

ระบบจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
Electrical Power Source for Electrical Appliances System from Solar Energy

ตีรวดี นุชบานเย็น

Tirawat Boonbanyen

สิทธิชัย พานิชย์โชติสกุล

Sittichai Phanitchotsakul

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

ระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

Electrical Power Source for Electrical Appliances System from Solar
Energy

ถิรวัดน์ บุญบานเย็น
Tirawat Boonbanyen

สิทธิชัย พาณิชย์โชติสกุล
Sittichai Phanitchotsakun

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2556

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

Electrical Power Source for Electrical Appliances System from Solar Energy

ผู้จัดทำ นาย ธีรวัฒน์ บุญบานเย็น รหัสประจำตัว 53010561

นาย สิทธิชัย พาณิชยโชติสกุล รหัสประจำตัว 53011679

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร. อธิธิภูมิ บุญพิงค์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญาานิพนธ์
นักศึกษา

ระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
นาย ธีรวัฒน์ บุญบานเย็น รหัสประจำตัว 53010561
นาย สิทธิชัย พาณิชยโชติสกุล รหัสประจำตัว 53011679

ปริญญา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
2556

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ดร. อธิธิภูมิ บุญพิงค์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เสนอระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบนี้ประกอบด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ วงจรแปลงไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรสวิตซ์ซิงเพื่อเปลี่ยนการใช้ไฟจากแบตเตอรี่เป็นการใช้ไฟจากการไฟฟ้าเมื่อไฟจากแหล่งจ่ายแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ

Thesis Title Electrical Power Source for Electrical Appliances System from Solar Energy
Student Mr. Tirawat Boonbanyen Student ID 53010561
Mr. Sittichai Phanitchotsakun Student ID 53011679
Degree Bachelor of Engineering
Program Electronics Engineering
Year 2013
Thesis Advisor Dr. Ittibhoom Boonpikum

ABSTRACT

This project deals with electrical power system for electrical appliances from solar energy. The system includes solar cell panels, battering charging control system, AC/DC converter as a electrical power source for AC electrical appliances. As well as a switching circuit to switch from battery electrical power source to household electrical power source in the case of low electrical power from the battery.

กิตติกรรมประกาศ

การออกแบบระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงรายงานฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ดร.อิทธิภูมิ บุญพิศา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ อีกทั้งต้องกล่าวขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยเหลือด้วยดีเสมอ

ถิรวัดน์ บุญบานเย็น

สิทธิชัย พาณิชโยชิติสกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	3
1.2 ที่มาของปริญญาานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบข่ายปริญญาานิพนธ์.....	3
1.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างโครงงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 การทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	6
2.2 P-type, n-type และสนามไฟฟ้า.....	7
2.3 การสร้างสารชนิด n และ p.....	8
2.4 การดูดกลืนและการนำ.....	8
2.5 แรงดันไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	9
2.6 กระแสจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	10
2.7 เออร์ทพุทกำลังไฟฟ้าจากแผง PV.....	11
2.8 ต้องใช้เซลล์ PV จำนวนเท่าใดเพื่อสร้างแผง PV.....	11
2.9 แผง PV แบบอนุกรม.....	12
2.10 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบอนุกรม.....	12
2.11 ป้องกันวงจรเสียหายโดยใช้ Bypass Diode.....	13
2.12 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบขนาน.....	14
2.13 โครงสร้างทั่วไปของระบบ.....	17

2.14 ความแตกต่างระหว่างแหล่งจ่ายไฟสองทางและระบบ UPS.....	18
2.15 การเลือกแบตเตอรี่.....	20
2.16 การเลือก inverter กำลัง.....	20
2.17 ส่วนต่างๆของวงจร.....	20
2.18 ขนาดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์(PV).....	23
2.19 ขนาดของแบตเตอรี่.....	25
2.20 โหมดการทำงานของระบบ.....	26
2.21 ระหว่างช่วงเวลาไฟตก.....	27
2.22 การประเมินสมรรถนะและค่าใช้จ่ายของระบบ.....	27
บทที่ 3 การออกแบบ.....	28
3.1 การออกแบบวงจรควบคุม.....	29
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่.....	30
3.3 วงจร inverter.....	31
3.4 วงจรสวิตซ์ซิงโครนัส.....	32
3.5 การทำงานของระบบเลือกการจ่ายไฟให้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และไฟบ้าน.....	33
3.6 การติดตั้งสุดท้าย.....	33
3.7 ข้อควรระวัง.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
บทที่ 5 บทสรุป.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก.....	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 จำนวน PV module มาตรฐาน.....	24
2.2 ความจุแบตเตอรี่.....	25

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบจ่ายไฟสองทาง.....	2
1.2 แผนผังการสร้างโครงงานระบบจ่ายไฟสองทาง.....	4
2.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และการเกิดพลังงานไฟฟ้า.....	6
2.2 สารกึ่งตัวนำชนิด n และชนิด p.....	7
2.3 การดูดกลืนและสะท้อนโฟตอน.....	8
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระดับแรงดันจากเซลล์ PV.....	9
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและกระแสจากเซลล์ PV.....	10
2.6 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบอนุกรม.....	13
2.7 การต่อ bypass diode เข้ากับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	14
2.8 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบขนาน.....	14
2.9 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด 36 เซลล์ที่ใช้กันทั่วไป.....	16
2.10 แผนผังระบบจ่ายไฟอัตโนมัติโดยพลังงานแสงอาทิตย์หรือจากการไฟฟ้า.....	17
2.11 การทำงานของระบบจ่ายไฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน.....	26
2.12 การทำงานของระบบในตอนกลางคืน.....	26
2.13 การทำงานของระบบระหว่างไฟตก.....	27
2.14 ประสิทธิภาพของระบบ converter.....	27
3.1 ระบบเลือกการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และไฟบ้าน.....	28
3.2 วงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่.....	29
3.3 วงจรควบคุมการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่.....	30
3.4 วงจร VDC to AC inverter.....	31
3.5 วงจรสวิตช์ซิงอัตโนมัติ.....	32

บทที่ 1

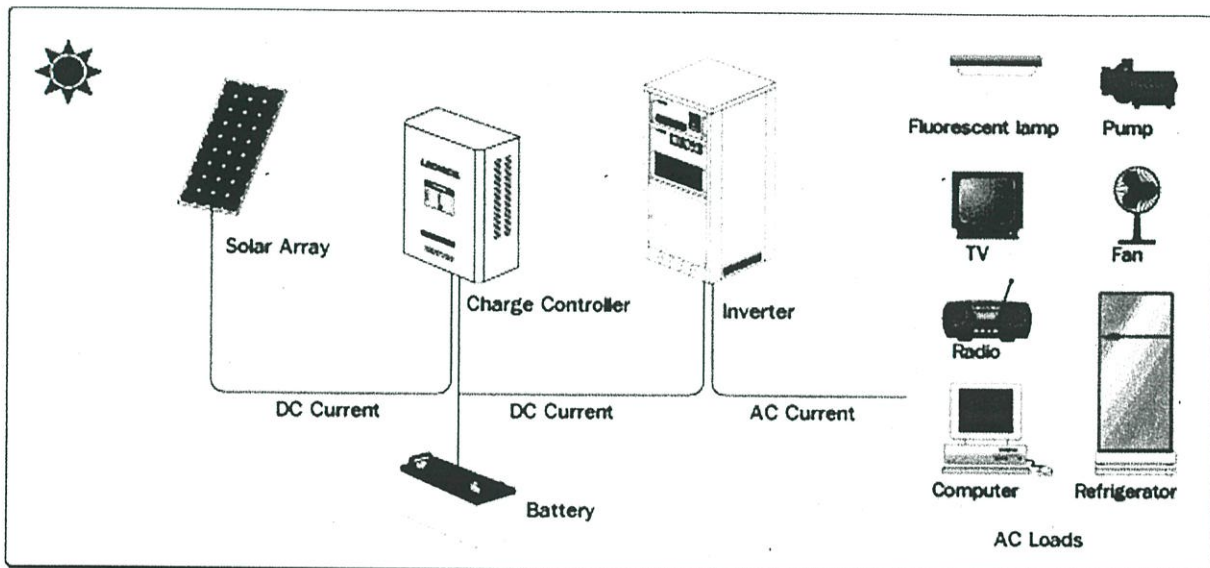
บทนำ

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอการออกแบบแหล่งจ่ายไฟชนิดสองทางสำหรับประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ภายในบ้าน ที่เกิดจากแรงจูงใจที่ว่า การจ่ายไฟระบบนี้ได้กลายเป็นวิธีที่นิยมสำหรับการใช้งานด้านรถยนต์และหุ่นยนต์ ในอนาคตระบบจ่ายไฟนี้จะยังเป็นระบบที่มีประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก เมื่อพลังงานจากแหล่งอื่นๆเริ่มหมดไป ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้รับการออกแบบเพื่อสร้างระบบจ่ายไฟสองทางพื้นฐานขึ้นมา แหล่งจ่ายไฟจะมีแหล่งจ่ายด้วยกันสองแหล่ง อันได้แก่ แผงพลังงานแสงอาทิตย์และไฟปกติที่ให้ระดับแรงดัน AC 240 โวลต์ 50 Hz สำหรับส่วนประกอบหลักของระบบจ่ายไฟสองทางนี้มีด้วยกัน 4 ส่วนด้วยกัน คือ วงจรควบคุมแผงพลังงานแสงอาทิตย์ วงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟต่ำ วงจรสวิตซ์ซิง และวงจรรักษาระดับแรงดัน

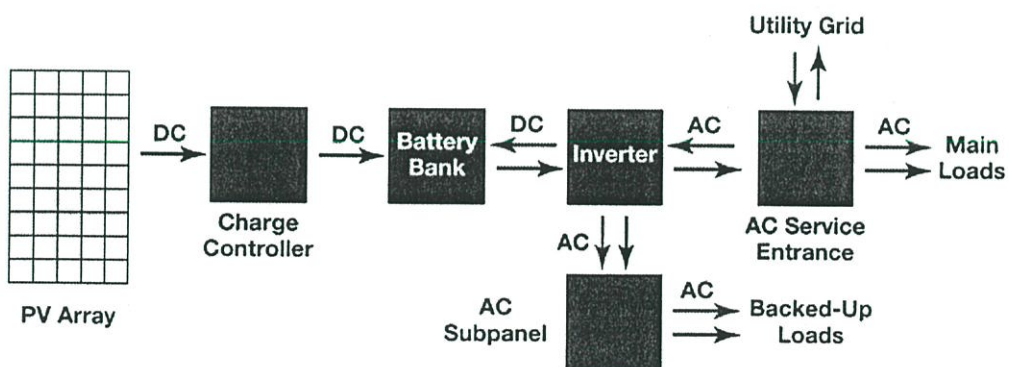
ระบบจ่ายไฟสองทางหมายความว่า มีแหล่งจ่ายไฟที่จะถูกนำมาใช้ร่วมกัน และให้เอาท์พุทเพียงเอาท์พุทเดียว สามารถเลือกแหล่งจ่ายไฟได้ว่าจะใช้แบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุโดยแผงพลังงานแสงอาทิตย์หรือเลือกจากแหล่งจ่ายไฟปกติที่ได้รับการ regulate ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ แหล่งจ่ายไฟปกตินั้นได้จากการไฟฟ้า ซึ่งคือ 240 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ การออกแบบแหล่งจ่ายไฟนี้ก็เพื่อประหยัดพลังงานในการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ เพื่อที่จะใช้การจ่ายไฟสองทาง ต้องมีวงจร regulator วงจรตรวจจับแรงดันต่ำ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ และวงจรควบคุม รวมถึงวงจรสวิตซ์ซิง

ต้องใช้วงจร regulate แรงดัน เนื่องจากวงจรนี้จะ regulate แหล่งจ่ายไฟจากเดิมให้เป็นค่าที่ต้องการ วงจรสวิตซ์ซิงนั้นทำงานเป็นตัวเลือกว่าจะใช้ไฟจากแบตเตอรี่หรือจากไฟบ้าน วงจรตรวจจับแรงดันระดับต่ำจะทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ให้แก่แบตเตอรี่ และจะจ่ายสัญญาณให้แก่วงจรสวิตซ์ซิงว่าจะให้แหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่หรือจากไฟบ้าน วงจรควบคุมแผงพลังงานแสงอาทิตย์นำหน้าที่เป็นวงจรควบคุม ที่ควบคุมการประจุแบตเตอรี่จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ รูปด้านล่างแสดงแผนผังการทำงานของระบบทั้งหมด

แหล่งจ่ายไฟจะให้เอาท์พุท 12 โวลต์ DC จ่ายกระแสได้ 3 แอมป์ รูปข้างต้นแสดงระบบจ่ายไฟสองทางที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟสองแหล่งที่ต้องเข้ากับวงจรสวิตซ์ซึ่งทำหน้าที่สวิตซ์ว่าต้องการใช้แหล่งจ่ายไฟจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บไว้โดยแบตเตอรี่ หรือใช้ไฟจากไฟบ้าน 220 โวลต์ 50 Hz



Battery-Based Grid-Tied System



รูปที่ 1.1 ระบบจ่ายไฟสองทาง

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบระบบจ่ายไฟสองทาง โดยเพิ่มแหล่งจ่ายไฟที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ นอกเหนือจากแหล่งจ่ายไฟจากไฟบ้านปกติ
2. เพื่อออกแบบวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยแผงพลังงานแสงอาทิตย์
3. เพื่อออกแบบวงจร regulator แรงดัน ที่ให้แหล่งจ่ายกระแสตรงจากแหล่งจ่าย AC
4. เพื่อออกแบบวงจรสวิตซ์ซิงที่ทำหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายไฟ
5. เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายสองทางสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

