/8650-7

The output of the amplifier, or input to the pulse width modulator, can be overridden easily as its output impedance is very high ($Z_O \approx 5 \text{ M}\Omega$). For this reason a DC voltage can be applied to pin 9 which will override the error amplifier and force a particular duty cycle to the outputs. An example of this could be a non-regulating motor speed control where a variable voltage was applied to pin 9 to control motor speed. A graph of the output duty cycle vs the voltage on pin 9 is shown in Figure 5.

The duty cycle is calculated as the percentage ratio of each output's ON-time to the oscillator period. Paralleling the outputs doubles the observed duty cycle.

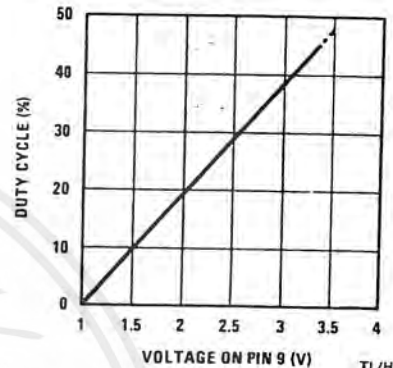


FIGURE 5

TL/H/8650-8

The amplifier's inputs have a common-mode input range of 1.5V-5.5V. The on board regulator is useful for biasing the inputs to within this range.

CURRENT LIMITING

The function of the current limit amplifier is to override the error amplifier's output and take control of the pulse width. The output duty cycle drops to about 25% when a current limit sense voltage of 200 mV is applied between the +CL and -CL sense terminals. Increasing the sense voltage approximately 5% results in a 0% output duty cycle. Care should be taken to ensure the -0.7V to +1.0V input common-mode range is not exceeded.

In most applications, the current limit sense voltage is produced by a current through a sense resistor. The accuracy of this measurement is limited by the accuracy of the sense resistor, and by a small offset current, typically 100 μA , flowing from +CL to -CL.

OUTPUT STAGES

The outputs of the LM3524D are NPN transistors, capable of a maximum current of 200 mA. These transistors are driven 180° out of phase and have non-committed open collectors and emitters as shown in Figure 6.

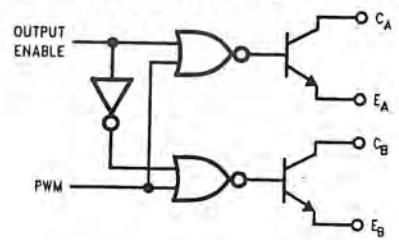


FIGURE 6

TL/H/8650-9

Typical Applications

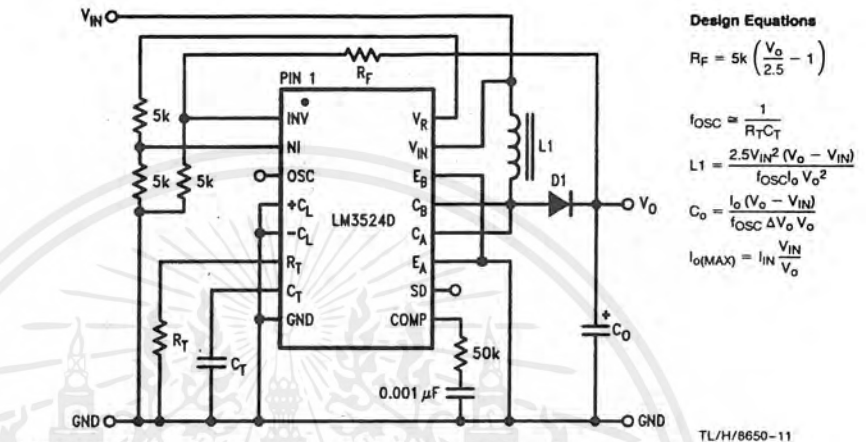


FIGURE 7. Positive Regulator, Step-Up Basic Configuration ($I_{IN(MAX)} = 80 \text{ mA}$)

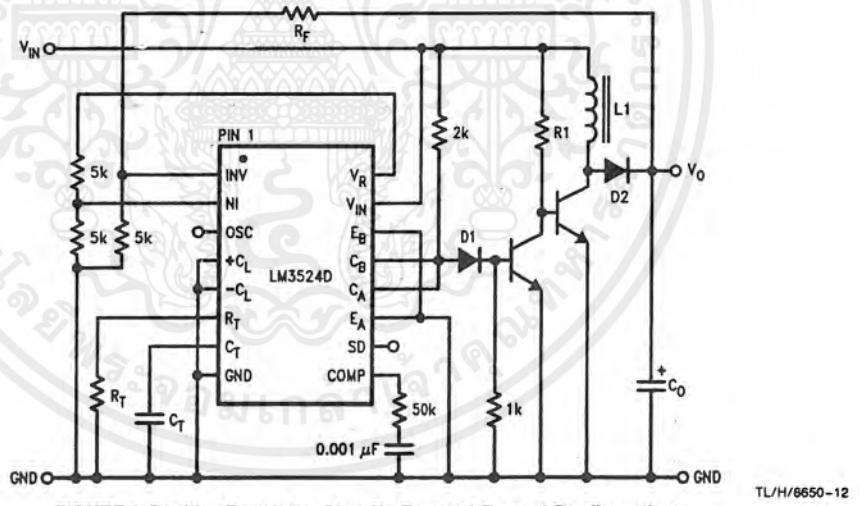
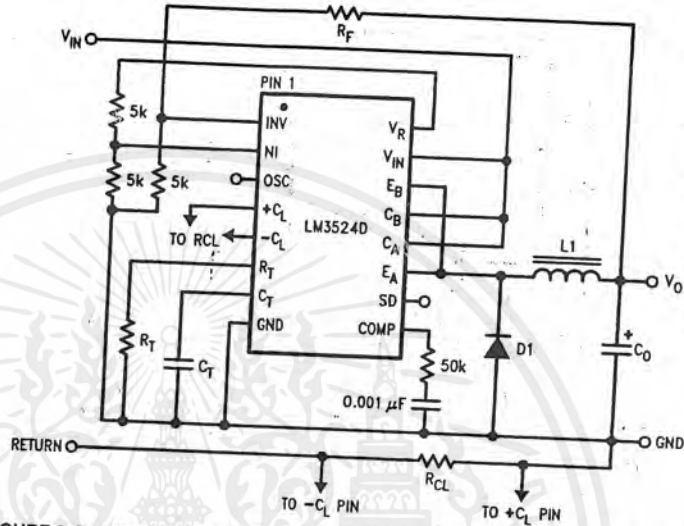


FIGURE 8. Positive Regulator, Step-Up Boosted Current Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



Design Equations

$$R_F = 5 \text{ k}\Omega \left(\frac{V_o}{2.5} - 1 \right)$$

$$R_{CL} = \frac{\text{Current Limit Sense Volt}}{I_o(\text{MAX})}$$

$$f_{OSC} = \frac{1}{R_T C_T}$$

$$L_1 = \frac{2.5 V_o (V_{IN} - V_o)}{I_o V_{IN} f_{OSC}}$$

$$C_o = \frac{(V_{IN} - V_o) V_o T^2}{8 \Delta V_o V_{IN} L_1}$$

$$I_o(\text{MAX}) = I_{IN} \frac{V_{IN}}{V_o}$$

FIGURE 9. Positive Regulator, Step-Down Basic Configuration ($I_{IN}(\text{MAX}) = 80 \text{ mA}$)

