

ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์

Photovoltaic for DC System



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 34182
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้สงวนไว้เพื่อใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์

Photovoltaic for DC System



ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิชา Project II

ชื่อโครงการ ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์
Photovoltaic for DC System

รายชื่อนักศึกษา

1. นาย ณัฐพันธ์ เตชะประเสริฐสกุล รหัส 38014149
2. นาย ณัฐวุฒิ สุพรรณพงศ์ รหัส 38014153
3. นาย ณัฐวุฒิ อุตสาหภูมิ รหัส 38014154
4. นาย แคน สุริยะมงคล รหัส 38014164

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา Project ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541

ตรวจแล้วเห็นควรให้สอบได้

ลงชื่อ

(ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 30 / 4 / 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์

นาย ธีรพันธ์ เตชะประเสริฐสกุล

นาย ธีรวุฒิ สุพรรณพงศ์

นาย ธีรวุฒิ อุตสาหภูมิ

นาย แคน สุริยะมงคล

ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีความต้องการที่จะใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในบริเวณที่ห่างไกลหรือทุรกันดาร ยกตัวอย่างเช่นหุบเขาหรือเกาะที่มีคนอยู่น้อยซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งไม่สมเหตุผล ผลกัน ทางเลือกหนึ่งคือการสร้างแหล่งพลังงานเองจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และ ไฟฟ้าที่หาซื้อได้

โครงการนี้เป็นการทำแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยมีแบตเตอรี่สำรองจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Array) ซึ่งระบบจะจ่ายไฟกระแสตรง 24 โวลต์เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ และจ่ายโวลตกระแสตรงโดยที่แรงดันคงที่ และราคาต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photovoltaic for DC System

Nattapan	Tashaprasertsakul
Nuttawut	Suphanpong
Nuttawut	Audsahaphum
Dan	Suriyamongkol
Dr. Weerachet	Khun-ngen Adviser

1998

ABSTRACT

Recently, the demand for electricity in remote and desolate areas like valleys, mountains and islands has increased, but the population has not increased much, making utility connections not economical.

One solutions is to provide power by using separate sources and controlling them with affordable equipment, This project studies a photovoltaic power source with battery backup which supplies 24 VDC to loads and batteries, providing constant V and economic value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
สารบัญ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	3
2.1 หลักการทำงาน	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	3
2.3 ขยายพาดไดโอด	5
2.4 บล็อกกึ่งไดโอด	5
2.5 วงจรสมมุติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	5
บทที่ 3 โซลาร์เซลล์	8
3.1 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ	9
3.2 การดูดซับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	10
3.3 การสูญเสียในโซลาร์เซลล์	12
3.4 ปรากฏการณ์รีคอมบิเนชัน	13
3.5 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง	15
บทที่ 4 แบตเตอรี่	19
4.1 การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่	19
4.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ และการประจุแบบต่างๆ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 DC – DC Converter	25
5.1 การควบคุมสำหรับ DC – DC Converter	25
5.2 Step Up/ Step Down (Buck – Boost Converter)	26
บทที่ 6 การออกแบบและคำนวณ	32
6.1 วงจรควบคุม	32
6.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	32
6.3 วงจรบัฟเฟอร์	34
6.4 วงจรขับเคลื่อน MOSFET	34
6.5 การคำนวณค่า Parameter ต่างๆ	34
6.6 วงจร Overcharge Switch	39
6.7 วงจรป้องกันกระแสเกิน	40
บทที่ 7 ผลการทดลอง	42
7.1 ผลการทดลองของสัญญาณต่างๆในวงจรควบคุม โดยการใช้ออสซิลโลสโคป	42
7.2 การทดสอบจ่ายโหลด	47
บทที่ 8 Simulation	49
ผลการ Simulate วงจร Buck – Boost Converter	50
บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์	55
เอกสารอ้างอิง	56
กิตติกรรมประกาศ	57
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ	3
รูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะการต่อ Photovoltaic	4
รูปที่ 3.1 ช่วงพลังงานและการเกิดโฮลและอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำ	10
รูปที่ 3.2 การเกิด Electron Hole Pairs	11
รูปที่ 3.3 โครงสร้างและการเคลื่อนที่สเปกตรัมของเซลล์แบบ Tandem	12
รูปที่ 3.4 การเกิดปรากฏการณ์รีคอมบิเนชัน	13
รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลย์และผลของค่าความต้านทานอนุกรมที่มีต่อ V และ I ในโซลาร์เซลล์	14
รูปที่ 3.6 ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในโซลาร์เซลล์	15
รูปที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ V และ I ของโซลาร์เซลล์	15
รูปที่ 3.8 ผลของการส่องสว่างที่มีต่อ V และ I ของโซลาร์เซลล์	16
รูปที่ 4.1 แสดงระบบ Photovoltaic ต่างๆ	20
รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบ กระแสคงที่	22
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการประจุแบบแรงดันคงที่	23
รูปที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสของเครื่องประจุแบบแรงดันคงที่	24
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรตามหลักการพื้นฐานของ DC – DC Converter และระดับแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย	25
รูปที่ 5.2 แสดง Pulse width modulation	26
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะวงจรของ Buck – Boost Converter	27
รูปที่ 5.4 (a) แสดงลักษณะของรูปคลื่นของ V_L	28
(b) แสดงลักษณะของกระแส I_L	28
(c),(d) แสดงวงจร Buck – Boost Converter ในสถานะ เปิดวงจร และปิดวงจร	28
รูปที่ 5.5 (a),(b) แสดง Buck – Boost Converter และขอบของช่วงการนำ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะรูปคลื่นของ Buck – Boost Converter ในช่วงที่ มีการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง	30
รูปที่ 5.7 แสดงการ plot กราฟระหว่าง D ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $I/I_{OB,MAX}$ สำหรับค่าของ V_o/V_d	31
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของวงจรควบคุม	32
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ที่เป็นผล มาจากการมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณพื้นเลื้อย	33
รูปที่ 6.3 การต่อวงจร TL 494	33
รูปที่ 6.4 แสดงวงจรขับ MOSFET โดยใช้ IR2113	34
รูปที่ 6.5 ส่วนวงจร Main Buck – Boost Converter	38
รูปที่ 6.6 แสดงวงจรและรายละเอียดของวงจร Overcharge Switch	39
รูปที่ 6.7 แสดง Block Diagram ของวงจรป้องกันกระแสเกิน	40
รูปที่ 6.8 แสดงวงจรป้องกันกระแสเกิน	41
รูปที่ 7.1 สัญญาณพื้นเลื้อย ความถี่ 20 kHz ใน TL494	42
รูปที่ 7.2 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากการตัดกันของสัญญาณไฟกระแสตรง กับสัญญาณพื้นเลื้อยในตัว TL 494	43
รูปที่ 7.3 สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก MC14049 ขา 4 และ 6	43
รูปที่ 7.4 สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก MC 14049 ขา 10 และ 12	44
รูปที่ 7.5 สัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณพัลส์จาก MC14049 และสัญญาณ Saw tooth จาก TL494	45
รูปที่ 7.6 สัญญาณที่ป้อนเข้าขา gate กับ source ของ MOSFET	46
รูปที่ 7.7 สัญญาณกระแสตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (I_L)	46
รูปที่ 7.8 สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L)	47
รูปที่ 7.9 สัญญาณตกคร่อมขา gate และ source ในขณะที่เป็น Boost Converter	47
รูปที่ 8.1 กราฟ V-I Curve ของแมงโซลาร์เซลล์ขนาด 68 วัตต์	49
รูปที่ 8.2 แสดงกราฟที่ค่า Duty Cycle = 0.7	50
รูปที่ 8.3 แสดงกราฟที่ค่า Duty Cycle = 0.32 ตัดกับ Saw Tooth	50
รูปที่ 8.4 แสดงกราฟแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ Duty Cycle = 0.2	51
รูปที่ 8.5 แสดงกราฟของ Output ที่ค่า Duty Cycle = 0.2	51
รูปที่ 8.6 แสดงกราฟแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ Duty Cycle = 0.32	52
รูปที่ 8.7 แสดงกราฟของ Output ที่ค่า Duty Cycle = 0.32	52

รูปที่ 8.8 แสดงกราฟแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ Duty Cycle = 0.7 53

รูปที่ 8.9 แสดงกราฟของ Output ที่ Duty Cycle = 0.7 53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สภาพสังคมเศรษฐกิจในปัจจุบันได้ผลักดันให้เกิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากความสะดวกสบายในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปตามที่ต่าง ๆ และความหลากหลายในการประยุกต์ใช้ ซึ่งปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าก็ต้องเติบโตตามความต้องการนี้ด้วย

ปัจจุบันนี้การผลิตกระแสไฟฟ้าเกือบทั้งหมดกระทำกันที่โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่าง ๆ ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานหลัก แต่การใช้เชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศที่ไม่มีทรัพยากรเป็นของตัวเองในระยะยาวจะเกิดปัญหาต่าง ๆ มากมายทั้งการเงิน, การเมือง ส่วนการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำก็มีข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ ถ่านหินก็เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถผลิตเองได้

การลดทรัพยากรเหล่านี้และการจัดการทรัพยากรจึงเป็นเป้าหมายสำคัญซึ่งจะทำได้โดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ผลิตโดยวิธีใหม่ๆ เข้าสู่ระบบ วิธีใหม่ๆ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าก็มีการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย ซึ่งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นสาเหตุให้วิธีนี้ถูกนำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในอวกาศเช่น ความเที่ยมมาเมื่อเวลานานแล้ว

หัวใจของระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์คือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งเป็นสิ่งที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโครงสร้างง่าย ๆ ของมันคือ ไดโอดสารกึ่งตัวนำที่จะสร้างโวลเตจได้ 0.5 - 1 โวลต์ กับกระแส 20 - 40 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแสงและวัสดุที่ใช้ เซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์ที่ต่อขนานหรืออนุกรมกันเป็น โมดูล (Module) ก็จะทำให้พิกัดกำลังที่สูงขึ้นซึ่งโมดูลต่อกันเป็นแผง (Array) เป็นรูปแบบการใช้งานที่เป็นที่นิยมกัน

ประสิทธิภาพสูงสุดของการแปลงพลังงานแสง ไปเป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติบนพื้นโลกประมาณ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้พลังงานที่จ่ายออกมามีค่าประมาณ 250 วัตต์ต่อตารางเมตรซึ่งทำให้ราคาต่อพลังงานค่อนข้างสูงเพราะ Solar Cell ยังมีขนาดใหญ่ราคาก็ยังแพงขึ้น

นอกจากนี้ PV Cell จะใช้งานได้เมื่อมีแดดเท่านั้นดังนั้นการที่จะคงระดับพลังงานที่ต่อเนื่องได้นั้นจำเป็นจะต้องมีการสะสมพลังงานหรือการใช้แหล่งพลังงานอื่น ๆ ร่วมกันซึ่งการต่อเติมเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นถ้าจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับ load ที่เป็นที่พักอาศัยหรือที่ทำงาน แต่ข้อดีของ Solar Cell ที่ทำให้ความนิยมเพิ่มขึ้นก็มีดังนี้

- 1. ความเชื่อถือได้

- 2. ไม่ต้องบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เคลื่อนย้ายได้ง่าย
4. ไม่เกิดมลภาวะ
5. ติดตั้งง่าย
6. ไม่ต้องซื้อ , สะสมเชื้อเพลิง
7. ใช้ร่วมกับระบบอื่นหรือไม่ก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

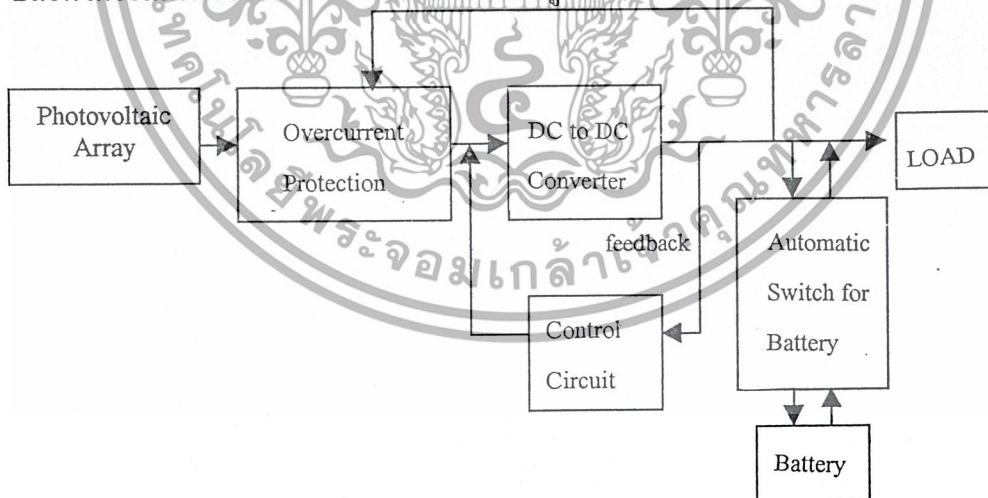
โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 หลักการทำงาน

การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเริ่มต้นจากการที่แผงโซลาร์(PV Array)ทำการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีขนาดของศักดาไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ไม่สามารถนำไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงได้ เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะทำงานที่ศักดาไฟฟ้า 220 โวลท์ และต้องเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงต้องนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ไปผ่านแบบคเตอร์ก่อนที่จะเข้าตัววงจร DC-DC converter ซึ่งวงจรนี้จะใช้แปลง DC input ที่ยังไม่ได้ regulated ให้ออกมาเป็น output ที่มีความสม่ำเสมอสูงโดยใช้วงจร Converter แบบสวิตชิง (switching) โดยใช้ MOSFET เป็นอุปกรณ์สวิตชิงภายในวงจร ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้ทรานซิสเตอร์หรือวงจร (linear) นอกจากนี้เรายังสามารถปรับเอาต์พุตให้มีค่าสูงกว่า , ต่ำกว่า หรือเท่ากับอินพุตได้ และยังให้เอาต์พุตที่สลับขั้วกับอินพุตได้

2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

บล็อกไดอะแกรมของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประกอบไปด้วยส่วนต่างดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1- แผงโซลาร์เซลล์ (PV Array)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

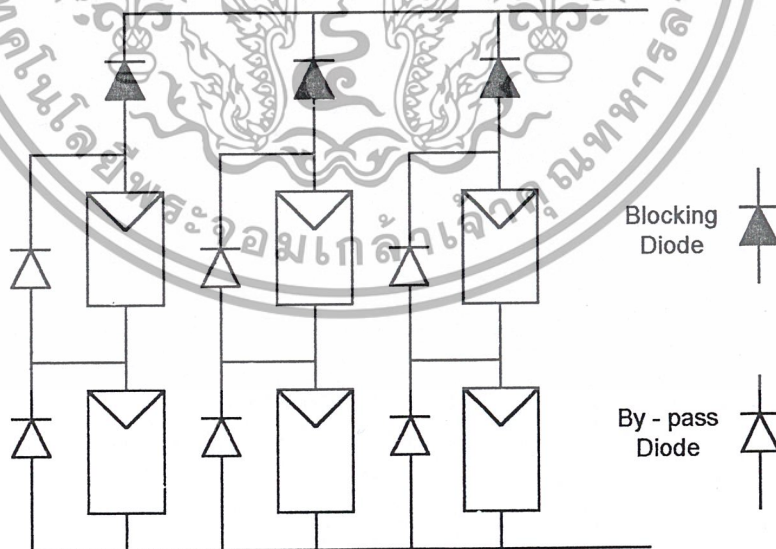
- 2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Buck-Boost Converter)
- 3 วงจรควบคุม (Control Circuit)
- 4 แบตเตอรี่ (Battery)

โดยแผงโซลาร์เซลล์ที่เลือกใช้มีดังนี้

BP 386T จำนวน 3 แผง

Peak Power	68	W
Nominal Voltage	12	V
Peak Voltage	17	V
Peak Current	3.8	A
Open Circuit Voltage	21.4	V
Short Circuit Current	4	A

เราสามารถนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันให้ได้ค่าศักดาไฟฟ้าตามที่เรากำหนดไว้ ส่วนขนาดของกระแสที่ต้องการก็ทำได้ โดยการนำมาต่อขนานกัน เมื่อเราได้จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมแล้วก็จะนำมาประกอบรวมกันเป็นแผงเรียกว่า โมดูล (Module) แผงโซลาร์เซลล์ก็คือ โมดูลหลายๆ โมดูลนำมารวมกันเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการนั่นเอง



รูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะการต่อ Photovoltaic Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแผงโซลาร์เซลล์นอกจากจะประกอบด้วยโซลาร์เซลล์แล้วยังต้องมีอุปกรณ์ประกอบเพื่อป้องกันตัวแผงโซลาร์เซลล์เองและช่วยให้การทำงานของระบบเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่บล็อกลิงไดโอด (Blocking Diode) และบายพาสไดโอด (Bypass Diode) ดังรูปที่ 2.2

2.3 บายพาสไดโอด

การต่อโซลาร์เซลล์เพื่อให้ได้ศักดาไฟฟ้านั้นต้องนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกัน ถ้าเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในสายที่ต่ออนุกรมกันอยู่เกิดไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ เซลล์นั้นจะมีสภาพเหมือนกับไดโอดที่อยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบแอส (Reverse Bias) มีผลทำให้ตลอดทั้งสายนั้นไม่สามารถจ่ายพลังงานออกมาได้และตัวเซลล์นั้นเองก็จะเกิดความเสียหายได้

เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้จากการที่เซลล์นั้นถูกเงาบัง ทำให้ไม่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นต้น สามารถแก้ไขได้โดยการต่อ บายพาสไดโอดคร่อมเซลล์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เพื่อที่ว่า เมื่อเซลล์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ พลังงานจากเซลล์อื่นๆ ก็สามารถผ่านตัวบายพาสไดโอดไปได้ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย เพียงแต่พลังงานที่ได้จะลดไปบ้าง เมื่อเซลล์นั้นได้รับแสงอาทิตย์อีกครั้ง ก็สามารถจ่ายพลังงานได้ต่อไป

2.4 บล็อกลิงไดโอด

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบสแตนอะโลน (Stand Alone) ส่วนมากมักจะมีระบบแบตเตอรี่สำรองไว้ สำหรับจ่ายโหลดขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ในขณะที่โซลาร์เซลล์ทำการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่นั้น ก็จะทำการประจุแบตเตอรี่ไปด้วย ตัวบล็อกลิงไดโอดจะต่ออยู่ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่มีลักษณะการต่อดังรูปที่ 2.2 ช่วงแรกขณะที่ศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำกว่าศักดาไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ พลังงานก็จะไหลจากโซลาร์เซลล์ไปประจุในแบตเตอรี่ จนกระทั่งเมื่อศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับศักดาไฟฟ้าของ PV Arrays ตัวบล็อกลิงไดโอดจะทำหน้าที่ในการป้องกันการคิสราร์จของแบตเตอรี่ ขณะที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในเวลากลางคืน หรือขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ตัวบล็อกลิงไดโอด จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการคิสราร์จของแบตเตอรี่ไปสู่ยูติลิตี้ในแผงโซลาร์เซลล์เนื่องจากตัวบล็อกลิงไดโอดจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการคิสราร์จของแบตเตอรี่ไปสู่ยูติลิตี้ในแผงโซลาร์เซลล์เนื่องจากตัวบล็อกลิงไดโอดจะอยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบแอส ทำให้แบตเตอรี่คิสราร์จไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้นซึ่งในการออกแบบแผงโซลาร์เซลล์นั้นต้องคิดเพื่อแรงดันตกในตัวบล็อกลิงไดโอดด้วย จึงจะได้แรงดันเอาท์พุทที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ PV เกือบทั้งหมดในปัจจุบันจะมีระบบสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้พลังงานในช่วงที่เมฆมากหรือกลางคืน โดยมากจะเก็บสะสมพลังงานในรูป Battery เพราะไม่ค่อยมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและบำรุงรักษาน้อย ซึ่งการสะสมพลังงานจะมีผลดีมากในกรณีที่ใช้ร่วมกับระบบภายนอก

Battery เป็นวิธีที่นิยมมากในการสะสมพลังงานเพราะความสะดวกและความหลากหลายของระดับ V และ I ในปัจจุบันนิยมใช้ Lead-Acid Battery เนื่องจากเป็น Battery ที่หาง่าย ใช้งานง่าย และทนทาน ส่วน Battery อื่น ๆ จะมีข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ ทำให้ไม่นิยม เช่น Li-S จะใช้อุณหภูมิสูง ๆ หรือ Ni-Cl ที่มีสารพิษตกค้าง แต่ Battery ส่วนมากจะมีอัตราการเก็บพลังงานสูงกว่า

2.5 Solar Cell Equivalent Circuit

เมื่อกระแสที่เข้าสู่โหลดมีค่าเท่ากับ I_L และมีโวลเตจ V_L แล้วเราสามารถแสดงความสัมพันธ์กับ I_p (กระแสที่จ่ายมาจาก PV) ได้ดังนี้ (รูปที่ 1.2) โดยที่กระแส Leakage ของไดโอดจะไหลผ่าน R_{sh} สมมูลย์ และ R_s เป็นความต้านทางแฝงในวงจร

จะได้ความสัมพันธ์

$$I_L \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) = I_p - I_0 \left(e^{V_L / V_{in}} - 1 \right) + \frac{V_L}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

แต่โดยมากจะถือว่า R_{sh} มีค่ามากและ R_s มีค่าน้อยมาก ($R_{sh} \gg R_s$)

$$\therefore I_L = I_p - I_0 \left(e^{V_L / V_{in}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

ในการใช้งานจริงจะปรากฏว่าจุดที่ใช้งานจริงบน V-I Curve (รูปที่ 3.4) (Operating Point) จะขึ้นอยู่กับ R_L ซึ่งเราควรเลือกให้สอดคล้องกับค่าสูงสุด I_m, V_m ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเป็น

$$\eta = \frac{V_m / I_m}{P_i a} \quad (2.3)$$

เมื่อ

P_i เป็นความหนาแน่นของกำลัง (Watt/m²)

a เป็นค่าพื้นที่ของแผง PV

ในขณะเดียวกันอัตราส่วนของ $I_m * V_m$ ต่อ $I_{sc} * V_{oc}$ หรือผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันเปิดวงจรจะเป็นค่า Fill Factor (FF) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้คือ

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.4)$$

แล้วประสิทธิภาพจะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = \frac{FF * V_{oc} I_{sc}}{P_a} \quad (2.5)$$

จะเห็นว่าไปกรณีสี่ที่แสงและพื้นที่ของแผง PV คงที่ ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับค่า 3 ค่าคือ FF, V_{oc}, I_{sc} และจะพบว่าค่าของ I_{sc}, V_{oc} จะขึ้นอยู่กับลักษณะการผลิตแผง PV โดยที่ I_{sc} จะแสดงในรูปของ J_{sc} (Am^{-2}) ส่วนค่าของ Fill Factor นั้นก็ขึ้นอยู่กับแผง PV ว่าใช้สารอะไร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โซลาร์เซลล์เป็นหน่วยย่อยพื้นฐานของระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โซลาร์เซลล์สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายคือ คริสตัลไลน์ซิลิกอนเซลล์ (Crystalline Silicon Cell) สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำไปใช้สร้างโซลาร์เซลล์มีหลายชนิด แต่ประเภทที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ Gallium Arsenide มีการนำไปติดตั้งบนดาวเทียมแต่เนื่องจากใช้ต้นทุนสูงจึงไม่มีการใช้โดยทั่วไป

Classification	Efficiency(%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	Fill Factor(%)
Si (Crystalline)	24.0	0.709	40.9	82.74
Si (Moderate Area)	23.7	0.704	41.5	81.00
Si (Multicrystalline)	17.8	0.628	36.2	78.50
Si (Large Multicrystalline)	17.2	0.610	36.4	77.70
Si (Thin Crystalline)	21.5	0.699	37.9	81.10
Si (Supported Film)	14.9	0.600	31.4	79.20
Si (Large Thin Film)	14.2	0.608	30.0	78.10
GaAs (Crystalline Cell)	25.1	1.022	28.2	87.10
GaAs (Thin Film Cell)	23.3	1.011	27.6	79.70
GaAs (Submodule)	21.0	4.040	6.6	80.00
GaAs (Multicrystalline Cell)	18.2	0.944	23.0	79.70
InP (Crystalline Cell)	21.9	0.878	29.3	85.40
CdTe (Cell)	15.8	0.843	25.1	74.50
CdTe (Submodule)	10.5	9.406	1.7	64.90
CIGS (Cell)	16.4	0.678	32.0	75.80
CIGS (Submodule)	14.2	6.808	3.1	68.30

ตารางที่ 3.1 ชนิดของโซลาร์เซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ

โครงสร้างของผลึกของซิลิกอนบริสุทธิ์จะเป็นรูปพีระมิดฐานสามเหลี่ยม อิเล็กตรอนทุกตัวในวงโคจรนอกสุด (Valence Electron) จะสร้างพันธะโคเวเลนต์กับอิเล็กตรอนข้างเคียง พันธะโคเวเลนต์นี้จะหลุดก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนในพันธะได้รับพลังงานเพียงพอซึ่งสำหรับ ซิลิกอนจะมีค่าประมาณ 1.12 eV พลังงานนี้ในการเคลื่อนอิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกสุดไปสู่แถบนำ (Conduction Band) ใช้อักษรย่อว่า E_g

ณ อุณหภูมิต่ำมาก ๆ (0°K) สารกึ่งตัวนำจะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระเลย ทำให้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่อุณหภูมิห้อง (298°K) พันธะโคเวเลนต์บางส่วนถูกทำลายไปเนื่องจากพลังงานความร้อนที่สารได้รับ ทำให้สารกึ่งตัวนำสามารถนำกระแสได้บ้าง แต่ก็ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเนื่องจากค่าความต้านทานยังสูงมาก และความนำยังเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิรอบข้างอย่างมากก่อนจะนำไปใช้จึงต้องมีวิธีการเพื่อเพิ่มสภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำให้สูงขึ้นวิธีที่นิยมมากคือ การเติมสารเจือลง เรียกว่า การโด๊ป (Doping) ปริมาณสารเจือที่เหมาะสมโดยประมาณ คือ สารเจือ 1 อะตอม ต่ออะตอมของซิลิกอน 10^6 - 10^8 อะตอม/ซม³ จะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก เพียงแต่นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น เราสามารถแบ่งสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ป ได้ 2 ประเภท คือ

3.1.1 สารกึ่งตัวนำชนิด N-Type

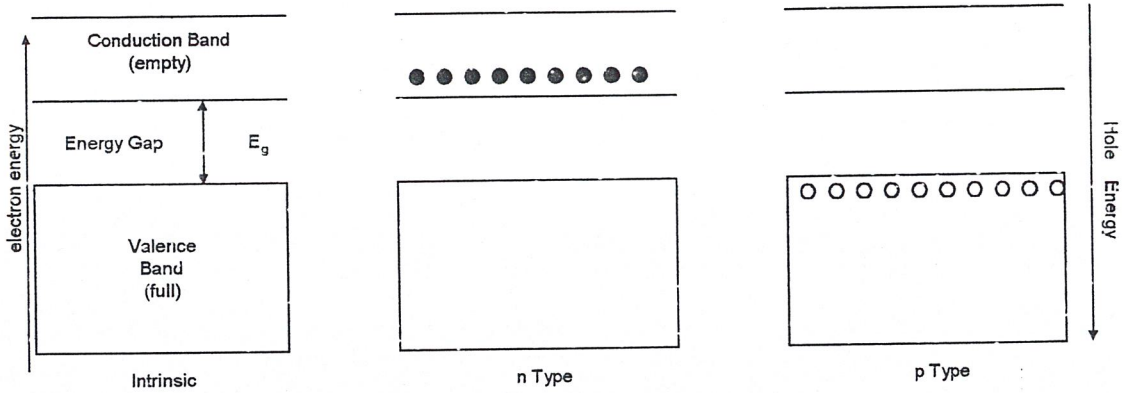
เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเติมสารเจือที่เป็นธาตุหมู่ที่ 5 ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เมื่อเติมลงไปในวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ใน 5 ตัว จะไปสร้างพันธะโคเวเลนต์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัวของสารกึ่งตัวนำ วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 1 ตัวของสารเจือจะเป็นอิเล็กตรอนอิสระซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ธาตุหมู่ 5 ที่นิยมใช้ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) เป็นส่วนมาก นอกจากนี้ได้แก่ แอนติโมนี (Sb), อาร์เซไนท์ (As) เป็นต้น

3.1.2 สารกึ่งตัวนำชนิด P-Type

เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเติมสารเจือที่เป็นธาตุหมู่ที่ 3 ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัวเมื่อเติมลงไปในอิเล็กตรอนทั้ง 3 ตัว จะไปสร้างพันธะโคเวเลนต์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ใน 4 ตัว ของสารกึ่งตัวนำ วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวของสารกึ่งตัวนำ

เมื่อไม่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนมาสร้างพันธะด้วยจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นเรียกว่า โฮล (Holes) มีคุณสมบัติคล้ายกับอนุภาคบวกซึ่งเคลื่อนที่ได้เกิดขึ้นจาก เมื่อมีโฮลเกิดขึ้น อิเล็กตรอนข้างเคียงก็จะเคลื่อนมาเพื่อจะเติมโฮลให้เต็ม เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนมาที่เก่าของอิเล็กตรอนตัวนั้นก็จะเกิดโฮลขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ไป ทำให้เสมือนว่าโฮลเคลื่อนที่ได้แต่ที่จริงเป็นการเคลื่อนที่และทิศทางการเคลื่อนที่ของโฮลจะตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ธาตุหมู่ที่ 3 ที่นิยมใช้ได้แก่ โบรอน (B), แกลเลียม (Ga), อินเดียม (In)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ช่วงพลังงานและการเกิดโฮลและอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำ

3.2 การดูดซับพลังงานแสงของสารกึ่งตัวนำ

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยหลักการของทฤษฎีควอนตัมที่ว่า แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคที่มีพลังงานที่เรียกว่า โฟตอน (Photons) ซึ่งพลังงานของโฟตอนมีค่าเท่ากับ

$$E_{ph}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda}$$

โดย h : ค่าคงที่ของ Planck

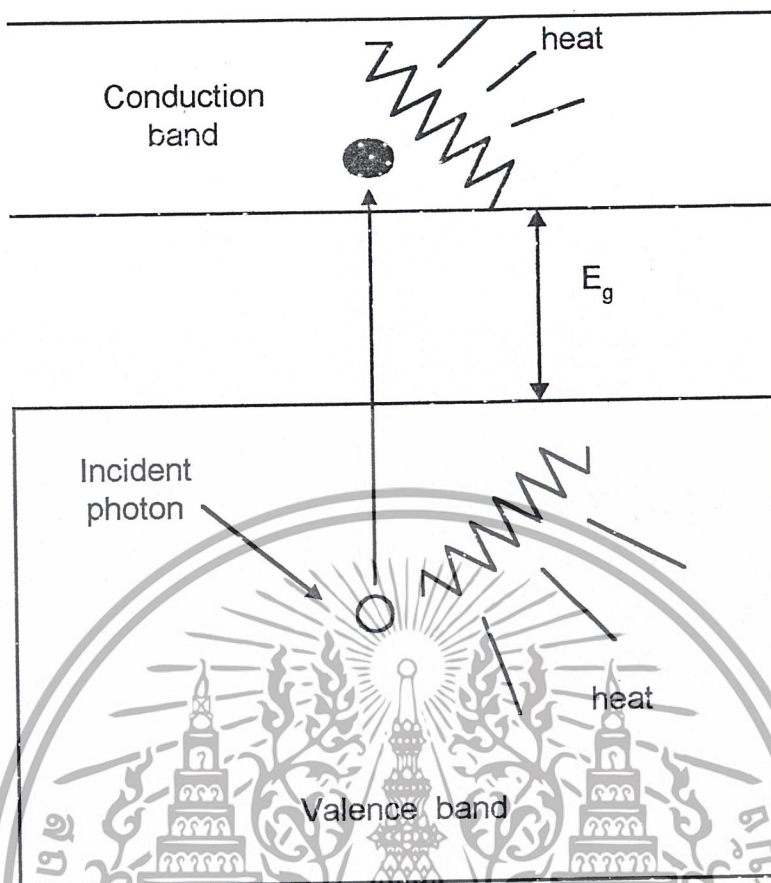
c : ความเร็วแสง

λ : ค่าความยาวคลื่นแสง

ในวันที่อากาศปลอดโปร่งจะมีปริมาณโฟตอน 4.4×10^{17} โฟตอนตกกระทบบนพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรบนผิวโลกทุกวินาทีแต่มีปริมาณพลังงานเพียงน้อยนิดเท่านั้นที่ โซลาร์เซลล์ สามารถแปลงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้

การเปลี่ยนรูปพลังงานเริ่มต้นจากเมื่อโฟตอนตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำ จะทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานเพิ่ม ถ้าวาเลนซ์อิเล็กตรอนตัวไหนได้รับพลังงานมากเพียงพอที่จะข้ามไปยังแถบนำ เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระและตำแหน่งที่เดิมของอิเล็กตรอนตัวนั้นจะเกิดโฮลขึ้นดังรูปที่ 3.2 เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิด อิเล็กตรอน-โฮลแพร์ (Electron-Hole pairs) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การเกิด Electron-Hole pairs