1.2 ที่มาของปัญญานิพนธ์

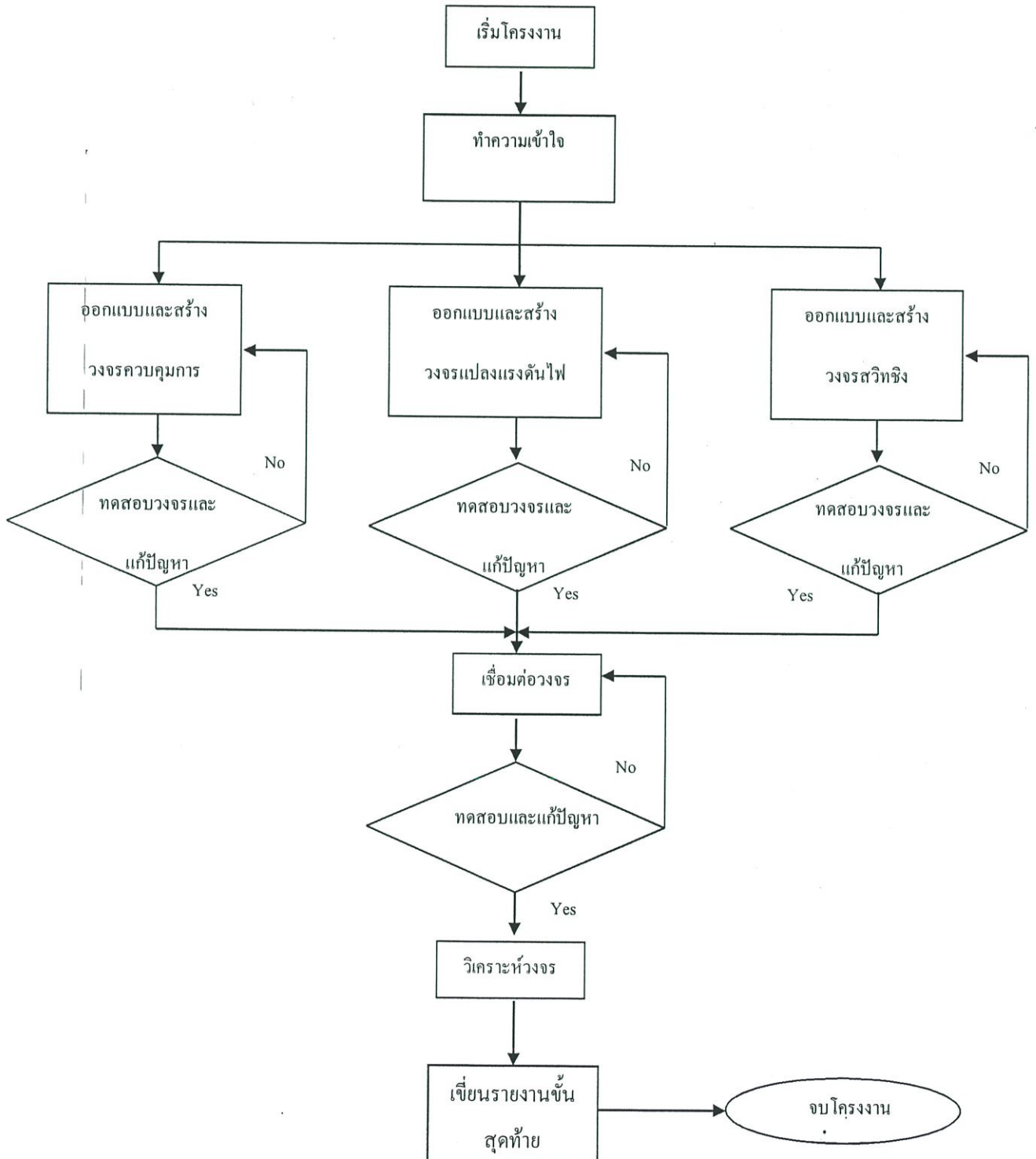
ทุกวันนี้ พลังงานทางไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งสำคัญต่อมวลมนุษยชาติ เนื่องจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หรือทั่วไปในโลกของเราใช้ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการทำงาน นอกจากนี้ปัญหาด้านพลังงานนั้นเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากความต้องการใช้ที่สูงขึ้น ราคาต่อหน่วยของพลังงานนั้นเพิ่มขึ้นขณะที่คุณภาพของพลังงานนั้นลดลง ปัญญานิพนธ์นี้จึงช่วยแก้ปัญหานี้ได้บางส่วน โดยการสร้างแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ระบบจ่ายไฟสองทาง คือจากแหล่งจ่ายโดยไฟบ้านปกติ 240 โวลต์ 50 Hz และจากส่วนที่เพิ่มเข้ามาคือจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ แผงพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่เดียวกันนี้จะให้แรงดันเอาต์พุต 12 โวลต์ DC ดังนั้นในการรวมแหล่งจ่ายทั้งสองเข้าด้วยกันสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก เนื่องจากแหล่งพลังงานหลักที่จะนำมาใช้คือแหล่งพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนแหล่งจ่ายไฟ AC จากบ้านจะเป็นระบบสำรองการใช้งาน

1.3 ขอบข่ายของปัญญานิพนธ์

1. ศึกษาระบบจ่ายไฟสองทาง
2. ออกแบบวงจรต่างๆ และนำมารวมกันเพื่อสร้างระบบจ่ายไฟสองทาง วงจรเหล่านี้ได้แก่
 - 2.1 วงจร regulator
 - 2.2 วงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยแผงพลังงานแสงอาทิตย์
 - 2.3 วงจรตรวจจับระดับแรงดันเอาต์พุตต่ำ
 - 2.4 วงจรสวิตซ์ซิง
3. วิเคราะห์และทำการทดสอบระบบ

4. เสนอรายงาน

1.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างโครงการ



รูปที่ 1.2 แผนผังการสร้างโครงการระบบจ่ายไฟสองทาง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

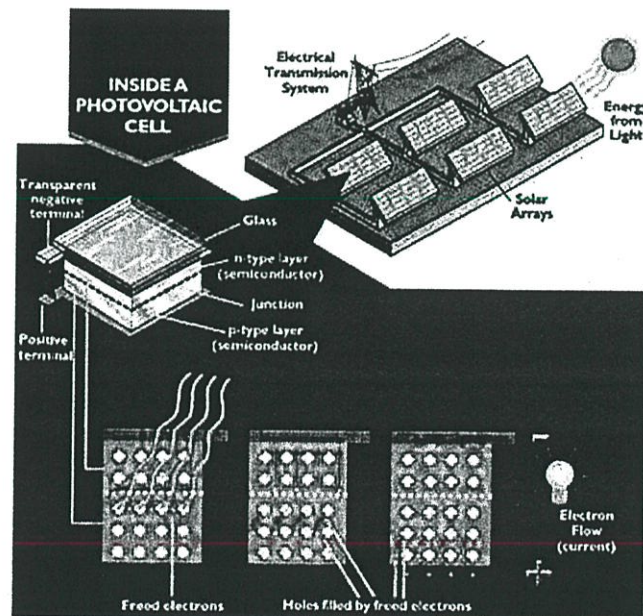
1. เป็นทางเลือกการนำแหล่งจ่ายไฟสองทางมาใช้ อันได้แก่ จากพลังงานแสงอาทิตย์ และจากโรงไฟฟ้า
2. เป็นวงจรต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาระบบในอนาคตเพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายสองทางสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน
3. เป็นทางเลือกอีกรูปแบบหนึ่งของการนำไฟฟ้าจากแผงโซลล่าเซลล์มาใช้งาน
4. เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ
5. เป็นวงจรที่ช่วยลดความยุ่งยากในการเปิดปิดการทำงานในแต่ละช่วงเวลาของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

“ปรากฏการณ์ photovoltaic” คือขบวนการทางฟิสิกส์พื้นผ่านที่ซึ่งแผง PV (photovoltaics) แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางไฟฟ้า แสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยโฟตอน หรืออนุภาคพลังงานแสงอาทิตย์ โฟตอนเหล่านี้ประกอบด้วยพลังงานเป็นจำนวนมากตามความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ เมื่อโฟตอนเข้าชนแผง PV จะสะท้อนและถูกดูดกลืน หรือผ่านออกไป จะมีเพียงโฟตอนที่ถูกดูดกลืนเท่านั้นที่สร้างไฟฟ้า เมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น พลังงานของโฟตอนเองจะถูกส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนในอะตอมของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์(ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ) จากแหล่งพลังงานใหม่นี้ อิเล็กตรอนสามารถหลุดออกจากตำแหน่งปกติในอะตอม และกลายเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ อิเล็กตรอนนี้ทำให้เกิด “hole” ขึ้น คุณสมบัติพิเศษทางไฟฟ้าสำหรับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นี้คือ สนามไฟฟ้าภายใน ให้แรงดันไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อขับเคลื่อนกระแสผ่านโหนดภายนอก(เช่นหลอดไฟ) ได้



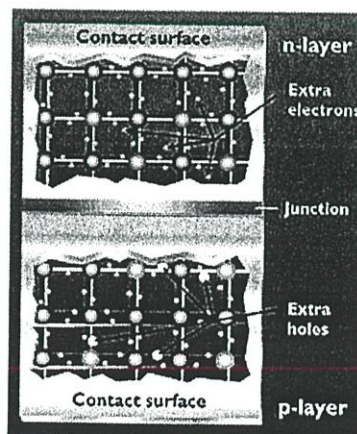
รูปที่ 2.1 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และการเกิดพลังงานไฟฟ้า

2.2 P-type, n-type และสนามไฟฟ้า

เพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์ PV สารกึ่งตัวนำแยกกันสองตัวนั้นจะนำมาประกบเข้าด้วยกัน สารกึ่งตัวนำประเภท “p” และประเภท “n” นั้นสอดคล้องกับค่า “บวก” และ “ลบ” เนื่องจากมีจำนวน holes หรืออิเล็กตรอนจำนวนมาก(อิเล็กตรอนที่เพิ่มมาทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด “n” เนื่องจากอิเล็กตรอนเองมีประจุเป็นลบ)

แม้ว่าสารทั้งสองชนิดจะมีสภาพทางไฟฟ้าทางธรรมชาติ ซิลิกอนชนิด n นั้นมีอิเล็กตรอนที่เกินมา และซิลิกอนชนิด p นั้นมี holes ที่เกินมา การนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาประกบกันสร้างรอยต่อ p/n ที่ผิวรอยต่อ จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น

เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิด p และชนิด n นั้นถูกนำมาประกบเข้าด้วยกัน อิเล็กตรอนที่เกินมาในสารชนิด n จะไหลไปยังสารชนิด p และ hole ก็จะไปยังสารด้าน n (การเคลื่อนที่ของโฮลนั้นคล้ายกับการมองไปที่ฟองของของเหลว แม้ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ของโฮลเองที่เคลื่อนที่ เนื่องจากอธิบายการเคลื่อนที่ของฟองอากาศได้ง่ายกว่าเมื่อเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้าม) เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ holes สารกึ่งตัวนำทั้งสองนี้จึงทำหน้าที่เหมือนแบตเตอรี่ คือสร้างสนามไฟฟ้าที่ผิวที่ทั้งสองมาพบกัน(เรียกว่า “รอยต่อ”) ที่เป็นสนามที่ทำให้อิเล็กตรอนกระโดดออกจากสารกึ่งตัวนำไปยังผิวและทำให้เกิดกระแสขึ้นในวงจรทางไฟฟ้า ในขณะเดียวกัน โฮลจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม ไปยังผิวที่อยู่ตรงข้าม ที่รออิเล็กตรอนที่จะเข้ามา



รูปที่ 2.2 สารกึ่งตัวนำชนิด n และชนิด p

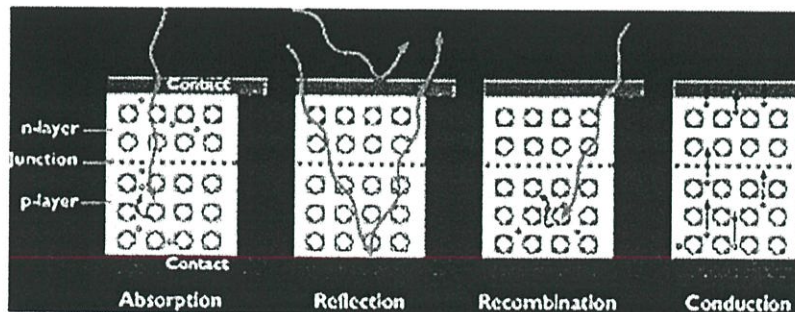
2.3 การสร้างสารชนิด n และ p

วิธีทั่วไปในการสร้างสารซิลิกอนชนิด p และชนิด n คือเพิ่มธาตุที่มีอิเล็กตรอนที่เกินหรือที่ขาดอิเล็กตรอนเข้ามา เรียกขบวนการดังกล่าวว่า “doping”

เรานำซิลิกอนมาเป็นตัวอย่างเนื่องจากว่าซิลิกอนที่เป็นผลึกนั้นเป็นสารกึ่งตัวนำที่ประสบความสำเร็จในตอนแรกในการสร้างอุปกรณ์ PV และยังใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดสำหรับเป็นสาร PV แม้ว่าสาร PV อื่นๆ และการออกแบบอื่นๆ จะใช้ปรากฏการณ์ PV ในรูปแบบที่แตกต่างกันไปเพียงเล็กน้อย ความเข้าใจที่รู้ว่าปรากฏการณ์นี้ทำงานในผลึกซิลิกอน ให้ความรู้พื้นฐานด้านการทำงานสำหรับอุปกรณ์ทุกชนิดอีกด้วย

2.4 การดูดกลืนและการนำ

เซลล์ PV โฟตอนถูกดูดกลืนในชั้น p ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะ “ปรับ” ชั้นนี้ให้มีคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนโฟตอนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้อิเล็กตรอนเป็นอิสระให้มากที่สุด ความท้าทายอื่นๆ คือกันไม่ให้อิเล็กตรอนเข้ามาพบกับโฮล และ “รวมกัน” ก่อนที่จะหลุดออกจากเซลล์นี้ ทำได้โดยออกแบบสารที่ทำให้ให้อิเล็กตรอนเป็นอิสระใกล้บริเวณรอยต่อให้มากที่สุด ดังนั้นสนามไฟฟ้าสามารถช่วยส่งอิเล็กตรอนเหล่านี้ผ่านชั้น “การนำ”(ชั้น n) และเข้าสู่วงจรไฟฟ้า ทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เกิดขึ้นสูงสุดได้โดยเพิ่ม conversion efficiency หรือประสิทธิภาพการแปลงของเซลล์ PV หรือการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ให้พยายามทำให้เกิดการดูดกลืนสูงสุด ลดการสะท้อนและการรวมกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการนำสูงสุด

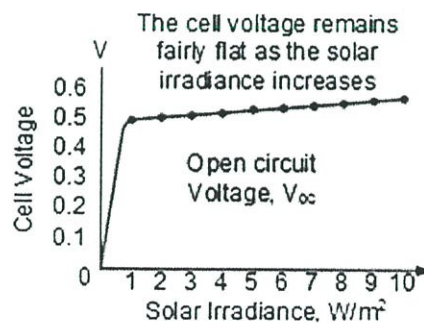


รูปที่ 2.3 การดูดกลืนและสะท้อนโฟตอน

ประสิทธิภาพการแปลงของเซลล์ PV นี้เป็นส่วนสำคัญกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์เหล่านี้แปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมาก เมื่อก้าวถึงอุปกรณ์ PV เนื่องจากการทำให้ประสิทธิภาพนี้ดีขึ้นเป็นสิ่งสำคัญมากในการสร้างพลังงาน PV ให้แข่งขันได้กับแหล่งพลังงานอื่น ๆ ที่มีอยู่ทั่วไป (เช่น พลังงานเชื้อเพลิง) โดยธรรมชาติแล้ว หากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพแค่แผงเดียวสามารถให้พลังงานได้เท่ากับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า ราคาของพลังงานจะถูกลดด้วย เช่น PV ในยุคแรกๆ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้เพียง 1%-2% แต่ปัจจุบันนี้ PV สามารถแปลงพลังงานดังกล่าวได้ถึง 7#-17% ซึ่งเป็นที่แน่นอนแล้วว่าอีกด้านหนึ่งของสมการคือค่าใช้จ่ายในการสร้าง PV ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาเป็นเวลาหลายปีเช่นเดียวกัน ที่จริงแล้ว ระบบ PV ในปัจจุบันนั้นสร้างไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายเป็นเศษส่วนของค่าใช้จ่ายสำหรับระบบ PV ก่อนหน้านั้นเท่านั้น

2.5 แรงดันไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์(PV) ให้ “แรงดันเปิด” หรือ V_{oc} ออกมาประมาณ 0.5 ถึง 0.6 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 25 C (โดยทั่วไปแล้วประมาณ 0.58 โวลต์) ไม่ว่าจะมีความเข้มแสงเท่าใด แรงดันนี้ยังคงที่ต่อไปตราบโดยยังมีแสงเพียงพอดกกระทบลงบนแผง PV คำว่าแรงดันเปิดนั้นหมายความว่าแผง PV นั้นไม่ต่อกับโหลดภายนอกใดๆ จึงไม่มีกระแสไหล