TL/H/8650-13

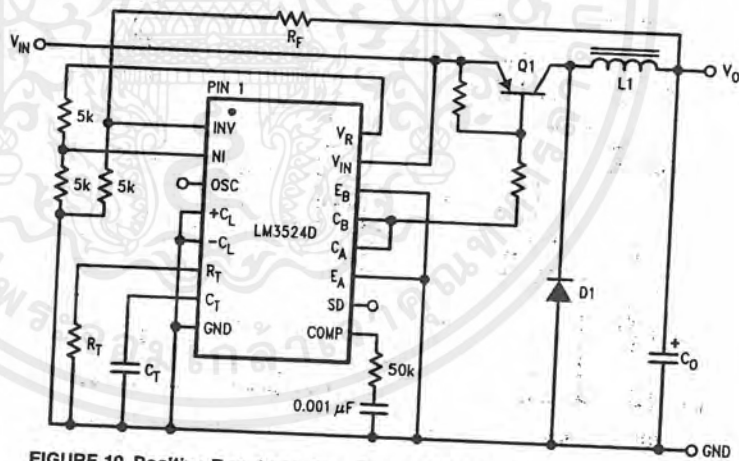
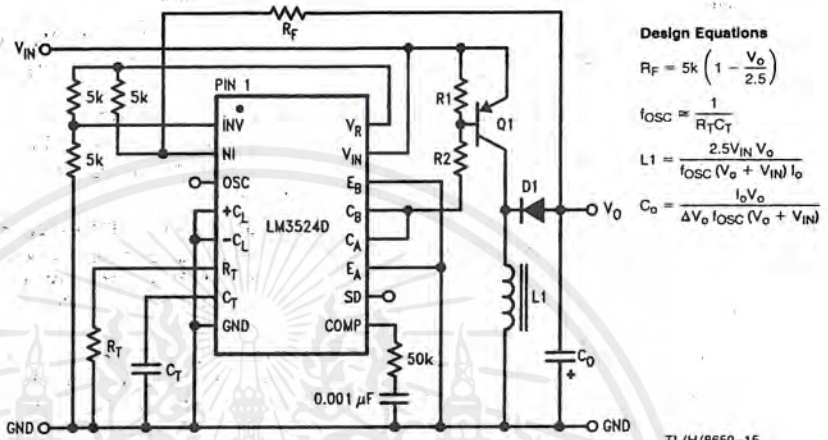


FIGURE 10. Positive Regulator, Step-Down Boosted Current Configuration

TL/H/8650-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



Design Equations

$$R_F = 5k \left(1 - \frac{V_O}{2.5} \right)$$

$$f_{osc} = \frac{1}{R_T C_T}$$

$$L_1 = \frac{2.5 V_{IN} V_O}{f_{osc} (V_O + V_{IN}) I_O}$$

$$C_O = \frac{I_O V_O}{\Delta V_O f_{osc} (V_O + V_{IN})}$$

FIGURE 11. Boosted Current Polarity Inverter

BASIC SWITCHING REGULATOR THEORY AND APPLICATIONS

The basic circuit of a step-down switching regulator circuit is shown in Figure 12, along with a practical circuit design using the LM3524D in Figure 15.

The circuit works as follows: Q1 is used as a switch, which has ON and OFF times controlled by the pulse width modulator. When Q1 is ON, power is drawn from VIN and supplied to the load through L1; VA is at approximately VIN; D1 is reverse biased, and CO is charging. When Q1 turns OFF the inductor L1 will force VA negative to keep the current flowing in it, D1 will start conducting and the load current will flow through D1 and L1. The voltage at VA is smoothed by the L1, CO filter giving a clean DC output. The current flowing through L1 is equal to the nominal DC load current plus some ΔIL which is due to the changing voltage across it. A good rule of thumb is to set ΔILP-P ≈ 40% × IO.

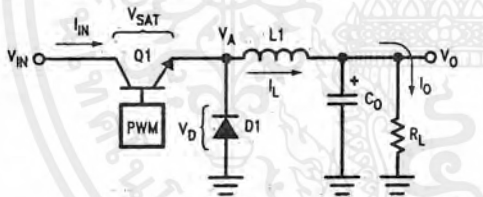


FIGURE 12. Basic Step-Down Switching Regulator

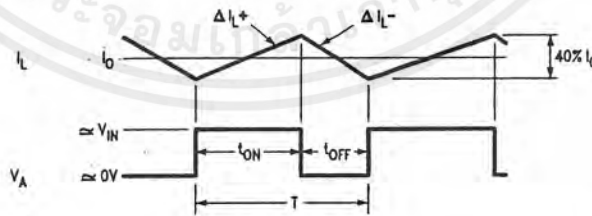


FIGURE 13

TL/H/8650-17

Typical Applications (Continued)

From the relation $V_L = L \frac{di}{dt}$, $\Delta I_L \approx \frac{V_L T}{L1}$

$$\Delta I_L^+ = \frac{(V_{IN} - V_o) t_{ON}}{L1}, \Delta I_L^- = \frac{V_o t_{OFF}}{L1}$$

Neglecting V_{SAT} , V_D , and settling $\Delta I_L^+ = \Delta I_L^-$;

$$V_o \approx V_{IN} \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF} + t_{ON}} \right) = V_{IN} \left(\frac{t_{ON}}{T} \right);$$

where $T =$ Total Period

The above shows the relation between V_{IN} , V_o and duty cycle.

$$I_{IN(DC)} = I_{OUT(DC)} \left(\frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \right)$$

as Q1 only conducts during t_{ON} .

$$P_{IN} = I_{IN(DC)} V_{IN} = (I_o(DC)) \left(\frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \right) V_{IN}$$

$$P_o = I_o V_o$$

The efficiency, η , of the circuit is:

$$\eta_{MAX} = \frac{P_o}{P_{IN}} = \frac{I_o V_o}{I_o \left(\frac{t_{ON}}{T} \right) V_{IN} + \frac{(V_{SAT} t_{ON} + V_{D1} t_{OFF}) I_o}{T}}$$

$$= \frac{V_o}{V_o + 1} \text{ for } V_{SAT} = V_{D1} = 1V.$$

η_{MAX} will be further decreased due to switching losses in Q1. For this reason Q1 should be selected to have the maximum possible f_T , which implies very fast rise and fall times.

CALCULATING INDUCTOR L1

$$t_{ON} \approx \frac{(\Delta I_L^+) \times L1}{(V_{IN} - V_o)}, t_{OFF} = \frac{(\Delta I_L^-) \times L1}{V_o}$$

$$t_{ON} + t_{OFF} = T = \frac{(\Delta I_L^+) \times L1}{(V_{IN} - V_o)} + \frac{(\Delta I_L^-) \times L1}{V_o}$$

$$= \frac{0.4 I_o L1}{(V_{IN} - V_o)} + \frac{0.4 I_o L1}{V_o}$$

Since $\Delta I_L^+ = \Delta I_L^- = 0.4 I_o$

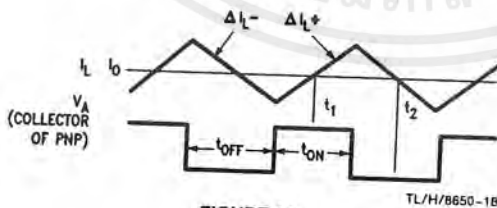


FIGURE 14

TL/H/8650-18

Solving the above for L1

$$L1 = \frac{2.5 V_o (V_{IN} - V_o)}{I_o V_{IN} f}$$

where: L1 is in Henrys

f is switching frequency in Hz

Also, see LM1578 data sheet for graphical methods of inductor selection.

CALCULATING OUTPUT FILTER CAPACITOR C_o:

Figure 14 shows L1's current with respect to Q1's t_{ON} and t_{OFF} times. This current must flow to the load and C_o . C_o 's current will then be the difference between I_L and I_o .

$$I_{C_o} = I_L - I_o$$

From Figure 14 it can be seen that current will be flowing into C_o for the second half of t_{ON} through the first half of t_{OFF} , or a time, $t_{ON}/2 + t_{OFF}/2$. The current flowing for this time is $\Delta I_L/4$. The resulting ΔV_c or ΔV_o is described by:

$$\Delta V_{op-p} = \frac{1}{C} \times \frac{\Delta I_L}{4} \times \left(\frac{t_{ON}}{2} + \frac{t_{OFF}}{2} \right)$$

$$= \frac{\Delta I_L}{4C} \left(\frac{t_{ON} + t_{OFF}}{2} \right)$$

$$\text{Since } \Delta I_L = \frac{V_o(T - t_{ON})}{L1} \text{ and } t_{ON} = \frac{V_o T}{V_{IN}}$$

$$\Delta V_{op-p} = \frac{V_o \left(T - \frac{V_o T}{V_{IN}} \right)}{4C L1} \left(\frac{T}{2} \right) = \frac{(V_{IN} - V_o) V_o T^2}{8V_{IN} C_o L1} \text{ or}$$

$$C_o = \frac{(V_{IN} - V_o) V_o T^2}{8 \Delta V_o V_{IN} L1}$$

where: C is in farads, T is $\frac{1}{\text{switching frequency}}$

ΔV_o is p-p output ripple

For best regulation, the inductor's current cannot be allowed to fall to zero. Some minimum load current I_o , and thus inductor current, is required as shown below:

$$I_{o(MIN)} = \frac{(V_{IN} - V_o) t_{ON}}{2L1} = \frac{(V_{IN} - V_o) V_o}{2f V_{IN} L1}$$

$$\Delta I_L^+ = \frac{(V_{IN} - V_o) t_{ON}}{L1}$$



TL/H/8650-19

Typical Applications (Continued)