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดสามารถรับสเปกตรัม (Spectrum) ของแสงได้บางช่วงเท่านั้นแตกต่างกันออกไป เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนไปอยู่ในชั้นคอนดักชันแบน (Conduction Band) จะอยู่ในสถานะไม่เสถียร และจะคายพลังงานออกมาเพื่อให้ตัวเองกลับมายู่ที่สถานะเดิม พลังงานส่วนใหญ่ จึงสูญเสียไปในรูปความร้อน ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เราสามารถประมาณการเกิดปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาได้ โดยเริ่มจากการที่แสงอาทิตย์ทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านแถบว่าง (Band Gap) เรียกว่ากระแสเจเนอเรชัน (Generation Current) ถ้าไม่คิดการสูญเสีย โฟตอนแต่ละตัวสามารถนำอิเล็กตรอน 1 ตัวให้เกิดเป็นกระแสอิเล็กตรอน กระแสที่เกิดขึ้นเท่ากับ

$$I_1 = qNA$$

โดย N : ปริมาณ โฟตอนในพื้นที่ที่พิจารณาของสเปกตรัมที่สามารถรับได้

A : พื้นที่ของสารกึ่งตัวนำที่แสงตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนี้จะพบว่าซิลิกอน โพลีซิลิโคน สามารถแปลงรูปพลังงานได้ประมาณ 44 mA/cm^2

ถ้าหาค่าศักดาไฟฟ้า (V) ที่เกิดขึ้นนั้นหาได้จาก พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ไปยังแถบที่ว่าง คือ E_g ดังนั้นค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้คือ

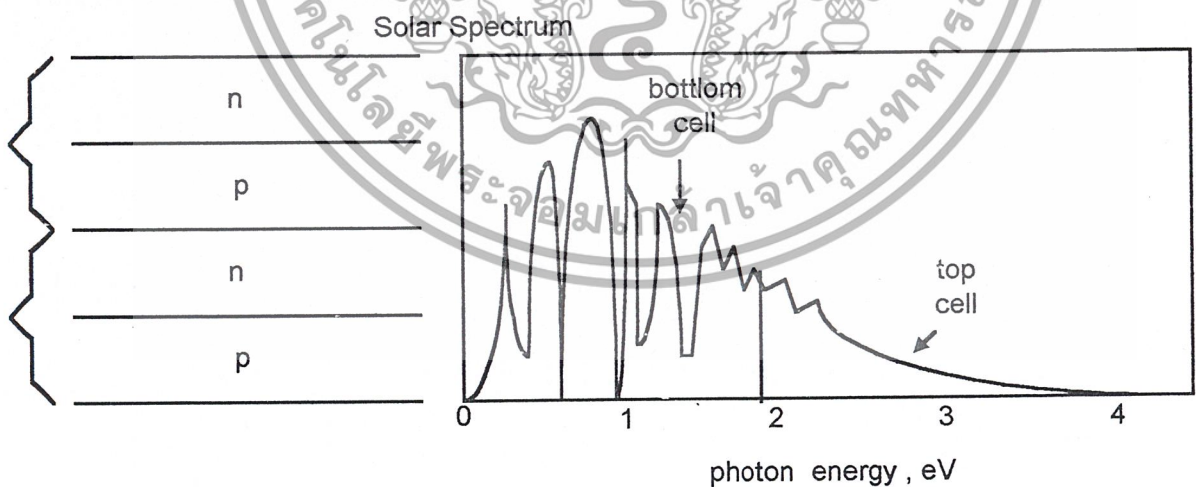
$$V = \frac{E_g}{q}$$

แต่ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าค่าศักดาสูงสุดนี้ โดยสารกึ่งตัวนำที่มีแบนแนป (Band Gap) กว้าง ให้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงกว่า สารกึ่งตัวนำที่มีแบนแนป (Band Gap) แคบ

3.3 การสูญเสียในโซลาร์เซลล์

การสูญเสียมูลฐานเป็นการสูญเสียที่เกิดจากเมื่ออิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุด ได้รับพลังงานแสงจนหลุดไปเป็นอิเล็กตรอนอิสระในคอนดักชันแบน แล้วจะมีอิเล็กตรอนบางส่วนคายพลังงานออกมาในรูปความร้อน เพื่อกลับไปสู่สภาวะเดิมที่เสถียรทำให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อนขึ้นรวมถึงการที่สารกึ่งตัวนำไม่สามารถรับพลังงานแสงได้ทุกสเปกตรัม

แก้ไขได้โดยการปรับปรุงโครงสร้างของเซลล์ให้เป็นลักษณะที่เรียกว่า Tandem Cell ดังรูปที่ 3.3 เป็นการทำให้โครงสร้างเซลล์เป็นชั้นๆ โดยชั้นบนทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีไฮด์แบนแนป (High Band Gap) แล้วทำการเปลี่ยนแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เพื่อให้ชั้นล่างแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า วิธีนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ โดยมีการทดลองในห้องทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า



รูปที่ 3.3 โครงสร้างและการดูดกลืนสเปกตรัมของเซลล์แบบ Tandem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ปรากฏการณ์ รีคอมบิเนชัน (Recombination)

หลังจากที่อิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดหลุดไปยังแถบนำ ตำแหน่งเดิมที่อิเล็กตรอนตัวนั้นเคยอยู่ จะเกิดช่องว่าง หรือที่เรียกว่า โฮล ขึ้น

รีคอมบิเนชัน เป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนในชั้นคอนดักชันแบน กลับมารวมกับ โฮลในวงโคจรนอกสุดดังรูปที่ 3.4 โดยในการรวมกันนั้นจะคายพลังงานส่วนออกมาซึ่งพลังงานที่คายออกมานี้ก็คือ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั่นเอง ปรากฏการณ์นี้ทำให้ทั้งแรงดันและกระแสของเอาต์พุตที่มีค่าต่ำลง

การสูญเสียของกระแสเกิดจากการที่อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้น ไม่สามารถไปถึงปลายทางได้ทุกตัว บางส่วนจะเกิดการรวมกับโฮล ทำให้กระแสที่ได้มีค่าลดลง จำนวนของอิเล็กตรอนที่สามารถไปถึงปลายทางตรงรอยต่อส่วนด้วย จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นทั้งหมด เรียกว่า Collection Efficiency นอกจากนี้ การสูญเสียของกระแสยังเกิดจากการที่พลังงานบางส่วนถูกสะท้อนออกไปโดยผิวนอกของเซลล์ และการเกิดเงาของจุดต่อสัมผัสด้านบนทำให้เซลล์ ไม่สามารถผลิตกระแสได้เต็มที่



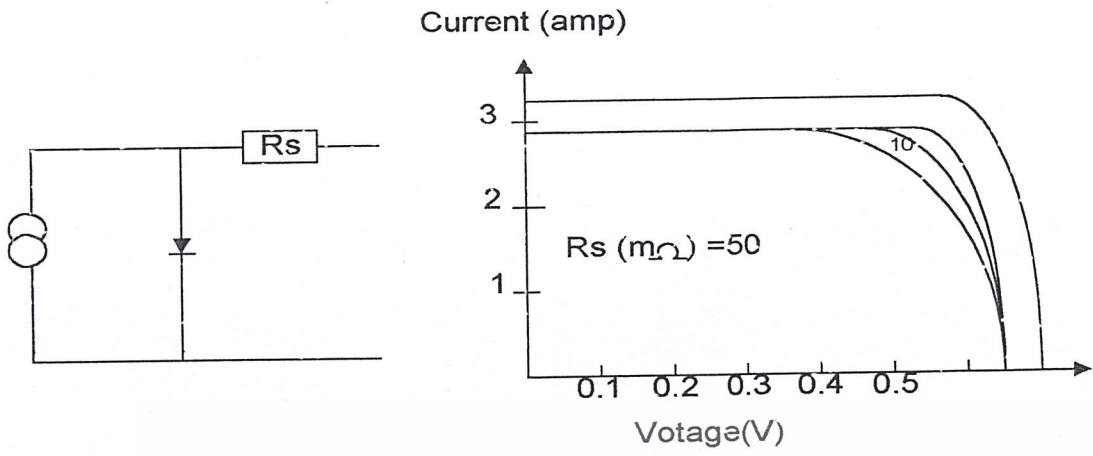
รูปที่ 3.4 การเกิดปรากฏการณ์รีคอมบิเนชัน

เราสามารถลดได้โดยการเคลือบผิวชั้นนอกของสารกึ่งตัวนำด้วย Passivating Oxide เช่นในเซลล์ที่ทำจาก GaAs จะเคลือบด้วย GaAlAs เป็นต้น นอกจากนี้ การนำรอยต่อสัมผัสไปไว้ด้านหลังจะช่วยให้ไม่เกิดเงาขึ้นทำให้เซลล์สามารถรับแสงได้เต็มที่ การปรับปรุงผิวหน้าให้รับแสงได้มากขึ้น (Light Trapping) ก็ สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงขึ้น

ความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) เป็นค่าความสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานทั้งหมด สามารถแสดงเป็นวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงวงจรสมมูลรวมถึงกราฟ แสดงคุณลักษณะระหว่าง

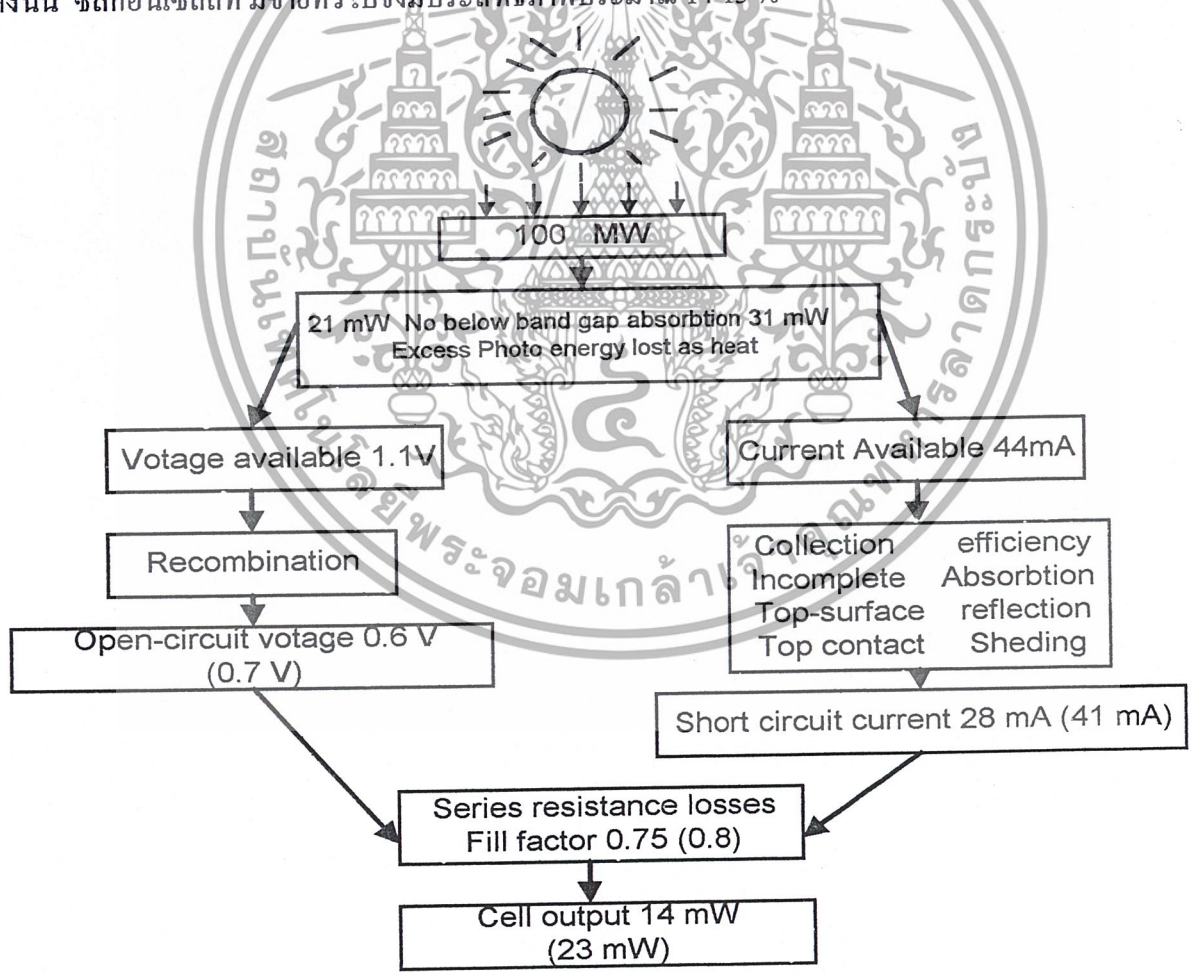
I กับ V ที่ค่าความต้านทาน R_s ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลและผลของค่าความต้านทานอนุกรมที่มีต่อ V และ I ในโซลาร์เซลล์

เราสามารถสรุปค่าความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะพบว่ามีความสูญเสียมากมาย ดังนั้น ซิลิกอนเซลล์ที่มีขายทั่วไปจึงมีประสิทธิภาพประมาณ 14-15 %



รูปที่ 3.6 ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

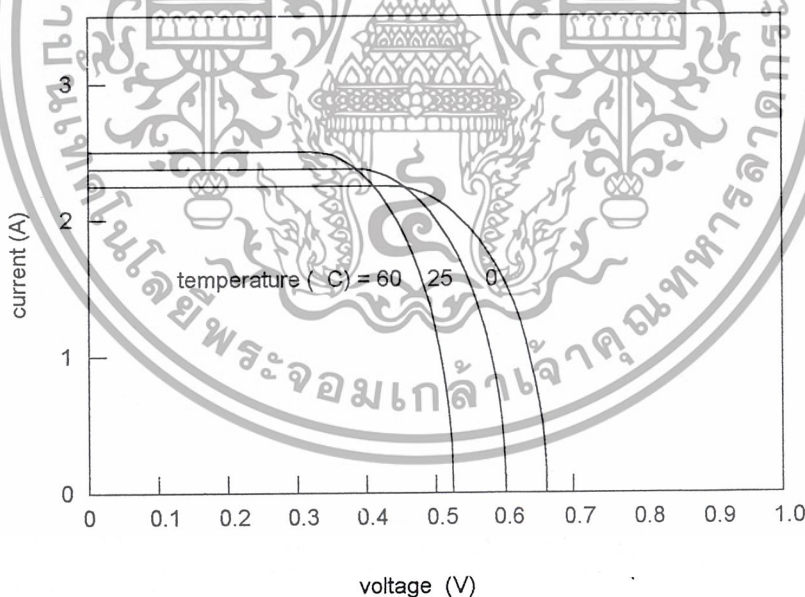
ความสูญเสียในโซลาร์เซลล์สามารถสรุปดังรูปที่ 3.6 ความสูญเสียนี้จะประกอบด้วยความสูญเสีย 4 ชนิดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ไม่ดี ขณะนี้ได้มีการพัฒนาลดความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดของโซลาร์เซลล์ขณะนี้ประมาณ 35 % (ขณะทดลองในห้องแล็บ)

3.5 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง

ในทางปฏิบัติ โซลาร์เซลล์ไม่ได้ทำงานภายใต้สภาวะมาตรฐาน ตัวแปร 2 ตัวที่มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ คือ อุณหภูมิ และการส่องสว่าง

3.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อเอาต์พุตของเซลล์ ดังรูปที่ 3.7 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าศักกไฟฟ้าของ Output ลดลง โดยในซิลิกอนค่าศักกไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 2.3 mV ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส แต่จะไม่ค่อยมีผลมากนักต่อกระแส

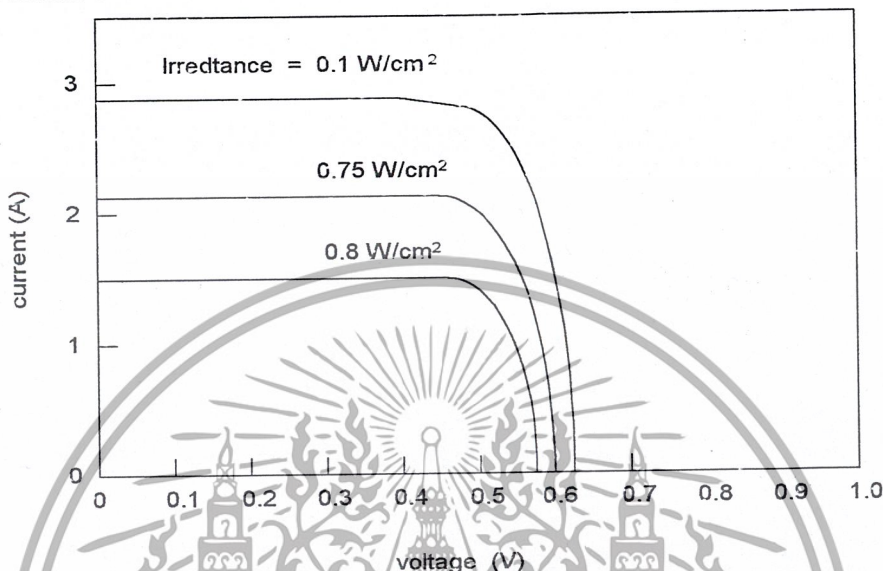


รูปที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ V และ I ของโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การส่องสว่าง

คุณลักษณะของโซลาร์เซลล์ภายใต้ค่าการส่องสว่างต่าง ๆ แสดงได้ดังรูป 3.8 จะพบว่าปริมาณกระแสจะเป็นสัดส่วนกับค่าของการส่องสว่าง คือเมื่อค่าของการส่องสว่างเพิ่มขึ้นปริมาณกระแสก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะไม่ค่อยมีผลมากนักต่อศักดาไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 ผลของค่าการส่องสว่างที่มีต่อ V และ I ของโซลาร์เซลล์

Energy Storage

ในระบบ PV เกือบทั้งหมดในปัจจุบันจะมีระบบสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้พลังงานในช่วงที่เมฆมากหรือกลางคืน โดยมากจะเก็บสะสมพลังงานในรูปแบบ Battery เพราะไม่ค่อยมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและบำรุงรักษาน้อย ซึ่งการสะสมพลังงานจะมีผลดีมากในกรณีที่ใช้ร่วมกับระบบภายนอก

Battery เป็นวิธีที่นิยมมากในการสะสมพลังงานเพราะความสะดวกและความหลากหลายของระดับ V และ I ในปัจจุบันนิยมใช้ Lead-Acid Battery เนื่องจากเป็น Battery ที่หาง่าย ใช้งานง่าย และทนทาน ส่วน Battery อื่น ๆ จะมีข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ ที่ทำให้ไม่นิยม เช่น Li-S จะใช้อุณหภูมิสูง ๆ หรือ Ni-Cl ที่มีสารพิษตกค้าง แต่ Battery ส่วนมากจะมีอัตราการเก็บพลังงานสูงกว่า Lead-Acid ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Battery Type	Energy Density (wh.kg ⁻¹)	Life Cycle	Cost S/kWh
Silver-Zinc	100-120	100-300	900
Nickel-Cadmium	33-40	300-2000	600
Nickel-Iron	22-33	3000	400
Lead-Acid	11-22	1500-2000	50
Nickel-Zinc	66-88	250-350	20-25
Zinc-Chlorine	66	500	10-20
Sodium-Sulfur	170-220	1000	15-20
Lithium-Sulfur	130-170	1000	15-20
Zinc-Oxygen	160	-	-
Aluminium-Air	240	-	-

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลของคาร์เก็บพลังงานของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์นั้นเราสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_a}$$

เมื่อ P เป็นความหนาแน่นของกำลัง (Watt/m²)

a เป็นค่าพื้นที่ของแผง PV

ในขณะที่เดียวกันอัตราส่วนของ $I_m * V_m$ ต่อ $I_{sc} * V_{oc}$ หรือผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันเปิดวงจรจะเป็นค่า Fill Factor (FF) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้คือ

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

แล้วประสิทธิภาพจะมีค่าเป็น

$$\eta = \frac{FF * V_{oc} I_{sc}}{P_a}$$

จะเห็นว่าไปกรณีสี่ที่แสงและพื้นที่ของแผง PV คงที่ ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับค่า 3 ค่าคือ

FF, V_{oc}, I_{sc} ซึ่งค่าของ I_{sc}, V_{oc} จะขึ้นอยู่กับลักษณะการผลิตแผง PV โดยที่ I_{sc} จะแสดงในรูปของ J_{sc} (Am⁻²) ส่วนค่าของ Fill Factor นั้นก็ขึ้นอยู่กับแผง PV ว่าใช้สารอะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีดังนี้

1. นิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)
2. ตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)
3. นิกเกิล-เหล็ก (Nickel-Iron)
4. โซเดียม-กำมะถัน (Sodium-Sulphur)

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์ คือ

ควรมีวงจรชีวิตสำหรับชีพไซเคิลสูง (Deep Cycle คือช่วงเวลาที่การประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนที่ใช้ไปในแต่ละวัน)

1. ต้องการการบำรุงรักษาค่า
2. ประสิทธิภาพการประจุสูง
3. ความสามารถในการคายประจุอย่างสมบูรณ์
4. มีอัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
5. เชื่อถือได้
6. มีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงอุณหภูมิสูง

การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. หาจำนวนโวลต์ที่ใช้ทั้งหมดในช่วงที่มีแสงและไม่มีแสงโดยเฉพาะช่วงที่ไม่มีแสงค่ากำลังที่ได้จะต้องหารด้วยประสิทธิภาพการชาร์จของแบตเตอรี่เสียก่อน เพราะช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแผงโซลาร์เซลล์จะช่วยจ่ายด้วย

$$\text{กำลังทั้งหมด} = [(\text{กำลังโวลต์} \times \text{ชั่วโมงที่มีแสง}) + (\text{กำลังโวลต์} \times \text{ชั่วโมงที่ไม่มีแสง})] / \eta$$

η คือ ประสิทธิภาพในการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

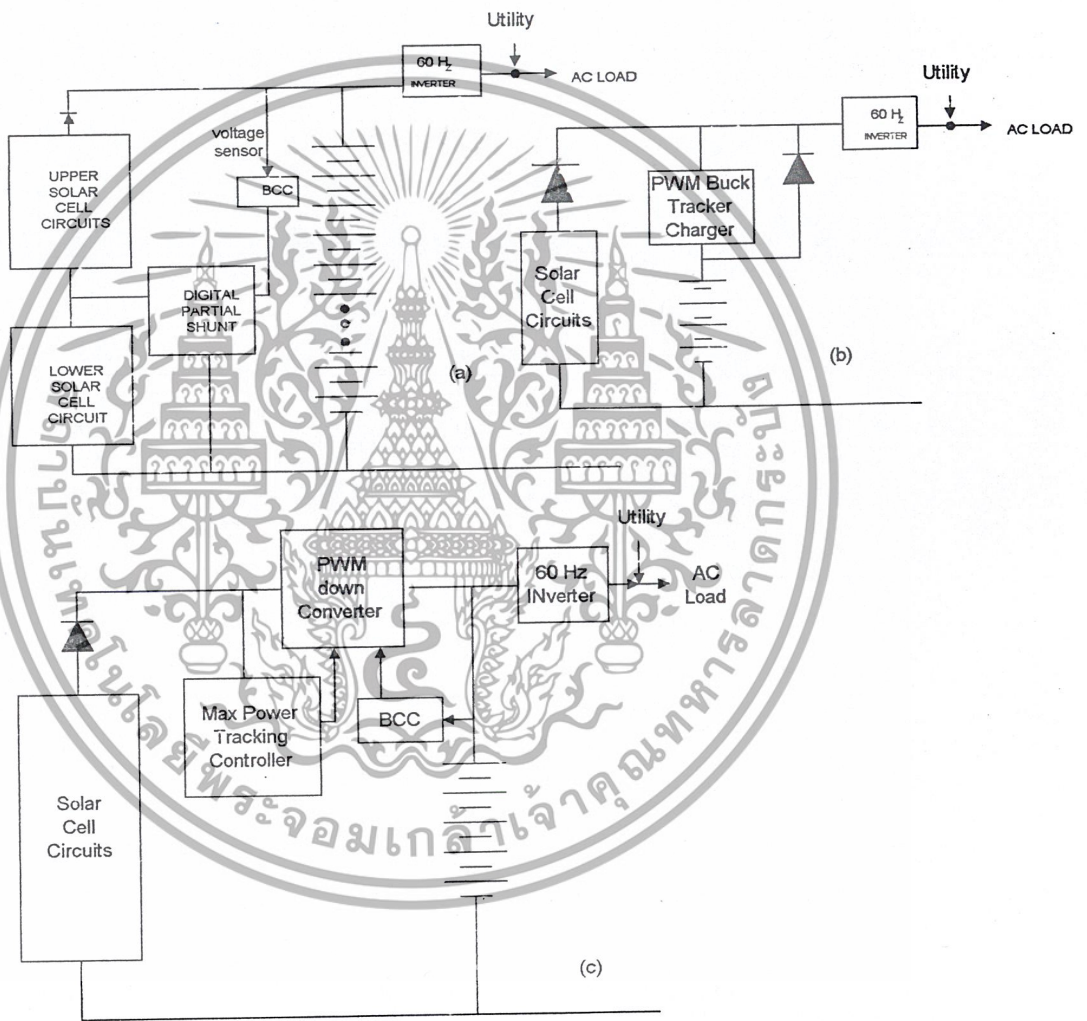
2. หากำลังที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถจ่ายได้โดยหาได้จาก

$$\text{พลังงานที่สามารถจ่ายได้} = \text{พลังงานต่อแผง} \times \text{จำนวนแผง} \times \text{ค่าแครี อิน โซเลชัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแควร์ อินโซเลชัน (Daily Insolation) เป็นค่าที่ใช้เพื่อประมาณค่าเอาท์พุทจากแผงโซลาร์เซลล์ค่านี้จะคำนึงถึงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวระนาบรวมทั้งปริมาณแสงที่ลดลงเนื่องจากเมฆหมอกที่ปกคลุมด้วย ซึ่งได้มาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก

3. หาขนาดแบตเตอรี่โดยนำแรงดันที่ใช้ไปหารค่าที่ได้จากข้อที่สองจะได้ค่า A.hr ซึ่งเป็นค่าที่แบตเตอรี่คายประจุ 20 % เพราะฉะนั้นค่า A.hr จริงของแบตเตอรี่จะเท่ากับค่า A.hr หารด้วย 20 % จะได้ค่า A.hr ของแบตเตอรี่ที่จะใช้



รูปที่ 4.1 แสดงระบบ Photovoltaic แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Conditioning & Interconnection

จากรูปที่ 4.1 ในการใช้ระบบ PV กับ load ขนาดเล็กและคงที่นั้นการต่อระบบ Charge แบตเตอรี่ โดยตรงแบบง่าย ๆ ก็เพียงพอแล้ว Blocking Diode ที่ต่ออนุกรมเข้าไปที่ PV Cell เพื่อป้องกันกระแสย้อนกลับไปยัง PV Cell ก็มีอยู่ในแผงอยู่แล้ว และ Regulator จะป้องกันการ Charge เกิน แบตเตอรี่ที่ใช้จะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะจ่าย Load สูงสุดที่จะนำมาต่อในระบบที่เป็นที่อยู่อาศัย การ Back Up อาจใช้ Diesel Generator หรือต่อกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ได้

ลักษณะการต่อจะมีอย่างคร่าว ๆ คือ

แบบที่กล่าวไว้ข้างต้นอยู่ในรูปที่ 4.1a รูปที่ 4.1 a และ b นั้นจะเห็นว่ามีการ Power Tracking ซึ่งเป็นการวัดค่าของเอาต์พุตของ PV Cell แล้วทำการปรับระดับเอาต์พุตระบบให้ได้ตามต้องการ ส่วนการควบคุมไฟไม่ให้เกิดการ Over Charge ก็จะใช้ PWM ในการควบคุม ถ้าหากว่าต้องการใช้ PV ร่วมกับระบบภายนอกแล้ว สิ่งหนึ่งที่ต้องทำคือ การจ่ายไฟส่วนเกินเข้าไปในระบบ

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่และการประจุแบบต่าง ๆ

วิธีการประจุแบตเตอรี่

ทฤษฎีและหลักการประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ขณะที่มีการเก็บประจุในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางที่กระแสจะจ่ายออกมา

E : แรงดันที่ทำการอัดประจุ

E_c : แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

R_i : ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

I : กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

$$E = E_c + IR_i$$

จะได้

$$I = (E - E_c) / R_i$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_c) มีค่าเท่ากับแรงดันประจุจะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันประจุจะทำให้มีกระแสไหลเพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่แต่ได้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าค่ากว่าแรงดันประจุจะทำให้ไม่มีกระแสไหลเพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สงวนลิขสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารนี้จะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ประจุมากหรือน้อย ถ้ากระแสในประจุมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนไม่ไหวกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดหรือเสียหายได้ การจะลดปริมาณกระแสการประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อกำจัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ

ตัวแปรอีกตัวเกี่ยวกับการประจุแบตเตอรี่ก็คือการสูญเสียกำลังในตัวแบตเตอรี่ซึ่งก็คือการสูญเสีย I²R นั้นเอง การสูญเสียนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ โดยที่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่สองอย่างคือ

ประสิทธิภาพทางด้าน แอมป์ ฮาวร์ (Amp-Hour Efficiency) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทางผู้ผลิตสร้างมา ประสิทธิภาพนี้มักจะมีค่าประมาณ 90% โดยหาได้จาก

$$AH\ eff. = \frac{Input\ Electrical\ Charge}{Output\ Electrical\ Charge}$$

ประสิทธิภาพวัตต์ ฮาวร์ (Watt-Hour Efficiency) ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้ โดยจะหาได้จาก

$$WH\ eff. = \%AH\ eff. * (V_{discharge} / V_{charge})$$

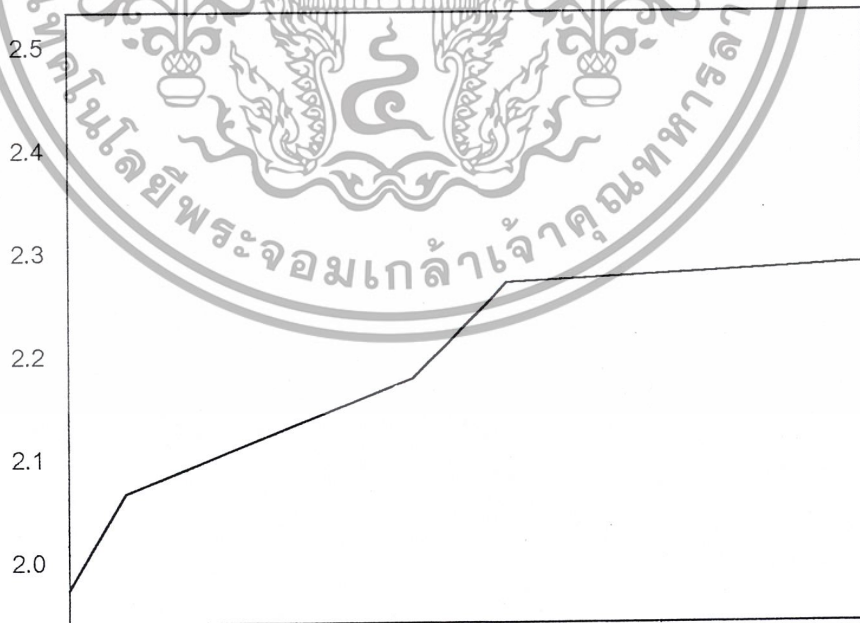
หลักการประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่มีอยู่ 2 แบบ ใหญ่ๆ คือ

1) การประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

เป็นการประจุที่ใช้เวลานานสำหรับแบตเตอรี่ที่มีค่า แอมป์ ฮาวร์ สูงๆ แต่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

Volt/Cell



ระยะเวลาในการอัดประจุ (ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในการศึกษาระดับต้นในการอัดประจุแบบกระแสคงที่ รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)

เป็นการประจุที่ใช้เวลาน้อย แต่ใช้กระแสมาก ทำให้เกิดการสูญเสีย หรือความร้อนในตัวแบตเตอรี่ได้

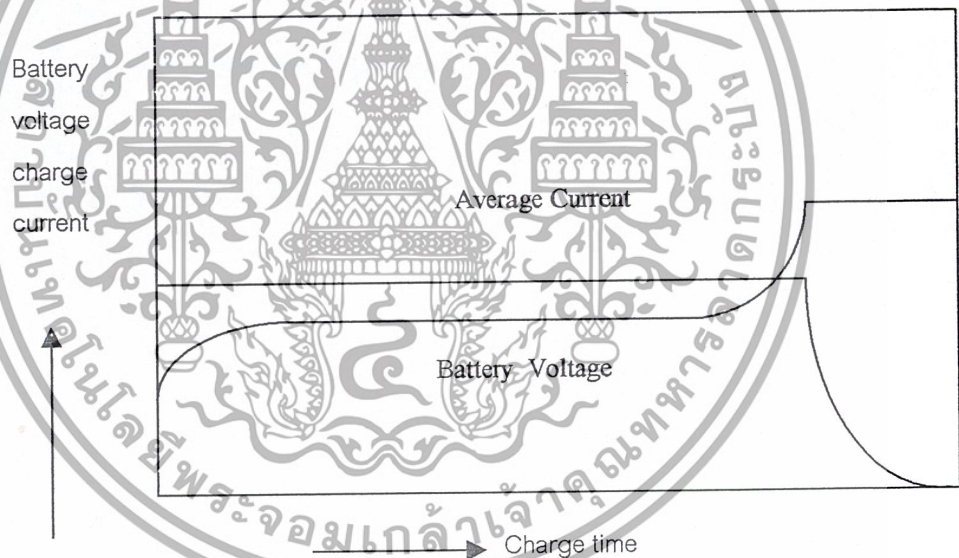
3) การประจุโดยการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapered Current Charging)

จะสามารถทำได้ง่ายเพราะเป็นการนำไฟกระแสสลับมาเรียงกระแสเป็นไฟตรงแล้วดึงกระแสมาประจุ แต่กระแส จะกระเพื่อมตามแรงดัน