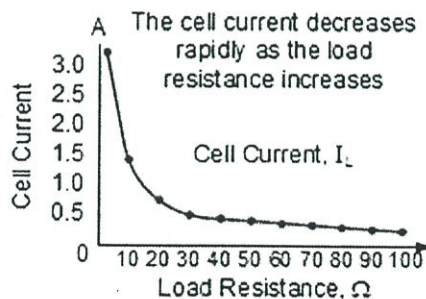


รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์และระดับแรงดันจากเซลล์

ตัวอย่างเช่น หากต่อแผง PV เข้าด้วยกันแบบอนุกรม เพื่อสร้างแผง PV แรงดันเอาต์พุตใหม่ที่ได้คือ เมื่อต่อโหลดภายนอกเข้ากับแผง PV เช่นหลอดไฟ แรงดันเอาต์พุตของแผง PV จะลดลงเหลือประมาณ 0.46 โวลต์ เมื่อเริ่มมีกระแสไหล และยังมีค่าเท่าเดิมหากยังได้รับแสงอาทิตย์เพียงพอ แรงดันเอาต์พุตที่ลดลงนี้เกิดเนื่องแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อแรงดันเอาต์พุตของเซลล์ PV คืออุณหภูมิยิ่งสูง แรงดันเอาต์พุตเซลล์ PV ยิ่งต่ำ เนื่องจากคุณภาพของเซลล์ลดลงเมื่อร้อน นั่นคือเมื่อได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ แรงดันเอาต์พุตจะลดลงประมาณ 5% เมื่ออุณหภูมิของเซลล์ PV เพิ่มขึ้นทุกๆ 25 องศา ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้แผง PV จำนวนมากขึ้นสำหรับการใช้งานบริเวณที่มีอากาศร้อนแทนที่จะใช้ในสิ่งแวดล้อมที่เย็นกว่า เพื่อชดเชยการสูญเสียของเอาต์พุตเนื่องจากอุณหภูมิสูง

2.6 กระแสจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตาม กระแสตรง(I) นั้นแตกต่างไปจากเซลล์ PV ที่เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณหรือความเข้มของแสงอาทิตย์(พลังงานโฟตอน) ที่ตกลงบนผิวเซลล์ PV นอกจากนี้กระแสเอาต์พุตยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของแผงพลังงาน เนื่องจากแผงยิ่งโตยิ่งมีพลังงานแสงตกกระทบกับเซลล์มากขึ้น ดังนั้นยังมีแสงเข้าสู่แผงนี้มากขึ้น จะมีกระแสมากขึ้นด้วย แผง PV ที่มาพร้อมกับเอาต์พุตกระแสนั้นเป็นสิ่งที่ต้องการ แต่มีราคาสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและกระแสจากเซลล์ PV

2.7 เอาท์พุทกำลังไฟฟ้าจากแผง PV

กำลังเอาท์พุทของแผง PV นั้นมีหน่วยเป็นวัตต์และมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แรงดันใช้งานต่ำสุดของแผง PV ภายใต้โหลดนี้มีค่าประมาณ 0.46 โวลต์ ที่อุณหภูมิการทำงานปกติ ให้กระแสเมื่อได้รับแสงเต็มประมาณ 3 แอมป์ ดังนั้นกำลังเอาท์พุทของแผง PV ทั่วไปสามารถคำนวณได้จาก $P=VXI=0.46 \times 3=1.38$ วัตต์ ที่สามารถจ่ายไฟให้แก่เครื่องคิดเลขได้พอ แต่สำหรับหลอดไฟให้แสงสว่างแล้ว กำลัง 1.38 วัตต์นี้ไม่เพียงพอ

อย่างไรก็ตาม แผง PV เดี่ยวนั้นสามารถนำมาต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการเหมือนกับรวมแรงดันแบบอนุกรมเข้าด้วยกัน หรือต่อแบบขนานเพื่อให้ได้กระแสที่ต้องการเหมือนกับกระแสที่มาต่อกันแบบขนาน ดังนั้นการต่อแผง PV ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานนั้นทำให้ได้แรงดันและกระแส รวมถึงกำลังเอาท์พุทที่ต้องการได้ เมื่อนำมาใช้แผง PV นั้นทำงานในส่วนเชิงเส้นของกราฟ I-V และให้กระแสประมาณเท่าๆกันเช่นเดียวกับการลัดวงจร กำลังที่ได้จากแผง PV ให้กับแบตเตอรี่และโหลดที่ต่อกันแบบขนานนี้คือ $P=VXI$

0.46X10 หรือ 10 โวลต์ แต่กระแสนี้คงเท่าเดิมคือ 3A ดังนั้นกำลังเอาท์พุทรวมนั้นเพิ่มขึ้นด้วยเป็น 10 เท่า หรือ 13.8 วัตต์กำลังสูงสุด แผง PV เดี่ยวสามารถนำมาต่อเข้าด้วยกันเป็นแผง PV ที่ใหญ่ขึ้น หรือที่เรียกว่า solar module ที่ให้กำลังเอาท์พุทสูงถึง 50 ถึง 200 วัตต์ หรือสูงกว่า ในทางปฏิบัติ เมื่อต้องการทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้น จะนำแผง PV จำนวนมากมาต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน เพื่อให้ได้ระดับแรงดันและกำลังเอาท์พุทที่ต้องการ

2.8 ต้องใช้เซลล์ PV จำนวนเท่าใดเพื่อสร้างแผง PV

จำนวนเซลล์ PV เดี่ยวที่ต้องใช้สร้างแผง PV นั้นขึ้นอยู่กับว่าต้องการกำลังเท่าใด และต้องการใช้เซลล์ PV ชนิดใด เช่น monocrystalline, polycrystalline หรือฟิล์มบางเป็นต้น แผง PV นั้นมาในรูปแบบและขนาดที่หลากหลายเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของพลังงาน ผู้ผลิตแผง PV เกือบทุกรายจะให้แผง PV มาตรฐานที่ให้แรงดันเอาท์พุท 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ การออกแบบแผง PV มาตรฐานนี้ โดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเซลล์ผลึกซิลิกอน 36 เซลล์ ที่ต้องการนำมาประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

แผง PV ขนาด 12 โวลต์โดยทั่วไปนั้นให้เอาต์พุตสูงสุดประมาณ 18.5 ถึง 20.8 โวลต์(สมมติว่าให้แรงดันไฟฟ้า 0.58 โวลต์ต่อเซลล์) เมื่อใช้เซลล์เดี่ยว 32 หรือ 36 เซลล์ตามลำดับต่อเข้าด้วยกัน แบบอนุกรม ที่เกินพอที่จะประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 , 24 และ 36 โวลต์ และยังสามารถประจุแบตเตอรี่ชนิด deep cycle ได้ด้วย และเนื่องจากแผง PV นี้สร้างจากเซลล์ PV พื้นฐานชนิดเดียวกัน จึงให้กระแส DC เท่ากัน

หากต้องการเอาต์พุตจากแผง PV เป็น 24 โวลต์ จะต้องใช้เซลล์ PV เดี่ยว 64 หรือ 72 เซลล์ ภายในแผง PV เดี่ยว เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุต 24 โวลต์ สามารถนำแผงขนาด 12 โวลต์ 2 แผงต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมได้ โดยมีแรงดันวงจรเปิดที่สูงขึ้น

2.9 แผง PV แบบอนุกรม

เซลล์ PV แบบอนุกรม เมื่อนำเซลล์ PV มาต่อกันเป็นแถวเดี่ยว เนื่องจากกระแสที่ได้จากเซลล์แรกนั้นไม่มีทางเลือกอื่นนอกจากไหลไปสู่เซลล์ PV ที่สอง และที่สาม และต่อไป เซลล์ PV ที่ต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมจึงมีกระแสรวมไหลเข้าหากัน เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านเซลล์ PV หนึ่งต้องไหลผ่านตัวอื่น ๆ ภายในแผง PV นี้ด้วย เนื่องจากมีเส้นทางการไหลเส้นเดียว ดังนั้นปริมาณกระแสที่ไหลจากเซลล์ PV ที่ต่อกันคือชุดของเซลล์ PV ต่อกันแบบอนุกรมจึงมีค่าเท่ากับทุกจุดในวงจรอนุกรม

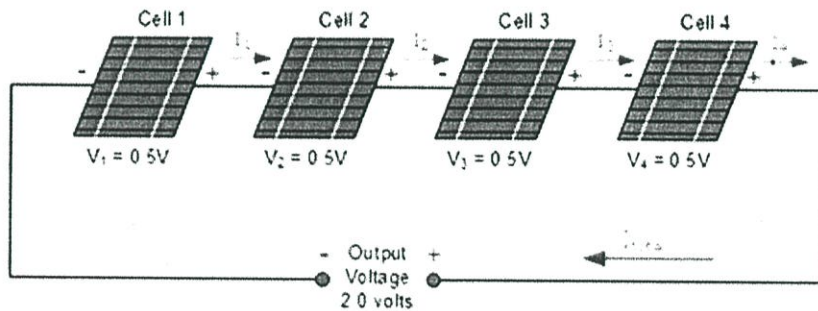
แผง PV หรือ solar module นั้นสร้างจากเซลล์ PV จำนวนมากที่มาต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมและเคลือบเพื่อป้องกันการกระแทกจากสิ่งแวดล้อม ให้ solar module เดี่ยวที่มีแรงดันเอาต์พุตสูงขึ้นมากกว่าจากเซลล์ PV เดี่ยว ดังรูปด้านล่าง

2.10 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบอนุกรม

จากแผนผังการต่อข้างต้น ต่อเซลล์ PV เข้าด้วยกันในรูปแบบอนุกรม หากเราถือว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเซลล์ PV แต่ละตัวเท่ากันหมด หรือ 0.5 โวลต์ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตรวมที่ได้จะเป็นผลรวมแรงดันเอาต์พุตจากแต่ละเซลล์ คำนวณได้จาก $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0.5V + 0.5V + 0.5V + 0.5V = 2.0V$ ในกรณีกระแส กระแสเอาต์พุตยังมีค่าเดิมเท่ากับกระแสที่ได้จากเซลล์แต่ละเซลล์ หรือ $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_{Total}$ ส่วนของกำลังเอาต์พุต

เอาท์พุทรวมนั้นมีค่าเท่ากับผลรวมกำลังจากแต่ละเซลล์ ซึ่งก็คือผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสที่ได้กล่าวมาข้างต้น

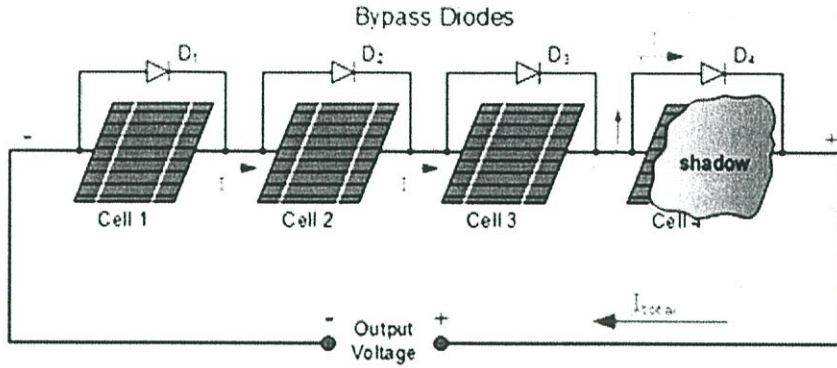
สำหรับการต่อเซลล์ PV เข้าด้วยกันในรูปแบบนี้มีข้อเสียข้อหนึ่งคือ จะทำให้เกิดผลที่ไม่เป็นที่ต้องการขึ้น คือเมื่อเซลล์ PV หนึ่งไม่ทำงาน ไม่ว่าจะเสีย หรือส่วนหนึ่งไม่ได้รับแสงอาทิตย์แม้เพียงส่วนเดียว ก็จะเหมือนกับเซลล์ที่ต่อเข้าด้วยกันทั้งหมดแบบอนุกรมไม่ได้รับแสงเลย เป็นผลให้สูญเสียกำลังเอาท์พุททั้งหมด นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงที่กระแสเต็มจากส่วนที่เหลืออยู่ของเซลล์จะไม่ผ่านเซลล์ที่ไม่ได้รับแสง และเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนสูงเกิน ที่เรียกกันว่า “hot spot heating” ดังนั้นจึงจำเป็นที่ให้การดำเนินงานของแผง PV ที่ต่อกันแบบอนุกรมหลีกเลี่ยงการไม่ได้รับแสง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายทางไฟฟ้าของเซลล์ จึงนำไดโอดที่เรียกว่า “bypass diodes” มาต่อขนานเข้ากับเซลล์ PV เหล่านี้ ดังรูป โดยต่อ bypass diode เข้ากับเซลล์ PV แต่ละเซลล์



รูปที่ 2.6 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบอนุกรม

2.11 ป้องกันวงจรเสียหายโดยใช้ Bypass Diode

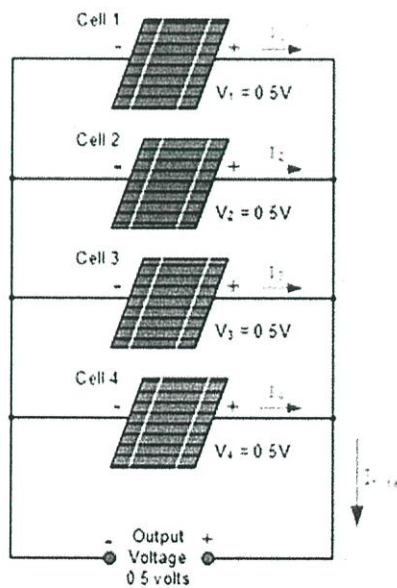
การใช้ bypass diode นั้นจำกัดแรงดันคร่อมเซลล์ที่ใช้งานไม่ได้โดยใช้การไบอัสย้อนกลับ เพื่อให้กระแสจำนวนหนึ่งผ่าน bypass diode เมื่อนำกระแส จะยอมให้กระแสจากเซลล์ PV ที่ใช้งานได้ไหลไปยังวงจรภายนอก แรงดันย้อนกลับสูงสุดคร่อมเซลล์ที่ใช้งานไม่ได้จึงลดลงเหลือเท่ากับแรงดันตกคร่อมไดโอด 1 ตัว ดังนั้นจะไม่เกิดแรงดันระดับสูงขึ้นในทิศทางกระแสย้อนกลับคร่อมเซลล์นี้ จึงจำกัดกระแสและป้องกันความร้อนสูงเกินเนื่องจากการสูญเสียกำลังน้อยลง ในรูปแบบทั่วไปแล้วจะต่อ bypass diode เข้ากับเซลล์ PV เพียงแต่ละตัว แต่ในทางปฏิบัติ จะมี bypass diode ตัวเดียวสำหรับเซลล์ PV จำนวนมาก



รูปที่ 2.7 การต่อ bypass diode เข้ากับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

2.12 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบขนาน

เซลล์ PV นั้นต่อเข้าด้วยกันแบบ “ขนาน” เมื่อปลายทั้งสองต่อเข้ากับปลายของเซลล์ PV ทั้งหมด ซึ่งต่างไปจากการต่อแบบอนุกรม วงจรขนานนั้นกระแสจะเดินทางมากกว่า 1 เส้นทาง เนื่องจากมีเส้นทางหลายเส้นทางที่กระแสแตกต่างกันเดินทางในวงจรแบบขนาน อย่างไรก็ตาม แรงดันที่ได้จากแต่ละเซลล์ในวงจรแบบขนานนั้นมีค่าเท่ากัน ดังนั้น เซลล์ PV ที่ต่อกันแบบขนานจะมีแรงดันเท่ากันทั้งหมด