A complete step-down switching regulator schematic, using the LM3524D, is illustrated in *Figure 15*. Transistors Q1 and Q2 have been added to boost the output to 1A. The 5V regulator of the LM3524D has been divided in half to bias the error amplifier's non-inverting input to within its common-mode range. Since each output transistor is on for half the period, actually 45%, they have been paralleled to allow longer possible duty cycle, up to 90%. This makes a lower possible input voltage. The output voltage is set by:

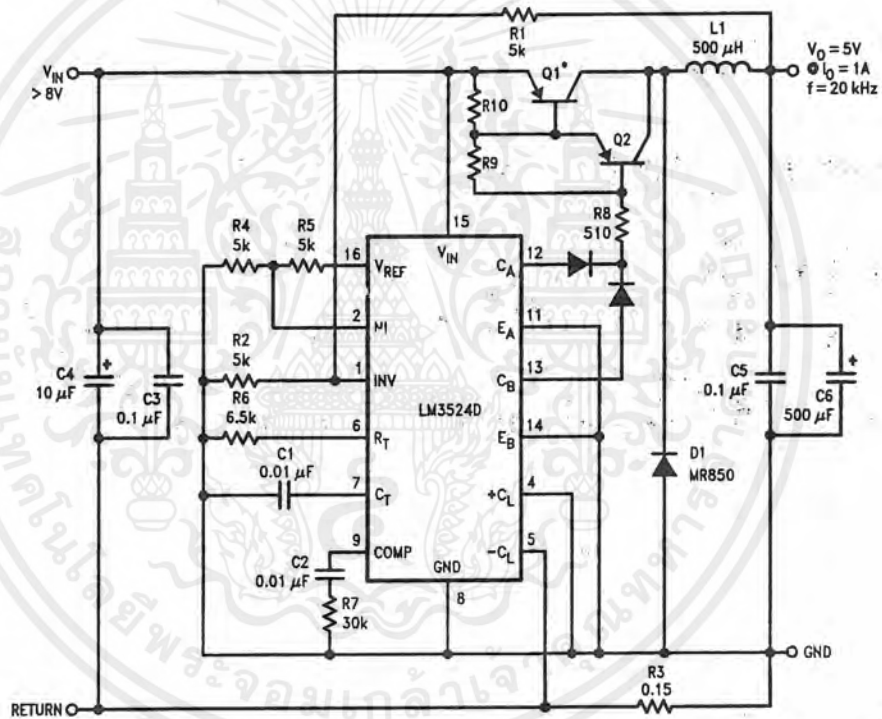
$$V_o = V_{NI} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right),$$

where V_{NI} is the voltage at the error amplifier's non-inverting input.

Resistor R3 sets the current limit to:

$$\frac{200 \text{ mV}}{R3} = \frac{200 \text{ mV}}{0.15} = 1.3\text{A}.$$

Figure 16 and *17* show a PC board layout and stuffing diagram for the 5V, 1A regulator of *Figure 15*. The regulator's performance is listed in Table I.



- *Mounted to Staver Heatsink No. V5-1.
- Q1 = BD344
- Q2 = 2N5023
- L1 = >40 turns No. 22 wire on Ferroxcube No. K300502 Torroid core.

FIGURE 15. 5V, 1 Amp Step-Down Switching Regulator

TL/H/8650-20

Typical Applications (Continued)

TABLE I

Parameter	Conditions	Typical Characteristics
Output Voltage	$V_{IN} = 10V, I_o = 1A$	5V
Switching Frequency	$V_{IN} = 10V, I_o = 1A$	20 kHz
Short Circuit Current Limit	$V_{IN} = 10V$	1.3A
Load Regulation	$V_{IN} = 10V$ $I_o = 0.2 - 1A$	3 mV
Line Regulation	$\Delta V_{IN} = 10 - 20V,$ $f_o = 1A$	6 mV
Efficiency	$V_{IN} = 10V, I_o = 1A$	80%
Output Ripple	$V_{IN} = 10V, I_o = 1A$	10 mVp-p

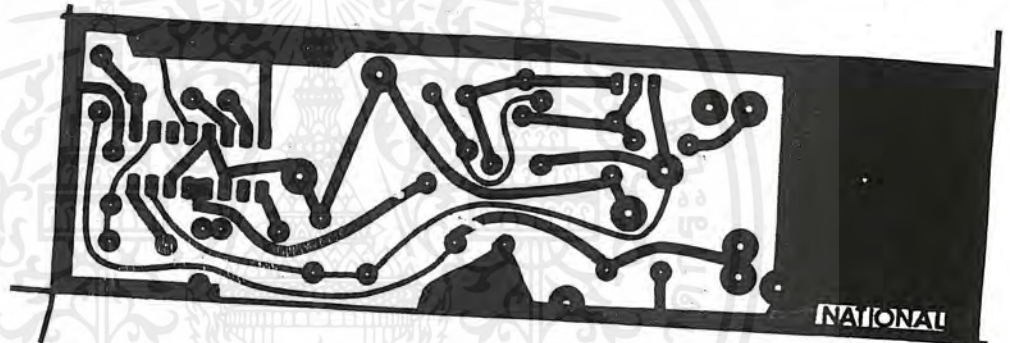


FIGURE 16. 5V, 1 Amp Switching Regulator, Foil Side

TL/H/8650-21

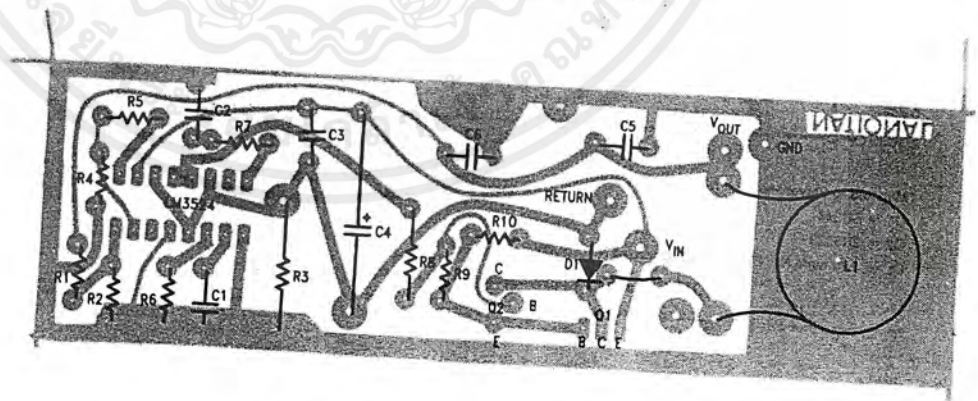


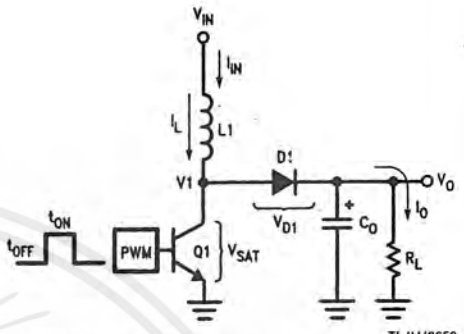
FIGURE 17. Stuffing Diagram, Component Side

TL/H/8650-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)
THE STEP-UP SWITCHING REGULATOR

Figure 18 shows the basic circuit for a step-up switching regulator. In this circuit Q1 is used as a switch to alternately apply V_{IN} across inductor L1. During the time, t_{ON} , Q1 is ON and energy is drawn from V_{IN} and stored in L1; D1 is reverse biased and I_o is supplied from the charge stored in C_o . When Q1 opens, t_{OFF} , voltage V1 will rise positively to the point where D1 turns ON. The output current is now supplied through L1, D1 to the load and any charge lost from C_o during t_{ON} is replenished. Here also, as in the step-down regulator, the current through L1 has a DC component plus some ΔI_L . ΔI_L is again selected to be approximately 40% of I_L . Figure 19 shows the inductor's current in relation to Q1's ON and OFF times.