4) การประจุโดยวิธีร่วม (Combination or two step Charging)

ในขั้นแรกจะทำการประจุที่กระแสสูงๆ เมื่อได้ระดับประจุตั้งต้นที่ต้องการก็เปลี่ยนเป็นกระแสลงที่ต่ำลงมาเพื่อควบคุมเวลาและประสิทธิภาพการประจุ

สำหรับโครงการนี้จะทำการประจุแบบแรงดันคงที่ เพราะแหล่งจ่ายเปลี่ยนแปลงทั้งแรงดัน และกระแส โดยผ่านวงจรกำลังที่จะทำให้ได้แรงดันคงที่ (Converter) ส่วนกระแสจะเปลี่ยนแปลงตามประจุที่แบตเตอรี่ต้องการ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการประจุแบบแรงดันคงที่

ลักษณะการใช้งานการประจุแบตเตอรี่มีอยู่สองหลักใหญ่คือ

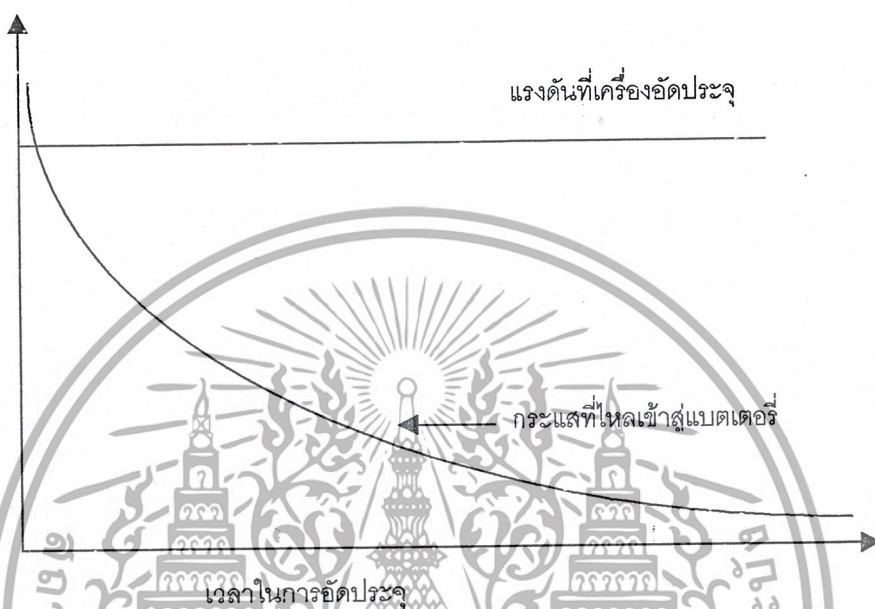
1. การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cyclic Operation)

การใช้งานเป็นรอบต้องการเวลาในการอัดประจุไม่นาน และต้องป้องกันการอัด และคายประจุ

เกินซึ่งมักใช้การประจุแบบแรงดันคงที่ คือรักษาแรงดันประจุ (Charging Voltage) ให้คงที่เท่ากับแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขใช้ประโยชน์ด้านการค้าสุดท้ายของแบตเตอรี่ (Final Terminal Voltage) ซึ่งเป็น แรงดันเมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby/Backup Operation)

เป็นการเก็บแบตเตอรี่ไว้ในสภาพเดิมตลอดเวลาและจ่ายพลังงานให้โหลดโดยแหล่งจ่ายหลักที่ทำการประจุแบตเตอรี่ด้วย เมื่อต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่อย่างเมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟหลักจึงทำการสลับมาใช้



รูปที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสของเครื่องประจุแบบแรงดันคงที่

สำหรับโครงการนี้ ขนาดของแบตเตอรี่ที่มีให้ใช้เป็นแบตเตอรี่รถยนต์ประเภท ตะกั่ว กรด (Lead Acid Battery) พิกัดแรงดัน 12 โวลต์ อนุกรมกันเพื่อให้เข้ากับระบบ 24 โวลต์ โดยที่พิกัดแอมป์ฮาวร์รวมเท่ากับ 155 AHrs ซึ่งทำให้ระยะเวลาการอัดประจุ แบบแรงดันคงที่ที่ 24 โวลต์ ไม่ต้องใช้เวลานานมาก โดยขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ไหลลงไปในช่วงกลางคืน

การ charge แบตเตอรี่ในโครงการนี้ได้ทำการจำลองแผงโหลดขึ้นมาเป็นโหลดประเภทหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กระแสตรง จำนวน 8 หลอดใช้กำลังไฟฟ้าหลอดละ 18 watts ในการใช้งานจริงจะใช้เพียง 5 หลอด อีก 3 หลอดจะนำไปใช้ในการตรวจสอบ Over Current พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับแผงโหลดที่ได้จำลองขึ้นมาในเวลากลางคืนนั้นจะเท่ากับ

จำนวนหลอดไฟที่ใช้งาน*กำลังไฟฟ้าของแต่ละหลอด*จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน

$$\text{จะได้} \quad 18 * 5 * 8 = 720 \text{ watts-hours}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับโหลดในเวลากลางคืน

แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในโครงการนี้มีแอมป์ฮาวร์รวมเท่ากับ 155 แอมป์ฮาวร์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้กับโหลดในช่วงกลางคืนนั้นจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าที่จะต้อง charge ให้กับแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน นั่นคือจะมีค่าเท่ากับ 720 watts-hours นั่นเอง

แบตเตอรี่ที่เลือกใช้นั้นมีขนาด 24 volis จะได้ค่าแอมป์ฮาวร์ที่ต้องจ่ายให้กับโหลดในเวลากลางคืนจะเท่ากับ $720/24 = 30$ แอมป์ฮาวร์

ในการ charge แบตเตอรี่นั้นเราใช้ค่ากระแสในการ charger เท่ากับ 4 แอมป์ ดังนั้นในช่วงเวลากลางวันจะต้องทำการ charge เข้าสู่แบตเตอรี่เท่ากับ 30/4 เท่ากับ 7 ชั่วโมงครึ่งในช่วงเวลากลางวันเพื่อที่จะจ่ายโหลดในเวลากลางคืนได้ตามที่เราต้องการ

ค่าของวัตต์ฮาวร์ที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้นั้นสามารถคำนวณได้จาก

ค่าแอมป์ฮาวร์ของแบตเตอรี่ที่สามารถจ่ายได้ * โวลเตจของแบตเตอรี่ในขณะที่จ่ายโหลด
ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $155 * 24 = 3720$ watts-hours



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

DC - DC Converter

วงจร DC - DC Converter จะมักนิยมใช้งานในการ Regulate Switching DC Power Supply และใช้ในงาน Motor Drive โดย input ของ Converter นั้นคือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่ได้ Regulate ดังนั้น Converter จึงทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่ได้ Regulate เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถคงค่าแรงดันและสามารถควบคุมระดับค่าแรงดันให้ได้ระดับตามที่ต้องการได้

การนำวงจร Converter ไปใช้งานนั้น พบว่าเมื่อใช้งานในการทำ Switching Mode DC Power Supply ต้องใช้หม้อแปลงความถี่สูงมาใช้ในการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างทางด้าน input และทางด้าน output ของ Converter ส่วนในการใช้งาน DC Motor Drive ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงความถี่สูงมาแยกระหว่าง input และ output

ในโครงการภายในเทอมนี้จะพิจารณาเฉพาะในส่วนของ Converter ที่ไม่ต้องมีหม้อแปลง มาแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่าง input และ output ของ Converter โดยสามารถแบ่งชนิดของ DC -DC Converter ได้ดังนี้

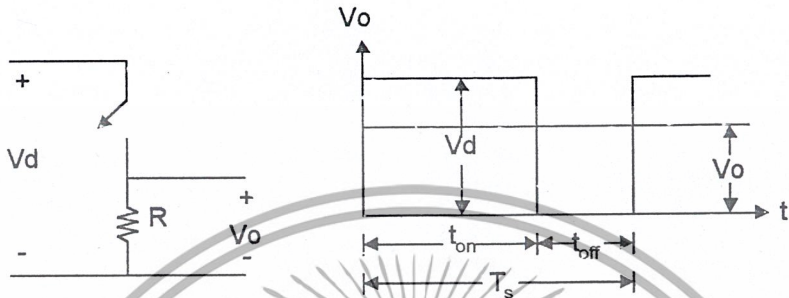
1. Step - down (Buck) Converter
2. Step - up (Boost) Converter
3. Step -down/Step - up (Buck-Boost) Converter
4. C'uk Converter

พิจารณาชนิดของ Converter ทั้งหมดจะพบว่า Converter ที่เป็นวงจรพื้นฐานนั้นคือ Step up และ Step down Converter ส่วน Buck-Boost และ C'uk Converter เกิดจากการผสมของ Converter วงจรพื้นฐานทั้งสองชนิด

5.1 การควบคุมสำหรับ DC - DC Converter

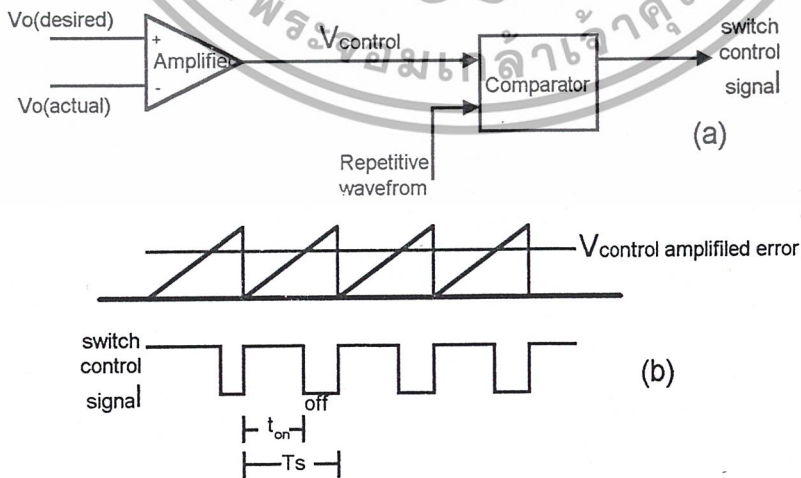
ในการควบคุม DC - DC Converter ที่ใช้ switching หนึ่งตัวหรือมากกว่าทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง โดยที่ป้อนแรงดัน input กระแสตรงเข้ามา ระดับไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงจะถูกควบคุมโดยการควบคุมการช่วงการเปิด ปิดของตัว switching (t_{on} และ t_{off}) ซึ่งแสดงหลักการพื้นฐานของวงจร DC - DC Converter และระดับแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยใน เอกสาร (หน้า 1) ซึ่งแสดงหลักการพื้นฐานของวงจร DC - DC Converter และระดับแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยใน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 นี้ซึ่งระดับแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ t_{on} และ t_{off} วิธีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตในการ switching ที่ค่าความถี่คงที่ เนื่องจากมีความถี่คงที่ในช่วงคาบเวลาการทำงาน $T_s = t_{on} + t_{off}$) โดยการปรับช่วงคาบการ turn on ของ switch เพื่อควบคุมค่าระดับแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยจะใช้วิธีการ พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) ในการ switch ช่วงของ Duty ratio (D) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของช่วงเวลาที่ switch turn on ต่อคาบการทำงานทั้งหมดของการ switching



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรตามหลักการพื้นฐานของ DC-DC Converter และ ระดับแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย

ในการใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ในการ switching ที่ความถี่ในการ switching คงที่ สัญญาณคาบควบคุมที่ใช้ในการสถานะ on หรือ off จะถูกสร้างโดยการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ $V_{control}$ กับแรงดันฟันเลื่อย (Repetitive Waveform) โดย $V_{control}$ จะเกิดจากการคงระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนี้ เอาต์พุตและค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดย Amplifier โดยความถี่ของสัญญาณฟันเลื่อยจะมีค่าแอมพลิฟายด์คงที่สำหรับความถี่ในการใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันควบคุมจะใช้ในช่วงตั้งแต่ 0-100 kHz



รูปที่ 5.2 แสดง Pulse Width Modulation (a) Block Diagram (b) Comparator Signal
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ค่าอัตราส่วน Duty Cycle $D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{V_{control}}{V_{st}}$

5.2 Step up/Step down (Buck-boost) Converter

Buck-boost Converter หรือ Step down/Step up จะใช้ในการ regulate DC Power Supply โดยค่าเอาต์พุตจะสามารถกำหนดค่าที่ต้องการได้ ทั้งค่าที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับทางอินพุตแต่ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีขั้วทางไฟฟ้าที่ตรงข้ามกับขั้วทางไฟฟ้านอินพุต

Buck-boost Converter เกิดจากการผสมกันระหว่าง Converter พื้นฐานสองชนิดคือ Step up และ Step down Converter ในสถานะอยู่ตัวค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตจะอยู่ในอัตราส่วนที่เกิดจาก Converter พื้นฐานทั้งสองชนิด

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{(1-D)} \tag{5.13}$$

ดังนั้นค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีระดับสูงหรือต่ำกว่าระดับแรงดันอินพุตจะขึ้นอยู่กับค่าของ duty ratio



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะวงจรของ Buck-Boost Converter

หลักการทํางาน

เมื่อ Q อยู่ในในสถานะปิดวงจรแล้วจะมีกระแสไหลเข้า L_s เป็น Loop A ผ่านไดโอด D_1 จะอยู่ในสถานะไบอัสย้อนกลับ ไม่น่ากระแส เกิดกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เกิดการสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ L เมื่อ Q อยู่ในสถานะเปิดวงจร สนามแม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำ L เกิดการยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมัน ทำให้เกิดกระแส I_L ซึ่งยังไหลต่อเนื่องในทิศทางเดิมและทำให้โวลเตจที่จุด A กลายเป็นลบเมื่อค่าโวลเตจที่จุด A มีค่าเป็นลบเกินกว่าค่าของเอาต์พุต ไดโอด D ก็จะมีกระแสทำให้เกิด Loop B มีกระแสไหลผ่านคาปาซิเตอร์ (I_C) ต่อมาในช่วงสถานะ Q ปิดวงจรค่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำ L มีค่ากลับสู่สภาวะเดิมคือ เป็นศูนย์ และค่าคาปาซิเตอร์จะคายประจุเกิด Loop C ทำให้มีระดับแรงดันตกคร่อมที่โหลด R ซึ่งขั้วทางไฟฟ้าตรงกันข้ามกับขั้วทางไฟฟ้าของแรงดันอินพุต ซึ่งค่า

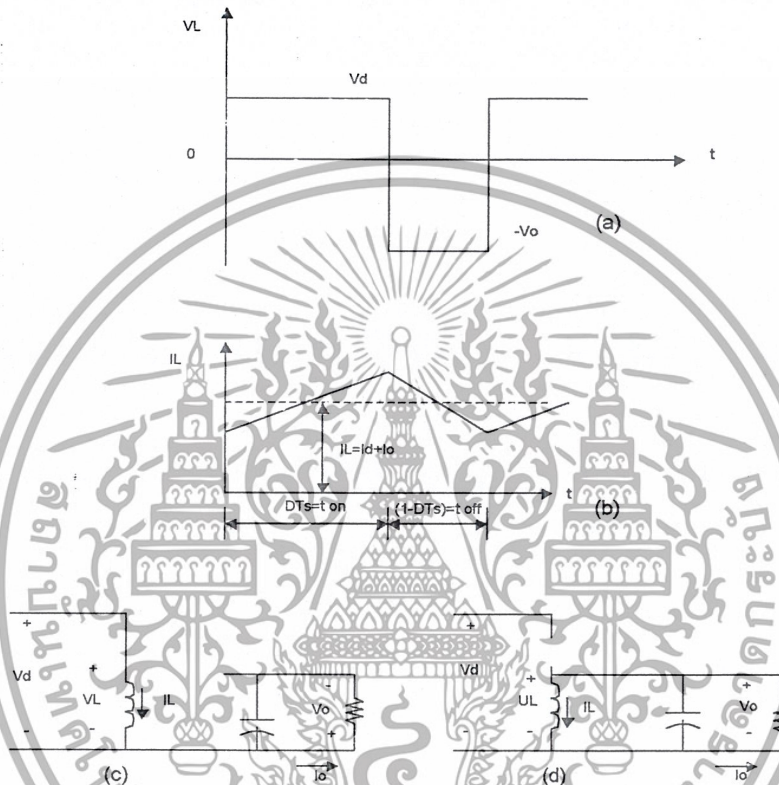
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระดับแรงดันที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของระดับแรงดันอินพุต และค่า duty ratio ของอุปกรณ์ switching

$$Q \text{ ซึ่งมีค่าเท่ากับ } \frac{t_{on}}{t_{off} + t_{on}}$$

ช่วงการนำกระแสแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณ Continuous Conduction เมื่อกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L มีการไหลอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.4 (a) แสดงลักษณะรูปคลื่นของ V_L (b) แสดงลักษณะของกระแส I_L

(c),(d)แสดงวงจร Buck-boost Converter เมื่อในสภาวะปิดวงจรและเปิดวงจร

จากการ Integral ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตลอดช่วงคาบหนึ่งของการทำงานจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ซึ่งเราจะได้

$$\begin{aligned} V_d t_{on} + (-V_o) t_{off} &= 0 \\ V_d D T_s + (-V_o)(1-D) T_s &= 0 \\ \frac{V_o}{V_d} &= \frac{D}{(1-D)} \end{aligned} \tag{5.14}$$

และเมื่อไปพิจารณาค่าพลังงานที่สูญเสีย ดังนั้น พลังงานอินพุตจะมีค่าเท่ากับพลังงานเอาต์พุต

$$P_o = P_d$$

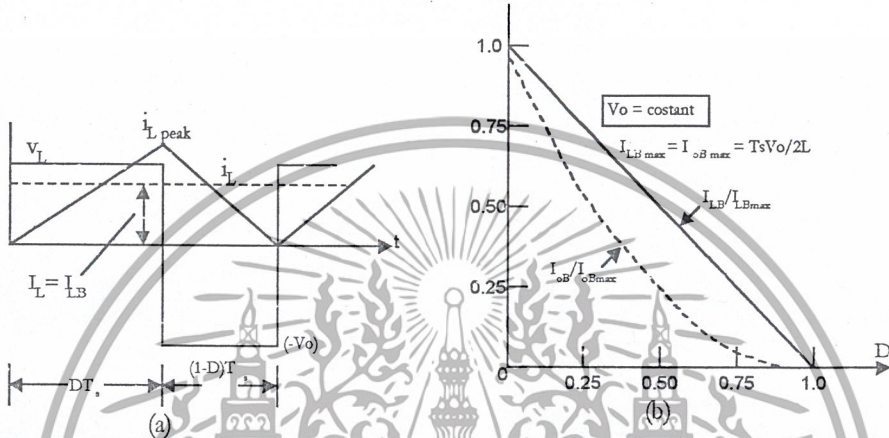
$$V_o I_o = V_d I_d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{V_d}{V_o} = \left(\frac{1-D}{D} \right) \tag{5.15}$$

ขอบระหว่างช่วงที่มีการนำกระแสแบบต่อเนื่องและแบบนำกระแสไม่ต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.5 แสดงลักษณะรูปคลื่นที่ขอบของการนำกระแสที่ต่อเนื่องโดยในกรณีนี้ I_L จะมีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุดสุดท้ายของคาบแต่ละคาบในการนำกระแส



รูปที่ 5.5 (a),(b) แสดง Buck-boost Converter และขอบของช่วงการนำกระแสอย่างต่อเนื่อง และนำกระแสอย่างไม่ต่อเนื่อง

จากรูป 5.5 (a)

$$I_{LF} = \frac{i_{L,peak}}{2} = \frac{TV_d D}{2L} \tag{5.16}$$

จากรูปที่ 4.9 จะได้

$$I_o = I_L - I_d \tag{5.17}$$

เราสามารถกำหนดให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L เฉลี่ยที่เป็นค่าขอบเขตในช่วงที่มีการไหลแบบต่อเนื่องในเทอมของ V_o

$$I_{LB} = \frac{TV_o(1-D)}{2L} \tag{5.18}$$

และ

$$I_{OB} = \frac{TV_o(1-D)^2}{2L} \tag{5.19}$$

ในการนำเอาวงจร Buck-boost Converter ไปใช้งานนั้น จะต้องรักษาค่าระดับแรงดันคั่นเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ จากสมการที่ (5.18) และ (5.19) ค่า I_{LB} และ I_{OB} จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ $D = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป (5.20) โดยชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{และ} \quad I_{OB,\max} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (5.21)$$

จากสมการ (5.20) และ (5.21) จะได้

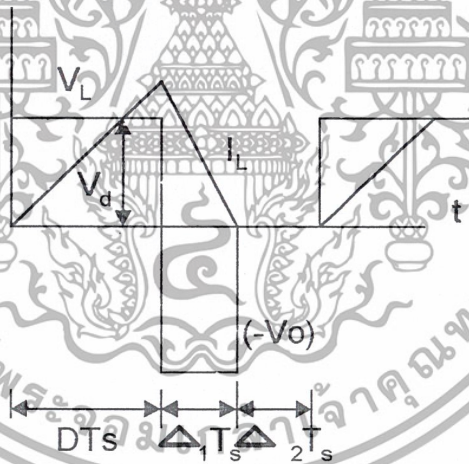
$$I_{LB} = I_{LB,\max} (1 - D) \quad (5.22)$$

$$\text{และ} \quad I_{OB} = I_{OB,\max} (1 - D)^2 \quad (5.23)$$

โดยในรูปที่ 5.5 (b) จะแสดง I_{LB} และ I_{OB} ในรูปฟังก์ชันของ D เมื่อ V_o มีค่าคงที่

ช่วงการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 5.6 จะแสดงลักษณะรูปคลื่นของกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องถ้าทำการ integral ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตลอดช่วงคาบการทำงานของอุปกรณ์ Switching จะมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะรูปคลื่นของ Buck-boost Converter ในช่วงที่มีการนำกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad V_d DT_s &= (-V_o) \Delta_1 T_s = 0 \\ \frac{V_o}{V_d} &= \frac{D}{\Delta_1} \end{aligned} \quad (5.24)$$

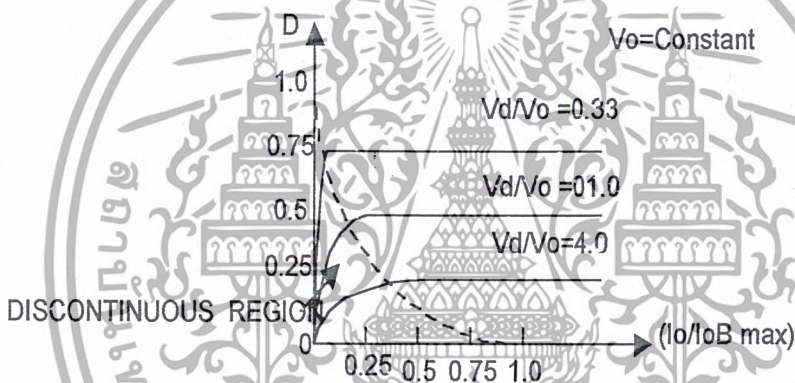
$$\text{และ} \quad \frac{I_o}{I_d} = \frac{\Delta_1}{D} \quad \text{เมื่อ} \quad P_o = P_d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.6
$$I_L = \frac{V_d DT_s (D + \Delta_1)}{2L} \tag{5.25}$$

เมื่อกำหนดระดับค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ สำหรับการต้องการใช้ฟังก์ชันของ D ในการควบคุมกระแสไหลต่อเอาต์พุต สำหรับค่าของ $\frac{V_o}{V_d}$ ที่แตกต่างกันจะใช้สมการ

$$D = \frac{V_o}{V_d} \sqrt{\frac{I_o}{I_{OB,max}}} \tag{5.26}$$



รูปที่ 5.7 แสดงการพล็อตกราฟระหว่าง D ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $\frac{I_o}{I_{OB,max}}$ สำหรับค่าของ $\frac{V_o}{V_d}$

ขอบของช่วงที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องของกระแสจะแสดงได้โดยเส้นประ

บทที่ 6

การออกแบบและคำนวณ

6.1 วงจรควบคุม

เนื่องจากการควบคุมวงจรถอนเวอร์เตอร์เกือบทุกชนิดจะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้โดยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส t_{on} ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งในการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในโครงการนี้จะใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse width Modulation) ในการควบคุมช่วงเวลาของการนำกระแสของ MOSFET ในวงจร DC to DC Converter โดยในลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมจะใช้โหมดควบคุมจากแรงดัน

การทำงานของวงจรควบคุมจากแรงดันนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของ MOSFET เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก ลักษณะโครงสร้างของวงจรควบคุมแสดงดังรูปที่ 6.1



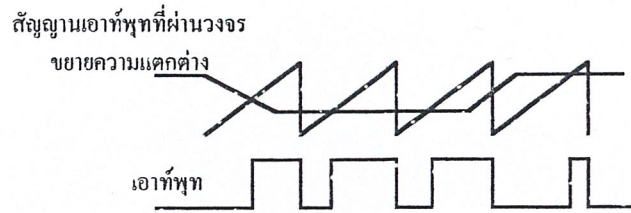
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของวงจรควบคุม

6.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะใช้ IC TL494 เป็นหลัก ซึ่งภายใน IC TL 494 นี้ จะมีตัวกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยที่สามารถปรับความถี่ได้ และมีแอมพลิฟายเออร์ที่ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณนี้จะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อย เอาต์พุตที่ได้จาก PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ได้ วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตและถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง

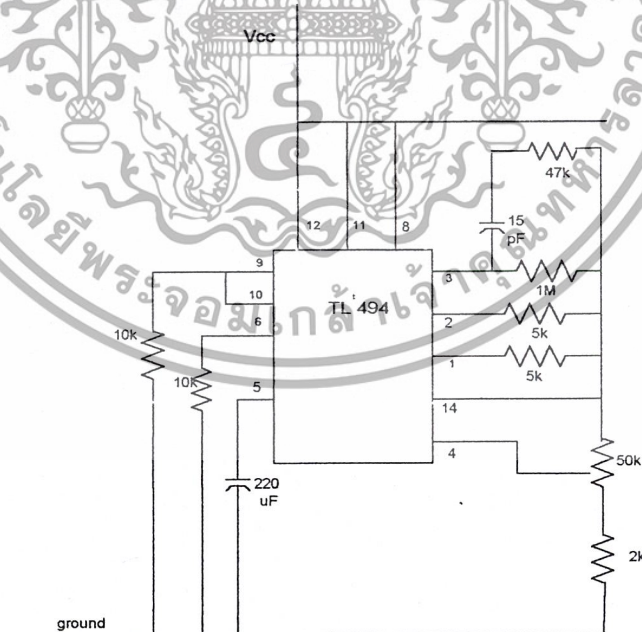
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่าของแรงดันพินเฉลี่ย ซึ่งค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการนำกระแสของ MOSFET ในวงจร DC to DC Converter ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ที่เป็นผลมาจากการมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณพินเฉลี่ย

โดยลักษณะการต่อวงจรโดยใช้ IC TL 494 เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณ โดยจะนำสัญญาณป้อนกลับของแรงดันเอาต์พุตของวงจร DC to DC converter มาเป็น feedback เข้าขา 3 ของ TL494 และจะต่อให้สัญญาณเอาต์พุตจากขา 9 และ 10 มีลักษณะเหมือนกัน ลักษณะการต่อวงจรของ TL 494 เป็นดังรูปที่ 6.3



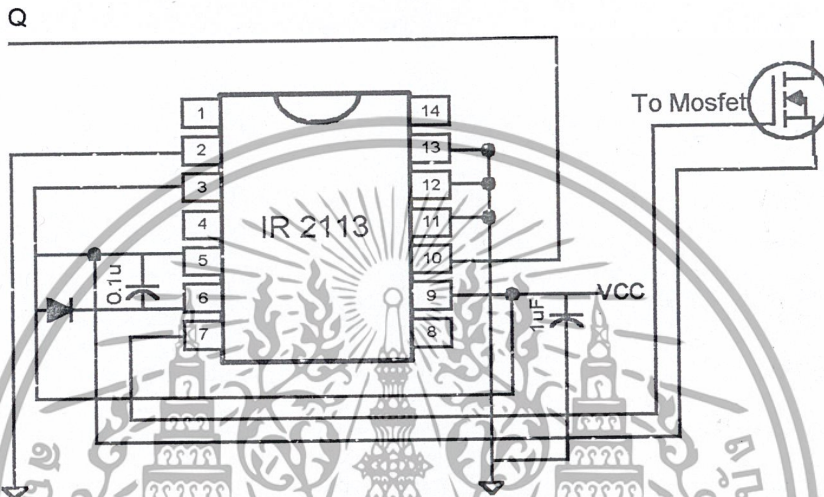
รูปที่ 6.3 การต่อวงจร TL 494 เพื่อเป็นตัวสัญญาณมอดูเลตสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์จะทำหน้าที่แยกสัญญาณระหว่างส่วน Control กับส่วน power ทำให้ต้องใช้ CMOS 4049 ซึ่งมีลักษณะเป็น โอเพ่นคอลเลคเตอร์ และมีอินเวอร์เตอร์ในตัวเพื่อกลับสัญญาณเป็นดั้งเดิม และสามารถเพิ่มความสูงสัญญาณได้เป็น 15 โวลต์

6.4 วงจรขับ MOSFET



รูปที่ 6.4 แสดงวงจรขับ MOSFET โดยใช้ IR2113

6.5 การคำนวณค่า parameter ต่างๆ

แผง PV 204 วัตต์ (แผง 68 วัตต์ 3 แผง)

เอาท์พุท 24 โวลต์

ใช้ Power ของโหลดต่ำสุดในการคำนวณ = 40 ;

$$\text{จาก } P = \frac{V^2}{R}$$

$$40 = \frac{24^2}{R}$$

$$R = 14.4 \Omega$$

$$\text{จาก } \frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{(1-D)}$$

$$V_o \text{ คือ } V_{\text{output}} = 24 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_d \text{ คือ } V_{\text{input}} = 51 \text{ Volt}$$

$$D = 0.32$$

6.5.2 การคำนวณหาค่า C

กำหนดค่าการกระเพื่อมของแรงดัน ripple voltage = 5%

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.05$$

จาก $\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT_s}{RC}$

$$C = \frac{DT_s V_o}{R \Delta V_o}$$

ที่ 24 โวลต์

$$V_o = 24 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.05$$

$$R = 14.4 \Omega \text{ และ } D = 0.32$$

จะได้ $C = 222.22 \times 10^{-6} \text{ F}$

เลือกตัวเก็บประจุ 820 μF สองตัวอนุกรมกัน เป็นค่ารวม 410 μF

ค่า parameter ต่างๆ ดังนี้

Duty cycle สำหรับแผง 204 W

output 24 V = 0.32

Output Capacitance 820 μF

การออกแบบค่าของตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบโดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Ap Approach

วิธีนี้เป็นการออกแบบที่ใช้ค่า T_{rise} ซึ่งอยู่ในรูปของความหนาแน่นของกระแสของลวดตัวนำ

$$J = 100 - 1000 \text{ A/cm}^2$$

$$N = \frac{IL_{peak}}{B_{max} S} \tag{6.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k \cdot W = \frac{NI_{rms}}{J} \quad (6.2)$$

แทนค่า N จะได้ว่า

$$k \cdot W = \frac{LI_{peak}}{B_{max}} \cdot \frac{I_{rms}}{J} \quad (6.3)$$

$$A_p = W \cdot S = \frac{LI_{peak} I_{rms}}{k \cdot B_{max} J} \quad (6.4)$$

ถ้า $I_{peak} = I_{rms}$ แล้วจะได้ว่า

$$A_p = W \cdot S = \frac{2E_{peak} I_{rms}}{k \cdot B_{max} J} \quad \text{เมื่อ } E_{peak} = (1/2)L \cdot I_{peak}^2 \quad (6.5)$$

ขั้นตอนในการออกแบบโดยวิธี Ap Approach

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัดคำนวณค่า A_p
2. เลือกขนาดของแกนให้มีค่ามากกว่า A_p ที่คำนวณได้จากข้อ 1
3. คำนวณหาค่าจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N)
4. คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ (A_w)
5. เลือกเบอร์ของลวดทองแดงให้มี A_w ให้ใหญ่กว่า A_w ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 4 โดยเลือกรัศมีของลวดทองแดงที่เล็กกว่าความถี่ผิวของทองแดง (skin depth) ที่

ความถี่สูงสุดที่ใช้งาน โดยที่ $\delta(m) = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$

6. คำนวณหา $P_{cu} = I_{rms}^2 R$
7. ปรับค่า J เริ่มตั้งแต่ 1-6 ใหม่จนได้ P_{cu} ที่เหมาะสม
8. คำนวณหาขนาดของช่องว่างอากาศ (air gap) $I_g = N^2 \mu_0 \cdot S/L$ หรือ ค่า μ ของแกน
9. คำนวณหาค่า Fringing Flux Correction Factor (F)

$$F = 1 + \left(\frac{I_g}{\sqrt{S}} \right) \left\{ \ln \left(\frac{2G}{I_g} \right) \right\} \quad \text{อันเนื่องมาจากผลของฟลักซ์ที่ขอบ ทำ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารให้พื้นที่หน้าตัดของช่องว่างอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ปรับลด I_g จนได้ค่า L ตามต้องการ

การคำนวณหาค่าของตัวเหนี่ยวนำ

จากสมการของวงจร Buck-Boost Converter

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{24}{51} = \frac{D}{1-D}$$

จะได้ค่า D เท่ากับ 0.32

วงจร Buck-Boost ที่ได้ทำการออกแบบนั้น ได้กำหนดความถี่ Switching เอาไว้เท่ากับ 20 kHz ซึ่งจะสามารถคำนวณหาคาบ(T) ได้ดังนี้