รูปที่ 2.8 การต่อ เซลล์ PV เข้าด้วยกันแบบขนาน

จากตัวอย่างข้างต้น เซลล์ PV ทั้ง 4 ต่อเข้าด้วยกันแบบขนาน สำหรับการต่อเซลล์แบบขนานนี้ แรงดันเอาต์พุตรวมนั้นจะมีค่าเท่ากับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละเซลล์ ดังนั้น $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_{Total}$ หากถือว่ากระแสเอาต์พุตที่ได้จากเซลล์ PV แต่ละเซลล์คือ 1.0แอมป์ กระแสเอาต์พุตรวมจะมีค่าเท่ากับกระแสเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละเซลล์ คือ $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 1.0A + 1.0A + 1.0A + 1.0A = 4.0A$ ดังนั้นเราสามารถให้การต่อเซลล์ PV แบบขนานเพื่อให้ได้กระแสเอาต์พุตที่สูงขึ้น สำหรับกำลังเอาต์พุตรวมนั้นหาได้จากกำลังเซลล์ PV เดี่ยวแต่ละเซลล์ หรือจากผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า

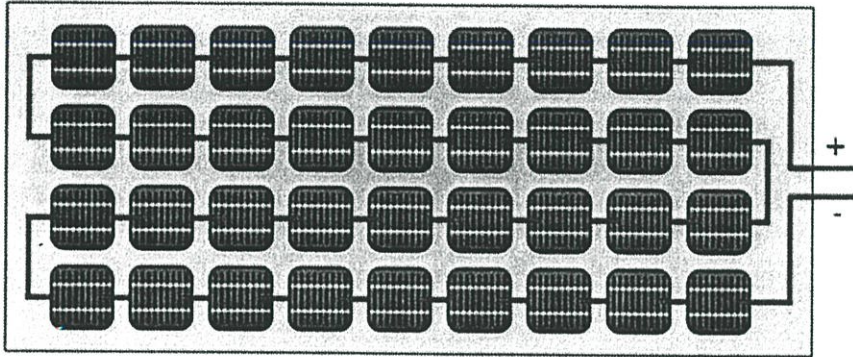
ก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงว่าสามารถเกิดการไม่เท่ากันของกระแสได้เนื่องจากการต่อเซลล์ PV ที่ต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งเป็นผลจากการไม่ได้รับแสงอาทิตย์หรือเซลล์ไม่ทำงาน ทำให้เซลล์ที่ดีไบออสเซลล์ที่ไม่ทำงานส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังในเซลล์ที่ไม่ทำงานและทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “hot spot heating” ที่ทำให้แผง solar เสียหายอย่างรุนแรง สำหรับการต่อแผง PV แบบขนาน ก็เช่นเดียวกัน การ “mismatch” แรงดันนั้นมีผลมากขึ้นด้วย

แล้วเหตุใดการใช้เซลล์ solar เพื่อสร้างแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิด “mismatch” ของแรงดันได้ จากตัวอย่างการต่อเซลล์แบบขนานข้างต้น เราถือว่าเซลล์แต่ละเซลล์ให้แรงดัน 0.5 โวลต์ แต่ไม่เป็นจริงเสมอไป ที่กระแสเอาต์พุตต่ำ(วันที่ไม่สว่าง) mismatch ของแรงดันนี้ก็จะยังไม่เกิดปัญหา อย่างไรก็ตาม เมื่อกระแสแผงพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เซลล์ที่ไม่ทำงานจะหยุดจ่ายกำลัง และสูญเสียกำลังหรือกินกำลังทำให้แรงดันเอาต์พุตลดลง เช่นเดียวกับการต่อเซลล์แบบอนุกรม ปรากฏการณ์ที่เกิดเนื่องจากแผงไม่ได้รับแสงอาทิตย์ หรือเซลล์ไม่ทำงาน ทั้งหมดแล้วทำให้เกิด mismatch ระหว่างเซลล์ PV เหล่านี้ได้

การต่อเซลล์แบบขนานนั้นจะเกิดปัญหาเนื่องจากการไม่ได้รับแสงอาทิตย์น้อยลง เนื่องจาก mismatch แรงดัน นั้นจะสร้างปัญหาที่ใหญ่กว่าได้ แล้วเหตุใดจึงไม่ต่อเซลล์ในแผงพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ในรูปแบบขนาน คำตอบคือในความเป็นจริงแล้ว เซลล์เกือบทั้งหมดนั้นต่อกันแบบอนุกรมเนื่องจากการต้องการให้แรงดันเอาต์พุตสูงขึ้น

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นที่นิยมสำหรับการประจุพลังงานแสงอาทิตย์คือ module ชนิด 36 เซลล์ที่ให้แรงดันเปิดประมาณ 21 โวลต์ โดยถือว่าแรงดันเซลล์สูงสุดคือ 0.58 โวลต์ ที่ลดลงเหลือ 16.5 โวลต์ภายใต้ Full โหลด แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 36 เซลล์นี้เหมาะสมสำหรับการใช้งานบริเวณอากาศร้อน เพื่อให้การสูญเสียกำลังน้อยที่สุดเมื่อต้องใช้งานที่อุณหภูมิที่สูงกว่า ต้องไม่ลืมว่า

แผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต้องอยู่กลางแจ้งตลอดวัน นอกจากนี้แรงดันที่เกินมานั้นจะชดเชยแรงดันตกคร่อมในระบบเมื่อต้องต่อสายใช้งานที่ยาว



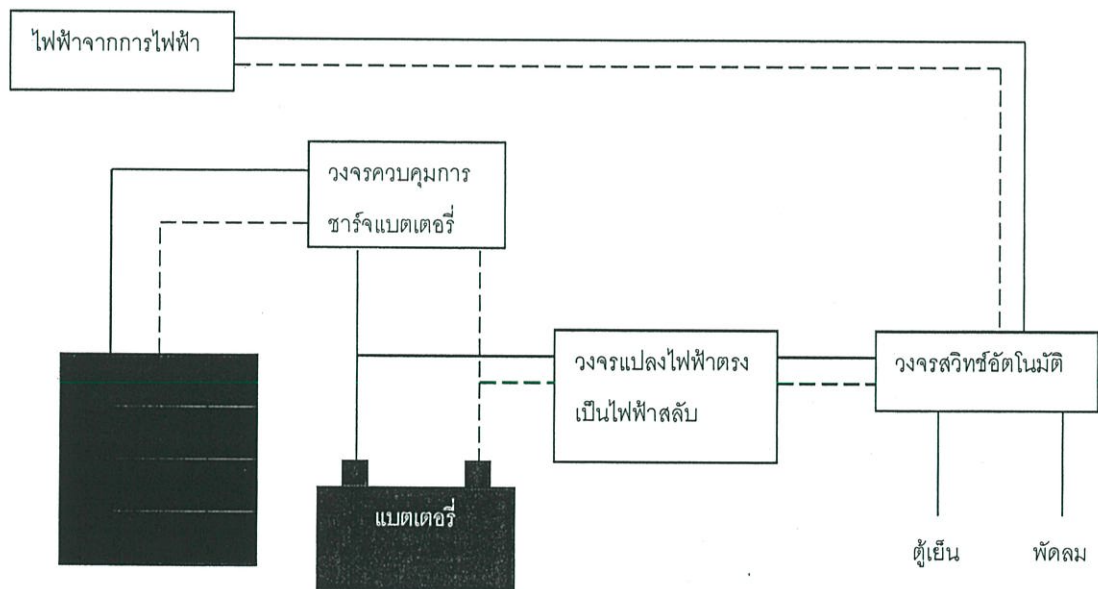
รูปที่ 2.9 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด 36 เซลล์ที่ใช้กันทั่วไป

เราได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วว่าเซลล์ PV เดียวนั้นเป็นพื้นฐานในการสร้างแผงพลังงานแสงอาทิตย์หรือ module ที่สมบูรณ์ และให้ข้อดีอย่างมากในการสร้างแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถให้แรงดันและกระแสตามที่ต้องการสำหรับการใช้งาน อาจนำเซลล์ PV มาต่อกันแบบขนานเพื่อให้ได้กระแสที่ต้องการ หรือต่อกันแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการ หลังจากนั้นนำกระแสจากแก้วมาคลุมไว้ และปิดผนึกเพื่อป้องกันการสึกกร่อน ความชื้น มลภาวะและอากาศที่สภาวะต่างๆ

สามารถใช้แผง PV แยกอิสระกัน หรือต่อเข้าด้วยกันแบบขนานและแบบอนุกรมกับแผง PV และ modules อื่นๆ เพื่อสร้างชุดแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้กระแสและแรงดันเอาท์พุทที่สูงขึ้น สามารถจัดรูปแบบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ไว้บนหลังคาหรือผนัง และจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นี้ให้แก่อาคารบ้านเรือนได้โดยตรง ด้วยเทคโนโลยี PV ล่าสุด สามารถนำเซลล์เหล่านี้มารวมกันไว้บนหลังคาอาคารได้ สามารถรวมกลุ่มเซลล์ PV เข้าด้วยกันเพื่อให้กำลังสูงขึ้น

2.13 โครงสร้างทั่วไปของระบบ

ระบบสำรองกำลังไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นและนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วโลก เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆทำงานได้อย่างราบเรียบโดยไม่มีผลกระทบจากการสะดุดการจ่ายไฟ ดังนั้นระบบสำรองกำลังไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบรวมทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยทั่วไปแล้วมักเกิดกรณีที่ระบบสำรองกำลังไฟฟ้าไม่ทำงานอย่างที่ควรจะเป็น เมื่อต้องการใช้ และการไม่ทำงานของระบบนี้ทำให้เกิดการสูญเสียเรื่องเวลาและค่าใช้จ่ายภายในโรงงาน ระบบที่สามารถตรวจสอบระบบการจ่ายไฟสำรองสามารถตรวจจัดการทำงานที่ไม่ปกติของระบบได้ นอกจากนี้ระบบยังต้องกันความล้มเหลวที่อาจส่งผลต่อการดำเนินงานของโรงงาน ระบบตรวจสอบนี้สามารถทำให้คุณภาพแหล่งจ่ายไฟดีขึ้น ให้สัญญาณที่เรียบและไม่มีผลกระทบเมื่อดำเนินงาน เช่น การควบคุมขบวนการการผลิตทางโรงงาน คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบการสื่อสารข้อมูล และป้องกันการกระทบกระเทือนแหล่งจ่ายไฟ ระบบที่กล่าวมาแสดงดังแผนผังด้านล่าง



รูปที่ 2.10 แผนผังระบบจ่ายไฟอัตโนมัติโดยพลังงานแสงอาทิตย์หรือจากการไฟฟ้า

ระบบสำรองไฟให้แหล่งจ่ายไฟที่เสถียรแก่ระบบในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟปกติไม่ทำงาน เป็นสิ่งสำคัญสำหรับระบบสำรองไฟนี้ที่ต้องสามารถทำงานได้ทันที เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียข้อมูล การปิดระบบที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือการทำงานอุปกรณ์ผิดพลาด โดยทั่วไปแล้ว สามารถแยกระบบสำรองไฟนี้ได้เป็น off-line UPS, line interactive UPS และ on-line UPS สำหรับระบบ on-line ประกอบด้วย rectifier, ตัวประจุไฟ แบตเตอรี่ และ static transfer switch ภายใต้อุปกรณ์ line ปกติ โหลดจะได้รับการจ่ายไฟจากไฟปกติ เมื่อแหล่งจ่ายไฟปกติไม่ทำงาน แบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟอย่างต่อเนื่องให้แก่โหลดนี้แทน นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังต้องได้รับการประจุเมื่อจำเป็น เมื่อแหล่งจ่ายไฟปกติกลับมา

2.14 ความแตกต่างระหว่างแหล่งจ่ายไฟสองทางและระบบ UPS

สำหรับโครงการนี้แหล่งจ่ายไฟนั้นคือระบบจ่ายไฟสองทาง ขณะที่ UPS ตัวแบตเตอรี่นั้นทำหน้าที่เป็นตัวสำรองไฟ ระบบจ่ายไฟสองทางจะใช้แบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาเป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก วัตถุประสงค์ของโครงการนี้จึงค่อนข้างตรงกันข้ามกับการสร้าง UPS เนื่องจากโครงการนี้สร้างแหล่งจ่ายไฟเพื่อใช้ในบ้านแทนที่จะใช้ในโรงงาน เนื่องจากใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก นอกจากนี้โครงการนี้ยังเป็นโครงการที่สร้างขึ้นเพื่อประหยัดพลังงาน ต่างกับระบบ UPS ที่ใช้แบตเตอรี่เฉพาะเป็นแหล่งจ่ายสำรองไฟเท่านั้น

- ระบบ UPS มีแบตเตอรี่เป็นตัวสำรองไฟ
- ระบบจ่ายไฟสองทางใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก
- ระบบจ่ายไฟสองทางนี้ แบตเตอรี่ได้รับการประจุโดยแผงพลังงานแสงอาทิตย์
- ระบบ UPS แบตเตอรี่ได้รับการประจุโดยไฟบ้าน
- แหล่งจ่ายไฟ AC ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายสำรองในระบบแหล่งจ่ายไฟสองทาง
- แหล่งจ่ายไฟ AC คือไฟฟ้าจากการไฟฟ้าสำหรับระบบ UPS
- ใช้ระบบ UPS ในโรงงาน
- ใช้ระบบจ่ายไฟสองทางภายในบ้าน

การทำงาน

- * แผงพลังงานแสงอาทิตย์จะประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ วงจรควบคุมจะตรวจจับระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็มแล้ว วงจรจะทำให้ inverter กำลังทำงาน พร้อมสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้รับไฟจากแบตเตอรี่แทนที่จะเป็นจากการไฟฟ้า
- * หลังจากนั้นเมื่อระดับแรงดันแบตเตอรี่ต่ำเกินไป วงจรจะสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้าให้กลับมาใช้ไฟจากการไฟฟ้าเองโดยอัตโนมัติจนกว่าแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มที่อีกครั้ง
- * การออกแบบนี้ไม่ต้องแก้ไขเครื่องไฟฟ้าใดๆ หรือระบบไฟฟ้าภายในบ้านของเรา สามารถใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟที่สามารถประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ได้(เช่น กังหันลม, เครื่องปั่นไฟจากจักรยาน และอื่นๆ)

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ

- แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 โวลต์
- แบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์
- วงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่
- วงจรแปลงไฟตรงเป็นไฟสลับ(inverter)
- วงจรสวิตช์ซึ่งอัตโนมัติ

เมื่อประกอบระบบ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ inverter จะต่อเข้ากับวงจรควบคุม วงจรสวิตช์ซึ่งอัตโนมัติต่อเข้ากับ inverter และปลั๊กไฟบ้านและอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน ต่อเข้ากับวงจรสวิตช์ซึ่ง

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ inverter นั้นมีอยู่แล้ว ส่วนที่ต้องสร้างคือวงจรควบคุม และวงจรสวิตช์ซึ่งอัตโนมัติ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่อไป

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้คือขนาด 5 วัตต์ ความแตกต่างโดยทั่วไปของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องตลาดคือ ความเร็วในการประจุแบตเตอรี่และจะถูกกระตุ้นเพื่อให้ทำงานบ่อยครั้งเท่าใด