TL/H/8650-23

FIGURE 18. Basic Step-Up Switching Regulator

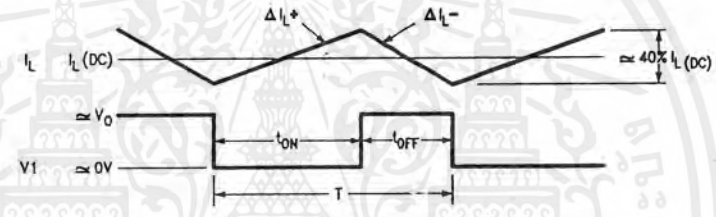


FIGURE 19

TL/H/8650-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

$$\text{From } \Delta I_L = \frac{V_L T}{L}, \Delta I_L^+ \approx \frac{V_{IN} t_{ON}}{L1}$$

$$\text{and } \Delta I_L^- \approx \frac{(V_o - V_{IN}) t_{OFF}}{L1}$$

Since $\Delta I_L^+ = \Delta I_L^-$, $V_{IN} t_{ON} = V_o t_{OFF} - V_{IN} t_{OFF}$, and neglecting V_{SAT} and V_{D1}

$$V_o \approx V_{IN} \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right)$$

The above equation shows the relationship between V_{IN} , V_o and duty cycle.

In calculating input current $I_{IN(DC)}$, which equals the inductor's DC current, assume first 100% efficiency:

$$P_{IN} = I_{IN(DC)} V_{IN}$$

$$P_{OUT} = I_o V_o = I_o V_{IN} \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right)$$

for $\eta = 100\%$, $P_{OUT} = P_{IN}$

$$I_o V_{IN} \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right) = I_{IN(DC)} V_{IN}$$

$$I_{IN(DC)} = I_o \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right)$$

This equation shows that the input, or inductor, current is larger than the output current by the factor $(1 + t_{ON}/t_{OFF})$. Since this factor is the same as the relation between V_o and V_{IN} , $I_{IN(DC)}$ can also be expressed as:

$$I_{IN(DC)} = I_o \left(\frac{V_o}{V_{IN}} \right)$$

So far it is assumed $\eta = 100\%$, where the actual efficiency or η_{MAX} will be somewhat less due to the saturation voltage of Q1 and forward voltage of D1. The internal power loss due to these voltages is the average I_L current flowing, or I_{IN} , through either V_{SAT} or V_{D1} . For $V_{SAT} = V_{D1} = 1V$ this power loss becomes $I_{IN(DC)} (1V)$. η_{MAX} is then:

$$\Delta_{MAX} = \frac{P_o}{P_{IN}} = \frac{V_o I_o}{V_o I_o + I_{IN} (1V)} = \frac{V_o I_o}{V_o I_o + I_o \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right)}$$

$$\text{From } V_o = V_{IN} \left(1 + \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \right)$$

$$\eta_{max} = \frac{V_{IN}}{V_{IN} + 1}$$

This equation assumes only DC losses, however η_{MAX} is further decreased because of the switching time of Q1 and D1.

In calculating the output capacitor C_o it can be seen that C_o supplies I_o during t_{ON} . The voltage change on C_o during this time will be some $\Delta V_c = \Delta V_o$ or the output ripple of the regulator. Calculation of C_o is:

$$\Delta V_o = \frac{I_o t_{ON}}{C_o} \text{ or } C_o = \frac{I_o t_{ON}}{\Delta V_o}$$

$$\text{From } V_o = V_{IN} \left(\frac{T}{t_{OFF}} \right); t_{OFF} = \frac{V_{IN} T}{V_o}$$

$$\text{where } T = t_{ON} + t_{OFF} = \frac{1}{f}$$

$$t_{ON} = T - \frac{V_{IN} T}{V_o} = T \left(\frac{V_o - V_{IN}}{V_o} \right) \text{ therefore:}$$

$$C_o = \frac{I_o T \left(\frac{V_o - V_{IN}}{V_o} \right)}{\Delta V_o} = \frac{I_o (V_o - V_{IN})}{f \Delta V_o V_o}$$

where: C_o is in farads, f is the switching frequency, ΔV_o is the p-p output ripple

Calculation of inductor $L1$ is as follows:

$$L1 = \frac{V_{IN} t_{ON}}{\Delta I_L^+}, \text{ since during } t_{ON},$$

V_{IN} is applied across $L1$

$$\Delta I_{Lp-p} = 0.4 I_L = 0.4 I_{IN} = 0.4 I_o \left(\frac{V_o}{V_{IN}} \right), \text{ therefore:}$$

$$L1 = \frac{V_{IN} t_{ON}}{0.4 I_o \left(\frac{V_o}{V_{IN}} \right)} \text{ and since } t_{ON} = \frac{T (V_o - V_{IN})}{V_o}$$

$$L1 = \frac{2.5 V_{IN}^2 (V_o - V_{IN})}{f I_o V_o^2}$$

where: $L1$ is in henrys, f is the switching frequency in Hz

Typical Applications (Continued)

To apply the above theory, a complete step-up switching regulator is shown in *Figure 20*. Since V_{IN} is 5V, V_{REF} is tied to V_{IN} . The input voltage is divided by 2 to bias the error amplifier's inverting input. The output voltage is:

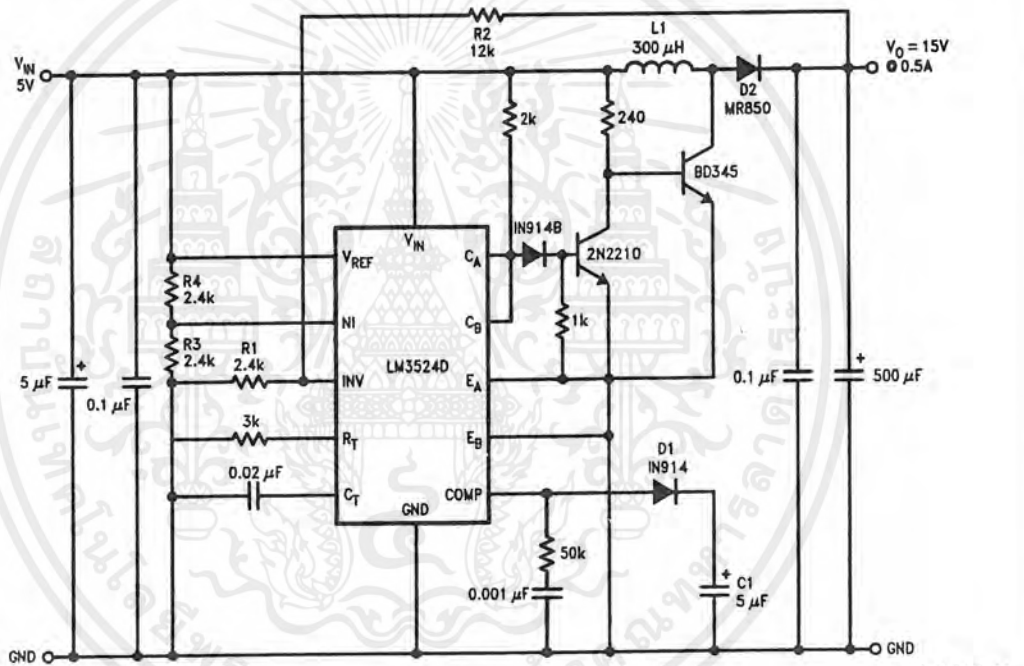
$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times V_{INV} = 2.5 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

The network D1, C1 forms a slow start circuit.

This holds the output of the error amplifier initially low thus reducing the duty-cycle to a minimum. Without the slow start

circuit the inductor may saturate at turn-on because it has to supply high peak currents to charge the output capacitor from 0V. It should also be noted that this circuit has no supply rejection. By adding a reference voltage at the non-inverting input to the error amplifier, see *Figure 21*, the input voltage variations are rejected.

The LM3524D can also be used in inductorless switching regulators. *Figure 22* shows a polarity inverter which if connected to *Figure 20* provides a -15V unregulated output.



L1 = > 25 turns No. 24 wire on Ferroxcube No. K300502 Torroid core.