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \cdot 10^3} = 50 \mu\text{sec}$$

$$I_{OB} = \frac{T_s V \cdot D(1-D)^2}{2L}$$

จากสมการ

$$L = \frac{T_s V \cdot D(1-D)^2}{2 \cdot I_{OB}}$$

(6.16)

$$\begin{aligned} &= (50 \cdot 10^{-6})(24)(0.32)(1-0.32)^2 / (2 \cdot 4) \\ &= 2.2 \cdot 10^{-5} \text{ H} \\ &= 0.022 \text{ mH} \end{aligned}$$

คำนวณการพันตัวเหนี่ยวนำ

เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบ Ap Approach

จาก
$$A_p = W \cdot S = \frac{L \cdot I_{peak} \cdot I_{rms}}{K \cdot B_{max} \cdot J}$$

ค่า
$$I_{peak} = I_{rms}$$

จะได้ว่า
$$A_p = W \cdot S = \frac{L(I_{peak})^2}{K \cdot B_{max} \cdot J}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (0.022 \cdot 10^{-3})^2 / (0.5 \cdot 0.25) (4/10^{-6})$$

$$= 3.6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$$

เลือกใช้แกน EI 40 ซึ่งมีค่า $A_p = 13.35 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ มีค่ามากกว่าที่คำนวณได้

$$\text{ค่า } S = 140.4 \cdot 10^{-6}, \quad J = 78.7 \cdot 10^{-3}, \quad W = 94.8 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{จาก } N = \frac{L \cdot I_{peak}}{B_{max} \cdot S} = \frac{0.02 \cdot 10^{-3} \cdot 3}{0.02 \cdot (140.4 \cdot 10^{-6})} = 21.36 \text{ รอบ}$$

$$\text{ขนาดขดลวดตัวนำ} = I_{rms} / J = 3 / (4/10^{-6}) = 7.5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

เลือกใช้สาย SWG 20

$$\text{ใช้สาย} = (0.75 \cdot 10^{-6}) / (0.6576 \cdot 10^{-6})$$

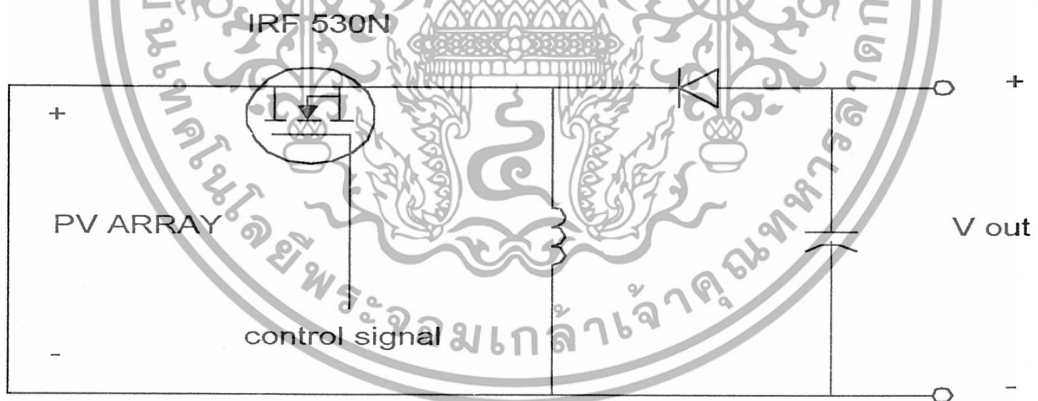
$$= 1.14 \text{ เท่า}$$

หาช่องอากาศ (air gap)

$$l_g = \frac{N^2 \mu_0 S}{L}$$

$$= \frac{(22)^2 (4\pi \cdot 10^{-7}) (140.4 \cdot 10^{-6})}{0.02 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 4.26 \cdot 10^{-3} = 4.26 \text{ mm}$$

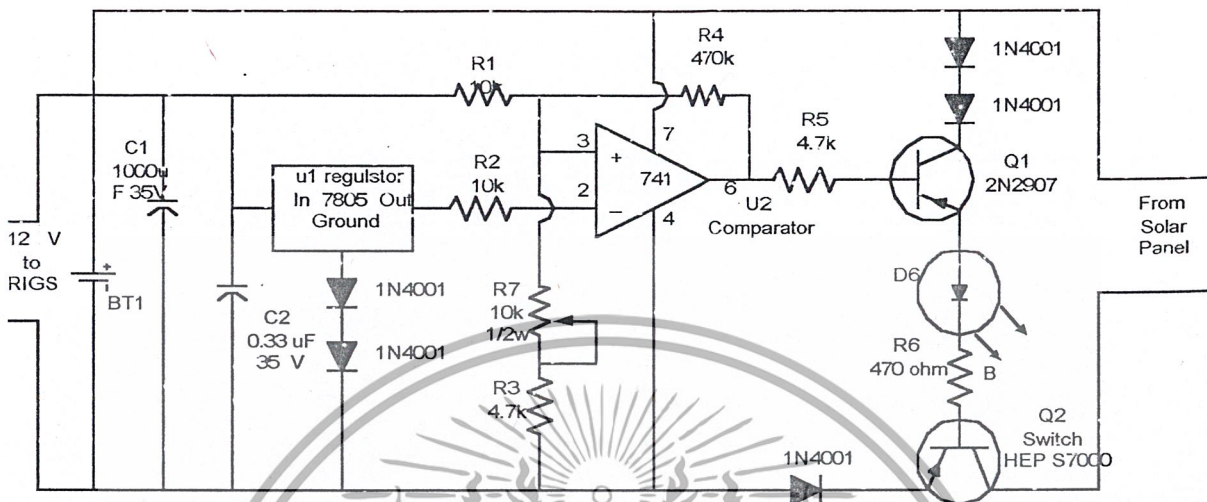


รูปที่ 6.5 ส่วนวงจร main buck-boost converter

6.6 Overcharge switch

หลักการและเหตุผลของการใช้วงจร Overcharge Switch เพราะการใช้งาน Load ไม่ใช้งาน 24 ชั่วโมง เป็นเอกสารที่สูงกว่าส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ช.ม. ต่อวัน และบางครั้งบางวันก็เกิดการอัปเดตมากกว่าปรกติจำเป็นต้องมีการจ่ายกำลังกับโหลดที่ใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้เกิดการอัดประจุเกิน ได้ดังนั้น ต้องทำการออกแบบวงจรที่จะตัดแบตเตอรี่ ออกเมื่อ ไม้ใช้ งาน



รูปที่ 6.6 แสดงวงจรและรายละเอียดของวงจร Overcharge

วงจรดังกล่าวประกอบด้วย voltage regulator (7805) Op-amp เบอร์ 741 Transistor ควบคุม และ Transistor สังก้าถึง และ Transistor ผ่านกำลัง (ตัวใหญ่) และ Diode ในช่วงที่แบตเตอรี่ เกิดการ อัดประจุ ตามปกติ D₆ และ Q₂ จะนำกระแสและหลอด LED จะแสดงว่ามี การอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ จริงตัว 7805 จะทำการกำหนด Volt Reference ซึ่งจะเป็น Inverting input ของ Op-amp ส่วนแรงดัน ขั้วของแบตเตอรี่ จะต่อเป็น Non- inverting Input ที่ จะเป็นตัวส่งสัญญาณเข้าขา base ทรานซิสเตอร์ ควบคุม Q₁ เมื่อแบตเตอรี่ต้องการการอัดประจุ ก็จะเกิดกระแส ที่ Collector Q₁ ทำให้ทรานซิสเตอร์ส่ง กำลัง Q₂ ทำการนำกระแสและเริ่มการอัดประจุเมื่อ ประจุในแบตเตอรี่เต็ม แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จะเป็น ค่าแรงดันพิกัด ทำให้สัญญาณออกจากออป แอมป์สั่งให้ทรานซิสเตอร์ควบคุม ไม่นำกระแส(turn off) เป็นการตัดแบตเตอรี่ออกจากวงจรกำลัง แต่ยังสามารถจ่าย โหลดได้ วงจรที่สำเร็จแล้วจะมีลักษณะวงจรดังรูป

BT 1 – Lead-acid automotive storage battery

C1 – Electriolytic

C2 – Solid – tantalum

D3 – Silicon PIV of 50 or more .current rating sufficient to pass full output of solar panel

D6 – Light-emitting diode

Q2 – 2N3055 HEP S7000 or equivalent

R7 – Carbon linear taper pc mount

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
U1 – 3 terminal 5 Volt regulator
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

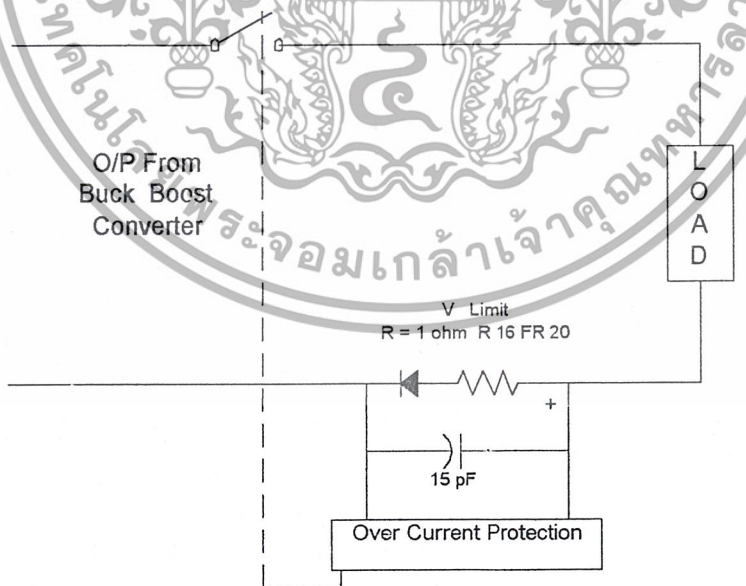
U2 – Op amp any of the 741 family usable

6.7 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Overload Protection)

วงจรป้องกันกระแสเกินที่ตอบสนองได้รวดเร็วเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากการป้องกันด้วยฟิวส์เป็นการป้องกันที่กระแสเกินเป็นเวลานานเมื่อเทียบกับกระแสกระเพื่อมใหญ่ๆที่มีจะเป็นลูกคลื่นความถี่สูงๆ อุปกรณ์หลักที่ใช้คือรีเลย์ และหน้าสัมผัสแม่เหล็ก (Relay and Magnetic contactors) โดยที่หน้าสัมผัสจะทำการตัดวงจรตามแรงดันควบคุมขดลวด (Coil voltage)

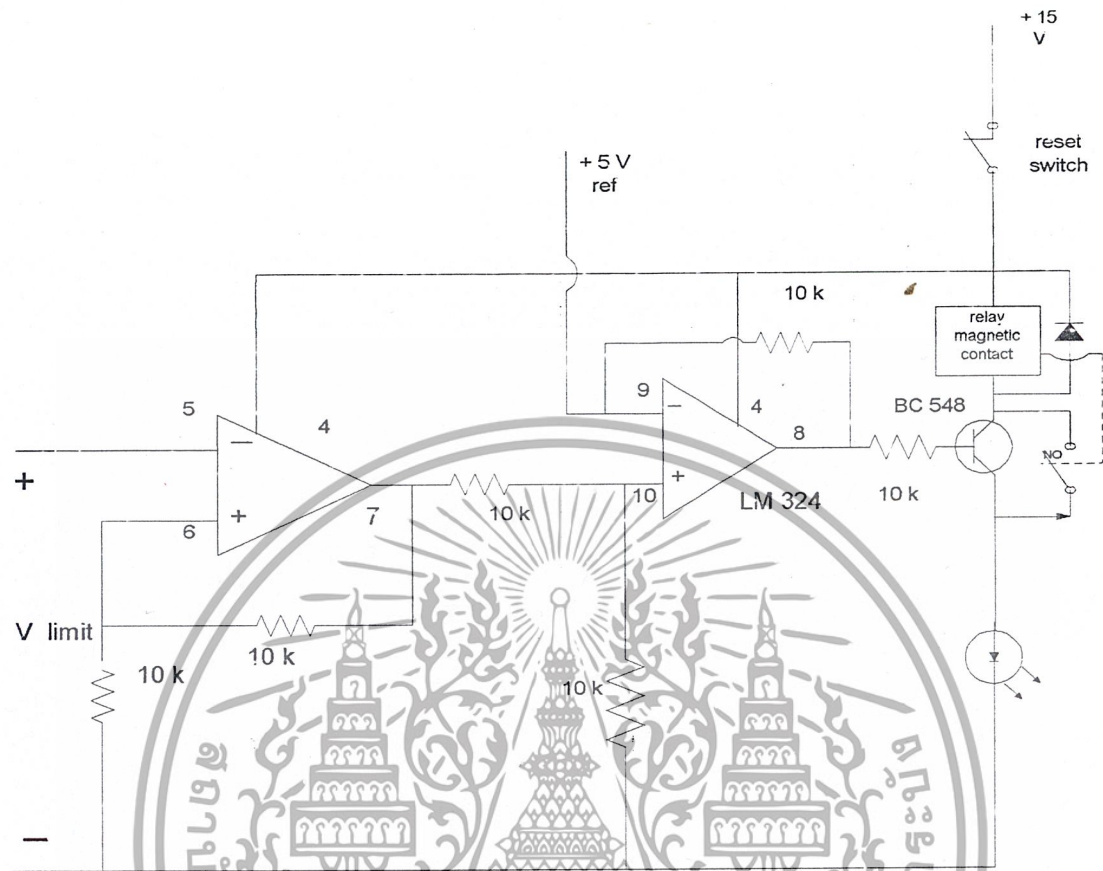
การต่อวงจรป้องกันต้องทำการออกแบบวิธีที่จะดึงสัญญาณกระแสมาควบคุมหน้าสัมผัสแม่เหล็กให้ได้ โดยวิธีที่ใช้คือการ sense กระแสให้ได้เป็นสัญญาณแรงดัน แล้วนำแรงดันมาเทียบกับแรงดันเปรียบเทียบคงที่ ('Constant Reference Voltage) เมื่อแรงดันที่วัดกระแสมา เกิดค่าเกิน ซึ่งหมายความว่า มีกระแสเกิน ก็จะทำให้เกิดแรงดันควบคุมขดลวดของรีเลย์และทำการตัดวงจรที่หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Closed Contact) ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดจะทำการรักษาสภาพหน้าสัมผัสไว้เพื่อไม่ให้เกิดการปิดวงจรอีกเมื่อตัดกระแสไปแล้ว

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วย รีเลย์สองหน้าสัมผัส (Two contact) ทรานซิสเตอร์ส่งสัญญาณควบคุม ไปยังขดลวด ออปแอมป์ที่ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ โวลเตจเรกูเลเตอร์เพื่อทำไฟเลี้ยงและสัญญาณเปรียบเทียบ ตัวต้านทานค่าต่างๆที่ทนกระแสสูงๆได้เพื่อทำการดึงสัญญาณ และไดโอดกับความต้านทานกับตัวเก็บประจุค่าต่างๆสำหรับการต่อวงจร และLED แสดงผลวงจรที่ต่อได้จะเป็นดังรูป



รูปที่ 6.7 แสดงBlock Diagram ของ วงจรป้องกันกระแสเกิน (Overload Protection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 แสดงวงจรป้องกันกระแสเกิน (Overload Protection)

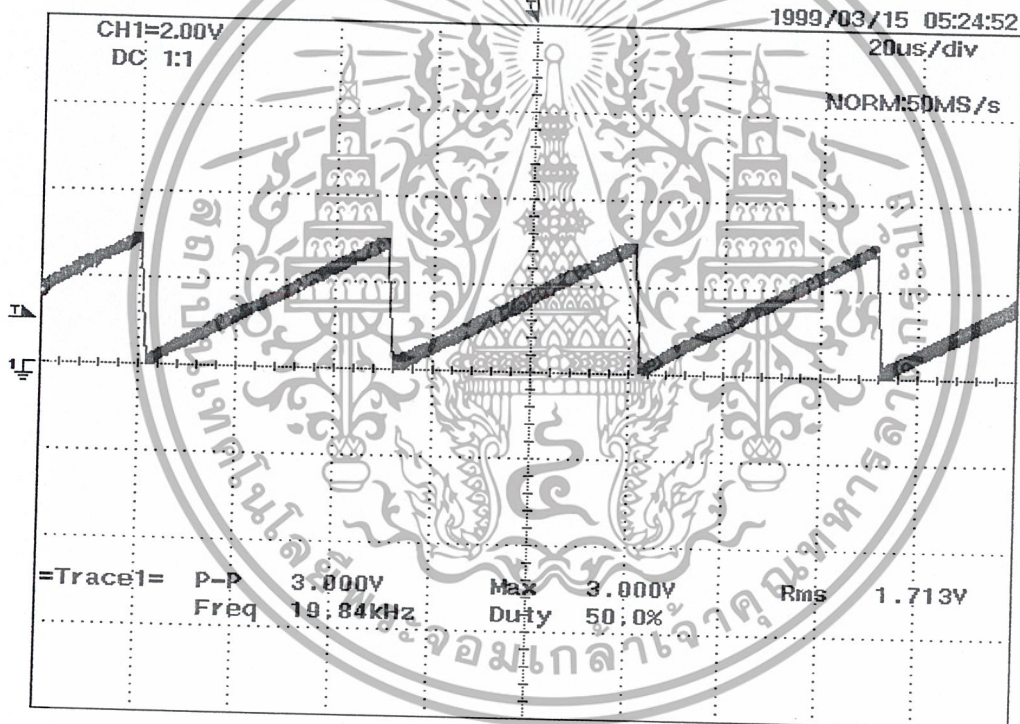
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง

7.1 ผลการทดลองของสัญญาณต่างๆในวงจรควบคุมโดยการใช้อสซิลโลสโคป

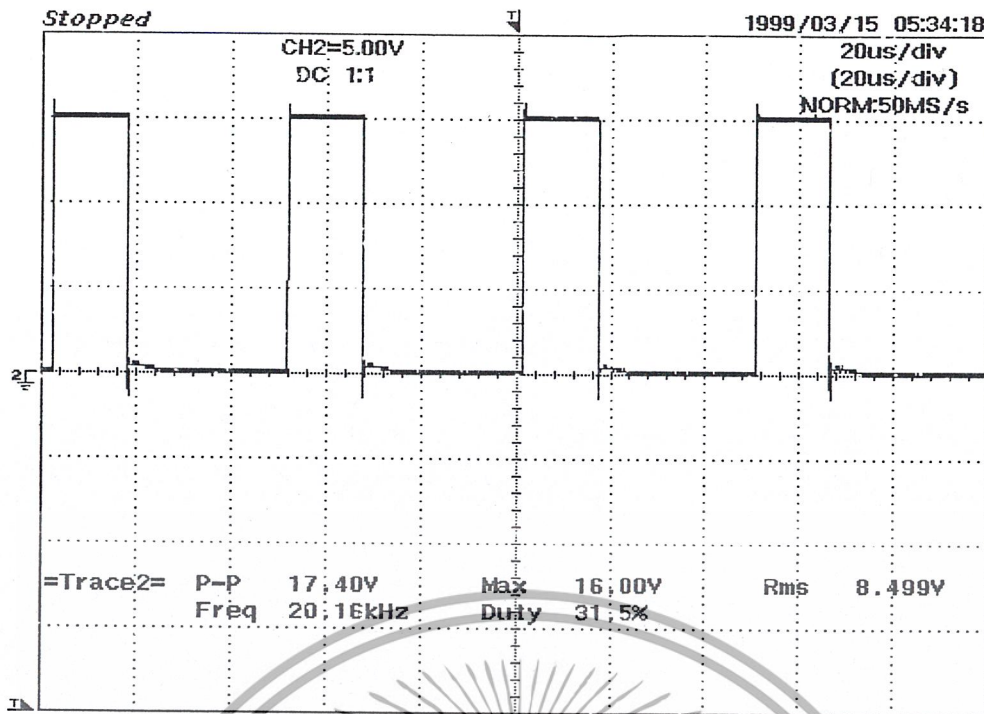
สัญญาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวงจรควบคุมที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ประกอบไปด้วยชุดสัญญาณจาก IC TL 494 และสัญญาณจากวงจรขั้วเกต MOSFET (IR 2113) ชุดสัญญาณของ IC TL494 ประกอบไปด้วยสัญญาณฟันเลื่อยซึ่งที่นำมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาความกว้างของพัลส์สัญญาณควบคุม (saw tooth signal) สัญญาณไฟกระแสตรงที่เป็น feedback มาจากเอาต์พุตของวงจร converter ที่ขา 3 และสัญญาณพัลส์ที่เป็นเอาต์พุตของตัว IC TL 494 ซึ่งเป็นสัญญาณที่จะนำไปใช้ในการจับเกตต่อไป



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 $\bar{\text{f}}$ Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

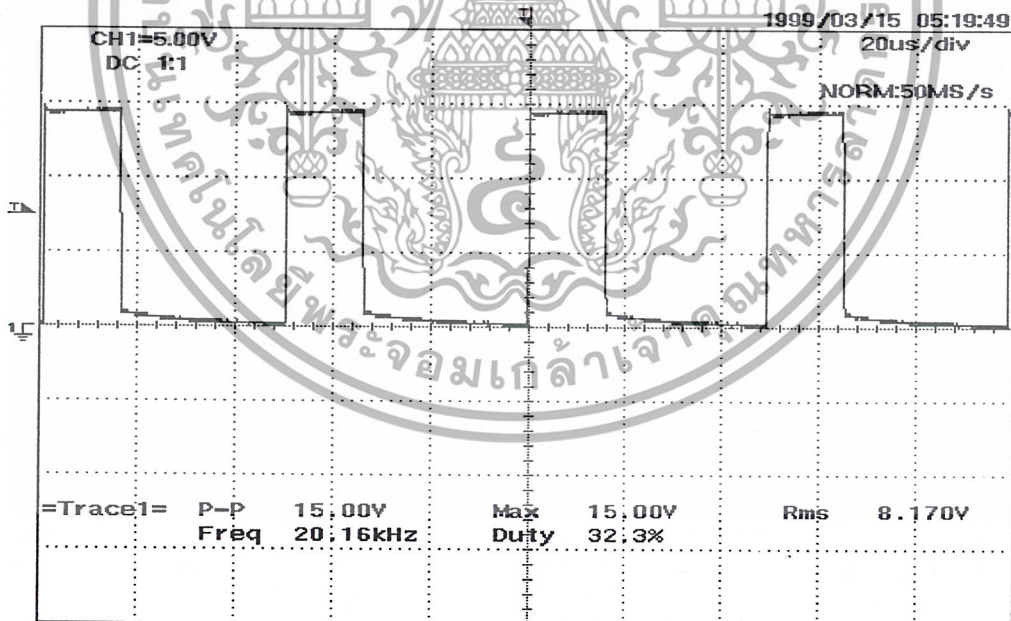
รูปที่ 7.1 สัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 20 kHz ใน TL 494(2 V/div, 20 μ s/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



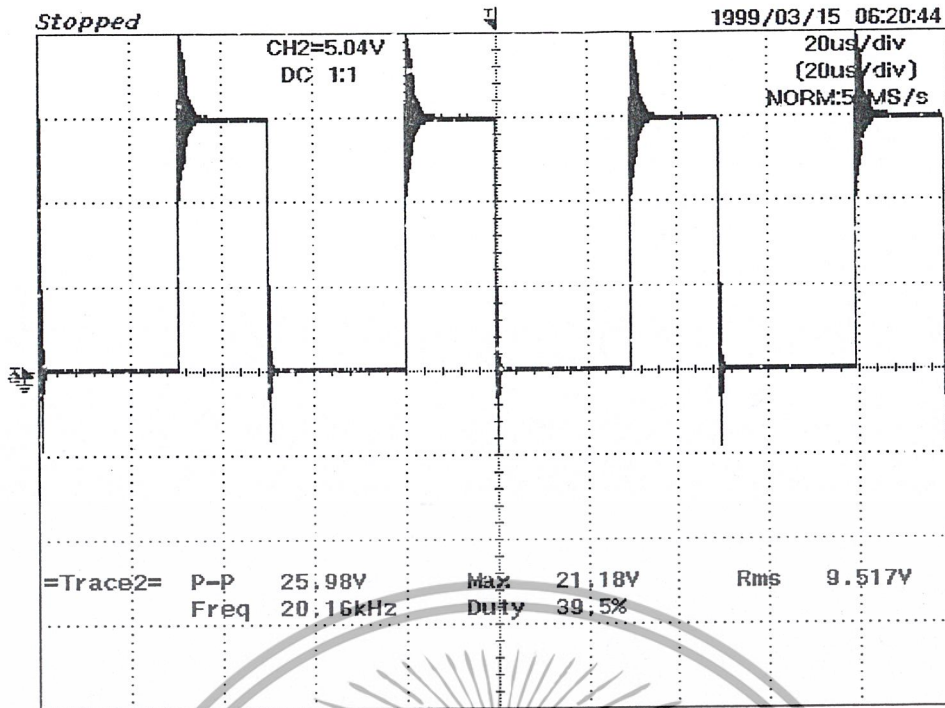
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

รูปที่ 7.2 สัญญาณ Pulse ที่ได้จากการตัดกันของไฟกระแสตรงที่เป็น feedback เทียบกับ สัญญาณพื้นฐานที่ได้จากตัว TL494 ที่ความถี่ 20 kHz (5V/div, 20 μ sec/div)



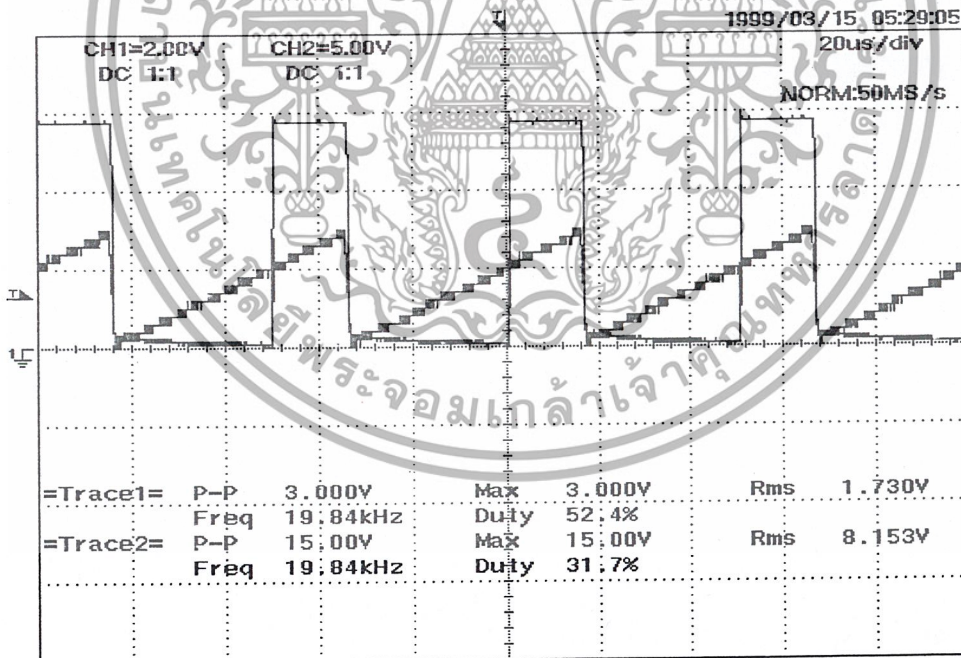
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 7.3 สัญญาณ Pulse ที่ออกจากไอซี MC14049 ที่ขา 4,6 (5V/div, 20 μ sec/div) ซึ่งเป็นการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
=Offset= CH1 : 0.000V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

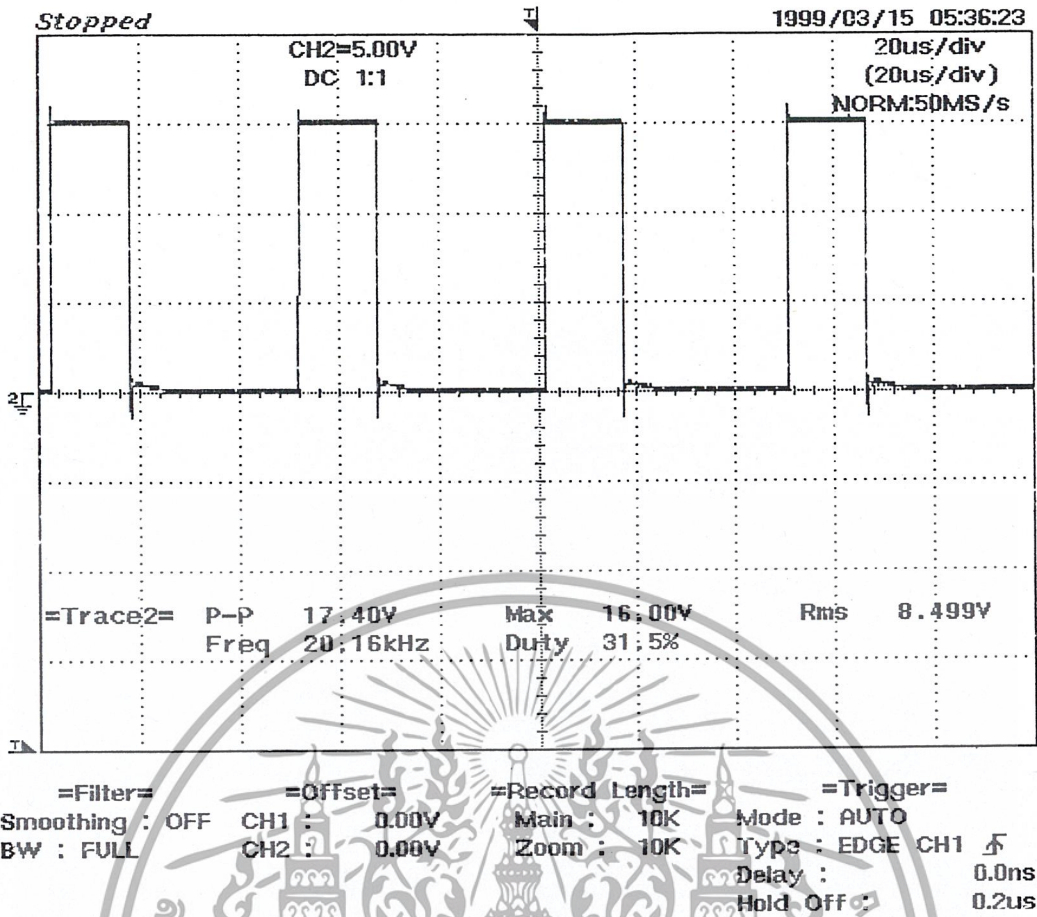
รูปที่ 7.4 สัญญาณ Pulse ที่ออกจาก ไอซี MC14049 ที่ขา 10,12 (5V/div , 20 μ sec/div)



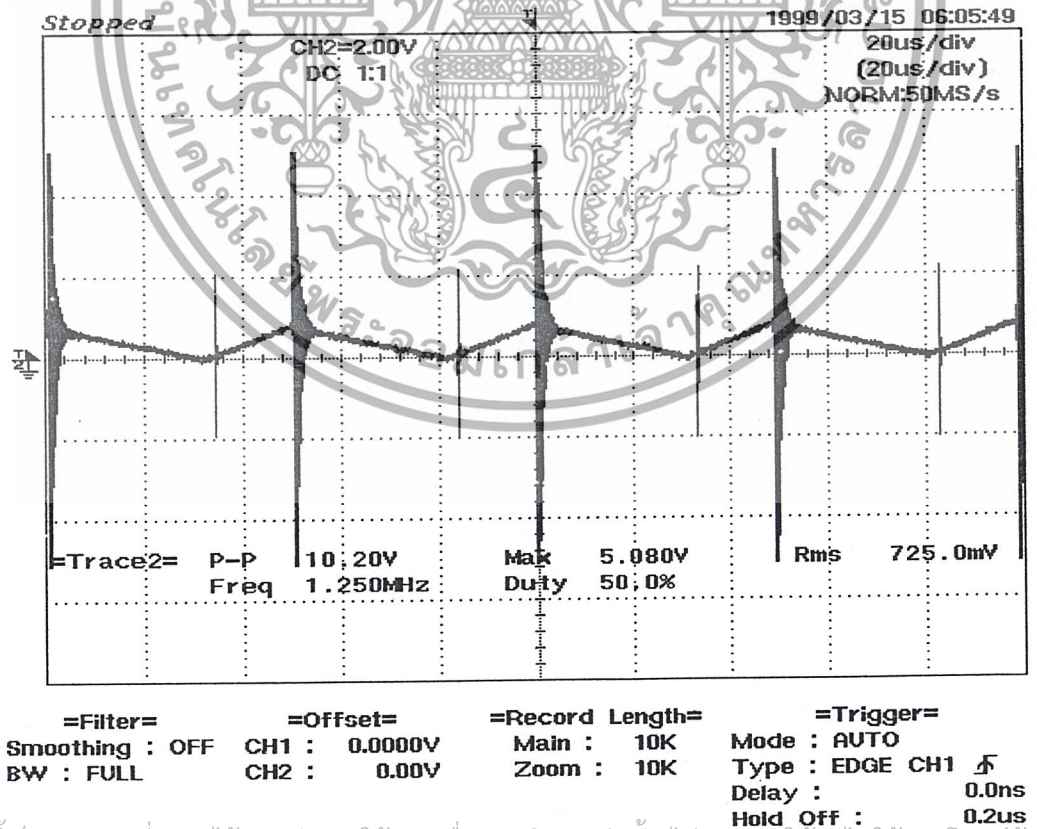
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

รูปที่ 7.5 สัญญาณ เปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ Pulse ที่ออกมาจาก ไอซี MC14049 (5V/div)