2.15 การเลือกแบตเตอรี่

เมื่อเลือกแบตเตอรี่ ก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย แบตเตอรี่นั้นจะมีประสิทธิภาพมากกว่าและใช้งานได้นานกว่าเมื่อได้รับการประจุและคายประจุอย่างช้าๆ นอกจากนี้ยังขึ้นกับว่าใช้ไฟแบตเตอรี่จนหมดบ่อยครั้งหรือไม่ แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่า แต่แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมีราคาสูงและกินพื้นที่มาก แบตเตอรี่ที่มีรอบการประจุได้นานจะดีกว่าในด้านที่ทำการประจุไฟและคายประจุเป็นประจำในส่วนของระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพง

2.16 การเลือก inverter กำลัง

Inverter กำลังแปลงเอาท์พุทจากระดับแรงดันไฟ 12 โวลต์จากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟ 220 โวลต์ AC ที่สามารถจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้ โดยทั่วไปแล้ว inverter นี้จะแสงกำลังจ่ายสูงสุดในรูปของวัตต์ peak และวัตต์ต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วการใช้ไฟควรรอยต่ำกว่าระดับขีดจำกัดต่อเนื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนสูง

2.17 ส่วนต่างๆของวงจร

ระบบ photovoltaic หรือแหล่งกำลังไฟทางแสงอาทิตย์ มีชุดอุปกรณ์หลายชุดด้วยกันที่ทำงานอย่างถูกต้องและอย่างปลอดภัย ระบบพื้นฐานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์นี้ให้อิสรภาพใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เราไม่ต้องขึ้นกับกำลังไฟจากการไฟฟ้าอย่างเดียว

อันดับแรกเราต้องมีชุดสร้างพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ “solar cell” ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารหรือบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์ได้โดยตรง solar cell เหล่านี้จะรับเอาแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปกระแสไฟตรง(DC) ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถแปลงให้เป็นไฟสลับ(AC) ที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านได้

จากชุด solar cell กำลังไฟ DC นั้นถูกส่งผ่านตัวควบคุมประจุ(charge controller) ที่ควบคุมการจ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่ในระดับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่ยึดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และให้แน่ใจว่าแบตเตอรี่ได้รับประจุอย่างเหมาะสมเพื่อการใช้งานได้ดีที่สุด

ฟิวส์ป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมการประจุและแบตเตอรี่ที่จ่ายไฟให้กับบ้าน อุปกรณ์ความปลอดภัยทางไฟฟ้านี้คือตัวจำกัดกระแสเพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าเสียหาย

ชุดแบตเตอรี่นี้ประกอบด้วยแบตเตอรี่อย่างน้อย 6 ตัวขึ้นกับว่าจะใช้ไฟมากน้อยเพียงใด เราอาจใช้ระดับแรงดันแบตเตอรี่ 1 ใน 3 ตัวนี้คือระบบ 12- 24- หรือ 48 โวลต์ กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

อีกวิธีในการประจุแบตเตอรี่คือเครื่องปั่นไปที่สามารถจ่ายไฟ AC ให้แก่เครื่องไฟฟ้าภายในบ้าน เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์หรือเมื่อแบตเตอรี่หมดไป ขณะเดียวกันก็ทำการประจุแบตเตอรี่ที่หมดไฟด้วยตัวชาร์จแบตเตอรี่เพื่อให้ระบบจ่ายไฟกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง การต่อตัวชาร์จแบตเตอรี่ยังได้รับการป้องกันจากฟิวส์ที่ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ด้วย

ฟิวส์อีกตัวหนึ่งที่ใช้คือก่อนการแปลงกำลังไฟฟ้า DC เป็นกำลังไฟฟ้า AC ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า inverter ตัว inverter นี้ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้าให้เป็นแหล่งกำลังไฟฟ้าที่สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้ไฟ AC

เพื่อที่จะได้กำลังไฟฟ้าทั้งจาก solar cell หรือเครื่องปั่นไฟสำรอง เราจะติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า transfer switch อุปกรณ์นี้สวิตช์กำลังไฟฟ้าจากกำลังไฟฟ้าหลักเป็นกำลังไฟฟ้าสำรอง ในกรณีนี้ กำลังไฟฟ้าหลักคือกำลังไฟฟ้าที่ได้จาก solar cell และกำลังไฟฟ้าสำรองคือเครื่องปั่นไป เมื่อได้กำลังไฟฟ้าจากระบบ solar cell แล้ว ตัว transfer switch จะสวิตช์ไปใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปั่นไป และด้วยระบบอัตโนมัติ เครื่องปั่นไปจะทำงานเองและเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยเครื่องปั่นไฟ

หลังจากนั้น transfer switch จะป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า AC ภายในบ้านผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า AC loads controller อุปกรณ์นี้ควบคุมกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่เข้ามาและป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ให้เสียหายด้วยฟิวส์ อุปกรณ์ไฟฟ้า AC ที่กล่าวถึงรวมถึง อุปกรณ์ไฟฟ้า มอเตอร์และอื่นๆ

ยังสามารถเลือกที่จะไม่ใช่ไฟจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า DC ภายในบ้านได้ หากเราต่อสายไฟแหล่งจ่ายเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้า DC ภายในบ้าน การต่อสายนี้จะต่อเข้ากับ DC loads controller เช่นเดียวกับ AC loads controller ที่ป้องกันกับอุปกรณ์ไฟฟ้า DC พัดลม หลอดไฟ

และอื่นๆ นอกจากนี้จะมีวงจรป้องกันกระแสเกิน และควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่จะจ่ายให้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ดังที่กล่าว

ไม่ว่าเรากำลังสร้างบ้านหลังใหม่ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือใช้กำลังไฟฟ้าที่มีอยู่แล้ว ระบบนี้เป็นระบบที่ดีเยี่ยมที่ช่วยให้เราประหยัดค่าไฟ ค่าแนะนำคือก่อนที่จะซื้อระบบนี้ให้มองดูระบบการจ่ายไฟที่เราใช้อยู่แล้ว พร้อมอธิบายให้เข้าใจเกี่ยวกับค่าใช้จ่าย การประหยัดเงินและความชอบระบบนี้

DC to AC inverter ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้า DC ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า AC สูงอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าจากบ้าน ใช้ inverters กับงานหลายด้าน กำลังไฟจากแหล่งจ่ายไฟ DC แรงดันต่ำเช่นจากแบตเตอรี่ solar cell หรือ fuel cell(เซลล์เชื้อเพลิง) นั้นต้องถูกแปลงเป็นแรงดัน AC สูง เพื่อนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า AC ตัวอย่างหนึ่งในการแปลงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์ก็นำมาใช้กับ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์หรือโทรศัพท์มือถือ

วิธีในการแปลงแรงดันไฟฟ้า DC กำลังต่ำให้เป็นแรงดันไฟฟ้า AC กำลังสูงนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นแรกคือการแปลงกำลังไฟฟ้า DC ต่ำให้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า DC สูง และขั้นที่สองคือแปลงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า DC สูงให้เป็นแรงดัน AC(สัญญาณรูป sine) โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า pulse width modulation อีกวิธีหนึ่งในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าคือแปลงแรงดันไฟฟ้า DC กำลังต่ำให้เป็นแรงดันไฟฟ้า AC หลังจากนั้นใช้หม้อแปลงเพื่อขยายแรงดันไฟฟ้า AC กำลังต่ำนี้ให้เป็น 220 โวลต์ โครงการนี้จะกล่าวถึงการแปลงสัญญาณไฟฟ้าโดยวิธีแรก

สำหรับ DC to AC inverter ในท้องตลาดเราทุกวันนี้มักจะให้แรงดันเอาต์พุต AC ออกมาด้วยกันสองแบบคือ รูปสัญญาณ sine ที่แก้ไขและ sine wave ตรงๆ สัญญาณ sine ที่ได้รับการแก้ไข นั้นมักจะมีรูปเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมมากกว่าที่จะเป็นสัญญาณรูป sine จริงๆ เกิดจากการผ่านแรงดัน DC กำลังสูงในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดัน rms ที่ได้เหมือนกับสัญญาณรูป sine inverter ชนิดนี้มีราคาสูงกว่า inverters ที่ใช้สัญญาณรูป sine ตรงๆ จึงเป็นทางเลือกสำหรับนำมาใช้งาน

Inverters ที่ให้สัญญาณรูป sine ตรงๆ นั้น ให้เอาต์พุตสัญญาณรูป sine เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากไฟบ้าน อุปกรณ์เหล่านี้สามารถทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่มีความไวได้จำนวนมากขึ้น ในขณะที่สัญญาณรูป sine ที่ได้รับการแก้ไขนั้นสามารถทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น เครื่องพิมพ์ เลเซอร์ เครื่องมือทางไฟฟ้า นาฬิกาดิจิตอล และอุปกรณ์ทางการแพทย์เสียหายได้ รูปแบบสัญญาณ

กำลังไฟฟ้า AC นี้ยังลดเสียงรบกวนในอุปกรณ์ต่างๆที่เราได้ยินได้ เช่น หลอดฟลูออโรและหลอดที่มีตัวเหนี่ยวนำอยู่ด้วย เช่น มอเตอร์ ทำให้ทำงานได้เร็วขึ้นและเงียบขึ้นเนื่องจากมีความผิดพลาดด้านฮาร์โมนิกที่ต่ำ

สำหรับตลาดของ inverters มีตัวเลือกให้เราจำนวนมาก นั่นคือมีราคาที่สูงมากไปจนถึงราคาต่ำมาก ตามระดับคุณภาพ ประสิทธิภาพ และความสามารถกำลังทางด้านเอาต์พุต inverters คุณภาพสูงที่มาพร้อมกับประสิทธิภาพการทำงานสูงแม้จะหมายถึงราคาสูงด้วย ตัวอย่างเช่นผู้ผลิต Samlex America 600 W นั้นเป็น inverter สัญญาณไฟฟ้ารูป sine ธรรมดาๆ มีราคาถึง 8700 บาท ขณะที่ผู้ผลิต GoPower 600 W inverters ที่ให้สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตรูป sine ที่ได้รับการแก้ไขนั้น มีประสิทธิภาพมาก แต่สัญญาณที่ได้นั้นมีจำนวนฮาร์โมนิกมาก ที่อาจมีผลต่ออุปกรณ์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนเช่นจอแสดงผลทางการแพทย์ อย่างไรก็ตามยังมี inverters ราคาถูก

2.18 ขนาดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์(PV)

สมการหลักตามสมการสมดุลของพลังงานนั้นนำมาใช้เพื่อคำนวณขนาด PV module ที่ดีที่สุดตามหลอดต่างๆ ดังนี้

$$PV \text{ Cell Rating}(P_{PV}) = \{(P_{TL} \times S.F) / sun \text{ hour}\} \text{ watt} \quad (1)$$

เมื่อ

Sun hour = 6.2 ชั่วโมงสำหรับย่านที่นำแผงพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน

Safety Factor(S.F) = 1.5 สำหรับวันที่อากาศมีดครึ้ม/มีการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ต่ำ

P_{TL} คือพลังงานหลอดรวมในหน่วย วัตต์-ชั่วโมง(เช่น กำลังหลอดรวมในช่วง 24 ชั่วโมง โดยถือว่า กำลังหลอดต่อชั่วโมง(P_L) นั้นคงที่

$$P_{TL} (Wh) = \sum_0^{24hr} (P_L) \quad \text{Watt-Hours} \quad (2)$$

$$\text{ค่า PV module สูงสุด} = P_{PV} / \text{PV module rating} \quad \text{มาตรฐาน} \quad (3)$$

การออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของระบบพลังงานแสงอาทิตย์(PV) แบบ hybrid นั้นคำนวณได้จากสมการ 1-3 สำหรับความต้องการพลังงานโหลดประจำวันที่เปลี่ยนแปลง สำหรับบ้านเรือนต่างๆ ซึ่งแสดงดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 จำนวน PV module มาตรฐาน

พลังงานโหลด (วัตต์-ชั่วโมง)	จำนวน PV module ขนาด 75 Wp
300 Wh	1
500 Wh	2
1000 Wh	3
2000 Wh	6

2.19 ขนาดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เก็บพลังงานค่าสูงสุดในรูปของพลังงานต่อความต้องการโหลดเฉลี่ย

$$\text{ความจุแบตเตอรี่(Ah)} = P_{TL} / (12V \times SOC) \quad (4)$$

เมื่อ SOC(State of Charge) ของแบตเตอรี่ = 50%

การหาขนาดของแบตเตอรี่นั้นคำนวณได้จากสมการที่ 4 สำหรับกำลังโหลดประจำวันที่เปลี่ยนแปลง เช่น พลังงานที่ต้องการสำหรับใช้ในบ้าน แสดงดังตารางด้านล่าง

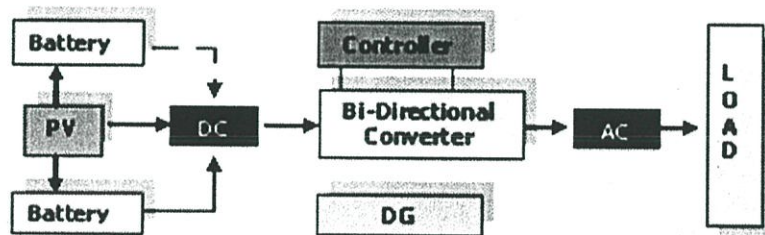
ตารางที่ 2.2 ความจุแบตเตอรี่

พลังงานโหลด (วัตต์-ชั่วโมง)	ความจุแบตเตอรี่ (แอมป์-ชั่วโมง, Ah)
300-500 Wh	80 Ah
1000 Wh	150 Ah
2000 Wh	300 Ah

2.20 โหมดการทำงานของระบบ

ในตอนกลางวัน

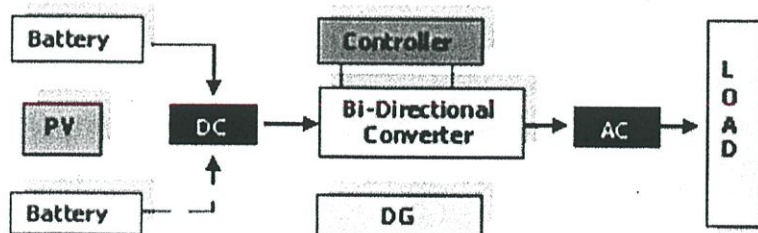
รูปด้านล่าง ใช้แหล่งจ่ายไฟจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเลือกหลัก ขณะเดียวกันก็ปิดการใช้ไฟจากการไฟฟ้า กำลัง DC ของ PV นั้นจะใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟฟ้าไว้ แปลงเป็นกำลัง AC โดย converter สำหรับใช้งานกับโหลด หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน และขณะเดียวกันก็ทำการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ตัวอื่นๆด้วย



รูปที่ 2.11 การทำงานของระบบจ่ายไฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน

ระหว่างเวลาในตอนกลางคืน

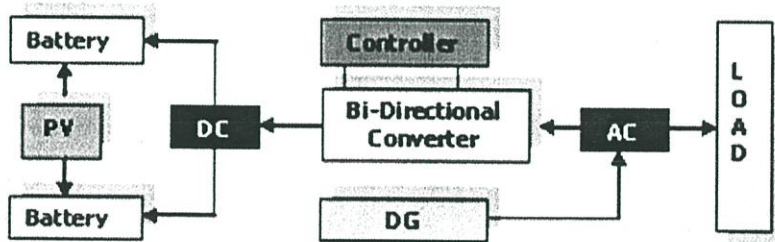
รูปด้านล่างแสดงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเดียวขณะที่ไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ converter แปลงกำลังไฟ DC ให้เป็นไฟ DC สำหรับโหลด แบตเตอรี่นี้จะจ่ายไฟให้แก่โหลดในระดับแรงดันสูงสุด