FIGURE 20. 15V, 0.5A Step-Up Switching Regulator

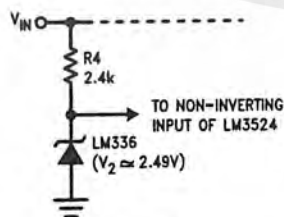


FIGURE 21

TL/H/8650-26

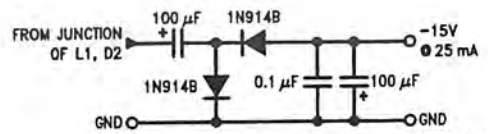
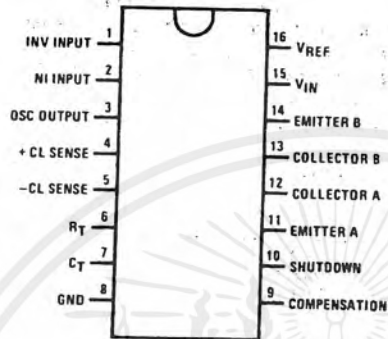


FIGURE 22

TL/H/8650-27

LM2524D/LM3524D

Connection Diagram



Top View

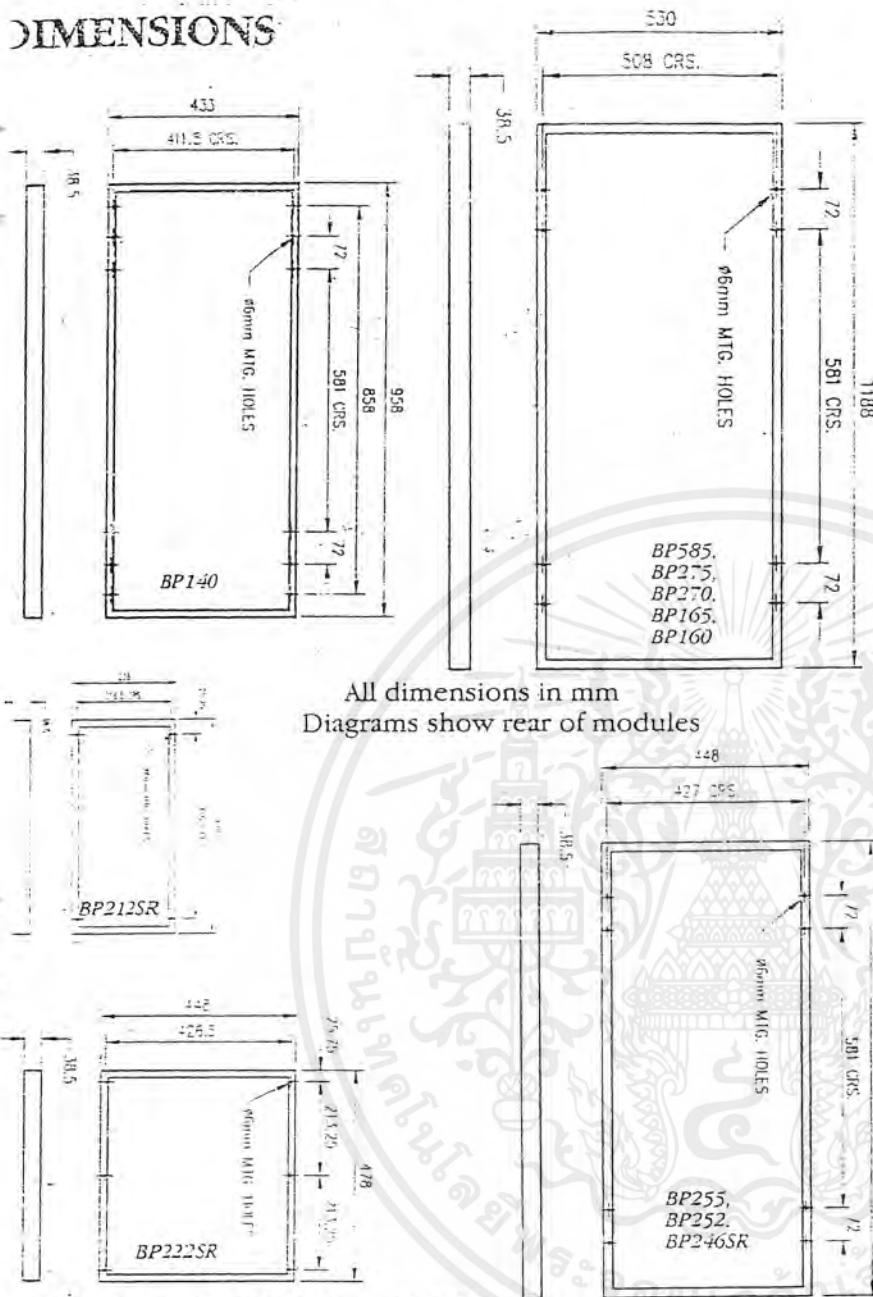
TL/H/8650-2

Order Number LM2524DN or LM3524DN
See NS Package Number N16E

Order Number LM3524DM
See NS Package Number M16A

BP SOLAR MODULES: TECHNICAL SPECIFICATIONS

DIMENSIONS



All dimensions in mm
Diagrams show rear of modules

PRODUCT FEATURES

- High efficiency monocrystalline square silicon cells.
- Designed for maximum reliability and minimum maintenance.
- Produced using in-house technology in cell manufacturing and encapsulation.
- Highly resistant to water, abrasion, hail impact and other environmental factors.
- Lightweight anodised aluminium frame with silicone edge sealant around the laminate.
- All proven products. Only materials with extensive field experience used.
- Designed and manufactured to comply with European and equivalent International standards.

COMPONENTS

Glass: Toughened high transmission (92%) glass, 3mm thick.

Encapsulant: Ethylene Vinyl Acetate (EVA).

Frame: Anodised Aluminium.

Frame Seal: Silicone.

Junction Box: 2 by-pass diodes fitted and 4 cable entry points, standard in the following modules, BP585, BP275, BP270, BP165, BP160, BP255, BP252, BP140, BP246SR.

All BP Solar modules are measured under the Standard Industry Test Conditions, described in the Electrical Characteristics Section, each module is supplied against an agreed specification within a power tolerance band, normally minus 5% from the maximum peak power value; (minus 10% for BP246SR, BP140, BP222SR and BP212SR). For further details on system sizing and module performance under field conditions anywhere in the world, contact BP Solar or their authorised Distribution Network.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

* = CE 503 approved

Catalogue Number	Peak Power (W)	Self Regulating	Nominal Voltage (V)	Cell Number	Peak Voltage (V)	Peak Current (A)	Open Circuit Voltage (V)	Short Circuit Current (A)	Weight (kg)
BP585*	85	NO	12	36	18.0	4.72	22.10	5.00	7.5
BP275*	75	NO	12	36	17.0	4.45	21.40	4.75	7.5
BP270*	70	NO	12	36	17.0	4.16	21.20	4.48	7.5
BP165	65	NO	12	36	17.0	3.80	21.40	4.00	7.5
BP160	60	NO	12	36	17.0	3.51	21.40	3.70	7.5
BP255*	55	NO	12	36	17.0	3.23	21.20	3.54	5.9
BP252*	52	NO	12	36	17.0	3.06	21.20	3.35	5.9
BP140*	40	NO	12	36	17.0	2.34	21.60	2.44	5.2
BP246SR	46	YES	12	32	15.2	3.05	19.00	3.35	5.5
BP222SR	22	YES	12	32	15.2	1.45	19.00	1.65	4.0
BP212SR	12	YES	12	32	15.2	0.78	19.00	0.80	1.7

BP SOLAR MODULES: ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER SPECIFICATIONS

Performance specifications given are as measured at the standard test conditions.

Standard Test Conditions

Description	Parameter	Value
Intensity of illumination	Insolation (W/m^2)	1000
Spectral Density	Air Mass (AM)	1.5
Operating Temperature	Cell Temperature ($^{\circ}C$)	25

Description of performance parameters

P_{max}	Maximum power of a module. The point on the curve where the IV product is a maximum
V_{mp}	Voltage at the maximum power point
I_{mp}	Current at the maximum power point
I_{sc}	The short circuit current of a PV module
V_{oc}	The open circuit voltage of a PV module
P_{min}	Minimum guaranteed power of a module

tolerance - Minimum power, the peak power of all high power modules is normally supplied within minus 5% actual of the nominal value, for further details contact BP Solar.