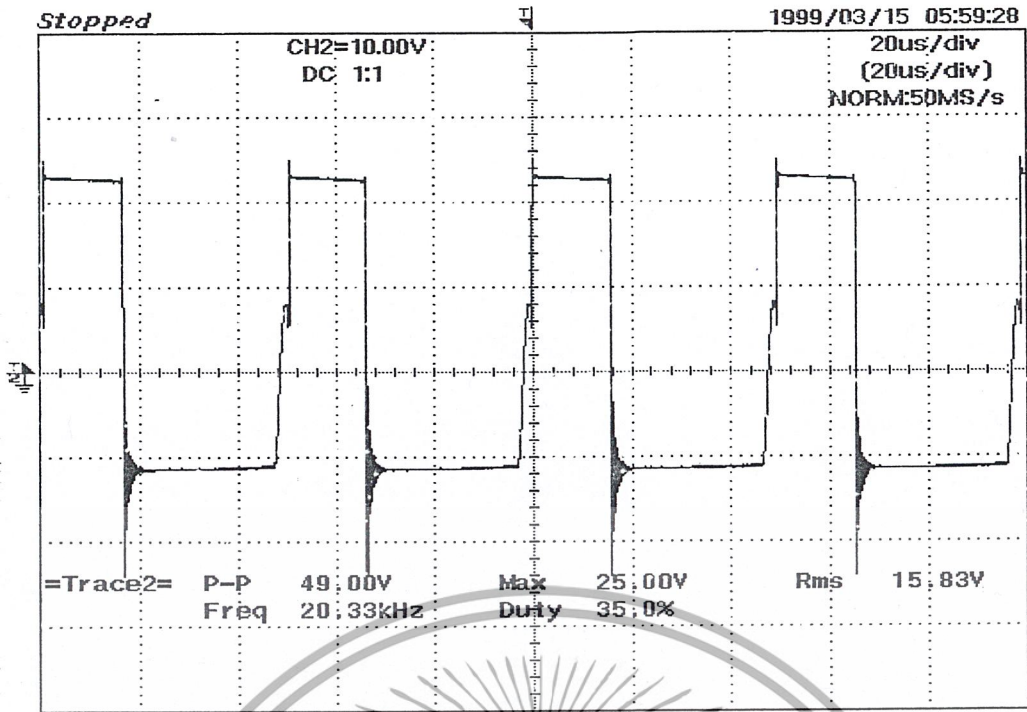
และสัญญาณ Saw Tooth ที่ได้จาก ไอซี TL494 (2V/div) ที่ความถี่ 20 kHz (20 μ sec/div) ด้านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 สัญญาณป้อนเข้าที่ขา gate (เกิด) กับ source (ซอร์ส) ที่ความถี่ 20 kHz (5V/div, 20µsec/div)

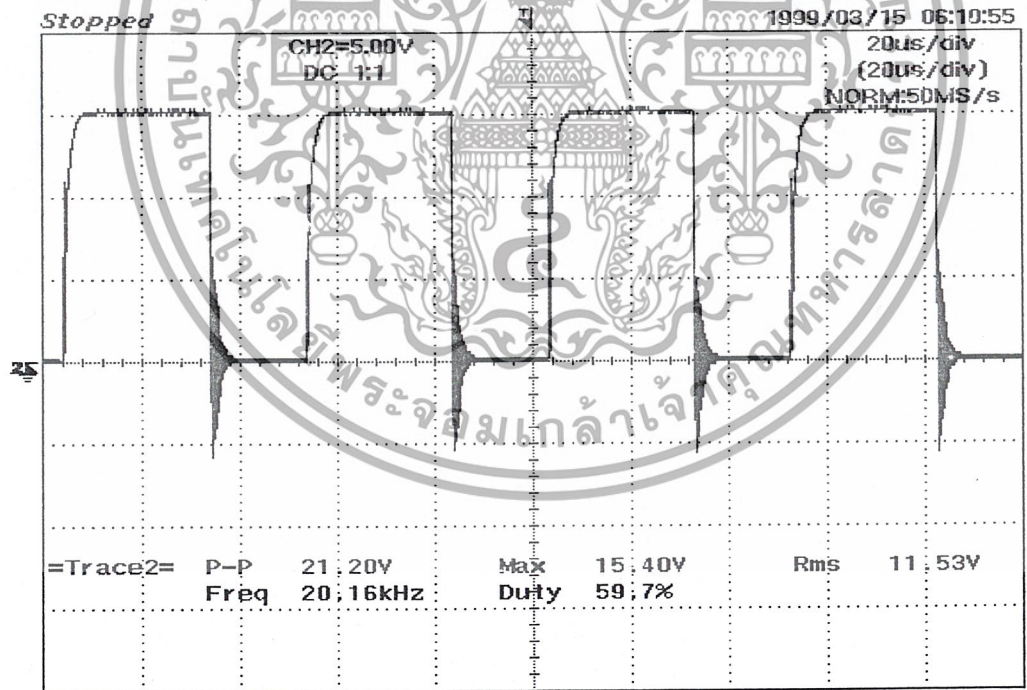


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 7.7 สัญญาณกระแสสกรรรมควมหนึยวนา (I_v) (2 V/div , 20µsec/div)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

รูปที่ 7.8 สัญญาณโวลเตจที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L) (5V/div, 20 μ sec/div)



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0000V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : 0.2us

รูปที่ 7.9 สัญญาณตกคร่อมขาคัดกับซอร์สในขณะที่เป็นBoost ที่ความถี่ 20 kHz (5V/div, 20 μ sec/div)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การทดสอบจ่ายโหลด

โหลดที่ใช้กับโครงการนี้เป็นโหลดไฟฟ้ลลอออเรสเซนท์ ขนาด 18 วัตต์ ต่อขนาดกัน โดยที่สถานะ Full Load จะเปิด 3 หลอดพร้อมกัน (พยายามตั้งกำลังจาก Solar Celi ประมาณ 50 วัตต์) โดยค่าที่วัดจะเป็น แรงดัน ไฟฟ้าที่ Input และ Output กระแสที่ Input และ Output ที่ช่วง No-load และ Full-load

ที่เวลาต่างๆ กำลังไฟฟ้าที่แสดงเป็นผลคูณของแรงดันและกระแส ประสิทธิภาพ(Eff.) คืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ Input กับ Output และ ค่า Regulation คือ Load Regulation ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\% \text{Load Regulation} = \frac{(V \text{ no load} - V \text{ full load}) * 100}{V \text{ no load}}$$

ตารางในหน้าถัดไปแสดงให้เห็นถึงผลการจับโหลดในช่วงวันๆหนึ่ง (8.30 – 16.00) ซึ่งจะเห็นว่าค่าการ Regulate และค่า Efficiency จะค่อนข้างต่ำ คือ

$$\text{ประสิทธิภาพเฉลี่ย (Average Efficiency)} = 20.44\%$$

$$\text{การ Regulate เฉลี่ย (Average Regulation)} = 59.66\%$$



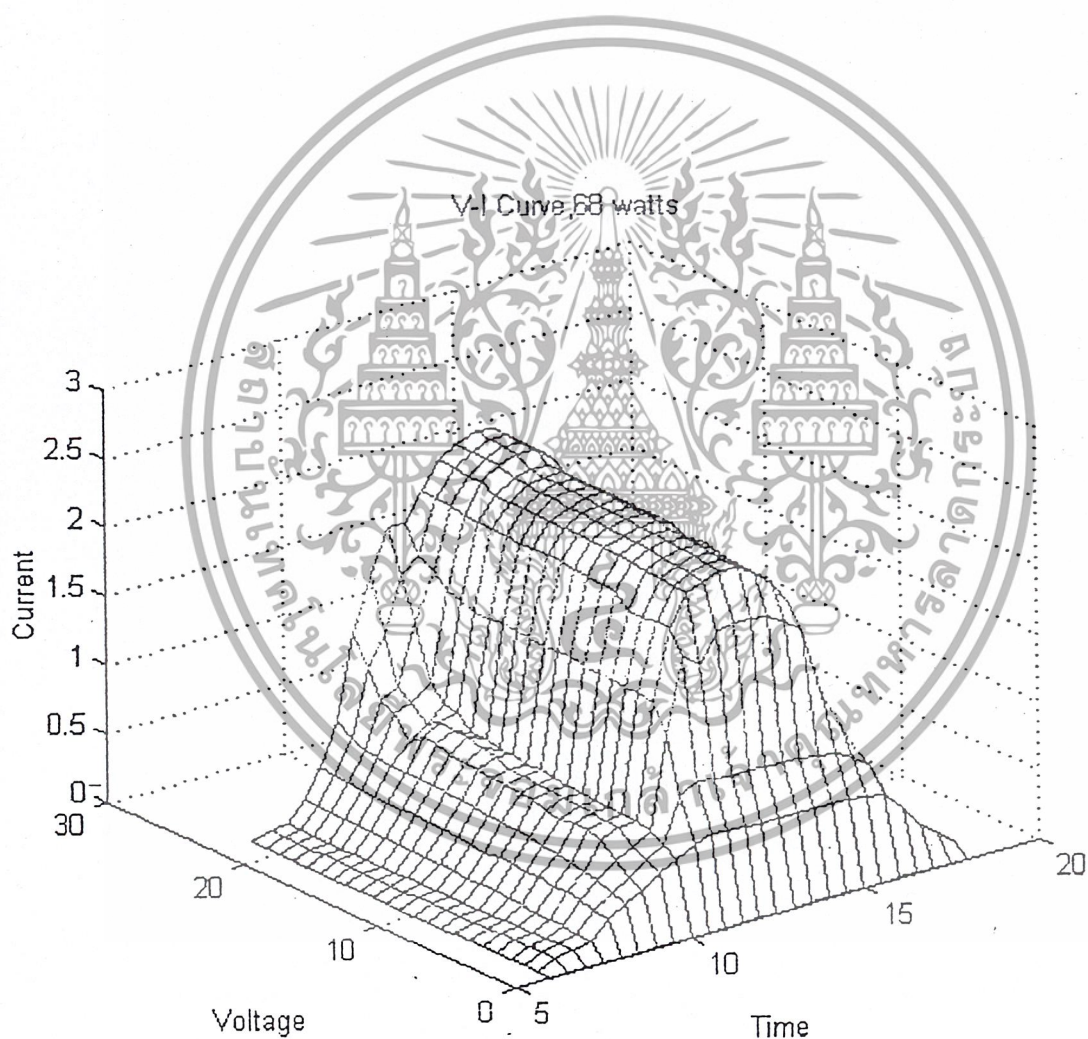
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	V in(Volt)		I in (Amp)		V out(Volt)		I out(Amp)		P in (watt)		P out (watt)		%Efficiency	% Regulation
	No load	Full loa	No load	Full loa	No load	Full loa	No load	Full loa	No load	Full loa	No load	Full load		
8:30 AM	51.0	46.0	0.3	0.9	19.1	6.8	0.0	1.2	15.3	41.4	0.0	8.2	20.2	64.4
9:00 AM	51.6	46.0	0.3	0.9	19.0	6.9	0.0	1.2	15.5	41.4	0.0	8.3	20.0	63.7
9:30 AM	51.6	46.6	0.3	1.0	19.1	7.1	0.0	1.4	15.5	46.6	0.0	9.9	21.3	62.8
10:00 AM	52.2	47.8	0.4	1.1	19.1	7.2	0.0	1.4	20.9	52.6	0.0	10.1	19.2	62.3
10:30 AM	52.0	48.8	0.4	1.1	19.1	7.3	0.0	1.4	20.8	53.7	0.0	10.2	19.0	61.8
11:00 AM	52.0	48.8	0.4	1.1	19.1	7.6	0.0	1.4	20.8	53.7	0.0	10.6	19.8	60.2
11:30 AM	52.0	49.0	0.4	1.1	19.1	7.9	0.0	1.5	20.8	53.9	0.0	11.9	22.0	58.6
12:00 PM	52.4	49.0	0.4	1.2	19.1	8.4	0.0	1.5	21.0	58.8	0.0	12.6	21.4	56.0
12:30 PM	52.3	49.2	0.4	1.2	19.1	8.8	0.0	1.5	20.9	59.0	0.0	13.2	22.4	53.9
1:00 PM	52.5	49.2	0.4	1.2	19.2	9.3	0.0	1.5	21.0	59.0	0.0	14.0	23.6	51.6
1:30 PM	52.0	49.0	0.4	1.2	19.5	9.6	0.0	1.5	20.8	58.8	0.0	14.4	24.5	50.8
2:00 PM	52.0	49.1	0.4	1.2	19.1	9.0	0.0	1.5	20.8	58.9	0.0	13.5	22.9	52.9
2:30 PM	52.1	49.0	0.4	1.1	19.1	8.8	0.0	1.5	20.8	53.9	0.0	13.2	24.5	53.9
3:00 PM	52.0	48.8	0.4	1.1	19.1	8.3	0.0	1.5	20.8	53.7	0.0	12.5	23.2	56.5
3:30 PM	52.0	48.5	0.3	1.1	19.1	8.0	0.0	1.4	15.6	53.4	0.0	11.2	21.0	58.1
4:00 PM	51.1	48.0	0.3	1.1	19.0	7.4	0.0	1.4	15.3	52.8	0.0	10.4	19.3	61.1

บทที่ 8

Simulation

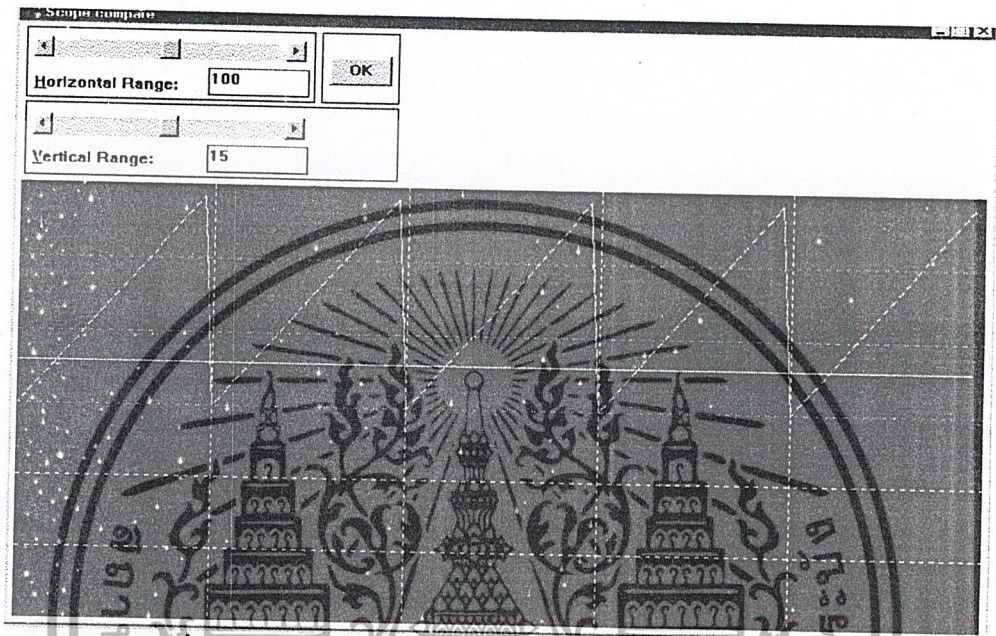
ในการ Simulation วงจรมันมีหลายโปรแกรมที่สามารถทำการ Simulation วงจรได้ เช่น Matlab , Schematics เป็นต้น ในโครงการนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งได้ทำการพล็อตกราฟเพื่อหาค่า Maximum Power Tracking ได้ทำการหาค่า Maximum Power Tracking จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 68 watts จำนวน 3 แผง ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 8.1



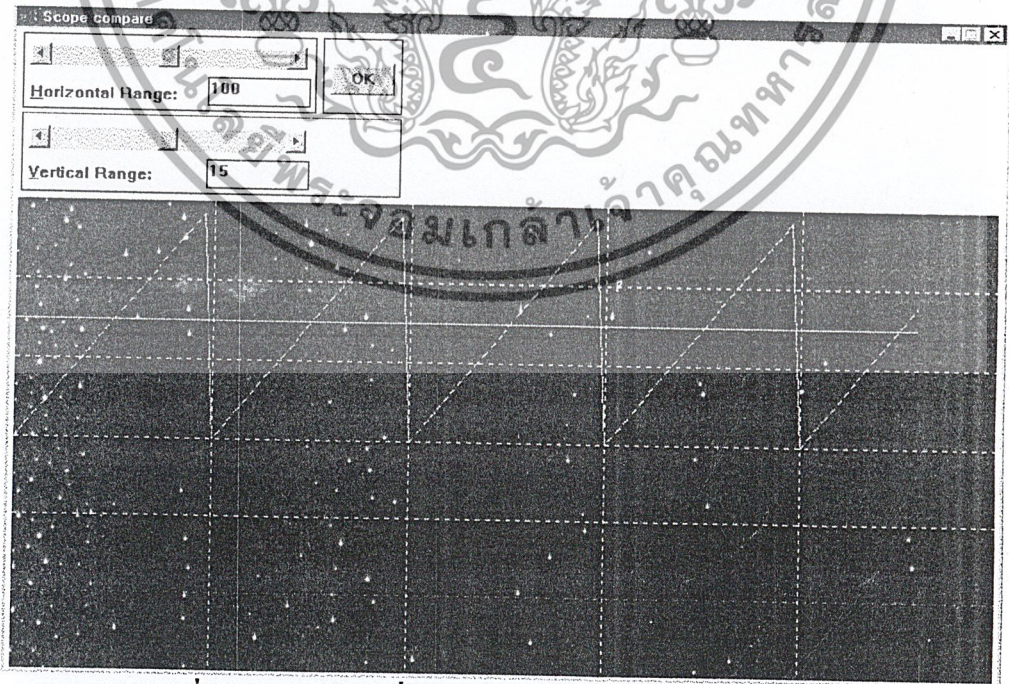
รูปที่ 8.1 กราฟ V-I Curve ของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 68 watts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถทำการ Simulation วงจรที่ได้เลือกใช้ในโครงการนี้ คือ วงจร Buck-Boost Converter โดยมีการควบคุมการทำงานโดย Feedback ที่ป้อนกลับเข้ามาเพื่อตัดกับ Saw Tooth ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากตัว TL494 ณ ค่าต่าง ๆ ดังรูป เพื่อรักษาระดับของ Output ที่เราต้องการ ในโครงการนี้ได้ตั้งค่าของ Output ไว้ที่ 24 Volts



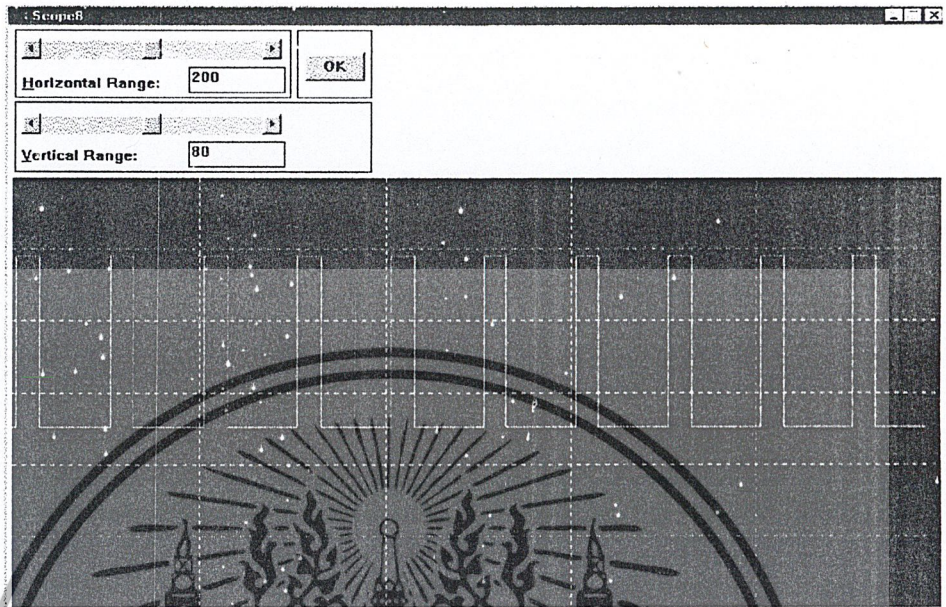
รูปที่ 8.2 แสดงกราฟที่ค่า Duty Cycle = 0.7 ตัดกับ Saw Tooth ใน TL494



รูปที่ 8.3 แสดงกราฟที่ค่า Duty Cycle = 0.5 ตัดกับ Saw Tooth ของ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เมื่อนำค่า Output ที่ได้ Feedback กลับไปเพื่อควบคุมค่า Output ให้ได้ตามที่เราต้องการนั้น
 ค่าของ โวลเตจที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำนั้นและค่าของ Output ที่ได้ ณ ค่า Duty Cycle ต่างๆ จะได้ดังรูป

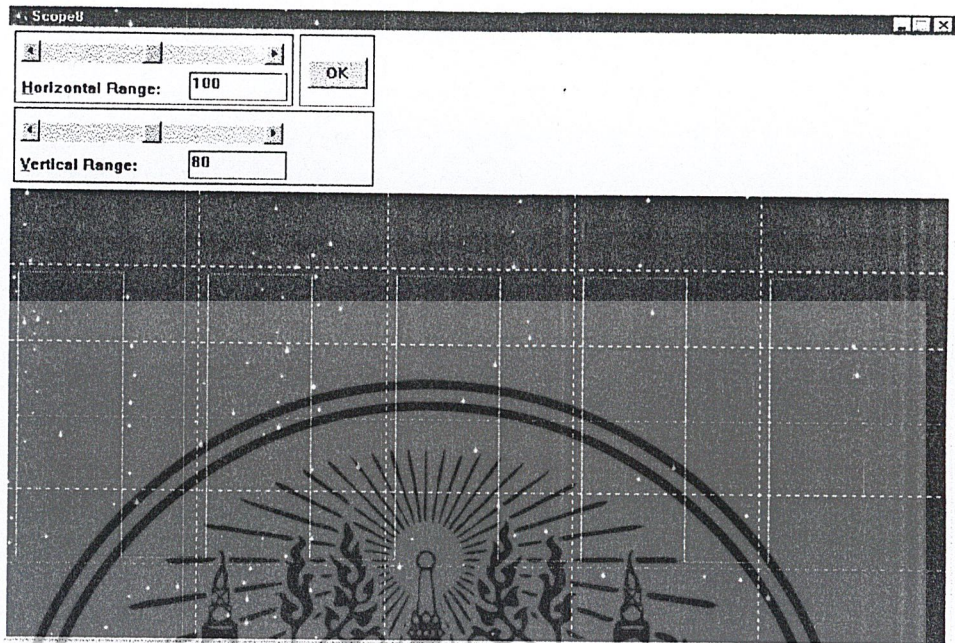


รูปที่ 8.4 แสดงกราฟที่ค่า Duty Cycle = 0.2 ที่ตัดกับ Saw Tooth แล้ว

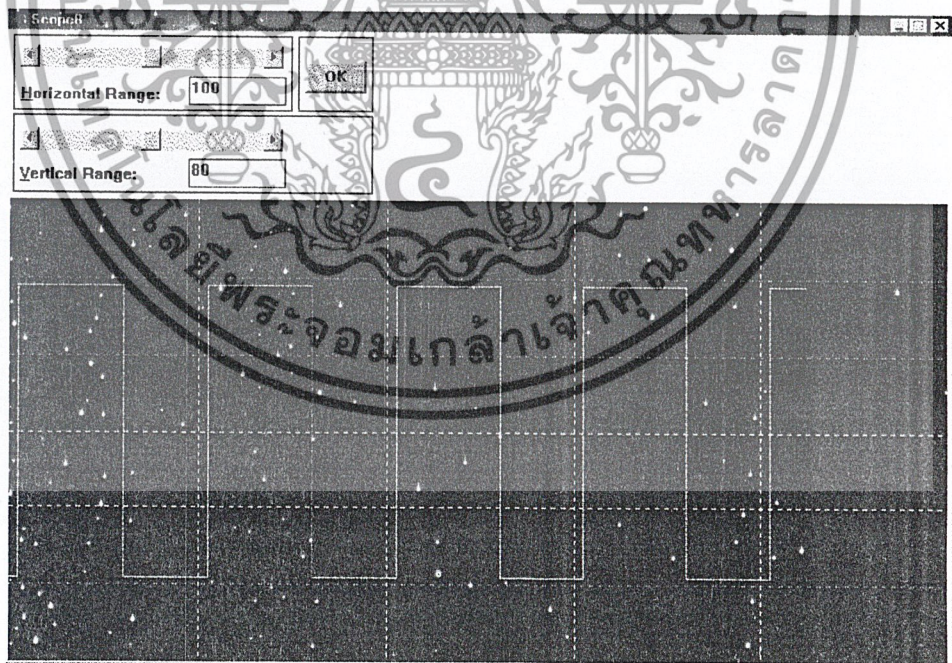


รูปที่ 8.5 แสดงกราฟของ Output ที่ได้ที่ค่า Duty Cycle = 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

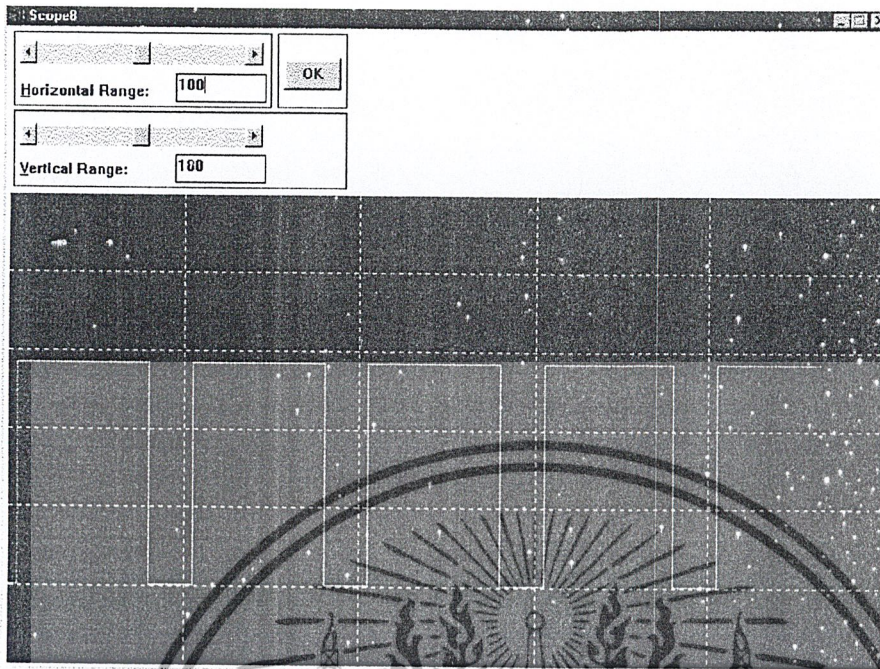


รูปที่ 8.6 แสดงกราฟของ Duty Cycle = 0.5 ตัดกับ Saw Tooth แล้ว

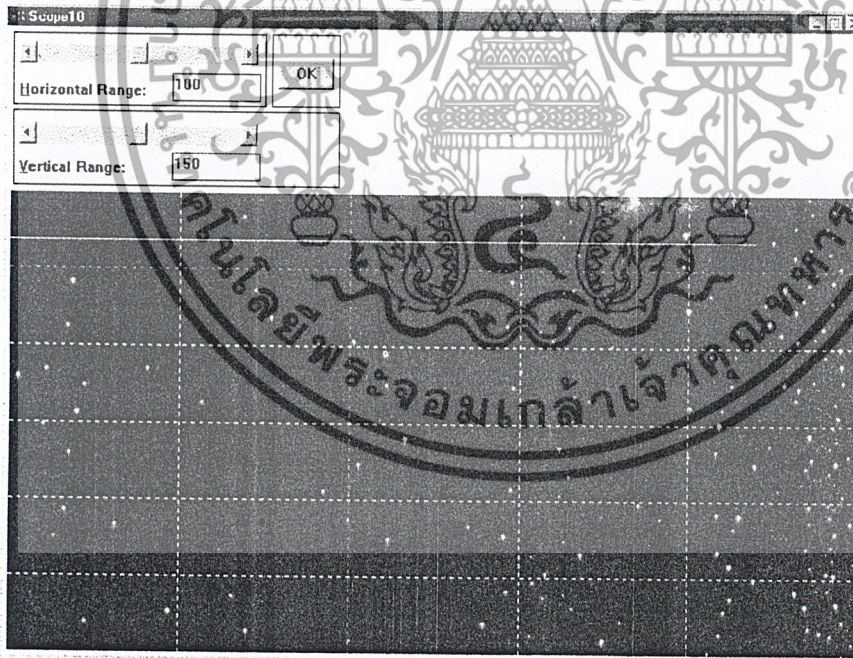


รูปที่ 8.7 แสดงกราฟของ Output ณ ค่า Duty Cycle = 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.7 แสดงกราฟของ Output ณ ค่า Duty Cycle = 0.7



รูปที่ 8.8 กราฟแสดงค่า Output ที่ได้ ณ ค่า Duty Cycle = 0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า “ค่าอินทิกรัลของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งคาบเวลาจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อ $T_S = t_{on} + t_{off}$ “ จะได้สมการดังนี้

$$\int_0^{T_S} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_S} V_L dt = 0 \quad (7.1)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปและวิจารณ์

จากการทดลองหา V-I Curve ของแผงโซลาร์เซลล์ กราฟที่ได้เราสามารถนำมาหาค่า P_{max} ของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผงได้ ซึ่งในโครงการนี้ทำได้โดยการหาด้วยวิธีการเลือกค่า P_{max} ด้วยการประมาณค่าของเส้นสัมผัสกับ V-I Curve ซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลซึ่งถูกต้องมีความน่าเชื่อถือนั้นจะต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการหาค่าที่จะ P_{max}

ส่วนของการทดลองต่อวงจรสัญญาณควบคุม MOSFET นั้นสัญญาณที่ได้นั้นยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอ ทั้งยังมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณอยู่ ตัวอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจรนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับปานกลางและอาจจะผิดพลาดจากส่วนอื่นๆ

การส่งสัญญาณป้อนกลับมีความยุ่งยากเนื่องจากการที่วงจร Buck-Boost มีสัญญาณไฟขาออกเป็นลบ ทำให้การวัดสัญญาณมีความยุ่งยาก ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบ และการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออก

ปัญหาและอุปสรรคที่พบในโครงการ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด มีไม่เพียงพอต่อการใช้งาน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีความไม่เสถียร
3. สภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการทดลอง
4. แผงโซลาร์เซลล์มีความแพงทำให้ไม่เห็นข้อแตกต่างของโซลาร์เซลล์ที่ทำมาจากสารแต่ละชนิด
5. สถานที่ทำโปรเจกต์ยังไม่เอื้ออำนวยต่อการทำโครงการ

แนะแนวทางการแก้ไขและข้อเสนอ

1. ควรมีการเพิ่มจำนวนเครื่องมือให้เพียงพอกับจำนวนนักศึกษา
2. ควรมีการตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์ตามระยะสมควร
3. ควรมีการจัดเก็บชิ้นงานที่ทำผ่านมาแล้วไว้ศึกษาถึงการทำงานนั้นๆ
4. การแก้ไขเกี่ยวกับสัญญาณป้อนกลับ จะมีทางแก้ไขที่เป็นไปได้คือการต่อวงจรกลับขั้วสัญญาณที่วัดมาก่อน หรือ ไม่ก็ทำการแยกกราวด์วงจรกำลังจากวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MOHAN , UNDELAND ,BOBINS , " Power Electronics " , New York , John Wiley & Sons , 2nd Edition , 1995.
- [2] H.W. Whittington , B.W. Flynn , D.E. Macpherson, " Switched Mode Power Supplies design and Construction " , New York , John Wiley & Sons , 1992.
- [3] F Lasnier , TG Ang , " Photovoltaic Engineering Handbook" , England, IOP Publishing Lid Techo House , 1990.
- [4] สุวัฒน์ แซ่ตั้ง , "สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย" , ฝ่ายวิจัยและพัฒนาบริษัท เอนเทิลไทย จำกัด, 2535.
- [5] Edward M.Nall , " Wind/Solar Energy for Radio Communications and Low Power Electrical Systems" , 2nd Edition , 1981 Sams Publications , pp179-180 , USA'
- [6] James B. Dabney & Thomas L.Harman , "Mastering Simulink" , The MATLAB Curriculum, New Jersey , Prentice Hall , United States of America , 1998.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและชี้แนะจากบุคคลเหล่านี้ ซึ่งทางผู้จัดทำรายงานก็ขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

- คร.วีระเชษฐ ชันเงิน ผู้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างยอดเยี่ยม
- คร. วิจิตร กิมเรศ ผู้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในเวลาที่คร.วีระเชษฐ เดินทางไปต่างประเทศ
- อ. สุรินทร์ (พี่อ้อด) ที่เป็นทั้งพี่ และครูที่ดีทั้งสองอย่าง
- พี่โทมัส ผู้ให้ความรู้เรื่อง SMPS อย่างลึกซึ้ง
- Store ภาคไฟฟ้า
- เพื่อนๆที่ทำโครงการคล้ายๆกันและแบ่งปันข้อมูลกันใช้
- คณะกรรมการฯ ที่สร้างความหวาดเสียวให้ได้ทั้งสองภาคการศึกษา
- ครอบครัวของผู้ทำโครงการทั้งคู่ครอบครัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

TL494

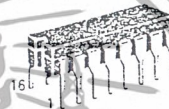
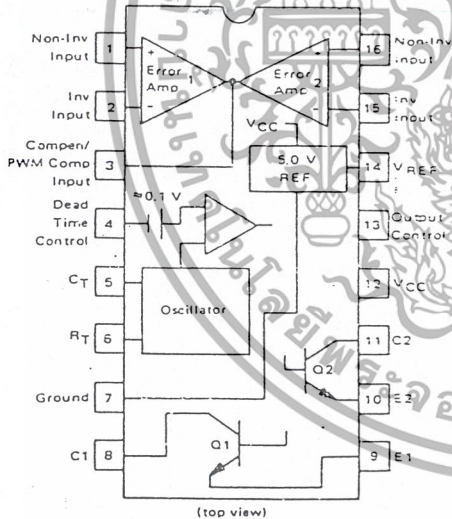
SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for Switchmode power supply control. This device features:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS



J SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 620-10



N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 649-08

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN	0° to +70°C	Plastic DIP
TL494CJ	0° to +70°C	Ceramic DIP
TL494IN	-25° to +85°C	Plastic DIP
TL494IJ	-25° to +85°C	Ceramic DIP
TL494MJ	-55° to +125°C	Ceramic DIP

The TL494C is specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494I is specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494M is specified over the full military range of -55°C to 125°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 1 — BLOCK DIAGRAM

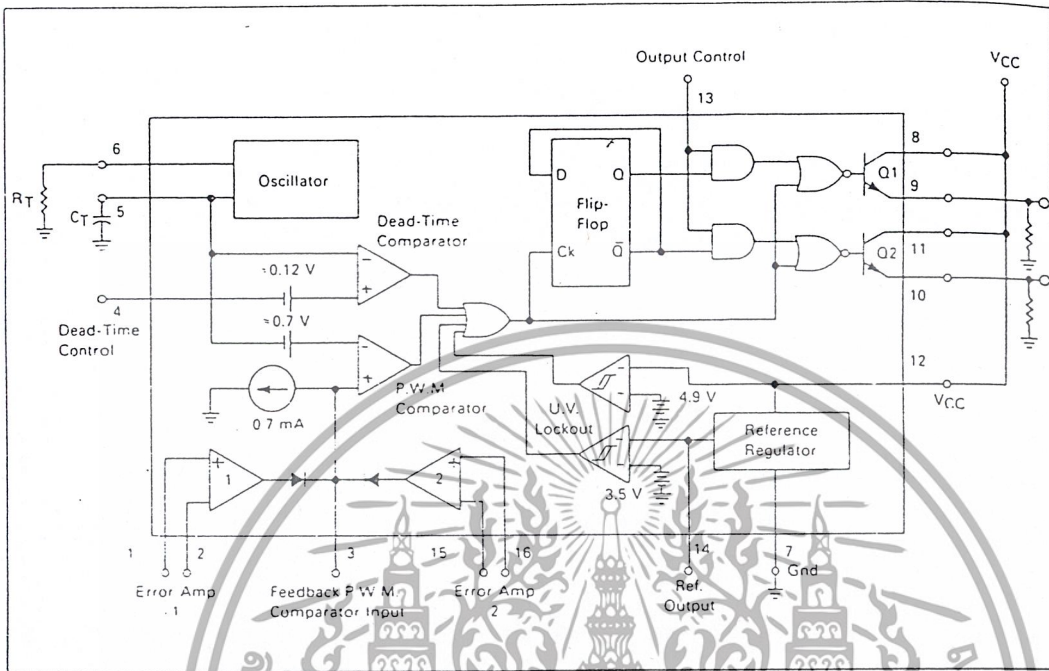
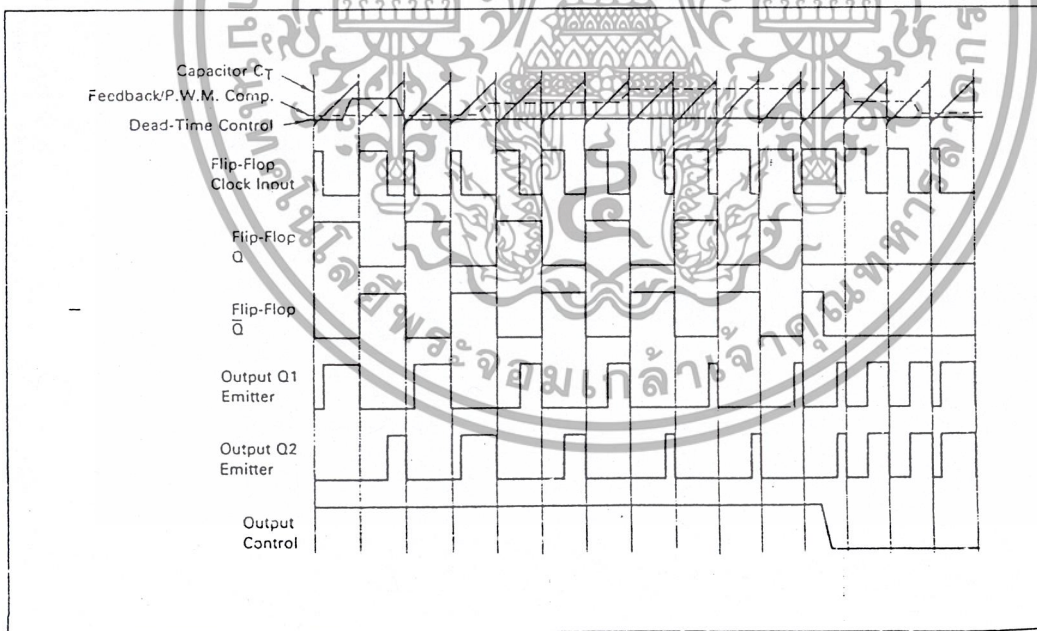


FIGURE 2 — TIMING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies unless otherwise noted)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	TL494M	Unit	
Power Supply Voltage	V _{CC}	42	42	42	V	
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42	42	42	V	
Collector Output Current (each transistor) (1)	I _{C1} , I _{C2}	500	500	500	mA	
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to 42	-0.3 to 42	-0.3 to 42	V	
Power Dissipation (at T _A ≤ 45°C)	P _D	1000	1000	1000	mW	
Operating Junction Temperature	T _J	Plastic Package	125	125	—	°C
		Ceramic Package	150	150	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to 70	-25 to 85	-55 to 125	°C	
Storage Temperature Range	T _{stg}	Plastic Package	-55 to 125	-55 to 125	—	°C
		Ceramic Package	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C

NOTE 1: Maximum thermal limits must be observed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	N Suffix Plastic Package	J Suffix Ceramic Package	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{JA}	80	100	°C/W
Derating Ambient Temperature	T _A	45	50	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage	V _{CC}	7.0	16	40	V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	—	30	40	V
Collector Output Current (each transistor)	I _{C1} , I _{C2}	—	—	200	mA
Amplifier Input Voltage	V _{in}	-0.3	—	V _{CC} - 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I _{fb}	—	—	0.3	mA
Reference Output Current	I _{ref}	—	—	10	mA
Timing Resistor	R _T	1.3	30	500	kΩ
Timing Capacitor	C _T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f _{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)

For typical values T_A = 25°C, for min-max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

*Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
—	—	—	—	—	—	—	—	—

REFERENCE SECTION

Reference Voltage (I _O = 1.0 mA)	V _{ref}	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation (V _{CC} = 7.0 V to 40 V)	Reg _{line}	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Load Regulation (I _O = 1.0 mA to 10 mA)	Reg _{load}	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short-Circuit Output Current (V _{ref} = 0 V)	I _{SC}	15	35	75	15	35	75	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Threshold Voltage (Zero duty cycle)	V_{TH}	—	3.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{Pin\ 3} = 0.7\text{ V}$)	I_{I-}	0.3	0.7	—	mA
DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ to }5.25\text{ V}$)	$I_{IB}\text{ (DT)}$	—	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45 —	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{TH}	— 0	2.8 —	3.3 —	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	$\sigma_{f_{osc}}$	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta V)$	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}\text{ to }T_{high}$) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta T)$	—	—	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} Increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All Other Inputs and Outputs Open) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	I_{CC}	— —	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($V_{Pin\ 4} = 2.0\text{ V}$) (See Figure 12) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$)	—	—	7.0	—	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 4 — OSCILLATOR FREQUENCY versus TIMING RESISTANCE

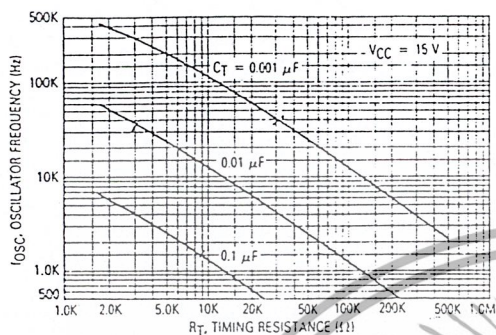


FIGURE 5 — OPEN-LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE versus FREQUENCY

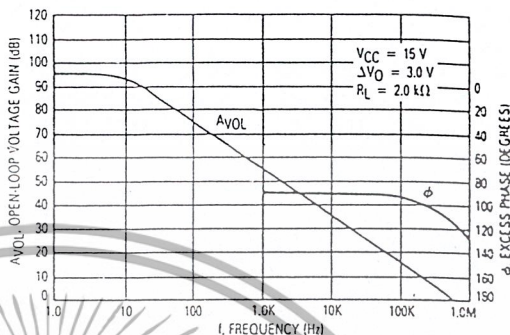


FIGURE 6 — PERCENT DEAD-TIME versus OSCILLATOR FREQUENCY

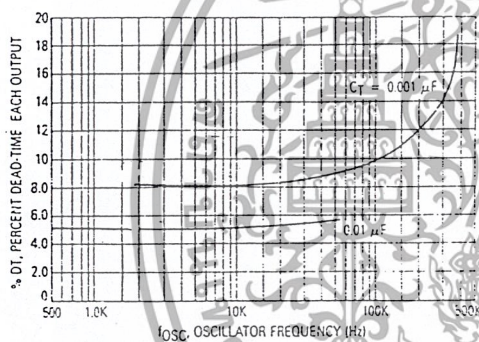


FIGURE 7 — PERCENT DUTY CYCLE versus DEAD-TIME CONTROL VOLTAGE

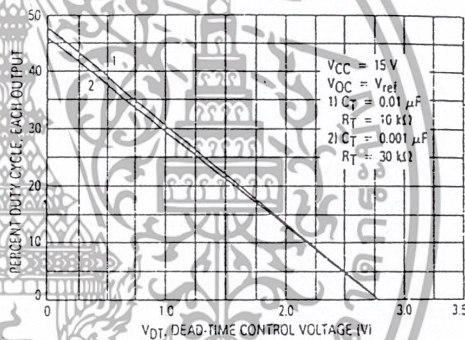


FIGURE 8 — EMITTER FOLLOWER CONFIGURATION OUTPUT SATURATION VOLTAGE versus EMITTER CURRENT

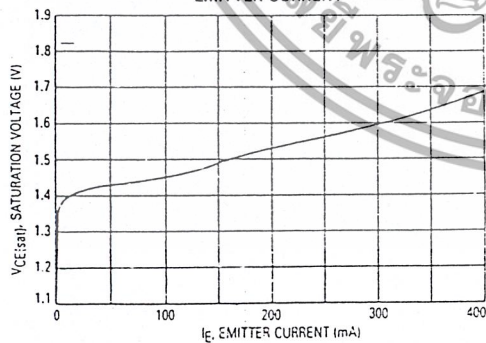
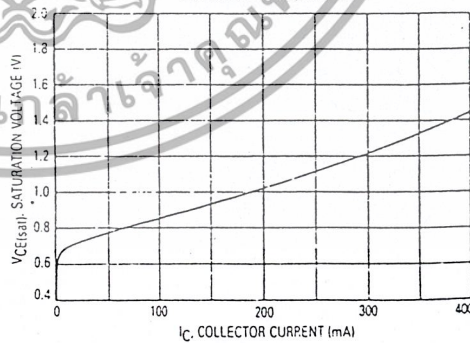


FIGURE 9 — COMMON EMITTER CONFIGURATION OUTPUT SATURATION VOLTAGE versus COLLECTOR CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 10 — STANDBY SUPPLY CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE

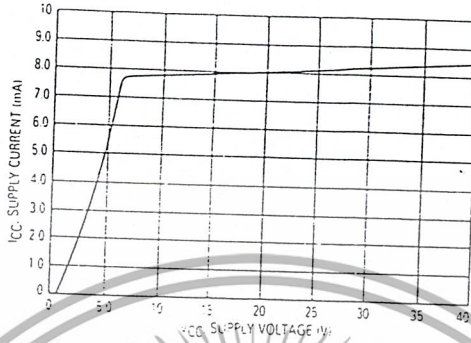


FIGURE 11 — ERROR AMPLIFIER CHARACTERISTICS

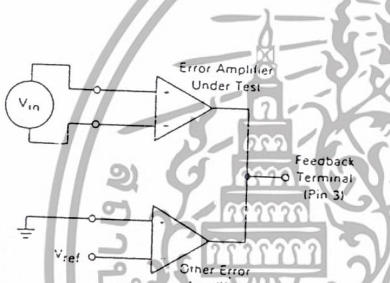


FIGURE 12 — DEAD-TIME AND FEEDBACK CONTROL TEST CIRCUIT

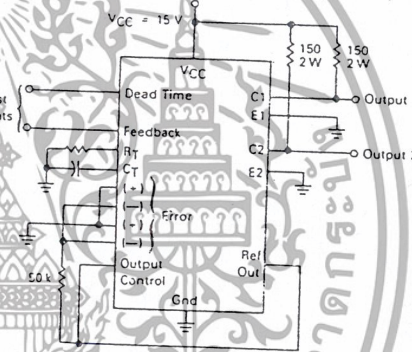


FIGURE 13 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM

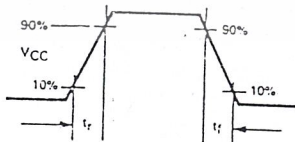
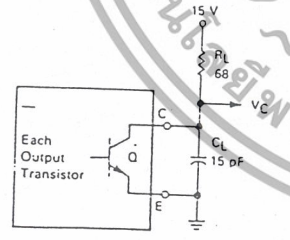
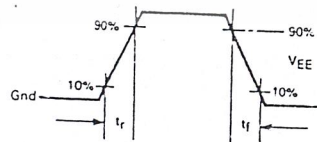
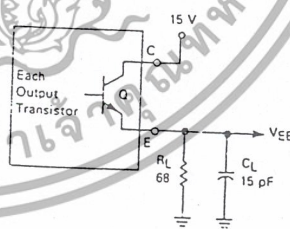


FIGURE 14 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	

OUTPUT SECTION

Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_{CE} = 40\text{ V}$)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0\text{ V}$)	$I_{E(off)}$	—	—	-100	—	—	-150	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (2) Common-Emitter ($V_E = 0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) Emitter-Follower ($V_C = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$)	$V_{SAT(C)}$	—	1.1	1.3	—	1.1	1.5	V
	$V_{SAT(E)}$	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4\text{ V}$) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL}	—	10	—	—	10	—	μA
	I_{OCH}	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_r	—	100	200	—	100	200	ns
	t_f	—	100	200	—	100	200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_f	—	25	100	—	25	100	ns
	t_r	—	40	100	—	40	100	ns

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	

ERROR AMPLIFIER SECTIONS

Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 2) = 2.5 V)	I_{IO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	—	-0.1	-1.0	μA
Input Common-Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	-0.3 to $V_{CC} - 2.0$	—	—	V
Open-Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\text{ to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_c	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5\text{ to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	-2.0	-4.0	—	mA

NOTE 2: Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperatures as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 15 — ERROR-AMPLIFIER SENSING TECHNIQUES

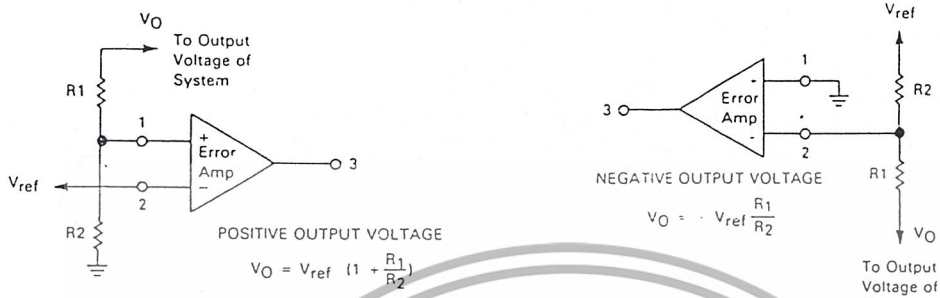


FIGURE 16 — DEAD-TIME CONTROL CIRCUIT

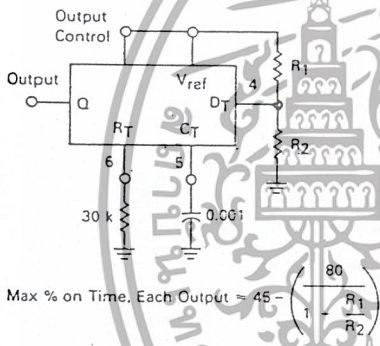


FIGURE 17 — SOFT-START CIRCUIT

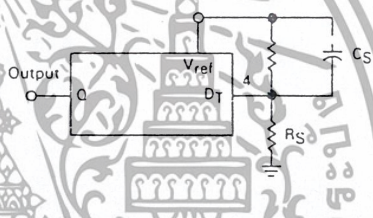
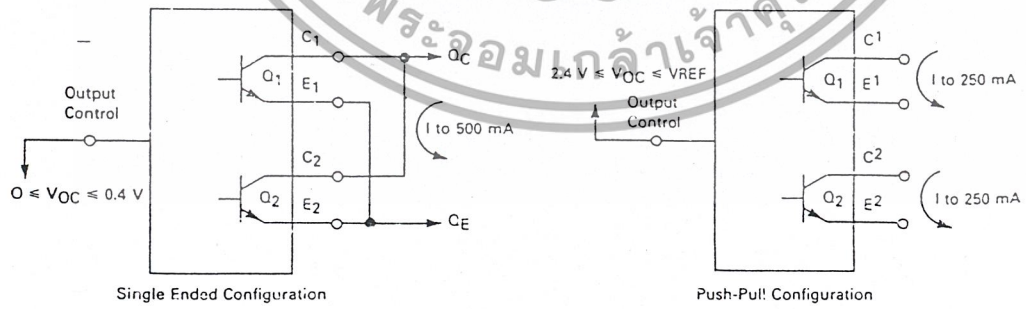


FIGURE 18 — OUTPUT CONNECTIONS FOR SINGLE-ENDED AND PUSH-PULL CONFIGURATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 19 — SLAVING TWO OR MORE CONTROL CIRCUITS

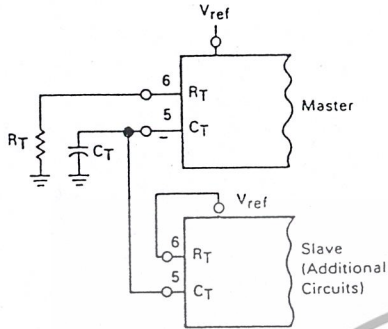


FIGURE 20 — OPERATION WITH $V_{in} > 40\text{ V}$ USING EXTERNAL ZENER

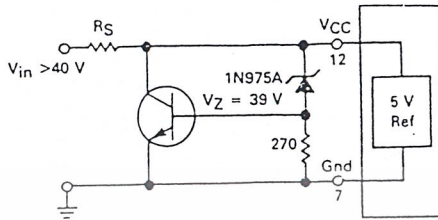
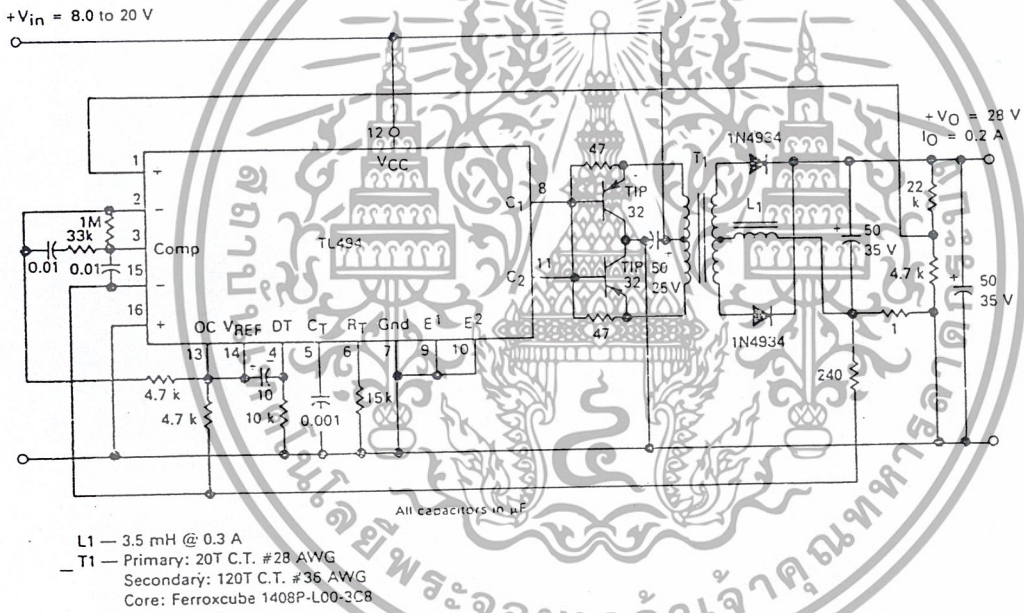


FIGURE 21 — PULSE-WIDTH MODULATED PUSH-PULL CONVERTER

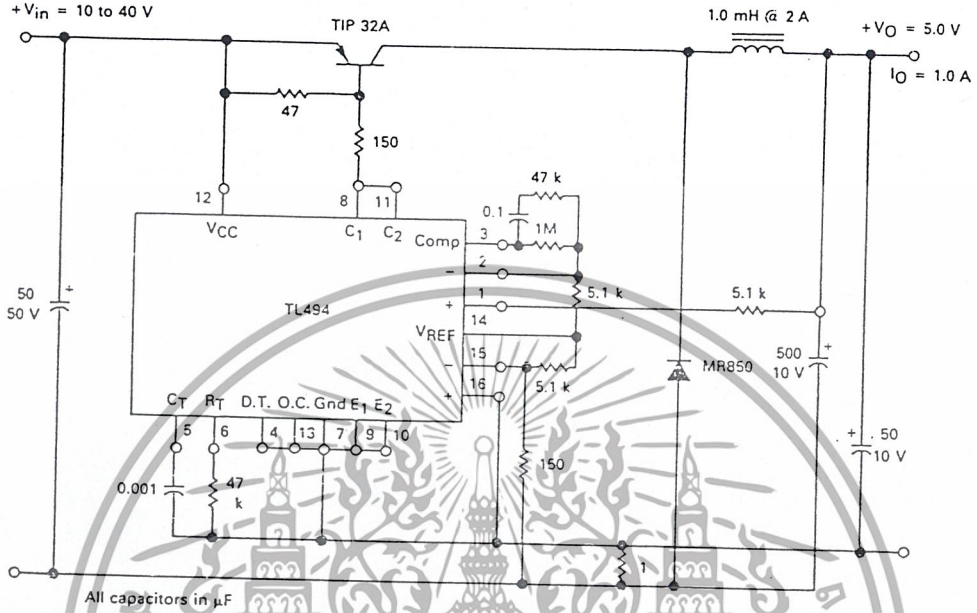


TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to }40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1\text{ mA to }1\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV P-P P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V}, R_L = 0.1\ \Omega$	1.6 amps
Efficiency	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1\text{ A}$	71%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

FIGURE 22 — PULSE-WIDTH MODULATED STEP-DOWN CONVERTER



TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV p-P P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 4.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the timing diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the dead-time control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The dead-time control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output dead time to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional dead time may be imposed on the output by setting the dead time control input to a fixed voltage, ranging between 0 to 3.3 V.

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the dead time control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 to 3.5 V. Both error amplifiers have a common-mode input range from -0.3 V to ($V_{CC} - 2V$), and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the non-inverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the dead-time comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 1.5\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0 to 70°C.

FIGURE 3 — FUNCTIONAL TABLE

Input Output Control	Output Function	$\frac{V_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended P.W.M. at Q1 and Q2	1
At V_{ref}	Push-pull operation	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International IR Rectifier

Data Sheet No. PD-6.030C

IR2113

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
 - Fully operational to +600V
 - Tolerant to negative transient voltage
 - dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- Separate logic supply range from 5 to 20V
 - Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

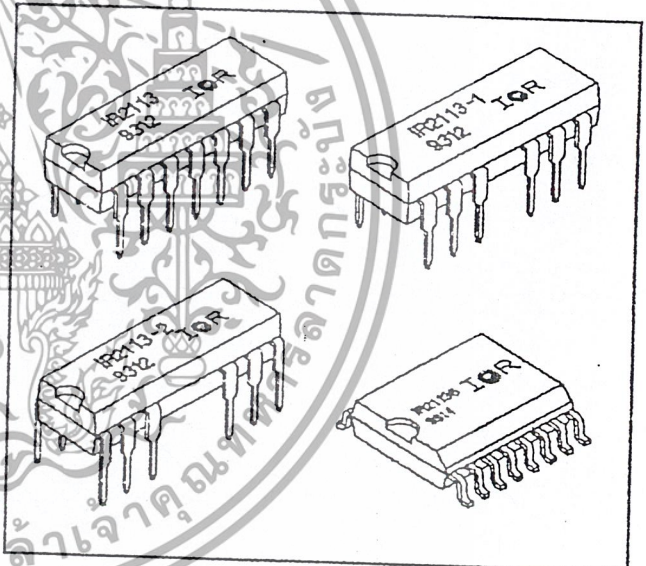
Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off} (typ.)$	120 & 94 ns
Delay Matching	10 ns

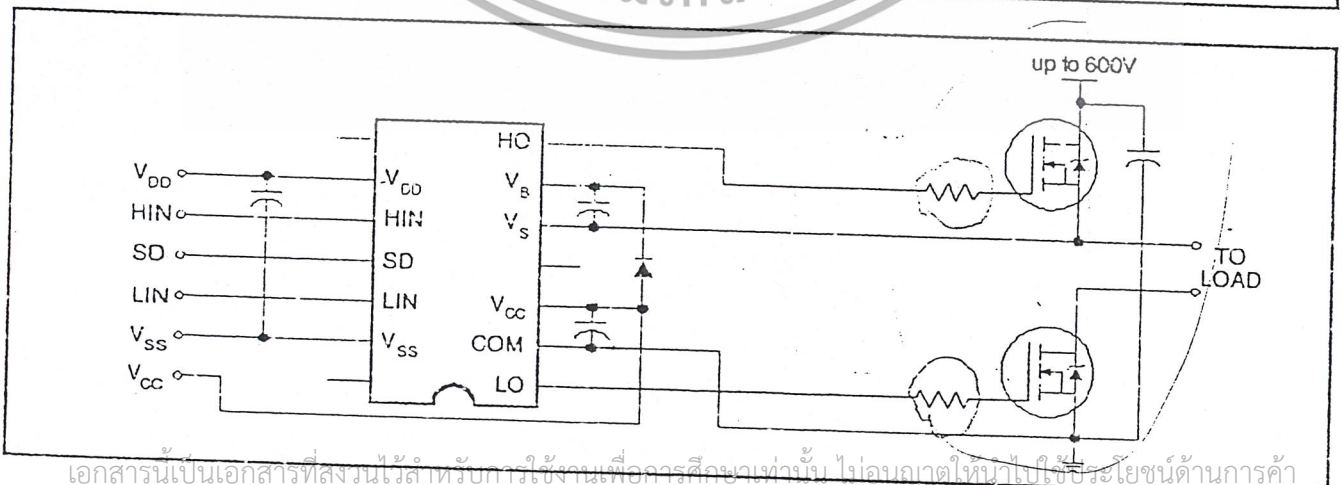
Description

The IR2113 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2113

Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V _B	High Side Floating Supply Voltage	-0.3	625	V
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	V _B - 25	V _B + 0.3	
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3	
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	-0.3	25	
V _{LO}	Low Side Output Voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3	
V _{DD}	Logic Supply Voltage	-0.3	V _{SS} + 25	
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3	
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3	
dV _S /dt	Allowable Offset Supply Voltage Transient (Figure 2)	—	50	V/ns
P _D	Package Power Dissipation @ T _A ≤ +25°C (14 Lead DIP)	—	1.6	W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	1.5	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	1.6	
	(16 Lead SOIC)	—	1.25	
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient (14 Lead DIP)	—	75	°C/W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	85	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	75	
	(16 Lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction Temperature	—	150	°C
T _S	Storage Temperature	-55	150	
T _L	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figures 36 and 37.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V _B	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	600	
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20	
V _{LO}	Low Side Output Voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic Supply Voltage	V _{SS} + 5	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	-5	5	
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient Temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -5 to +600V. Logic state held for V_S of -5V to -V_BS.

B-62 CONTROL INTEGRATED CIRCUIT DESIGNERS' MANUAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}, V_{DD}) = 15V$, $C_L = 1000 \text{ pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{SS} = \text{COM}$ unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
t_{on}	Turn-On Propagation Delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-Off Propagation Delay	8	—	94	125		$V_S = 600V$
t_{sd}	Shutdown Propagation Delay	9	—	110	140		$V_S = 600V$
t_r	Turn-On Rise Time	10	—	25	35		
t_f	Turn-Off Fall Time	11	—	17	25		
MT	Delay Matching, HS & LS Turn-On/Off	—	—	—	10		

Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}, V_{DD}) = 15V$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{SS} = \text{COM}$ unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
V_{IH}	Logic "1" Input Voltage	12	9.5	—	—	μA	
V_{IL}	Logic "0" Input Voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High Level Output Voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low Level Output Voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset Supply Leakage Current	16	—	—	50		$V_B = V_S = 600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} Supply Current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V \text{ or } V_{DD}$
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} Supply Current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V \text{ or } V_{DD}$
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} Supply Current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V \text{ or } V_{DD}$
I_{IN+}	Logic "1" Input Bias Current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" Input Bias Current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output High Short Circuit Pulsed Current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V, V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu\text{s}$
I_{O-}	Output Low Short Circuit Pulsed Current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V, V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu\text{s}$

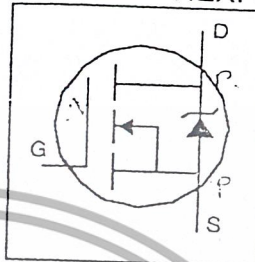
International IR Rectifier

PD-91351A

IRF530N

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

HEXFET® Power MOSFET

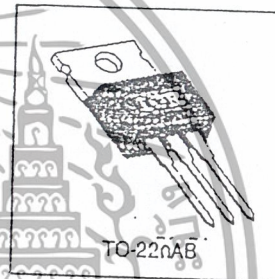


$V_{DS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 0.11\Omega$
$I_D = 17A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	17	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	12	
I_{DM}	60	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	79	W
	0.53	$W/^\circ C$
V_{GS}	± 20	V
E_{AS}	150	mJ
I_{AR}	9.0	A
E_{AR}	7.9	mJ
dv/dt	5.0	V/ns
T_J	-55 to +175	°C
T_{STG}		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf*in (1.1N*m)	

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	—	1.9	°C/W
R_{CS}	0.50	—	
R_{JA}	—	62	

5/13/98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRF530N

International
IGBT Rectifier

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

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	—	0.12	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	—	—	0.11	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 9.0A$ ①
$V_{GS(th)}$	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$ ②
g_{fs}	6.4	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 9.0A$
I_{DSS}	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
	—	—	250	μA	$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	—	—	44	nC	$I_D = 9.0A$
Q_{gs}	—	—	6.2	nC	$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	—	—	21	nC	$V_{GS} = 10V$. See Fig. 6 and 13 ③
$t_{d(on)}$	—	6.4	—	ns	$V_{DD} = 50V$
t_r	—	27	—	ns	$I_D = 9.0A$
$t_{d(off)}$	—	37	—	ns	$R_G = 12\Omega$
t_f	—	25	—	ns	$R_D = 5.5\Omega$. See Fig. 10 ④
L_D	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	—	7.5	—	nH	
C_{iss}	—	640	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	—	160	—	pF	$V_{GS} = 25V$
C_{rss}	—	88	—	pF	$f = 1.0MHz$. See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	—	—	17	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	—	—	60	A	
V_{SD}	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 9.0A, V_{GS} = 0V$ ①
t_{rr}	—	130	190	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 9.0A$
Q_{rr}	—	650	970	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ②

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② $V_{DD} = 25V$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 3.1mH$, $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 9.0A$. (See Figure 12)

③ $I_{SD} \leq 9.0A, di/dt \leq 520A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