รูปที่ 2.12 การทำงานของระบบในตอนกลางคืน

2.21 ระหว่างช่วงเวลาไฟตก

ไฟตกเกิดขึ้นเมื่อแสงอาทิตย์อ่อน หรือวันที่ไม่มีแสงแดด ขณะเดียวกันโหลดก็ต้องการใช้ไฟจำนวนมาก ทำให้การประจุแบตเตอรี่ต่ำ ระบบอาจเผชิญปัญหาในช่วงเวลานั้นและเวลากลางคืน เพื่อให้เกิดความสมดุลการใช้พลังงานระหว่างไฟตก แบตเตอรี่จะจ่ายไฟถึงระดับสูงสุด จึงอาจต้องนำเครื่องปั่นไฟมาใช้ รูปด้านล่าง การตั้งค่า DG จ่ายไฟให้โหลดเช่นเดียวกับประจุแบตเตอรี่ จนได้ระดับแรงดัน 12.8V-13.4V กลับคืนมา

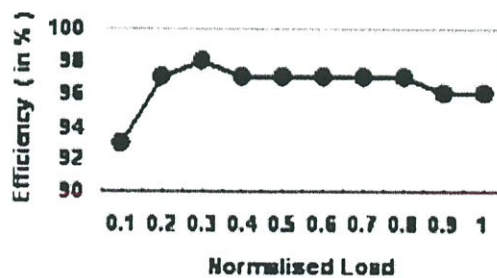


รูปที่ 2.13 การทำงานของระบบระหว่างไฟตก

2.22 การประเมินสมรรถนะและค่าใช้จ่ายของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบ converter

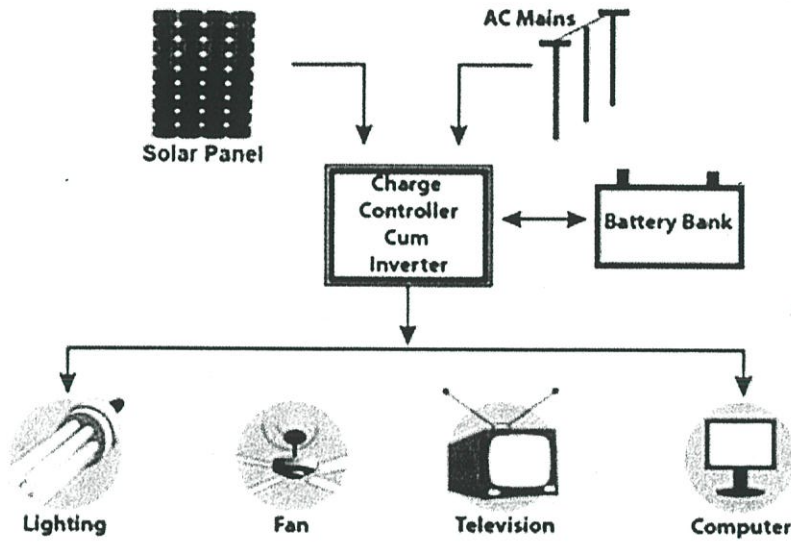
พบว่าประสิทธิภาพของระบบ converter นั้นมีค่าเกือบคงที่ในช่วง 96% หรือมากกว่านั้น ภายใต้ค่าโหลดต่างๆ แสดงดังรูปด้านล่าง ที่แสดงการสูญเสียต่ำและใช้แหล่งพลังงานสูงสุด



รูปที่ 2.14 ประสิทธิภาพของระบบ converter

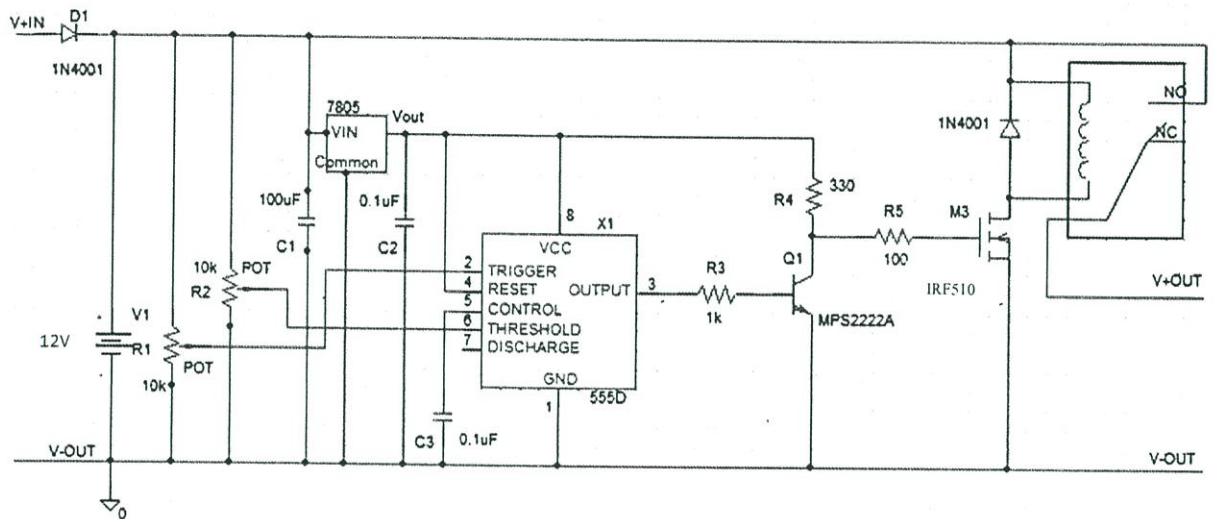
บทที่ 3

การออกแบบ



รูปที่ 3.1 ระบบเลือกการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และไฟบ้าน

3.1 การออกแบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟเข้าสู่เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมการจ่ายไฟเข้าสู่เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจร

Regulator 5 โวลต์นั้นจะจ่ายไฟให้แก่ Timer IC 555 และตั้งค่าระดับแรงดันอ้างอิงภายใน คู่ของตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะได้รับการตั้งค่าให้เป็นตัวแบ่งแรงดัน ที่ให้สัญญาณแก่ IC 555 ที่เป็น สัดส่วนกับแรงดันของแบตเตอรี่ สัญญาณเหล่านี้เป็นตัวกำหนดช่วงการทำงานของระบบ เมื่อแรงดัน ของแบตเตอรี่เพิ่มและลด สัญญาณเอาต์พุตของตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้นี้จะเปลี่ยนไปด้วย เมื่อ สัญญาณที่ขา 6 สูงกว่า 3.3 โวลต์ เอาต์พุตของ IC จะมีสถานะเป็น "LOW" และทำให้รีเลย์ทำงาน ผ่านชุดของทรานซิสเตอร์ต่างๆ

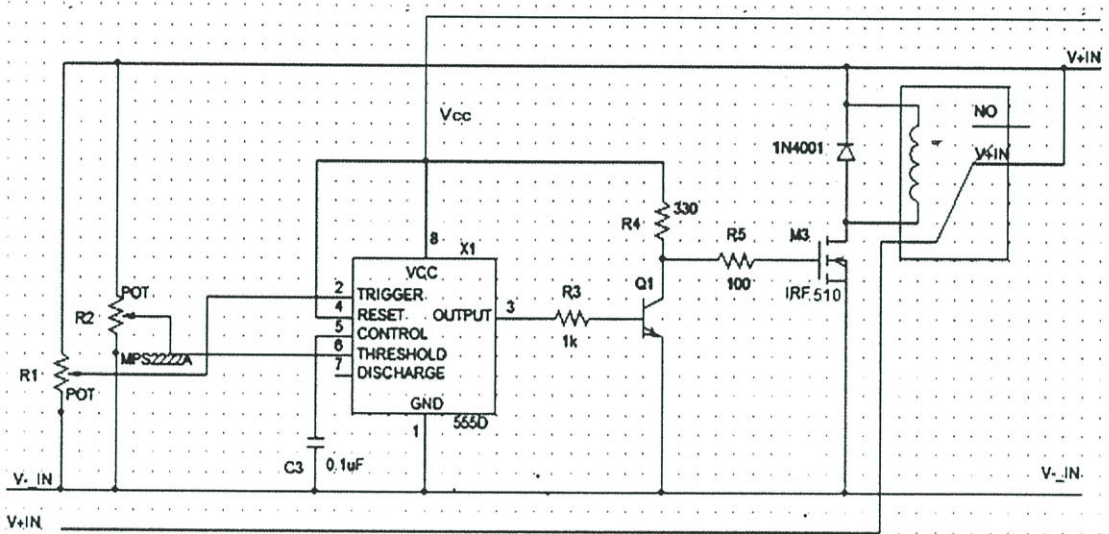
เมื่อระดับแรงดันที่ขา 2 ต่ำกว่า 1.6 โวลต์ เอาต์พุตของ IC 555 จะมีสถานะเป็น "High" ที่ ทำให้รีเลย์หยุดทำงาน โดยปรับค่าตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ สามารถกำหนดระดับแรงดันได้ว่าจะใช้ งานแบตเตอรี่ใช้งานหรือไม่ใช้งานให้แก่เอาต์พุตเมื่อใด

หากเอาต์พุตของแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการเก็บ ประจุโดยแบตเตอรี่ และเรากำลังจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ที่ต้องใช้งานบ่อยครั้ง เราก็ไม่ต้องกังวล

เกี่ยวกับการประจุแบตเตอรี่เกิน อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้ตัวควบคุมการเก็บประจุ อาจต้องวงจรนี้ ระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และวงจรควบคุม

การต่ออุปกรณ์ข้างต้นนั้นยังไม่เป็นค่าปรับแต่ง เพียงเป็นแนวทางในการต่อวงจร การปรับค่าสุดท้ายนั้นขึ้นกับชนิดของแบตเตอรี่ที่เราใช้และช่วงการทำงาน

3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่

การทำงานของวงจร

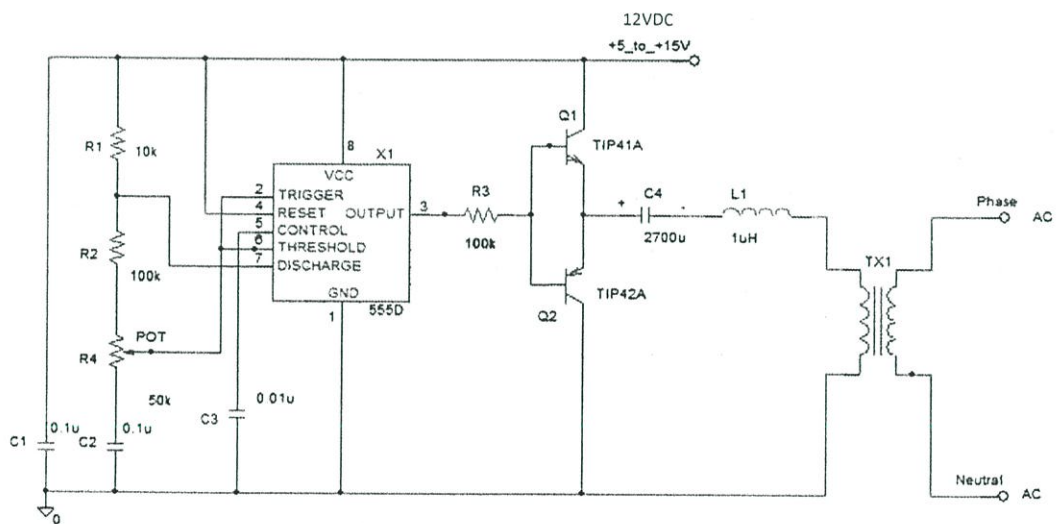
IC 555 Timer จะมีการทำงานเมื่อมี อินพุทขนาด 3.3 โวลต์จะให้ เอ้าท์พุทของ IC ทำงานในสถานะ high และปล่อยพัลส์ ออกไปทางขา 3 เมื่อมีโวลต์ตกคร่อมขาเบสของทรานซิสเตอร์ IRF510 ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์และทำให้มีกระแสเหนี่ยวนำที่ขดลวดของรีเลย์ทำให้ขา common สับไปทาง NO ส่งผลให้การชาร์จนั้นหยุดทำงานซึ่งจะสัมพันธ์กับการทำงานของรีเลย์ของวงจรควบคุมการจ่ายไฟเข้าสู่เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์ที่ต้องสับไปทางเดียวกันเพื่อป้องกันไฟจากโซล่าเซลล์, โหลดเข้าสู่เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์โดยตรง

3.2 วงจร inverter

ด้านล่างคือวงจร inverter อย่างง่าย ใช้เพื่อสร้างสัญญาณเอาต์พุต AC หรือระดับแรงดันค่าอื่นๆ โดยเลือกหม้อแปลง T1 ส่วนของ IC 555 นี้คือเป็นตัวออสซิลเลเตอร์ความถี่ต่ำ ปรับค่าได้ในช่วง 50 ถึง 60 Hz โดยใช้ความต้านทานที่ปรับค่าได้ R4 เพื่อปรับความถี่นี้

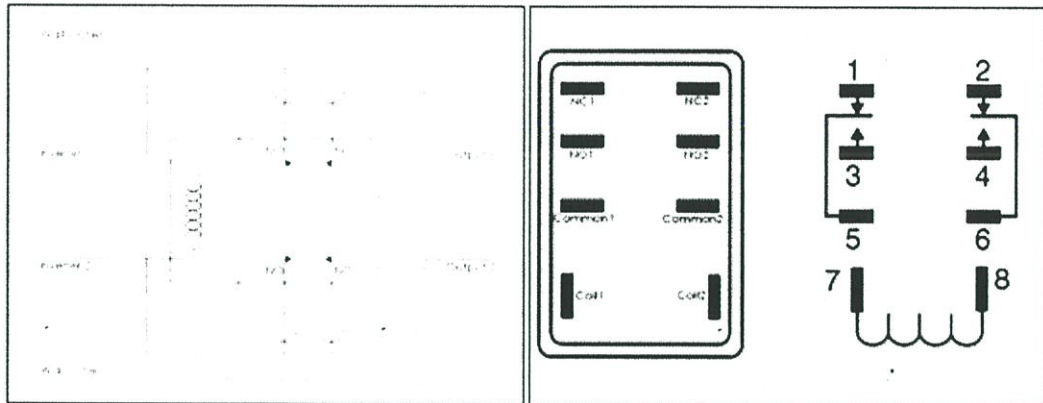
IC 555 ป้อนเอาต์พุต(ขยายโดย Q1 และ Q2) ให้แก่อินพุตของหม้อแปลง T1 หม้อแปลงที่ต่อกลับทางพร้อมอัตราส่วนรอบขดลวดเพื่อเพิ่มแรงดัน ตัวเก็บประจุ C4 และขดลวด L1 กรองสัญญาณอินพุตที่จะป้อนให้แก่ T1 เพื่อให้แน่ใจว่าได้สัญญาณคลื่นรูปซายน์สมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังเพิ่มระดับสัญญาณเอาต์พุต(หน่วยวัตต์) ได้โดยเลือกค่าอุปกรณ์

ในส่วนของระดับแรงดันอินพุตตรง สามารถเลือกได้ระหว่าง +5V ถึง +15 โวลต์ โดยปรับค่าแรงดันการทำงานของตัวเก็บประจุขนาด 2700 ไมโครฟาราดให้สอดคล้องกัน