CEC APPROVAL SPECIFICATION NO. 503

BP Solar modules have been tested and qualified to the Commission of European Communities specification number 503 at the CEC Joint Research Centre in Ispra, Italy. The qualification tests are designed to demonstrate the module's suitability for use in field conditions. Modules are designed to last at least 20 years, with a 10 year warranty.

200 thermal cycles from $-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$.

10 humidity/freeze cycles

from $85^{\circ}C$ at 85%

relative humidity

to $-40^{\circ}C$.

Ice ball impact test.

Ultra violet exposure.

Outdoor exposure.

Damp heat.

Hot spot endurance

(to simulate partial shading).

Mechanical

endurance, to

simulate wind loads of up to 225km/h.

Power specifications are

measured at Standard

BP Solar Test


conditions. For further

information on module

performance contact BP

Solar

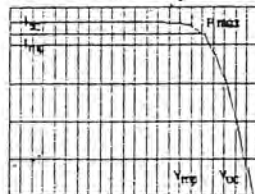
Rear Module Label



BP SOLAR

MODULE TYPE: BP 275

NOMINAL PEAK POWER (W)	: 75.00 W
PEAK POWER VOLTAGE (V_{mp})	: 17.00 V
PEAK POWER CURRENT (I_{mp})	: 4.45 A
SHORT CIRCUIT CURRENT (I_{sc})	: 4.75 A
OPEN CIRCUIT VOLTAGE (V_{oc})	: 21.40 V
MINIMUM POWER (P_{min})	: 71.25 W



Power specifications measured at Standard Test Conditions, Insolation of 1000W/m², AM 1.5, 25^o Cell Temperature. Module Specification EST1505 by JRC ISRA. 10 Year Limited Output Guarantee.

CE

36 CELL MODULES

To boost charge a nominally 12 volt standard flooded lead acid battery the terminal voltage must be taken to 15 volts at $20^{\circ}C$. At this voltage the battery will be gassed sufficiently to remove stratification and to ensure cell equalisation. In some applications it is necessary to ensure that the boost voltage is reached as quickly as possible even at high temperatures. To ensure that this happens most modules are manufactured with 36 silicon solar cells connected in series which will yield approximately 17 volts at the maximum power point. The additional 2.0 volts are required to overcome cabling and blocking diode losses. However, system using 36 cell modules must be equipped with a charge controller to ensure that the batteries are not over charged during periods of surplus energy.

- Telecommunications.
- Navigational aids.
- Telemetry.
- Obstruction lighting.
- Domestic lighting/power.
- Cathodic protection.
- Medical Refrigeration.
- Railway Signalling.
- Water Pumping.
- Grid-connect.

Typical Professional Applications

32 CELL SELF REGULATED MODULES (SR)

All self regulating (SR) modules have been designed so that they can be safely connected directly to the battery without a regulator when used in an appropriate situation. They offer a reliable lower cost solution to the majority of small solar system applications. Self regulating (SR) modules are used extensively for marine navigational aids and leisure applications.

HOW DOES IT WORK?

A self regulating module has a lower output voltage characteristic than a normal regulating module. This means its charging characteristic more closely matches that of a lead acid battery.

When the battery is at a low state of charge (S.O.C.) its correspondingly lower voltage ensures the full charging current of the solar module is being used to charge the battery. As the battery reaches higher S.O.C.s, its terminal voltage rises. This rise in voltage forces the solar module to start tapering off its charging to a point where only a trickle charge is allowed into the battery to maintain a high S.O.C.

WHAT CONDITIONS ARE REQUIRED FOR SELF REGULATION?

- The ratio of battery storage capacity (Ah) to solar module output power(watts) should be at least 2.5:1 or more (the larger the battery bank the better).
- Frequent use of battery.
- Regular battery maintenance of at least 3 weeks maximum intervals and topping up of battery electrolyte if required otherwise use with sealed batteries.

WHEN WOULD SELF REGULATION BE UNSUITABLE?

- If the battery capacity is too small
- If the battery is only used very infrequently
- If the battery will be unattended for extended periods (i.e. in excess of 3-4 weeks)

In such cases we would recommend the use of a normal regulating module with a regulator.

If you're unsure as to how suitable self regulation is for your particular system, BP Solar will be pleased to advise.

BP SOLAR MODULES: MECHANICAL INSTALLATION

For maximum module performance, where possible face the module towards the equator (i.e. due south in the northern hemisphere or due north in the southern hemisphere).

- Ensure an unshaded location throughout the year and select a tilt angle from the table; within 10 degrees of the equator the module can face either pole without any reduction of performance. Detailed system design reports with performance simulations at optimum tilt angles are generally available from BP Solar on their Distribution network.

LATITUDE	TILT ANGLE	LATITUDE	TILT ANGLE
0 - 10°	10°	41 - 45°	45°
11 - 15°	15°	46 - 50°	50°
16 - 20°	20°	51 - 55°	55°
21 - 25°	25°	56 - 60°	60°
26 - 30°	30°	61 - 65°	65°
31 - 35°	35°	66 - 70°	70°
36 - 40°	40°	71 - 75°	75°

MECHANICAL LOADING

The module is capable of withstanding uniformly-distributed loads of up to 2400 Pa applied to the front or back surfaces. This corresponds to a maximum simulated windspeed gust of 225 km/h (62.5 m/sec).

Any design of support structure for the modules should utilise an appropriate code of practice in order to calculate wind loadings since these codes take edge effects into account.

MOUNTING ARRANGEMENTS

Holes are provided in the frame of the module for mounting purposes. M5 fasteners (stainless steel) should be used since the frame incorporates a channel which holds an M5 nut captive.

The module should be mounted so that no corner is displaced from the plane of the other 3 corners by more than 5mm.

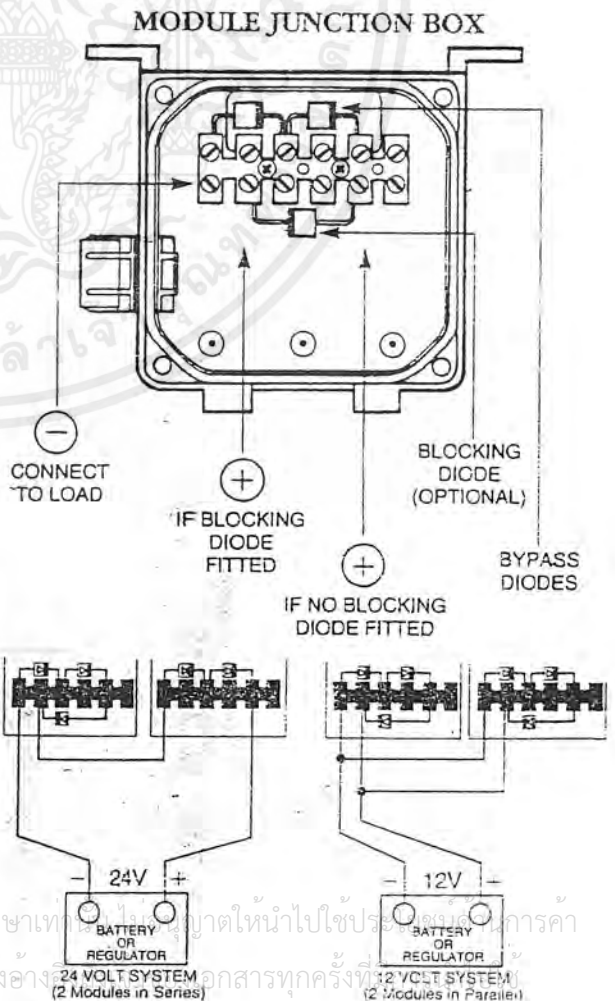
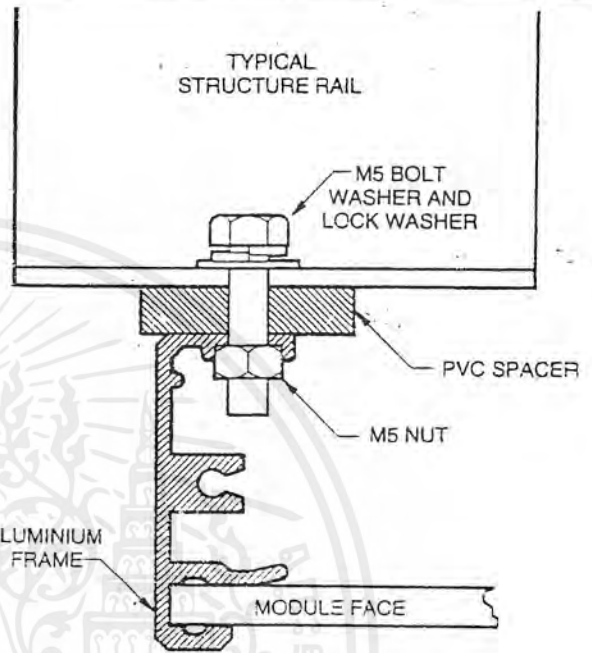
USING M5 FASTENERS

Secure the module as shown, using at least four mounting points on each module. The PVC spacer is recommended when modules are to be mounted on metal (non aluminium) frames to prevent corrosion from dissimilar metals.