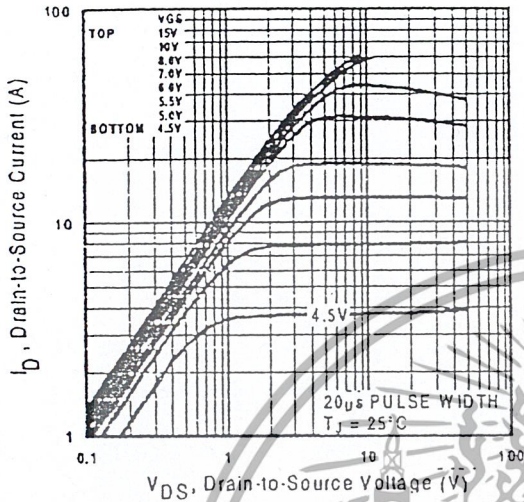


Fig 1. Typical Output Characteristics

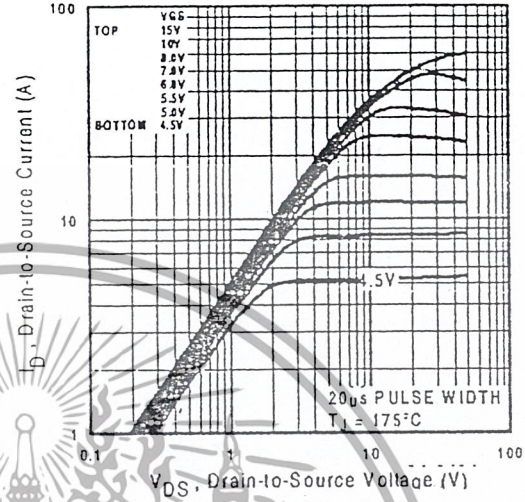


Fig 2. Typical Output Characteristics

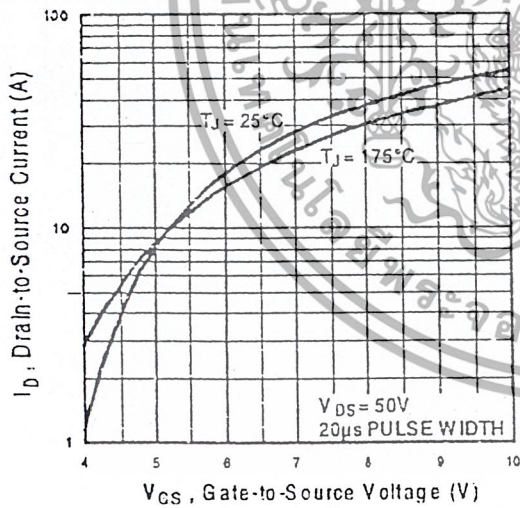


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

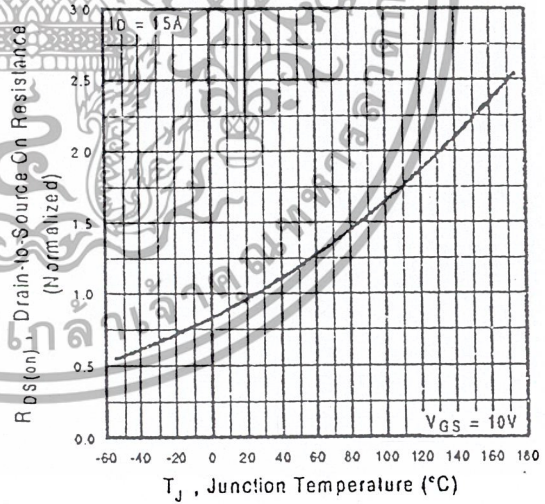


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

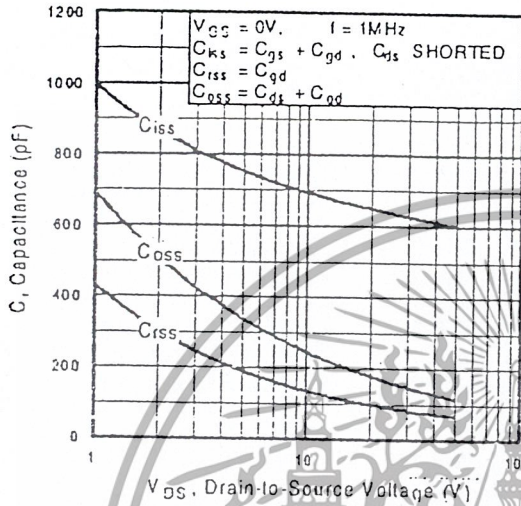


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

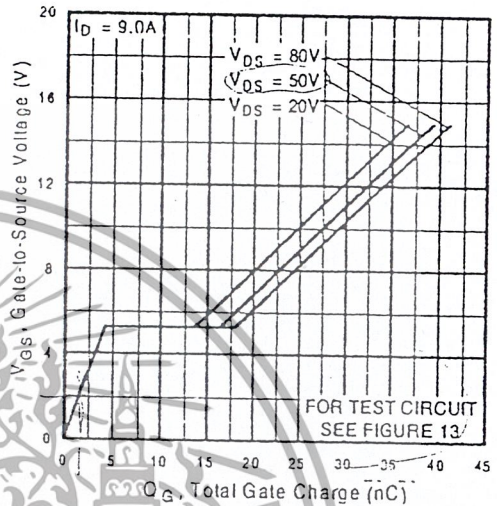


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

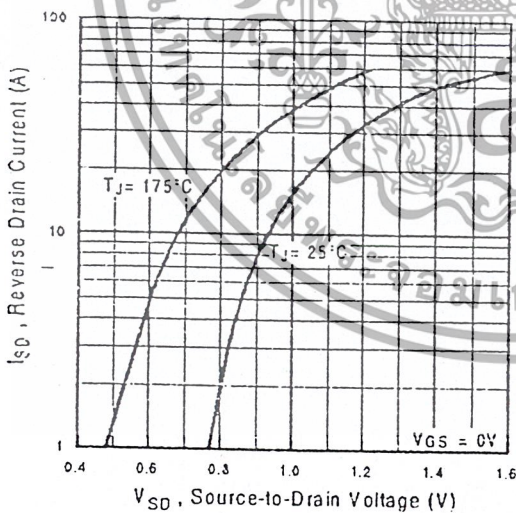


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

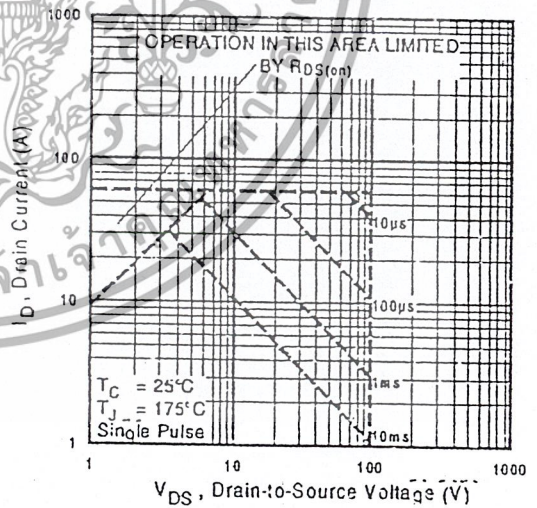


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

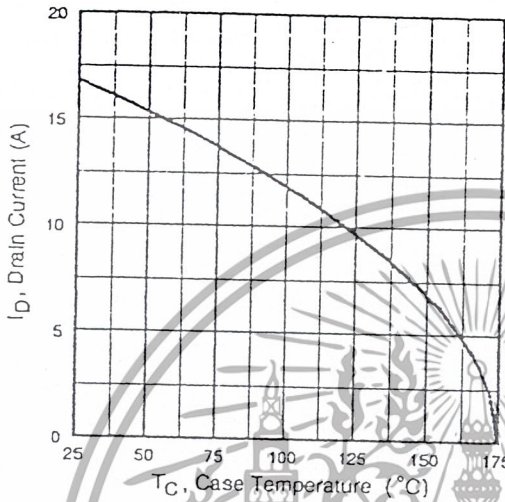


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

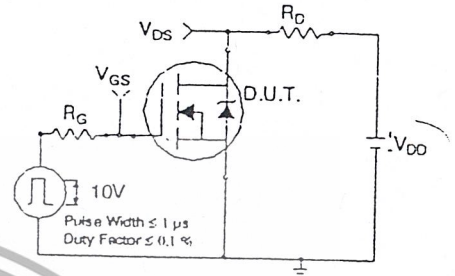


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

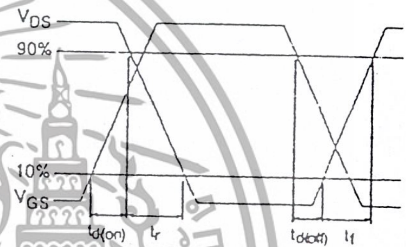


Fig 10b. Switching Time Waveforms

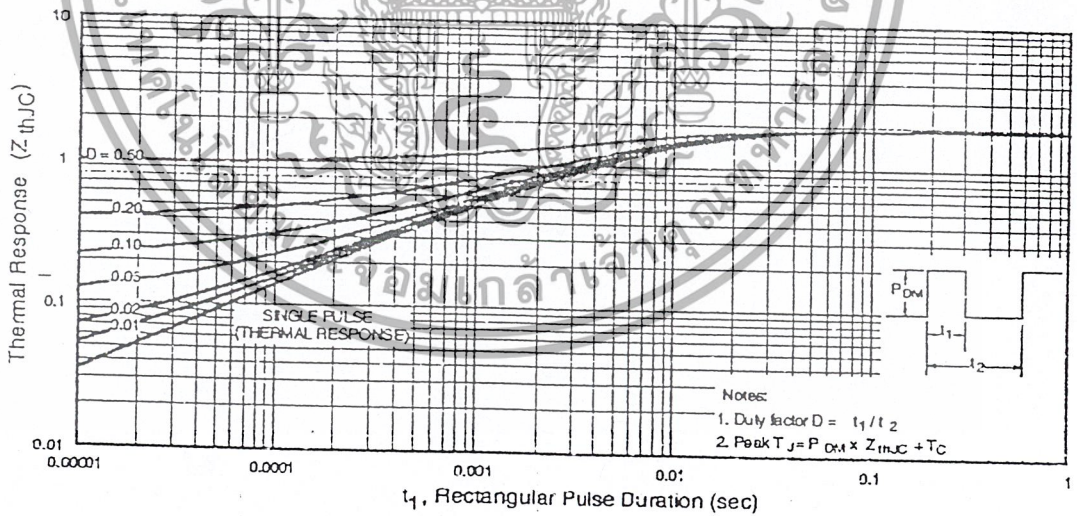


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

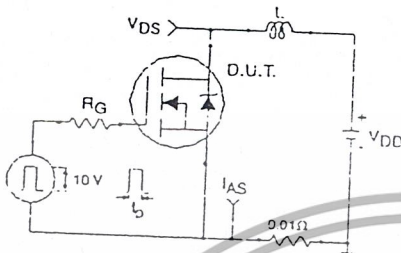


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

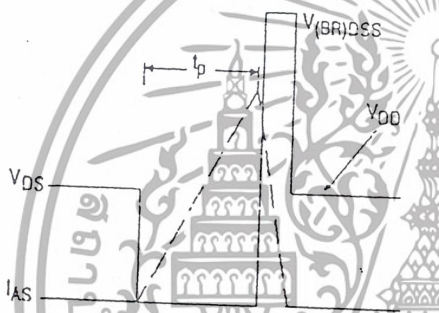


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

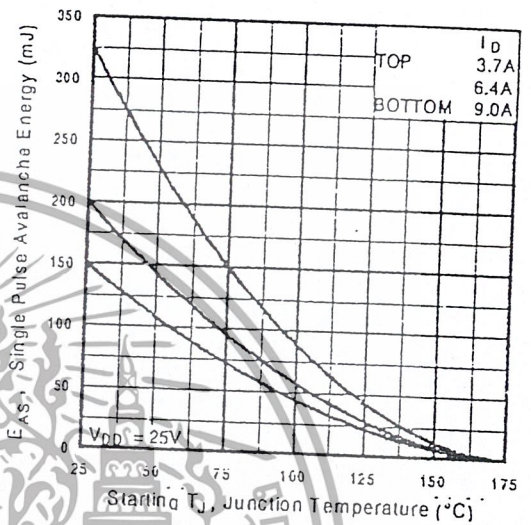


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

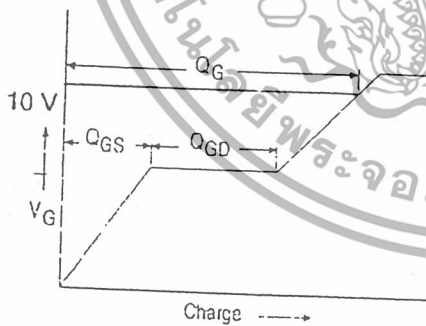


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

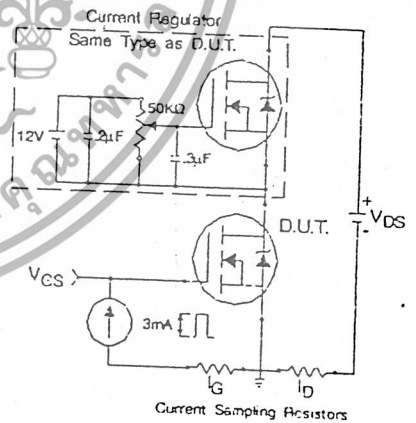


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

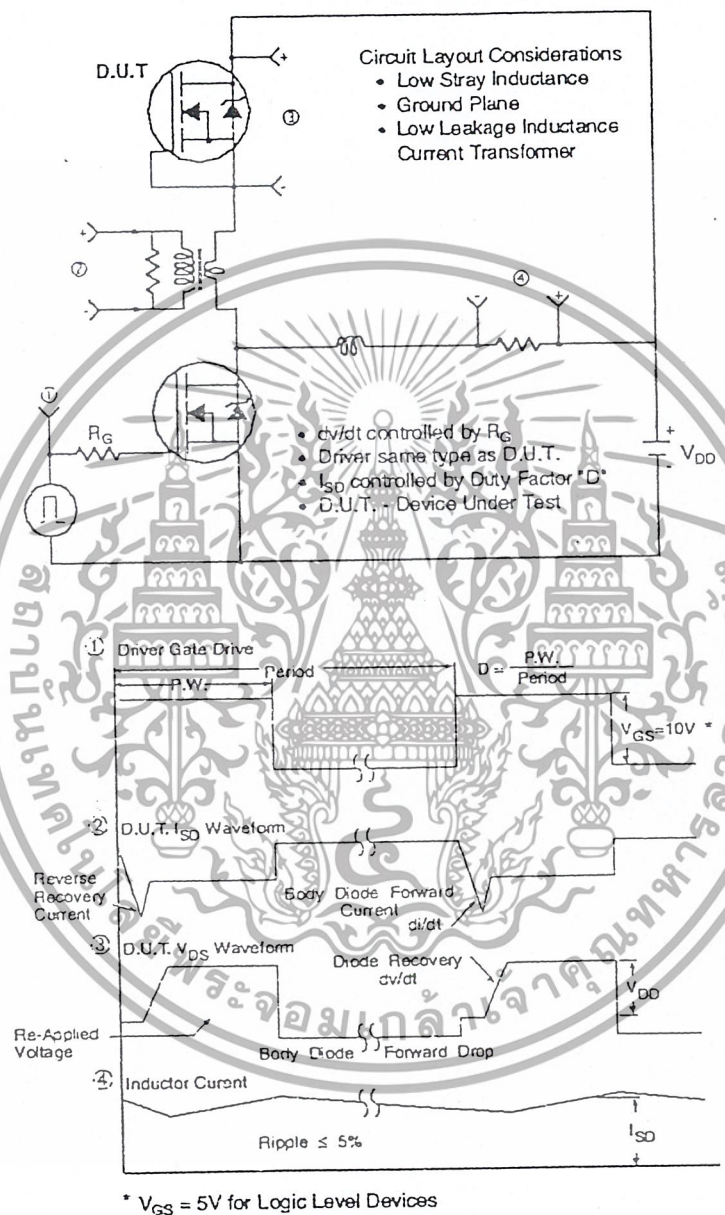


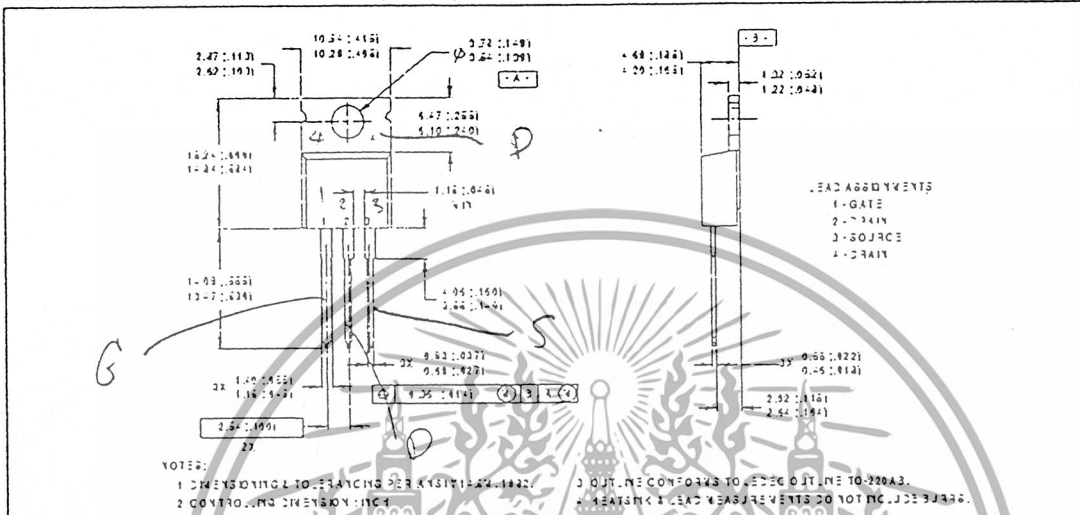
Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M

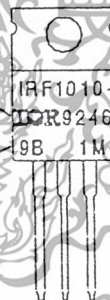
INTERNATIONAL

RECTIFIER

LOGO

ASSEMBLY

LOT CODE



PART NUMBER

DATE CODE

(YYWW)

YY = YEAR

WW = WEEK

International
IR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331

EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxted, 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 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590

IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111

IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 50-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086

IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371

<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 5/98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Single Channel, High Speed Optocouplers

Technical Data

6N135/6
HCNW135/6
HCNW4502/3
HCPL-0452/3
HCPL-0500/1
HCPL-4502/3

Features

- 15 kV/μs Minimum Common Mode Transient Immunity at $V_{CM} = 1500\text{ V}$ (4503/0453)
- High Speed: 1 Mb/s
- TTL Compatible
- Available in 8-Pin DIP, SO-8, Widebody Packages
- Open Collector Output
- Guaranteed Performance from Temperature: 0°C to 70°C
- Safety Approval
UL Recognized - 2500 V rms for 1 minute (5000 V rms for 1 minute for HCNW and Option 020 devices) per UL1577
- CSA Approved
- VDE 0884 Approved
- $V_{IORM} = 630\text{ V peak}$ for HCPL-4503#060
- $V_{IORM} = 1414\text{ V peak}$ for HCNW devices
- BSI Certified (HCNW devices only)
- Dual Channel Version Available (253X/4534/053X/0534)
- MIL-STD-1772 Version Available (55XX/65XX/4N55)

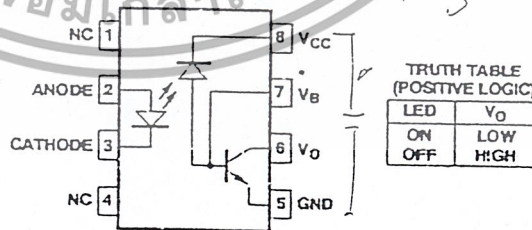
Applications

- High Voltage Isolation
- Video Signal Isolation
- Power Transistor Isolation in Motor Drives
- Line Receivers
- Feedback Element in Switched Mode Power Supplies
- High Speed Logic Ground Isolation - TTL/TTL, TTL/CMOS, TTL/LSTTL
- Replaces Pulse Transformers
- Replaces Slow Phototransistor Isolators
- Analog Signal Ground Isolation

Description

These diode-transistor optocouplers use an insulating layer between a LED and an integrated photodetector to provide electrical insulation between input and output. Separate connections for the photodiode bias and output-transistor collector increase the speed up to a hundred times that of a conventional phototransistor coupler by reducing the base-collector capacitance.

Functional Diagram



* NOTE: FOR 4502/3, 0452/3, PIN 7 IS NOT CONNECTED.

by pass 0.1μF

TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)

LED	V_O
ON	LOW
OFF	HIGH

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

These single channel optocouplers are available in 8-Pin DIP, SO-8 and Widebody package configurations.

The 6N135, HCPL-0500, and HCNW135 are for use in TTL/CMOS, TTL/LS TTL or wide bandwidth analog applications. Current transfer ratio (CTR) for these devices is 7% minimum at $I_F = 16$ mA.

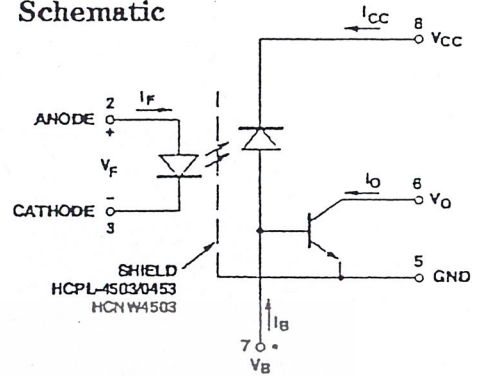
The 6N136, HCPL-0501, and HCNW136 are designed for high speed TTL/TTL applications. A standard 16 mA TTL sink current through the input LED will provide enough output current

for 1 TTL load and a 5.6 k Ω pull-up resistor. CTR for these devices is 19% minimum at $I_F = 16$ mA.

The HCPL-4502, HCPL-0452, and HCNW4502 provide the electrical and switching performance of the 6N136, HCPL-0501, and HCNW136 with increased ESD protection.

The HCPL-4503, HCPL-0453, and HCNW4503 are similar to the HCPL-4502, HCPL-0452, and HCNW4502 optocouplers but have increased common mode transient immunity of 15 kV/ μ s minimum at $V_{CM} = 1500$ V guaranteed.

Schematic



* NOTE: FOR HCPL-4502-3, HCPL-0452/3, HCNW4502/3, PIN 7 IS NOT CONNECTED.

Selection Guide

Minimum CMR		Current Transfer Ratio (%)	8-Pin DIP (300 Mil)		Small-Outline SO-8		Widebody (400 Mil)	Hermetic
dV/dt (V/ μ s)	V_{CM} (V)		Single Channel Package	Dual Channel Package*	Single Channel Package	Dual Channel Package*	Single Channel Package	Single and Dual Channel Packages*
1,000	10	7	6N135	HCPL-2530	HCPL-0500	HCPL-0530	HCNW135	
		19	6N136 HCPL-4502†	HCPL-2531	HCPL-0501 HCPL-0452†	HCPL-0531	HCNW136 HCNW4502†	
15,000	1500	19	HCPL-4503†	HCPL-4534	HCPL-0453†	HCPL-0534	HCNW4503†	
1,000	10	9						HCPL-55XX HCPL-65XX 4N55

*Technical data for these products are on separate HP publications.

†Pin 7, transistor base, is not connected.

Ordering Information

Specify Part Number followed by Option Number (if desired).

Example:

HCPL-4503#XXX

- 020 = UL 5000 V rms/1 Minute Option*
- 060 = VDE 0884 $V_{TORM} = 630$ V peak Option**
- 300 = Gull Wing Surface Mount Option†
- 500 = Tape and Reel Packaging Option

Option data sheets available. Contact your Hewlett-Packard sales representative or authorized distributor for information.

*For 6N135/6 and HCPL-4502/3 only.

**For HCPL-4503 only. Combination of Option 020 and Option 060 is not available.

†Gull wing surface mount option applies to through hole parts only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6N135, 6N136, HCPL4502
OPTOCOUPERS/OPTOISOLATORS**

SOES022A - JULY 1986 - REVISED APRIL 1998

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

Supply and output voltage range, V_{CC} and V_O	-0.5 V to 15 V
Reverse input voltage	5 V
Emitter-base reverse voltage	5 V
Peak input forward current (pulse duration = 1 ms, 50% duty cycle, see Note 1)	50 mA
Peak transient input forward current (pulse duration 1 μ s, 300 Hz)	1 A
Average forward input current(see Note 2)	25 mA
Peak output current	16 mA
Average output current	8 mA
Base current	5 mA
Input power dissipation at (or below) 70°C free-air temperature (see Note 3)	45 mW
Output power dissipation at (or below) 70°C free-air temperature (see Note 4)	100 mW
Storage temperature range, T_{stg}	-55°C to 125°C
Operating free-air temperature range, T_A	-55°C to 100°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

‡ JEDEC registered data for 6N135 and 6N136

- NOTES: 1. Derate linearly above 70°C free-air temperature at the rate of 1.67 mA/°C.
 2. Derate linearly above 70°C free-air temperature at the rate of 0.63 mA/°C.
 3. Derate linearly above 70°C free-air temperature at the rate of 1.50 mW/°C.
 4. Derate linearly above 70°C free-air temperature at the rate of 3.33 mW/°C.



6N135, 6N136, HCPL4502 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOES022A - JULY 1986 - REVISED APRIL 1998

electrical characteristics over operating free-air temperature range of 0°C to 70°C (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	6N135		6N136, HCPL4502			UNIT	
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†		MAX
V_F †	Input forward voltage	$I_F = 16 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1.6	1.7	1.6	1.7	V
αV_F †	Temperature coefficient of forward voltage	$I_F = 16 \text{ mA}$		-1.8		-1.8		mV/°C
V_{BR} †	Input breakdown voltage	$I_H = 10 \mu\text{A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		5		5		V
V_{OL}	Low-level output voltage	$V_{CC} = 4.5 \text{ V}$, $I_F = 16 \text{ mA}$, $I_B = 0$	$I_{OL} = 1.1 \text{ mA}$	0.1	0.4			V
			$I_{OL} = 2.4 \text{ mA}$			0.1	0.4	
I_{OH} †	High-level output current	$I_F = 0$, $I_B = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_{CC} = V_O = 5.5 \text{ V}$	3	500	3	500	nA
			$V_{CC} = V_O = 15 \text{ V}$	0.01	1	0.01	1	μA
I_{OH}	High-level output current	$V_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_F = 0$	$V_O = 15 \text{ V}$, $I_B = 0$		50		50	μA
I_{CCH} †	Supply current, high-level output	$V_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_F = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_O = 0$, $I_B = 0$	0.02	1	0.02	1	μA
I_{CCH}	Supply current, high-level output	$V_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_F = 0$	$I_O = 0$, $I_B = 0$		2		2	μA
I_{CCL}	Supply current, low-level output	$V_{CC} = 15 \text{ V}$, $I_F = 16 \text{ mA}$	$I_O = 0$, $I_B = 0$	40		40		μA
h_{FE}	Transistor forward current transfer ratio	$V_O = 5 \text{ V}$	$I_O = 3 \text{ mA}$	100		100 (6N136 only)		
CTR †	Current transfer ratio	$V_{CC} = 4.5 \text{ V}$, $I_F = 16 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_O = 0.4 \text{ V}$, $I_B = 0$, See Note 5	7%	18%	19%	24%	
CTR	Current transfer ratio	$V_{CC} = 4.5 \text{ V}$, $I_F = 16 \text{ mA}$, See Note 5	$V_O = 0.5 \text{ V}$, $I_B = 0$	5%		15%		
r_{IO}	Input-output resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}$, See Note 6	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	12	10	12	Ω
I_{IO} †	Input-output insulation leakage current	$V_{IO} = 3000 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, See Note 6	$t = 5 \text{ s}$, $RH = 45\%$		1		1	μA
C_i	Input capacitance	$V_F = 0$	$f = 1 \text{ MHz}$	60		60		pF
C_{io}	Input-output capacitance	$f = 1 \text{ MHz}$	See Note 6	0.6		0.6		pF

† All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ JEDEC registered data for 6N135 and 6N136

NOTES: 5. Current transfer ratio is defined as the ratio of output collector current I_O to the forward LED input current I_F times 100%.

6. These parameters are measured with terminals 2 and 3 shorted together and terminals 5, 6, 7, and 8 shorted together.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

6N135, 6N136, HCPL4502 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOES022A - JULY 1986 - REVISED APRIL 1998

operating characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = 16\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	6N135			6N136, HCPL4502			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
BW	Bandwidth (-3 dB)	$R_L = 100\ \Omega$ See Note 7		2			2		MHz

NOTE 7: Bandwidth is the range of frequencies within which the ac output voltage is not more than 3 dB below the low-frequency value.

switching characteristics at $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = 16\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	6N135			6N136, HCPL4502			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_{PLH}^\dagger	Propagation delay time, low-to-high-level output	$R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ See Figure 1		1	1.5				μs
		$R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ See Figure 1					0.6	0.6	
t_{PHL}^\dagger	Propagation delay time, high-to-low-level output	$R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ See Figure 1		0.7	1.5				μs
		$R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ See Figure 1					0.6	0.6	
$\frac{dV_{CM}}{dt}$ (H)	Common-mode input transient immunity, high-level output	$\Delta V_{CM} = 10\text{ V}$, $I_F = 0$, $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ See Figure 2		1000					V/ μs
		$\Delta V_{CM} = 10\text{ V}$, $I_F = 0$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ See Figure 2					1000		
$\frac{dV_{CM}}{dt}$ (L)	Common-mode input transient immunity, low-level output	$\Delta V_{CM} = 10\text{ V}$, $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ See Notes 9 and 10, See Figure 2		1000					V/ μs
		$\Delta V_{CM} = 10\text{ V}$, $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ See Notes 9 and 10, See Figure 2					1000		

[†] JEDEC registered data for 6N135 and 6N136

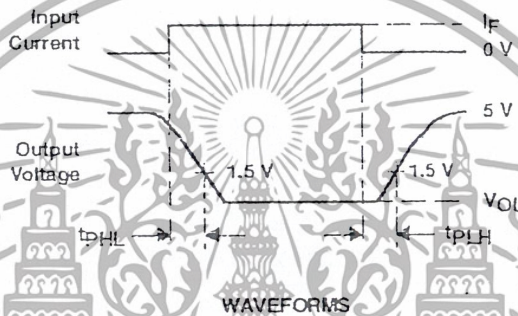
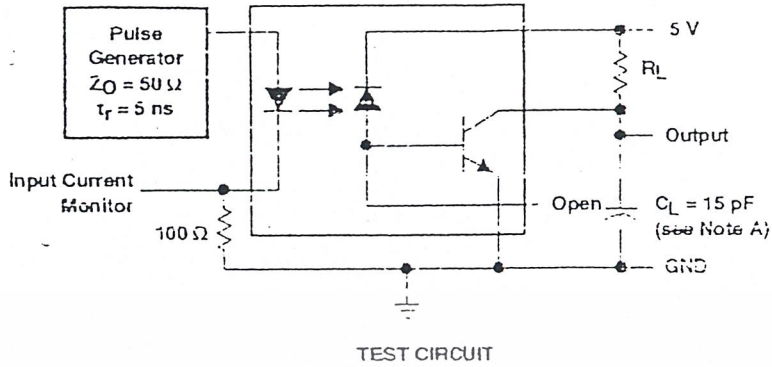
- NOTES: 8. The 4.1-k Ω load represents one LSTTL unit load of 0.36 mA and a 6.1-k Ω pullup resistor.
 9. The 1.9-k Ω load represents one TTL unit load of 1.6 mA and a 5.6-k Ω pullup resistor.
 10. Common-mode transient immunity, high-level output, is the maximum rate of rise of the common-mode input voltage that does not cause the output voltage to drop below 2 V. Common-mode input transient immunity, low-level output, is the maximum rate of fall of the common-mode input voltage that does not cause the output voltage to rise above 0.8 V.



4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณที่ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

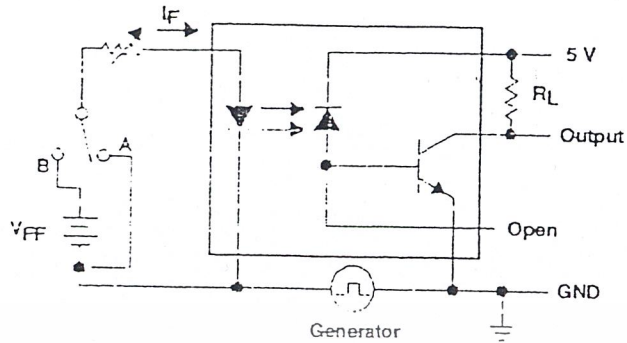
PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



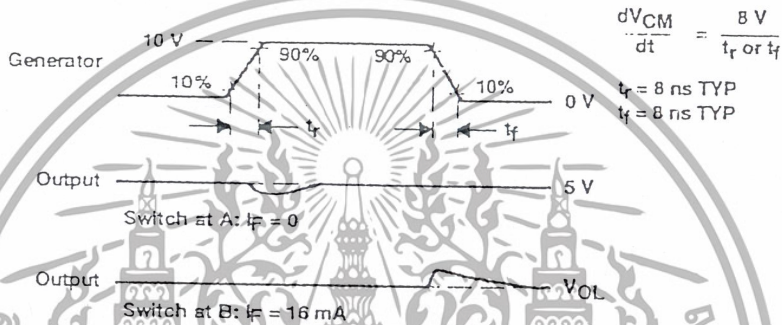
NOTE A: C_L includes probe and stray capacitance.