รูปที่ 3.4 วงจร VDC to AC inverter

3.3 วงจรสวิตช์ชิงอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 วงจรสวิตช์ชิงอัตโนมัติ

วงจรมีส่วนหลักเพียงส่วนเดียวคือ double throw relay ชนิดสองขั้ว ต่อสายเข้าด้วยใน เพื่อให้สวิตช์เอาท์พุทโดยอัตโนมัติ เมื่อใดก็ตามที่ inverter อยู่ในสถานะ “on” ทำได้โดยต่อสาย จากบ้านเข้ากับปลาย normally closed ต่อสายจากเอาท์พุทที่จะไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับขั้ว common หลังจากนั้นต่อสายอินพุทจาก inverter เข้ากับขั้ว coil และ normally open

เมื่ออุปกรณ์ไม่ทำงาน เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านจะต่อเข้ากับปลั๊กไฟบ้านและจ่ายไฟจากไฟ บ้านโดยปกติ แต่ที่ต่างออกไปคือจะผ่านทางรีเลย์ด้วย แต่เมื่ออุปกรณ์นี้ทำงาน inverter จะอยู่ใน สถานะ “ON” และจ่ายไฟไปยังขั้ว normally open และ coil การทำงานข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด คือทำให้สวิตช์รีเลย์ เครื่องใช้ไฟฟ้าจะไม่ต่อจากปลั๊กไฟบ้านแต่จะต่อเข้ากับ inverter นี้แทน ทั้งหมด คือคำอธิบายการทำงานของวงจรสวิตช์ชิง ที่สวิตช์ไปยังแหล่งจ่ายพลังงานที่สร้างขึ้นอีกได้โดย อัตโนมัติ เมื่อต้องการ

3.4 การทำงานของระบบเลือกการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และไฟบ้าน

เนื่องจากระบบนี้คือระบบการสร้างไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่จะทำงานได้ดีที่สุดในตอนกลางวัน(เมื่อผู้คนทำงาน) จะเป็นการไม่สะดวกในการติดตั้งการทดสอบและตรวจสอบระบบขณะเวลาทำงาน เพื่อทำการทดสอบ เราอาจใช้แหล่งจ่ายไฟ DC แทนการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ในการทดสอบครั้งแรก วิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้ DC power adapter ที่จ่ายไฟ 12 โวลต์ ระดับแรงดันวงจรเปิด(ไม่มีโหลด) มักจะสูงกว่านี้เล็กน้อย หลังจากนั้นต่อตัวเก็บประจุระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ หากระดับแรงดันเอาท์พุทไม่เสถียร ต่อสายบวกจากแหล่งจ่ายไฟเข้ากับขั้วบวกของวงจรควบคุม และสายลบเข้ากับขั้วลบของวงจรควบคุม ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ประจุแบตเตอรี่และทำหน้าที่เป็นเหมือนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ไม่ขึ้นกับแสงอาทิตย์เป็นการสะดวกที่จะตรวจสอบการทำงานและแก้ปัญหาต่างๆในการติดตั้งในตอนแรกได้

3.5 การติดตั้งสุดท้าย

1. ให้แน่ใจว่าทำการทดสอบทุกส่วนของระบบแยกกันก่อนติดตั้งทั้งระบบ
2. ต่อสายหนีบจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับน๊อตบนวงจรควบคุม หลังจากนั้นต่อสายอินพุทจากแผ่นวงจรควบคุมเข้ากับน๊อตภายใน ต่อสายแบตเตอรี่จากวงจรควบคุมเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ให้ถูกต้อง
3. ระวังการต่อขั้วสาย ต่อสายเอาท์พุทบนวงจรควบคุมเข้ากับสาย DC ให้แน่ใจว่าต่อสายบวกเข้ากับขากลางและสายลบเข้ากับขั้วภายนอก
4. ต่อ inverter โดยต่อเข้ากับสาย DC พร้อมยึดวงจรสวิตซ์ชิงอัตโนมัติเข้าในส่วนนี้ด้วย หลังจากนั้นต่อสาย inverter เข้ากับ inverter ต่อสายอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับสายเอาท์พุท หากแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็มแล้ว อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ควรจะติด สุดท้ายต่อสายไฟบ้านจากวงจรเข้ากับปลั๊กไฟบ้าน
5. ตรวจสอบทุกส่วนของระบบให้แน่ใจว่าไม่มีส่วนใดมีเสียง กลิ่น คว้น ออกมา หากไม่มีก็พร้อมที่จะนำแผงพลังงานแสงอาทิตย์มาต่อเพื่อใช้งานได้

3.6 ข้อควรระวัง

1. การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรจ่ายไฟสองทางเกี่ยวข้องกับการตัดไฟจากแหล่งหนึ่งไปใช้ไฟอีกแหล่งหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ แรงดันเอาต์พุตอาจไม่เสถียรชั่วขณะ โดยเฉพาะการสวิตช์วงจรโดยใช้รีเลย์ด้วยระดับแรงดันต่ำมากกระตุ้น
2. ในกรณีนี้ รีเลย์อาจสวิตช์ก่อนที่ inverter จะทำงานที่กำลังสูงสุด การกระเพื่อมชั่วคราวนี้ไม่เป็นปัญหาต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าพื้นฐานเช่น หลอดไฟ พัดลม แต่จะเป็นปัญหาใหญ่สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อสัญญาณสูง เช่น มอเตอร์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ากับระบบนี้อย่างระวัง
3. การพัฒนาการออกแบบในอนาคต: ปัญหาใหญ่ที่สุดสำหรับการออกแบบระบบนี้คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรระบบจะทำงานทันทีเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม แม้ว่าจะไม่เปิดใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า รีเลย์และ inverter ยังคงใช้ไฟอยู่
4. ในการออกแบบในอนาคต จะรวมส่วนอีกหลายส่วนในโครงงานนี้ให้เป็นระบบเดียว ที่มีเซนเซอร์เพื่อบอกว่าเมื่อใดเครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โดยจะให้วงจรควบคุม รีเลย์ และ inverter ทำงานเมื่อเปิดการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อประหยัดพลังงาน
5. เพิ่มวงจรเพื่อให้เอาต์พุตของระบบเรียบขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการกระเพื่อมระดับแรงดัน เช่น เพิ่ม time delay ที่วงจรสวิตช์ซิง

การสร้างพลังงานไฟฟ้าจากระบบแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ต้องอาศัยส่วนของระบบหลายส่วนเพื่อให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและอย่างปลอดภัย ส่วนพื้นฐานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะให้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับการไฟฟ้า ต่อไปนี้คือสิ่งที่ต้องใช้เพื่อสร้างพลังงานเป็นของตนเองและให้แหล่งพลังงานงานทางธรรมชาติที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายประจำเดือนทำงานได้กับเรา

อย่างแรก ต้องใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ photocells ที่ติดตั้งบนหลังคาของบ้านหรือบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง photocells เหล่านี้รวมแสงอาทิตย์และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าตรง (DC) โดยตรง ที่สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ใช้งานกับกระแส DC นอกจากนี้ยังสามารถแปลงให้เป็นกระแสสลับ(AC) เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านของเราได้

จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ กำลัง DC นั้นมาจากตัวควบคุมการประจุที่ควบคุมการป้อนกระแสให้แก่แบตเตอรี่ที่ระดับแรงดันที่เหมาะสมของแบตเตอรี่เอง อายุการใช้งานที่ยาวนานของแบตเตอรี่จะทำให้แน่ใจได้ว่าแบตเตอรี่นั้นได้รับการประจุอย่างเหมาะสมและพร้อมใช้งาน

ฟิวส์นั้นป้องกันและเป็นการเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมการประจุและเป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านของเรา ฟิวส์หรืออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้านี้คือตัวจำกัดกระแส ที่ทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยทางไฟฟ้าแก่ระบบของเรา

เพื่อสร้างกำลังไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า transfer switch ทำหน้าที่สวิตช์กำลังจากไฟหลักที่ใช้ปกติมาใช้ไฟสำรอง ในที่นี้แหล่งจ่ายไฟหลักคือแบตเตอรี่ ส่วนแหล่งจ่ายไฟรองคือเครื่องปั่นไฟ เมื่อได้กำลังไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว อุปกรณ์ transfer switch จะสวิตช์ไปยัง generator power อย่างอัตโนมัติ generator หรือเครื่องปั่นไฟนั้น จะทำงานเองและเริ่มจ่ายไฟให้แก่ระบบ

Transfer switch จึงจ่ายกระแสให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า AC ภายในบ้านผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า AC loads controller อุปกรณ์นี้ตรวจจับระดับแรงดันและกระแสของไฟฟ้าที่เข้ามา และป้องกัน โหลดด้วยฟิวส์ โหลดนี้รวมถึงอุปกรณ์ทางไฟฟ้า มอเตอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

วงจรควบคุมการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์

BATTERY	ขา RELAY	Vout ขา common (Volt)
แรงดันไฟฟ้าสูง	NO	12.4
แรงดันไฟฟ้าต่ำ	NC	0

วงจรควบคุมการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่

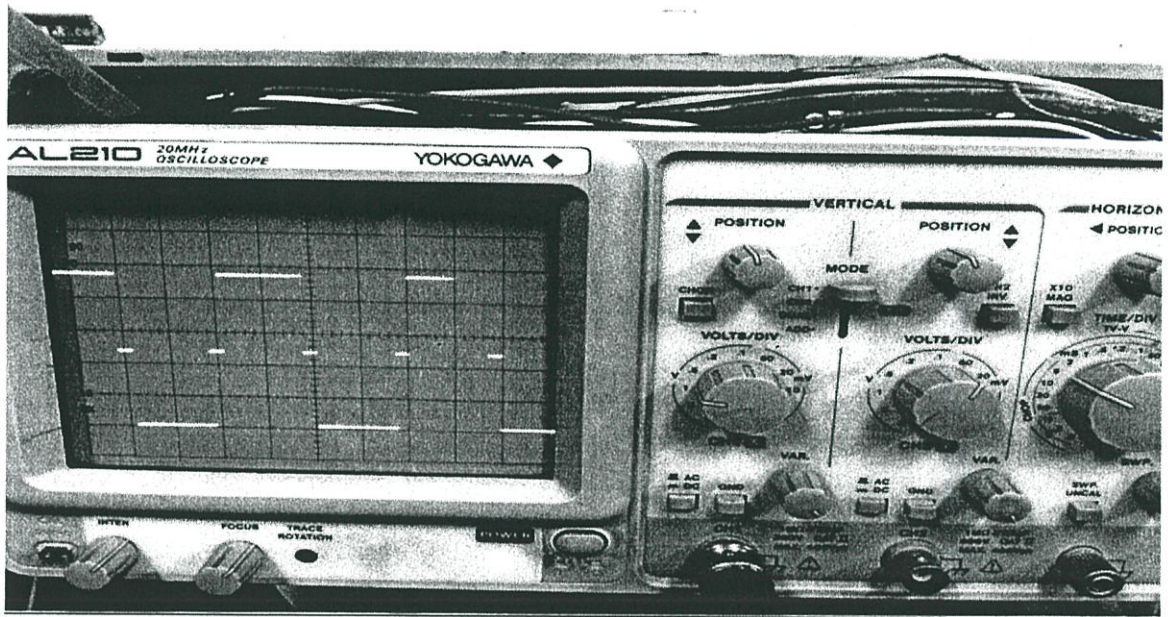
BATTERY	ขา RELAY	Vout ขา common (Volt)
แรงดันไฟฟ้าสูง	NO	0
แรงดันไฟฟ้าต่ำ	NC	*0-50

*แรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแผงโซลาร์เซลล์ที่รับแสงมีขนาดพื้นที่รับแสงและมีความเข้มแสงมากน้อยเพียงใด

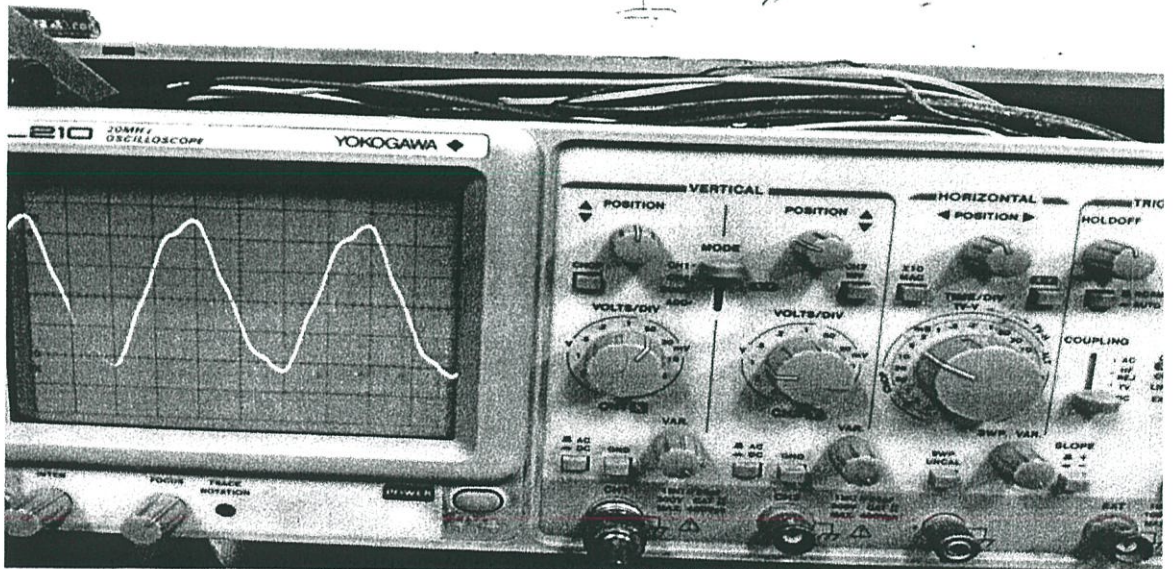
วงจรอโต้สวิตซ์ซึ่ง

BATTERY	แหล่งจ่ายพลังงาน	Vout ขา Common ของ Relay (Volt)
แรงดันไฟฟ้าสูง	Solar Energy	224.7
แรงดันไฟฟ้าต่ำ	Regular Home power supply	220

กราฟ output ของวงจรอินเวอร์เตอร์



กราฟสัญญาณ output จาก อินเวอร์เตอร์สำเร็จรูป



กราฟสัญญาณ output จากวงจรที่ออกแบบเอง

บทที่ 5

บทสรุป

ระบบจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้นำเสนอนี้ ยังได้เพิ่มระบบสวิทช์ ชิงอัตโนมัติ เพื่อเลือกแหล่งจ่ายไฟจากการไฟฟ้าในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟที่ได้จากแบตเตอรี่นั้นไม่เพียงพอ หรือมีการใช้ไฟจากแหล่งจ่ายแบตเตอรี่มากเกินไป รวมถึงไม่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงพอ เช่นในตอนกลางคืน ในวันที่มีดีคริมเป็นต้น ปรินญาณิพนธ์นี้เป็นการแสดงการนำระบบพื้นฐานมาใช้ เพื่อแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำแหล่งจ่ายไฟสองทางมาใช้ อันได้แก่ จากพลังงานแสงอาทิตย์และจากโรงไฟฟ้า การพัฒนาระบบในอนาคต นั้นอาจคำนึงถึงการสร้างระบบที่รองรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นมา หรือต้องการกระแสไฟฟ้าสูง โดยส่วนที่ต้องทำการออกแบบอย่างระมัดระวัง ได้การป้องกันการดึงกระแสเกิน ซึ่งต้องนำวงจรป้องกันการใช้กระแสเกินมาใช้ ความเรียบของสัญญาณไฟฟ้าสลับ ซึ่งเป็นส่วนของวงจร inverter การกระชากของระดับแรงดัน เนื่องจากการปิด เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรได้

ในอนาคต อาจต้องมีระบบที่ซับซ้อนขึ้น เพื่อควบคุมการใช้ไฟ โดยคำนึงถึงผลทางธุรกิจ อันได้แก่ ช่วงเวลา ระยะเวลา ในการใช้ระบบจ่ายไฟทั้งสองแหล่งจ่าย รวมไปถึงการสร้างวงจรควบคุมการจ่ายไฟ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาเป็นระบบจัดการการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงต้องการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.ljwsolar.com.au/hybrid-power>
- [2] <http://www.instructables.com/id/How-to-make-any-home-appliance-into-a-solar-electr/>
- [3] <http://www.hybridelectrical.com.au/solar.html>
- [4] ZP. Horowitz, W. Hill: "The Art of Electronics", 2nd Edition, Cambridge University Press 1989, USA.
- [5] R.C. Jaeger: "Microelectronic Circuit Design", International Edition, The McGraw-Hil Companies, Inc. NY.