ELECTRICAL INSTALLATION

- Cut and strip the cables as required.
- Undo the four screws securing the lid on the junction box.
- Open the lid to reveal connections as shown.
- Push the cable through the gland and using a suitable screwdriver make the connection as required.
- Tighten the cable gland to secure the cable and seal the junction box.
- Replace the junction box lid and tighten the four screws firmly into place.

The junction box is standard equipment on the following modules: BP585, BP275, BP270, BP165, BP160, BP255, BP252, BP246SR, BP140, modules designated BP222SR and BP212SR are supplied with flying leads for external electrical connections; external leads are colour coded for positive and negative connections.



our installation. Use a tool such as a screwdriver to remove the knock-out. Install either a strain-relief or a conduit fitting. Follow the diagram in Figure 2 to make your wiring connections. For connecting multiple modules in series or parallel, refer to Figure 3. Reposition the cover on the junction box and tighten the 4 screws.

Blocking Diodes

Proper use of a suitable blocking diode prevents reverse current flow into a module from a battery, another parallel-connected module or from another charging source.

For 12 volt system, it is necessary to use a blocking diode in series with each module. One of the supplied jumpers may be used to install a blocking diode in the module junction box if desired, refer to Figure 3.

For higher voltage systems you may use a single blocking diode of appropriate rating in each series-connected string of modules. Use an external termination box to mount the diode

UNI-POWER Solar Modules Specifications

	US-32	US-64
Rated Power (Watts)	32	64
Operating Voltage (Volts)	15.6	15.6
Operating Current (Amps)	2.05	4.1
Open Circuit Voltage (Volts)	21.3	21.3
Open Circuit Voltage (Volts) at -10° C and 1250 W/m ²	24.5	24.5
Short Circuit Current (Amps)	2.55	5.1
Short Circuit Current (Amps)* at 75° C and 1250 W/m ²	3.3	6.6
Series fuse rating (Amps)	4	3
Minimum blocking diode or bypass diode rating (Amps)	4	3
Weight (lbs./kgs.)	10.8/4.9	20.5/9.3

Table 1. Electrical specifications ($\pm 5\%$) are based on measurements performed at Standard Test Conditions of 1000 W/m² irradiance, Air Mass 1.5, and Cell Temperature of 25° C after long-term stabilization. Performance may vary up to 10% from rated power due to low temperature operation, spectral and related effects.

* Refer to section 690-8 of the National Electric Code for an additional multiplying factor of 125% which may be applicable.

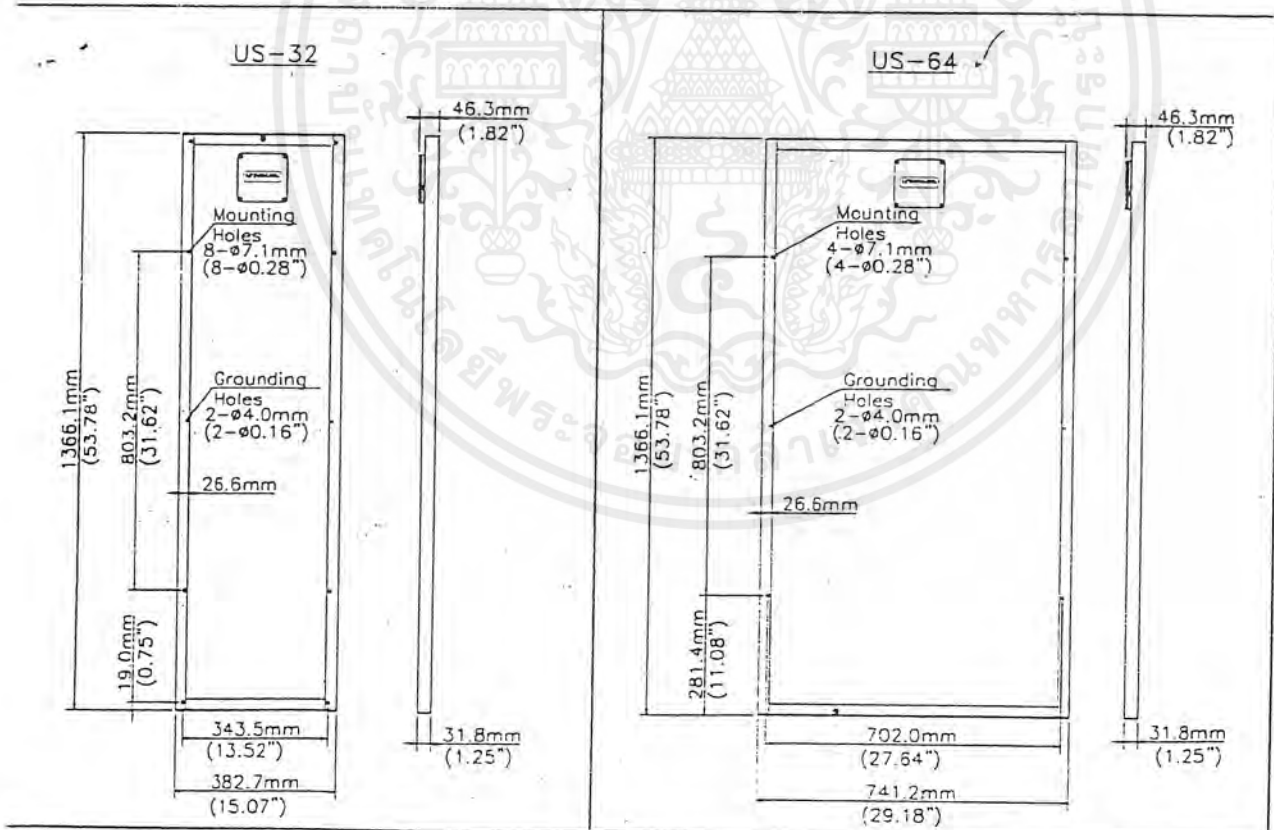


Figure 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

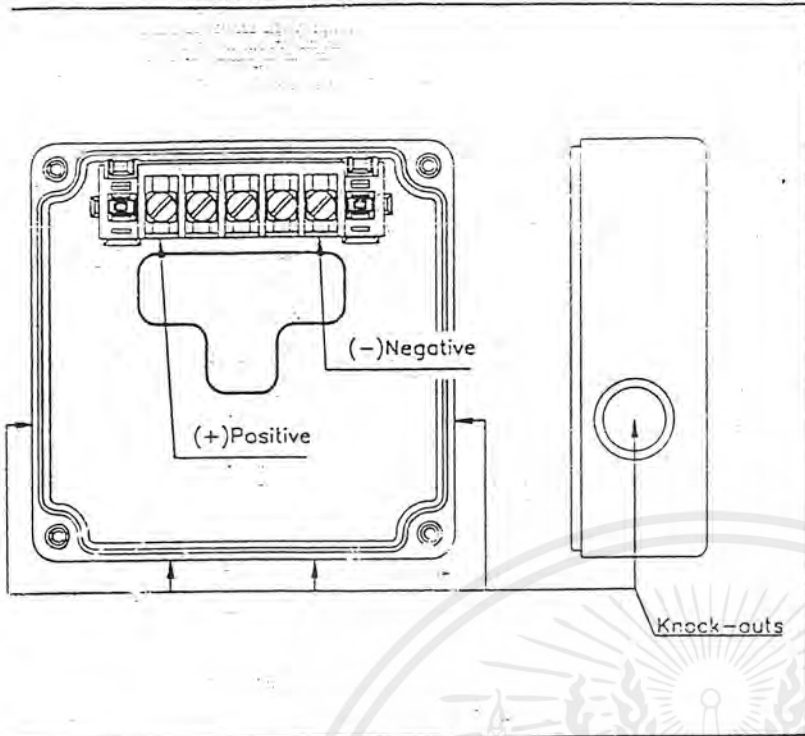


Figure 2

and any heat sink. Contact United Solar Systems for assistance.