Figure 1. Switching Test Circuit and Waveforms

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



VOLTAGE WAVEFORMS

Figure 2. Transient Immunity Test Circuit and Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

INPUT-DIODE FORWARD CURRENT
vs
FORWARD VOLTAGE

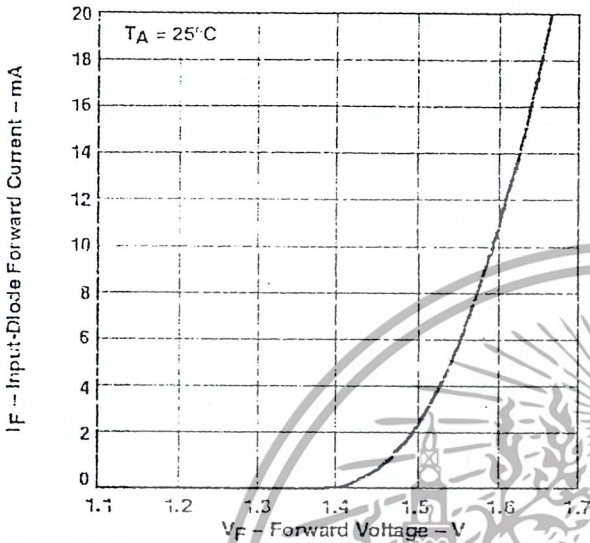


Figure 3

6N135
CURRENT TRANSFER CHARACTERISTICS

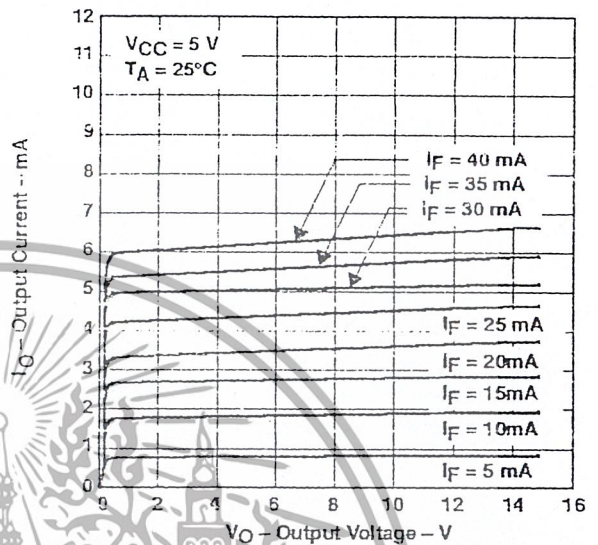


Figure 4

CURRENT TRANSFER RATIO (NORMALIZED)
vs
INPUT DIODE FORWARD CURRENT

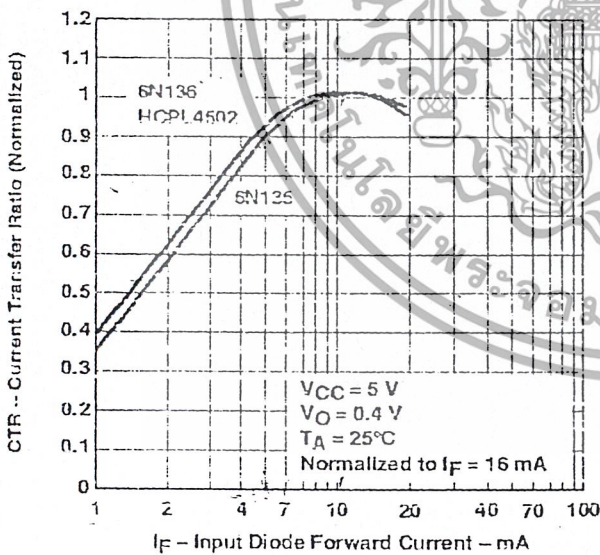


Figure 5

CURRENT TRANSFER RATIO (NORMALIZED)
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

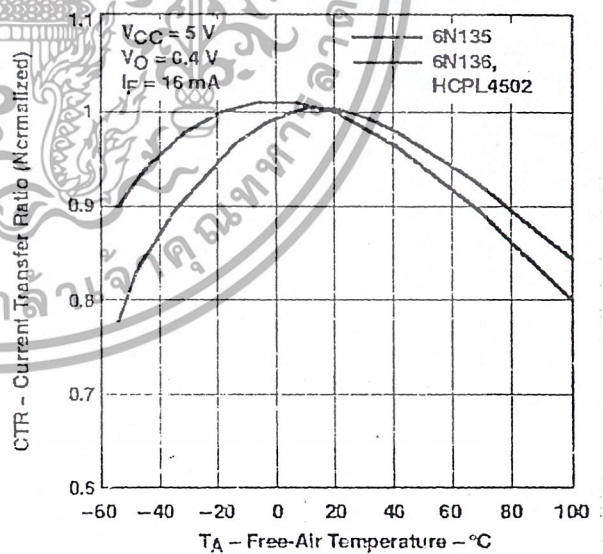


Figure 6

TYPICAL CHARACTERISTICS

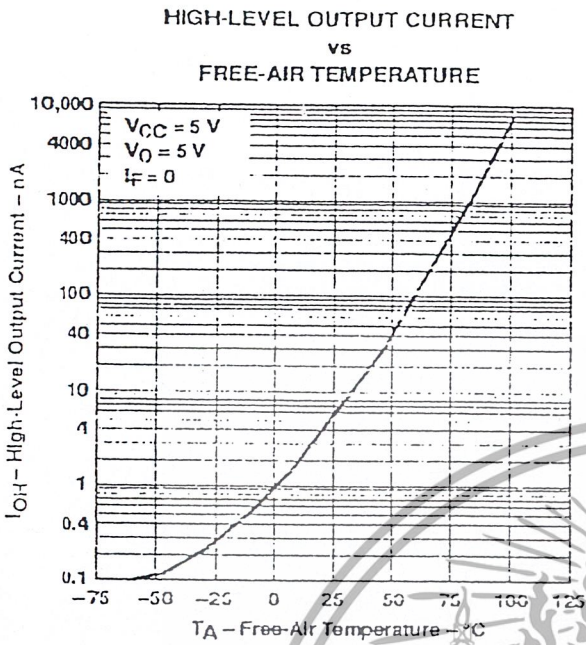


Figure 7

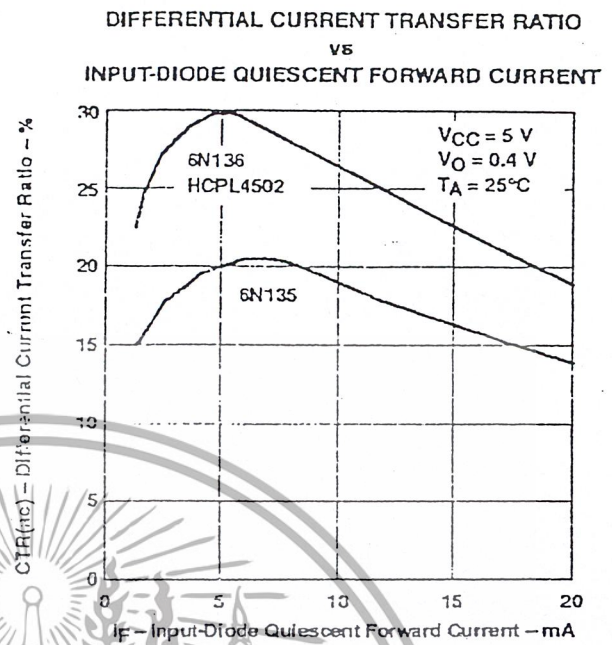


Figure 8

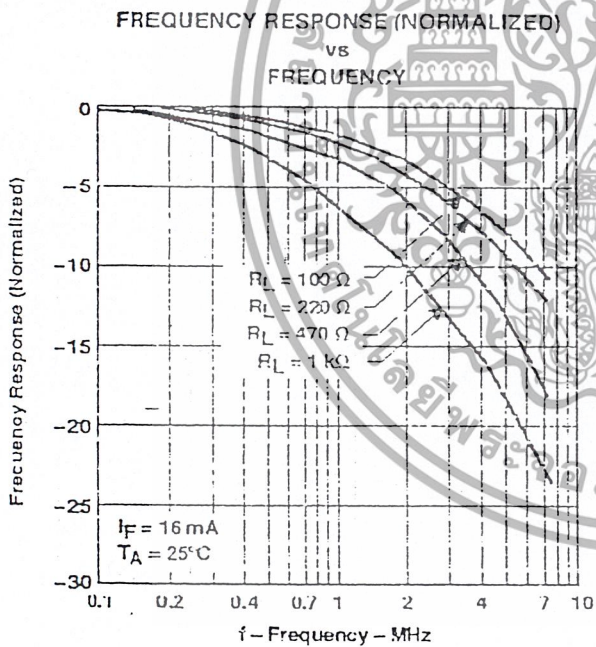


Figure 9

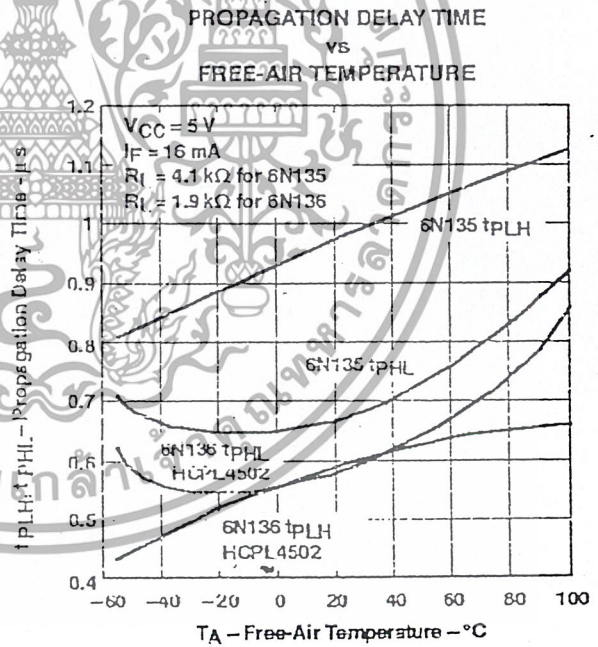


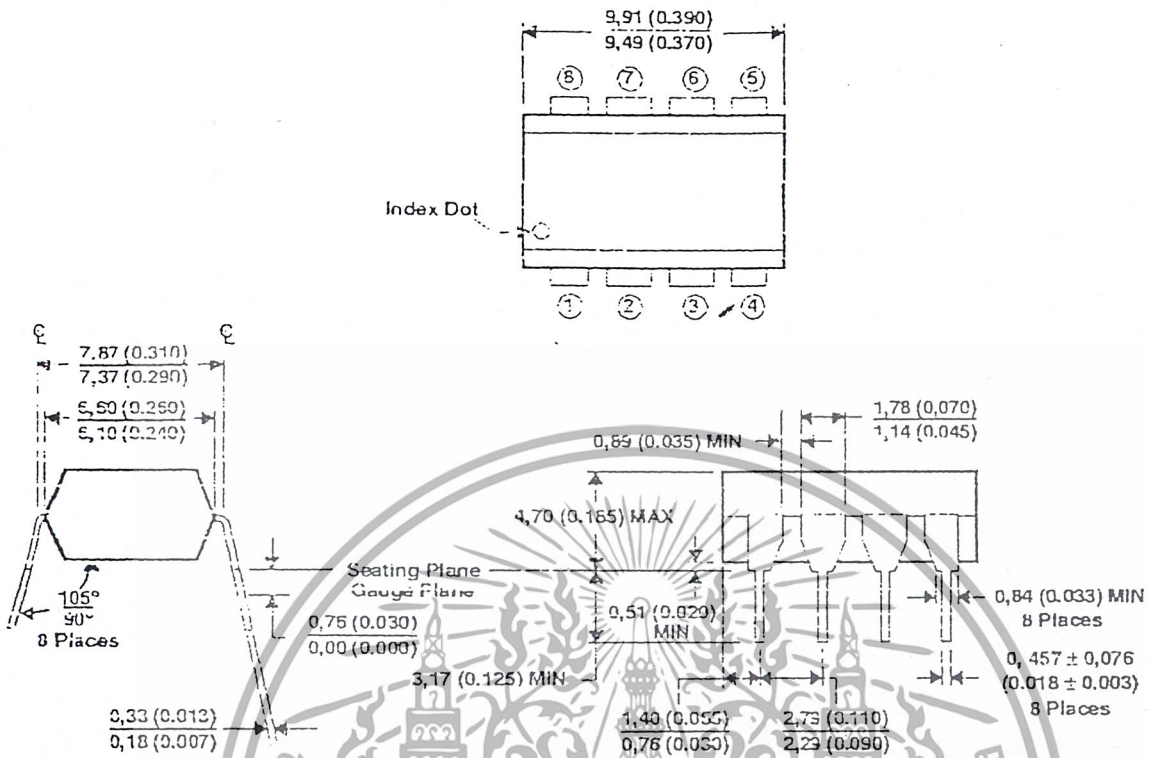
Figure 10



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL INFORMATION



NOTES: A. JEDEC registered data. This data sheet contains all applicable registered data in effect at the time of publication.
B. All linear dimensions are given in millimeters and parenthetically given in inches.

Figure 11. Packaging Specifications



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments (TI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that the information being relied on is current and complete.

TI warrants performance of its semiconductor products and related software to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

Certain applications using semiconductor products may involve potential risks of death, personal injury, or severe property or environmental damage ("Critical Applications").

TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS.

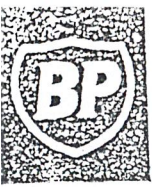
Inclusion of TI products in such applications is understood to be fully at the risk of the customer. Use of TI products in such applications requires the written approval of an appropriate TI officer. Questions concerning potential risk applications should be directed to TI through a local SC sales office.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards should be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

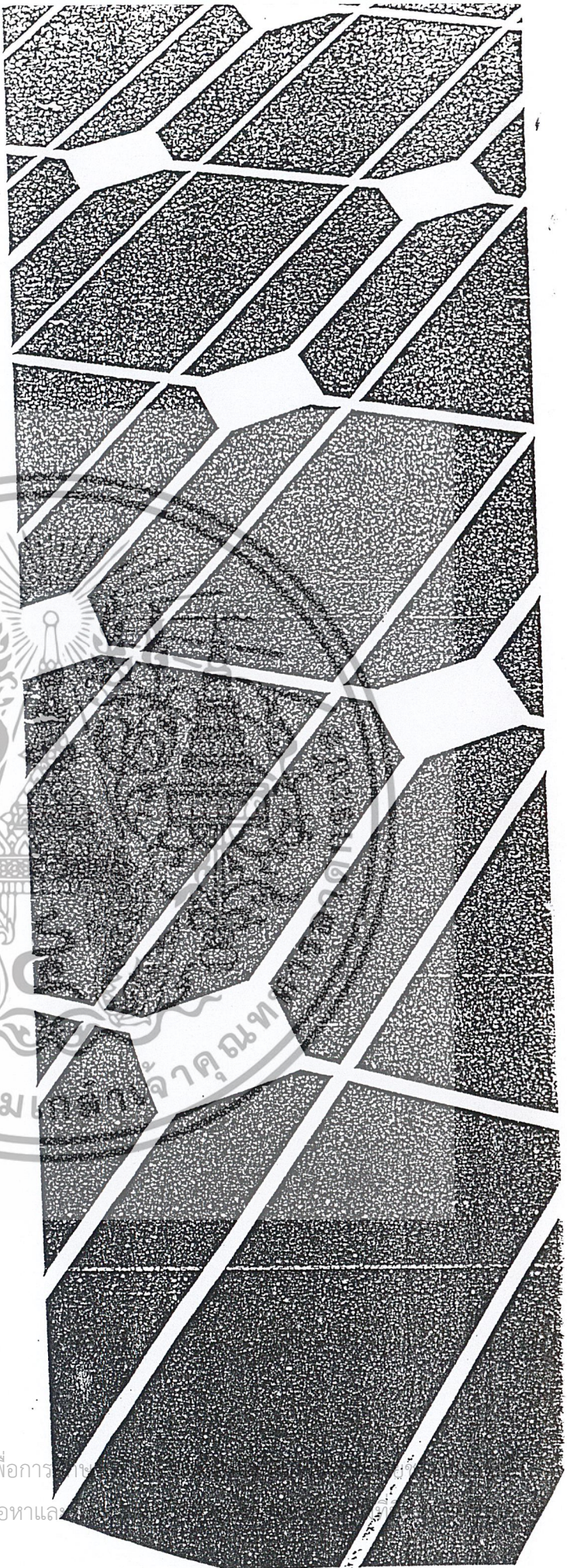
TI assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor does TI warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BP SOLAR



SOLAR MODULES

MODULOS SOLARES

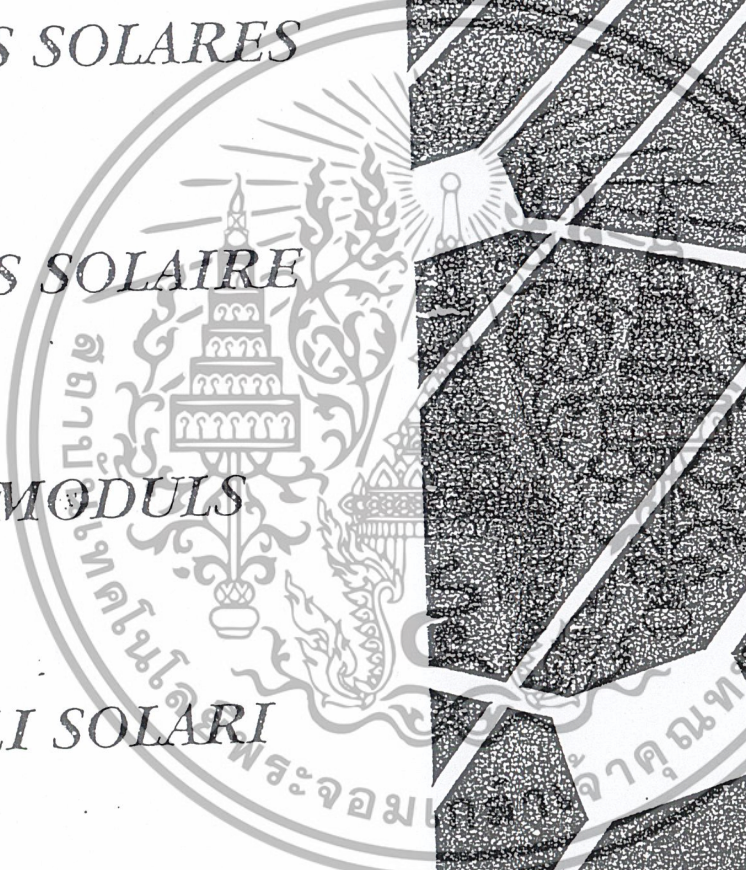
MODULES SOLAIRE

SOLARMODULS

MODULI SOLARI

SOLMODULER

PAPAN SURIA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ

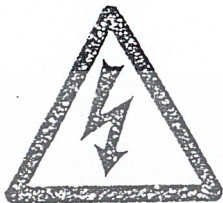
BP SOLAR MODULES: HEALTH & SAFETY INFORMATION

Before handling, wiring or using any BP Solar photovoltaic (PV) product please read the information and safety precautions.

If in doubt consult a competent, qualified electrician prior to attempting installation.

MODULE HANDLING AND USE:

A) ELECTRIC SHOCKS:



PV modules generate DC electrical energy when exposed to sunlight. Although single modules produce only a low voltage and current, shocks and burns are still a potential hazard. The shock hazard increases as modules are connected in series producing higher voltage and the burn hazard increases as modules are connected in parallel producing higher current.

PV modules can be made safe to work on by covering the front surface with a dense opaque material or placing the module face down on a flat surface. A voltmeter can be used to verify that the output voltage is safe.

B) OTHERS CONSIDERATIONS:

- Handle the modules with care. Damage can result from impacts to either front or rear surface.
- Do not bend PV modules.
- Do not disassemble PV modules. There are no user serviceable parts.
- This type of PV module is not designed to be used with light concentrators. The high temperatures associated with this type of equipment will damage the PV module.

ELECTRICAL CONNECTIONS:

Although there are regional variations electrical installations should in general comply with BS7671:1992 (IEC364) or other relevant national standard.

- Remove metallic jewellery from hands, wrists and neck.
- Use insulated tools
- Cables must be installed in specific order.

TO BATTERIES:

The most common application for PV modules is to recharge secondary cells (lead-acid or nickel-cadmium types). BP Solar recommend the use of a charge controller in this type of application. A charge controller will prevent over charging of lead acid battery cells and thus limit electrolyte loss, prevent the build up of explosive gases and extend battery life. Overcharging of sealed batteries can in some circumstances lead to explosion and thermal runaway.

- Follow the battery manufacturer's recommended safety precautions.
- Seek advice from your PV module supplier.
- The use of a blocking diode is recommended to prevent discharge of the battery through PV modules at night. This is usually only necessary if two or more modules are connected in parallel. Blocking diodes are frequently supplied with the system charge regulator.

TO A CHARGE CONTROLLER:

The following connection sequence should be observed. However, specific manufacturer's instructions should be followed:

- Connect the battery positive and negative cables to the charge controller first. Connect the battery positive and negative cables to the battery - check that the charge controller is operational - see manufacturer's instructions. The charge controller may also require the connection of battery sense and temperature sense cables.

- Connect the PV array positive and negative cables to the PV array first, then connect the PV array positive and negative cables to the charge controller.

INTERCONNECTION TO FORM AN ARRAY:

- Construction of PV arrays must not be attempted in high winds. Care must be taken when lifting PV modules and structural members and in working at high levels. A useful reference is BS5531 (1988) Safety in Erecting Structural Frames.
- PV modules must be shaded during installation to prevent shock and burn hazards.
- Do not connect more than 21 PV modules in series, maximum system voltage with standard terminal block 380V, maximum system voltage with uprated terminal block 600V. For further details contact BP Solar.

EARTHING AND LIGHTNING:

To make a PV system as safe as possible, all exposed metal (e.g. PV module frame, Charge Controller enclosure etc.) should be earthed. Earthing the equipment ensures that the system voltage cannot drift away from ground potential and thus reduces the risk of electric shocks.

Adequate earthing provides a path for lightning induced fault currents.

PREVENTIVE MAINTENANCE:

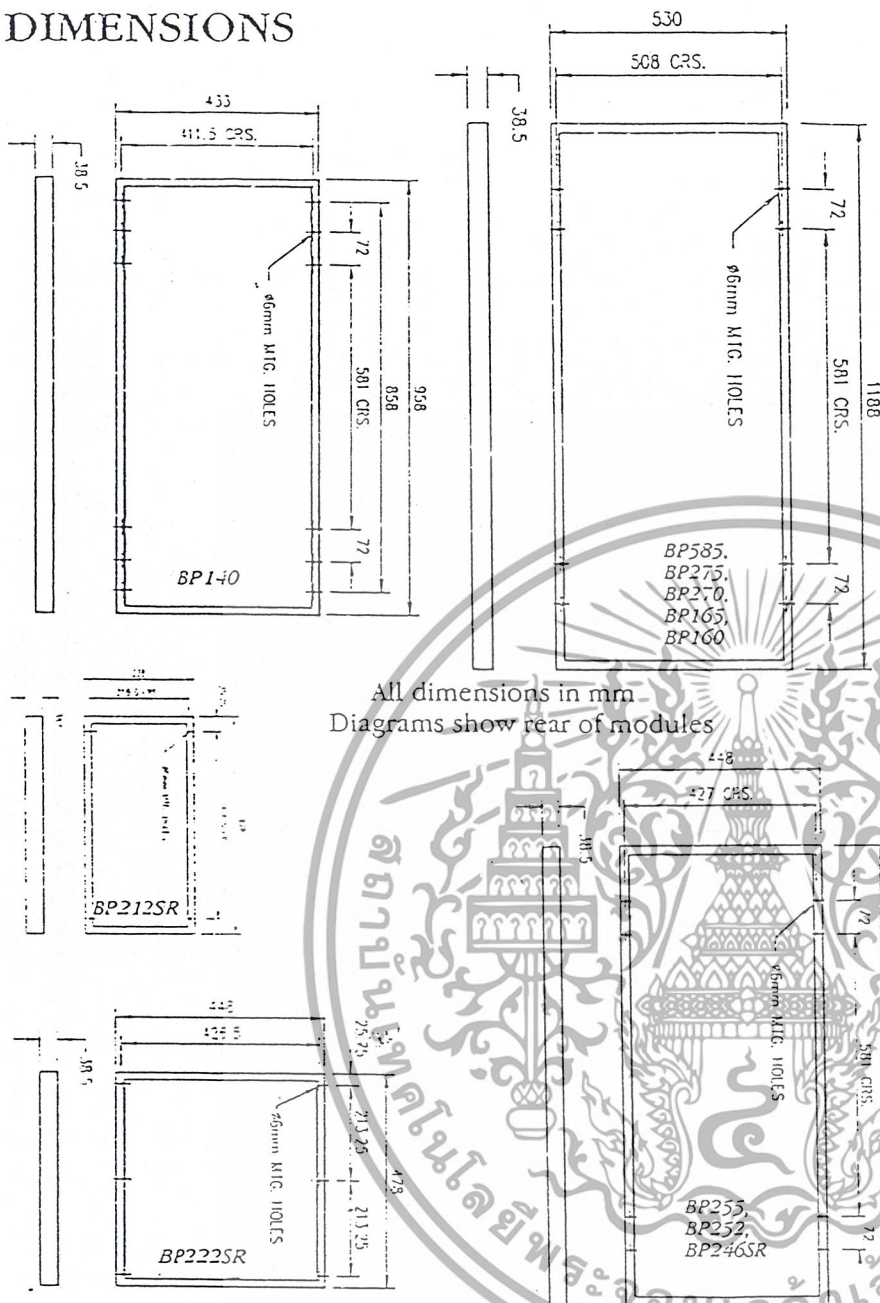
- As a minimum requirement PV installations should be inspected annually. In particular check that all fixings and electrical connections are tight and corrosion free.
- Accumulated dust and dirt can be removed from the front surface of the PV module by washing gently with water and a detergent solution. Do not use solvents or abrasive cleaners on any part of the PV module.

CERTIFICATION:

BP Solar PV Modules have been certified by the Commission of the European Communities Joint Research Centre at Ispra in Italy to CEC503 specification.

BP SOLAR MODULES: TECHNICAL SPECIFICATIONS

DIMENSIONS



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	1.5

BP SOLAR MODULES: ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER SPECIFICATIONS

All 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 (°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°C to 85°C.
- 10 humidity/freeze cycles - from 85°C at 85% relative humidity to -40°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

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 (P _{max})	: 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})	: 21.10 V
MINIMUM POWER (P _{min})	: 71.25 W

Power specifications measured at Standard Test Conditions, Insolation of 1000W/m², AM 1.5, 25°C Cell Temperature, Module Specification ESTD by JPEC ISPRAL, 10 Year Limited Output Guarantee.

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°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.) it 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. The 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. 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: INTERNATIONAL WARRANTY TERMS

GENERAL WARRANTY TERMS

Equipment supplied by BP Solar will be warranted for a period of one (1) year from the date of sale to the original consumer purchaser against defects resulting from faulty workmanship and/or materials, when such equipment is installed and used under normal conditions.

BP Solar's solar modules are warranted for a period of ten (10) years from the date of sale to the original consumer purchaser against degradation in excess of ten (10) per cent of the minimum power output measured at an optimum voltage under the standard conditions of 100W/cm² at a cell temperature of 25°C. BP Solar warrant to replace this lost power provided such degradation is determined to be due to faulty workmanship or materials.

Faulty material is to be returned, freight prepaid and accompanied by a copy of the original invoice, to the point of sale or a nominated company location for either repair or replacement as warranted.

CONDICIONES PARA LA GARANTIA EN GENERAL

Todo el equipo suministrado por BP Solar está garantizado por un periodo de uno (1) año desde la fecha de venta al comprador consumidor original contra defectos que ocurran debido a mano de obra y/o materiales defectuosos, siempre y cuando dicho equipo esté instalado y utilizado bajo condiciones normales.

Los Módulos solares de BP Solar se garantizan por un periodo de diez (10) años desde la fecha de venta al comprador o consumidor original contra una degradación mayor del diez (10) por ciento de la mínima potencia de salida medida a un voltaje óptimo bajo las condiciones estándar de 100mW/cm² a una temperatura de célula de 25°C. BP Solar garantiza el reemplazo de la energía perdida siempre y cuando se determine que tal degradación ha ocurrido debido a una mano de obra o materiales defectuosos.

Todo material defectuoso se debe devolver, con transporte prepago y debe ser enviado, con una copia de la factura original, al punto de venta o a un lugar denominado por la compañía ya sea para repararlo o para reemplazarlo tal como se garantiza.

TERMES GENERAUX DE LA GARANTIE

L'équipement fourni par BP Solar sera garanti pendant une période de un (1) an à partir de la date de vente à l'acheteur consommateur, contre tout défaut résultant d'une faute de fabrication et/ou de matériau utilisé, quand un tel équipement est installé et utilisé dans des conditions normales.

Les modules BP Solar sont garantis pendant une période de dix (10) ans à partir de la date de vente à l'acheteur consommateur, contre une dégradation dépassant dix (10) pour cent de la production d'énergie minimum mesurée sous tension optimale et dans les conditions standard d'une batterie de 100mW/cm² avec une température d'élément de 25°C. BP Solar garantit le remplacement de cette énergie perdue à condition qu'il soit prouvé qu'une telle dégradation soit due à un défaut de fabrication ou de matériaux.

Le matériel défectueux doit être renvoyé, livraison prépayée et accompagnée d'une copie de la facture d'origine, au point de vente ou à une adresse de compagnie désignée, soit en vue d'une réparation, soit en vue d'un remplacement, selon la garantie.

ALLGEMEINE GARANTIEBEDINGUNGEN

Für von BP Solar gelieferte Anlagen wird eine Garantie von einem (1) Jahr ab dem Zeitpunkt des Verkaufs an den ursprünglichen Verbraucher und Käufer für Mängel aufgrund von Fertigungs und/oder materialfehlern übernommen, wenn diese Anlagen unter normalen Bedingungen installiert und eingesetzt werden.

Für die Solarmodule von BP Solar wird eine Garantie von zehn (10) Jahren ab dem Zeitpunkt des Verkaufs an den ursprünglichen Verbraucher und Käufer hinsichtlich einer Verschlechterung der Mindestleistungsabgabe von über zehn (10) Prozent, gemessen bei einer optimalen Spannung unter den Standardbedingungen von 100mW/cm², bei einer Zelltemperatur von 25°C, übernommen. BP Solar garantiert, daß eine derartige Verschlechterung auf Fertigungs oder Materialfehler zurückzuführen ist.

Fehlerhaftes Material ist Fracht vorausbezahlt und mit eine Kopie der Originalrechnung an die Verkaufsstelle oder an ein Vertragsunternehmen zur Reparatur oder zum Ersatz entsprechend der Garantie zurückzuschicken.

TERMINI GENERALI DI GARANZIA

Gli apparecchi forniti dall BP Solar saranno garantiti per un periodo di un (1) anno dalla data di vendita all'acquirente consumatore originale, contro i difetti risultanti da esecuzione e/o da materiali difettosi, purché tali apparecchi siano installati ed usati in delle condizioni normali.

I moduli solari della BP Solar sono garantiti per un periodo di dieci (10) anni dalla data di vendita, all'acquirente consumatore originale, contro la degradazione di oltre dieci (10) per cento dell'erogazione minima di potenza, misurata ad una tensione ottimale in conformità alle condizioni standard di 100mW/mq., ad una temperatura di cellula di 25°C. La BP Solar

garantisce la sostituzione della potenza persa, purché sia determinato che tale degeradazione sia stato causato da esecuzione o materiali difettosi.

Il materiale difettoso dev'essere restituito, nolo non assegnato, ed accompagnato da una copia della fattura originale, al punto vendita o in un luogo nominato della società, o per riparazione o per sostituzione secondo la garanzia.

ALLMÄNNNA GARANTIBESTÄMMELSER

Utrustning leverad av BP Solar har en garantitid på ett (1) år från försäljningsdatum till ursprunglig köpare, mot felaktigheter härrörande från bristfälligt utförande och/eller materiel, då sådan utrustning installerats och använts under normala förhållanden.

BP Solars solmoduler har en garantitid på tio (10) år från försäljningsdatum till ursprunglig köpare, mot en nedsättning överstigande tio (10) procent av minsta möjliga energiutveckling, uppmätt vid optimal spänning enligt följande normalförhållanden på 100mW/cm² samt en celltemperatur på 25°C. BP Solar garanterar att ersätta sådan förlorade energi, förutsatt att nedsättningen bedöms bero på bristfälligt utförande eller materiel.

Bristfälligt materiel skall efter försöksbetalning av faktura, återsändas till försäljningsställe eller till annan utsedd plats för berättigad reparation eller ersättning.

SYARAT-SYARAT JAMINAN AM

Peralatan yang dibekalkan oleh BP Solar dijamin selama satu (1) tahun dari tarikh jualan kepada pengguna asal dari kecacatan pembuatan dan/atau bahan dengan syarat peralatan tersebut dipasang dan diguna dalam keadaan biasa.

Papan suria (Solar Modules) dari BP Solar adalah dijamin selama sepuluh (10) tahun dari tarikh jualan kepada pengguna asal dari kemerosotan tahap minima pengeluaran kuasa elektrik yang melebihi sepuluh (10) peratus apabila diukur pada kadar voltan optima dalam keadaan tetap 100mW/cm² pada suhu sel 25°C. BP Solar memberi jaminan akan mengganti kuasa yang hilang dengan syarat kemerosotan tersebut terbukti disebabkan oleh kecacatan pembuatan atau bahan.

Barangan cacat mestilah dipulangkan, dengan kos penghantaran dibiayai oleh pengguna, berserta sesaljan inbois asal, ke pusat jualan atau tempat syarikat yang terpilih untuk kerja membaiki-pulih atau diganti seperti yang dijamin.

The above warranty terms apply to the following standard catalogue products: BP585, BP270, BP270, BP163, BP160, BP255, BP252, BP246SR and the BP140. The BP222SR, BP212SR standard products are covered by a 1 year limited warranty, for materials, workmanship and electrical performance; in all other aspects the standard warranty terms are generic. For further details of the International Warranty Procedure contact the original point of sale or a nominated BP Solar location.

WARRANTY LIMITATION

BP Solar shall not be liable to replace or repair the modules in accordance with this warranty if the serial or identification number has been altered, defaced or removed, or if the goods are not properly installed and maintained in accordance with BP Solar's recommendations or if the goods have been subject to misuse, replacement, modification or repair other than in accordance with BP Solar's written instructions. This warranty shall only apply to the original consumer purchaser of the module.

Indirect Loss - BP Solar shall not be liable in any way whatsoever for any (i) indirect, incidental, consequential or special losses or special damages or (ii) for loss of profit or anticipated profit (whether or not of a kind described in (i) above), arising out of or in any way connected with the equipment supplied by BP Solar which forms the subject of this product warranty. This does not affect the consumers statutory rights.

As part of our policy of continuous improvement BP Solar reserves the right to change products specifications at any time without prior notice.

The above warranty applies to modules in terrestrial land based applications.



ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้...
และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ...

BP SOLAR MODULES: MECHANICAL INSTALLATION

1. 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).
2. 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.

ALTITUDE	TILT ANGLE	ALTITUDE	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

1. Cut and strip the cables as required.
2. Undo the four screws securing the lid on the junction box.
3. Open the lid to reveal connections as shown.
4. Push the cable through the gland and using a suitable screwdriver make the connection as required.
5. Tighten the cable gland to secure the cable and seal the junction box.
6. 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.