Bypass Diodes

Every *UNI-POWER* module includes a bypass diode across each cell, which results in reduced power loss under partial shadow conditions. When 2 or more modules are connected in series, a bypass diode can be installed in the module junction box using the supplied jumpers, providing further shadow tolerance. (See Figure 3.) Contact United Solar Systems for assistance.

Charge Regulation

The use of a charge regulator is recommended in battery systems to prevent the solar module from overcharging the battery. Follow the manufacturer's instruction for installation of the regulator.

High Voltage Systems

UNI-POWER solar modules are suitable for use in high voltage systems up to 600 volts. Contact United Solar Systems for specific design advice and assistance. Do not

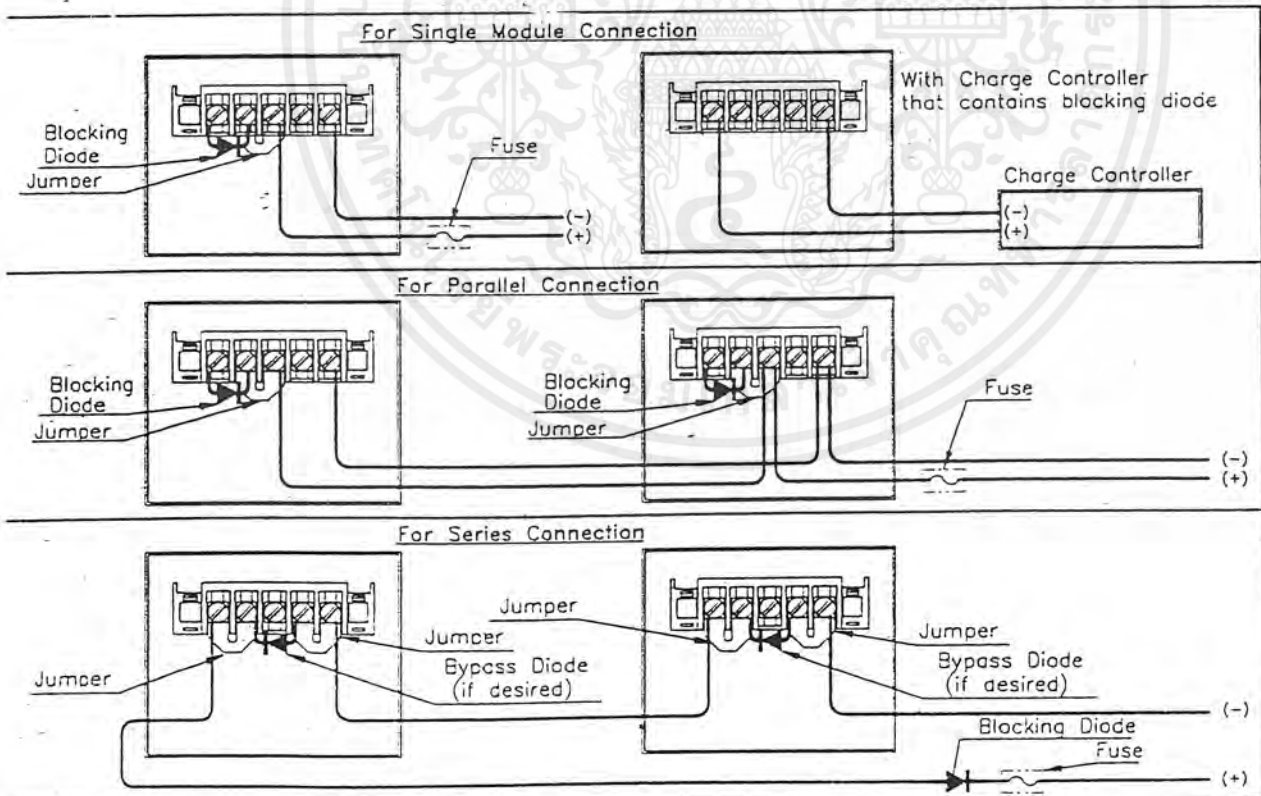


Figure 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการนี้ขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ ร.อ. ผศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำแนะนำเป็นอย่างดี ขอขอบคุณพี่ไชยทัต ที่คอยให้คำปรึกษาวงจรอินเวอร์เตอร์ พี่ อ้อด ที่คอยช่วยเหลือ พี่ โรมัส ที่ให้คำแนะนำวงจรต่างๆ และ พี่ๆเพื่อนๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

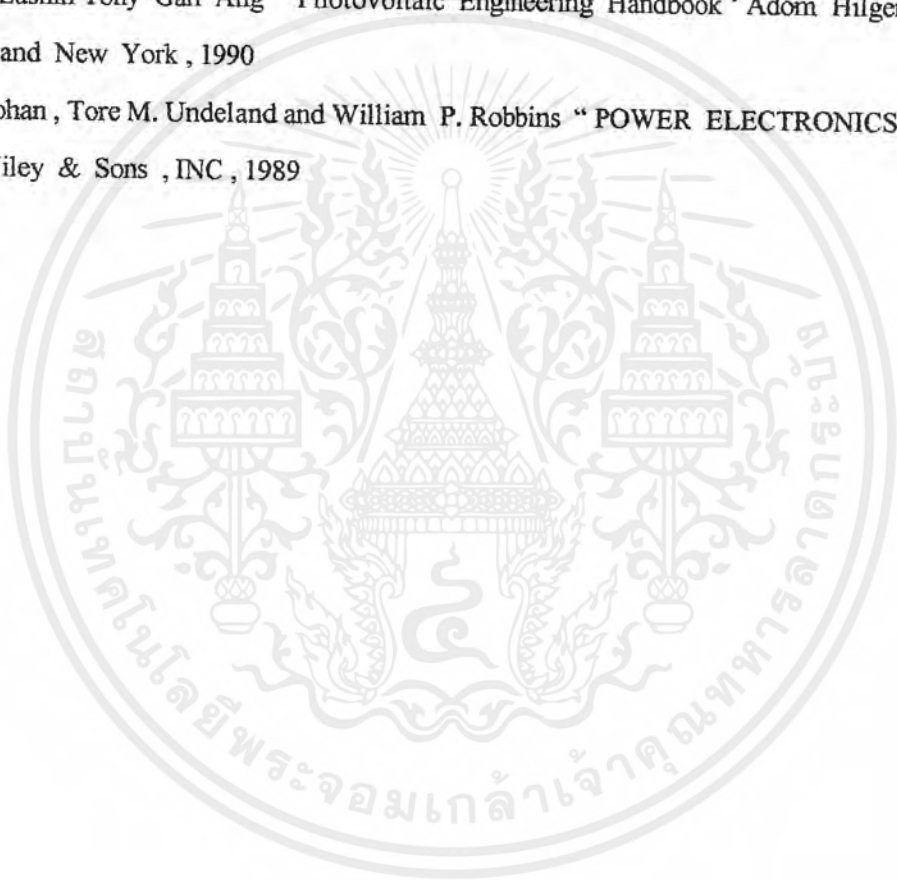
คณะผู้จัดทำโครงการนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญาณิพนธ์จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในงานด้านนี้ไม่มากนักน้อย ขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ. โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัฒน์ คั่น “ เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซีพพลาย “ เอนเททไทย , 2 มิถุนายน 2538
- [2] Daniel W. hart “ INDUCTION TO POWER ELECTRONICS “ Prentice-Hall international , INC , 1997
- [3] France Lasnin Tony Gan Ang “ Photovoltaic Engineering Handbook ‘ Adom Hilger , Bristol and New York , 1990
- [4] Ned Mohan , Tore M. Undeland and William P. Robbins “ POWER ELECTRONICS” John Wiley & Sons , INC , 1989



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้