ภาคผนวก

5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Ordering Information

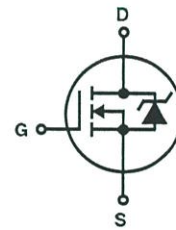
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

Features

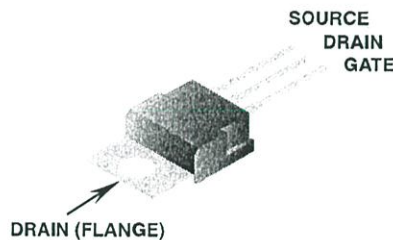
- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging

JEDEC TO-220AB



IRF510

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	100	V
Continuous Drain Current	5.6	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	4	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	20	A
Gate to Source Voltage	± 20	V
Maximum Power Dissipation	43	W
Linear Derating Factor	0.29	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	19	mJ
Operating and Storage Temperature Range	-55 to 175	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	260	$^\circ\text{C}$

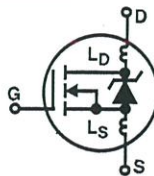
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$, (Figure 10)	100	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95V, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$ (Figure 7)	5.6	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$ (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A$ (Figure 12)	1.3	2.0	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D = 5.6A, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50V, R_L = 9\Omega, V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V$ MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	8	12	ns
Rise Time	t_r		-	25	63	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	7	ns
Fall Time	t_f		-	12	59	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14)	-	5.0	30	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	2.0	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)	-	135	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^\circ\text{C/W}$
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^\circ\text{C/W}$



Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

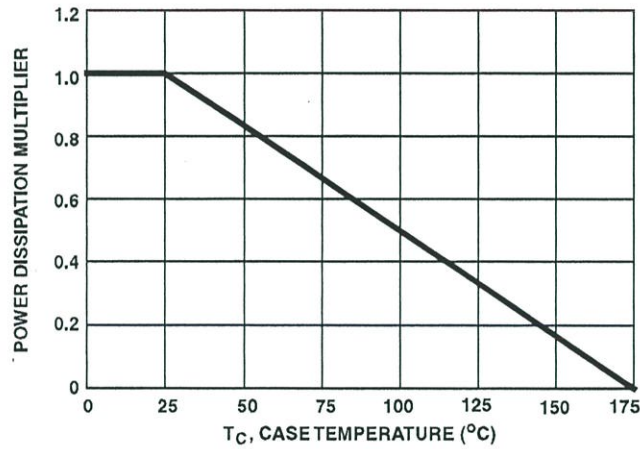


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

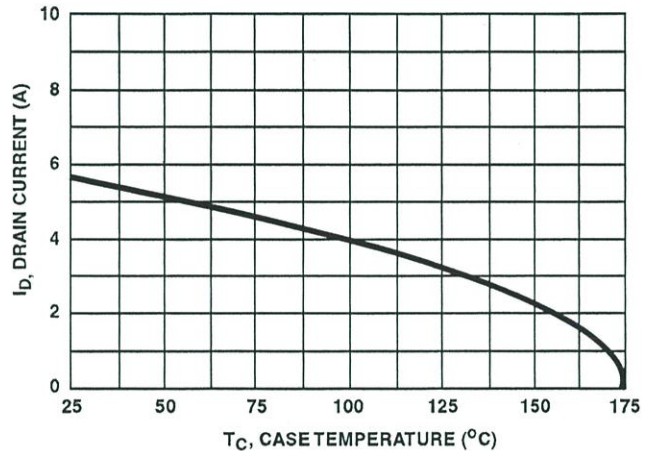


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

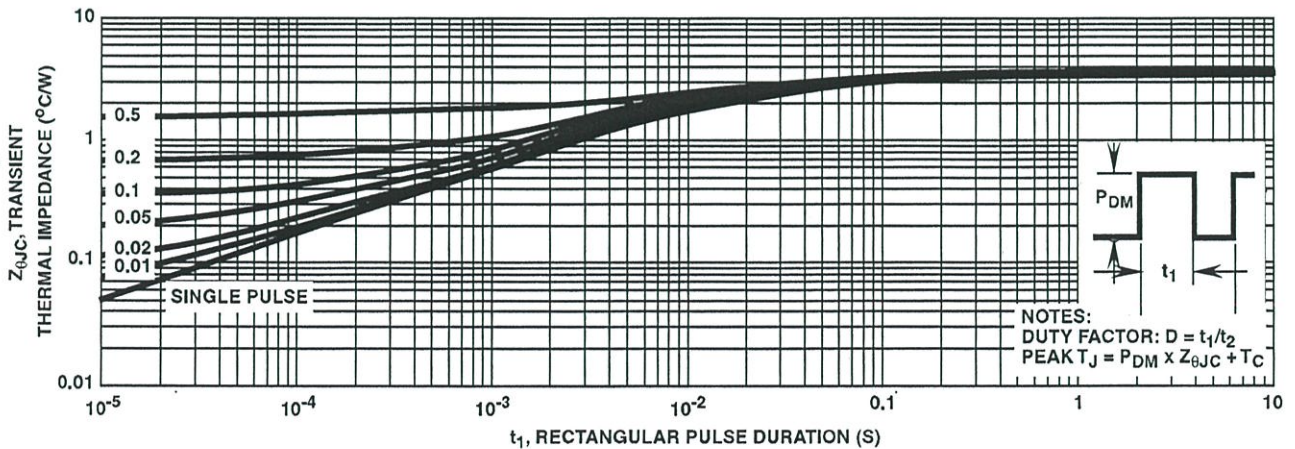


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

LM555 Timer

Check for Samples: LM555

FEATURES

- Direct Replacement for SE555/NE555
- Timing from Microseconds through Hours
- Operates in Both Astable and Monostable Modes
- Adjustable Duty Cycle
- Output Can Source or Sink 200 mA
- Output and Supply TTL Compatible
- Temperature Stability Better than 0.005% per °C
- Normally On and Normally Off Output
- Available in 8-pin VSSOP Package

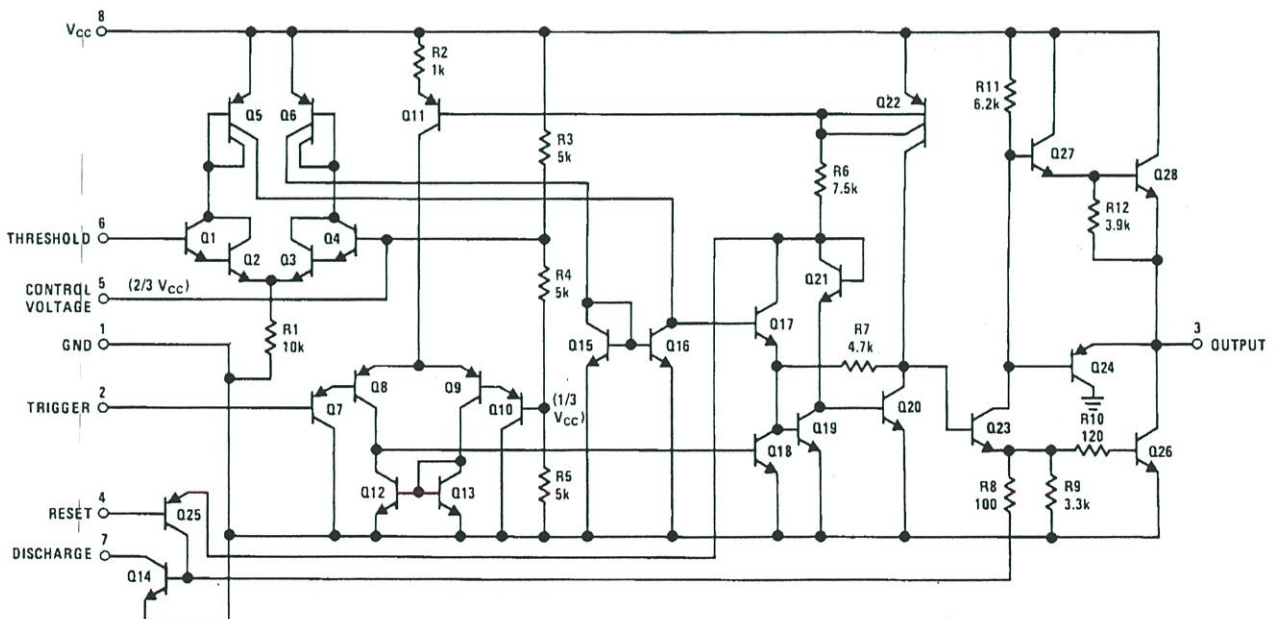
DESCRIPTION

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

APPLICATIONS

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Sequential Timing
- Time Delay Generation
- Pulse Width Modulation
- Pulse Position Modulation
- Linear Ramp Generator

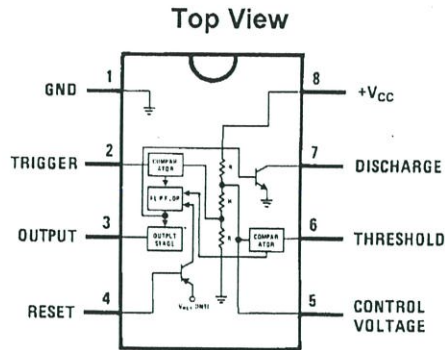
Schematic Diagram



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

Connection Diagram



**Figure 1. PDIP, SOIC,
and VSSOP Packages**



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾⁽²⁾

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation ⁽³⁾	
LM555CM, LM555CN ⁽⁴⁾	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Soldering Information	
PDIP Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and VSSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensures specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (PDIP), 170°C/W (SOIC-8), and 204°C/W (VSSOP) junction to ambient.
- (4) Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Electrical Characteristics ^{(1) (2)}

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

Parameter	Test Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) ⁽³⁾		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, ⁽⁴⁾		50		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, ⁽⁴⁾		150		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	⁽⁵⁾		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat ⁽⁶⁾					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_7 = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_7 = 4.5\text{mA}$		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{\text{SINK}} = 10\text{mA}$ $I_{\text{SINK}} = 50\text{mA}$ $I_{\text{SINK}} = 100\text{mA}$ $I_{\text{SINK}} = 200\text{mA}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{\text{SINK}} = 8\text{mA}$ $I_{\text{SINK}} = 5\text{mA}$		0.1 0.4 2 2.5	0.25 0.75 2.5 V	V V V V V V V

(1) All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

(2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensures specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

(3) Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

(4) Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

(5) This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

(6) No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Electrical Characteristics ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (continued)(T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless otherwise specified)

Parameter	Test Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (High)	I _{SOURCE} = 200mA, V _{CC} = 15V		12.5		V
	I _{SOURCE} = 100mA, V _{CC} = 15V	12.75	13.3		V
	V _{CC} = 5V	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Typical Performance Characteristics

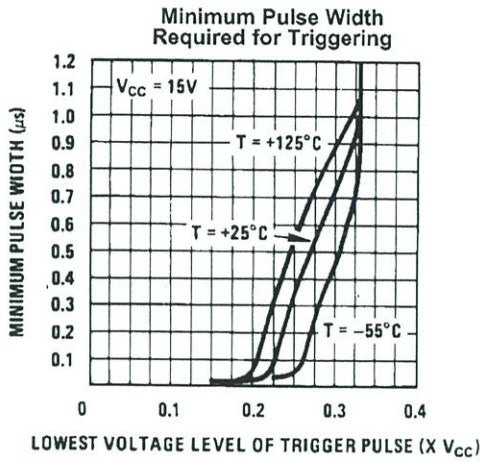


Figure 2.

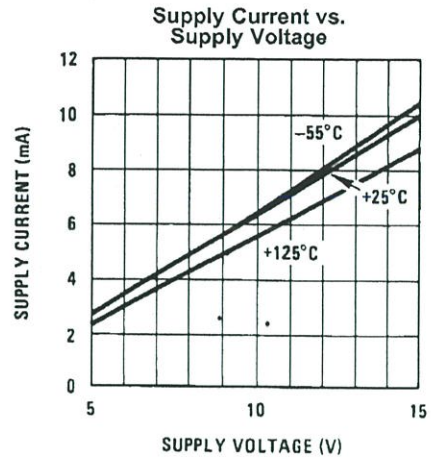


Figure 3.

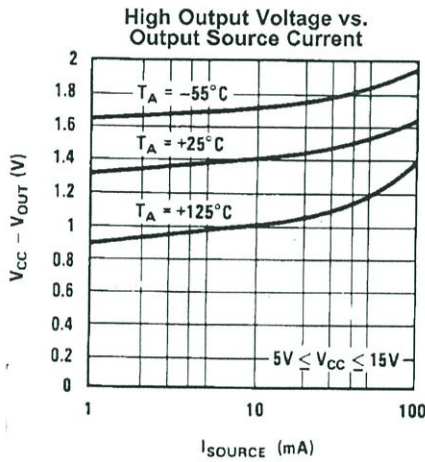


Figure 4.

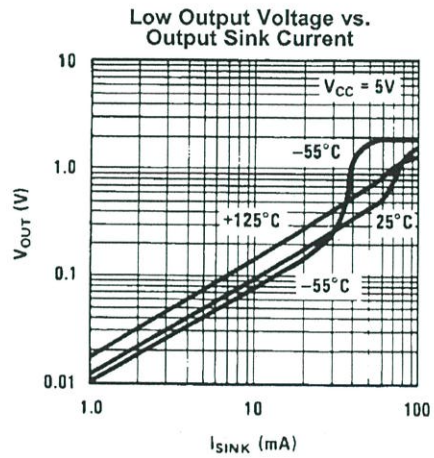


Figure 5.

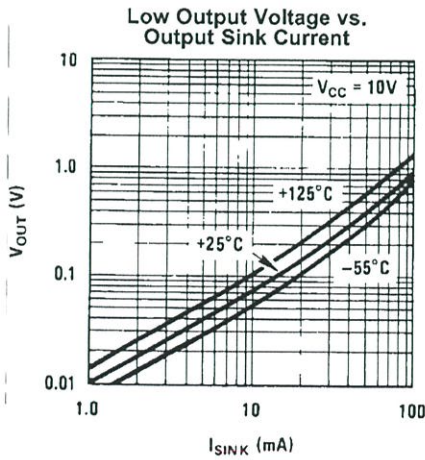


Figure 6.

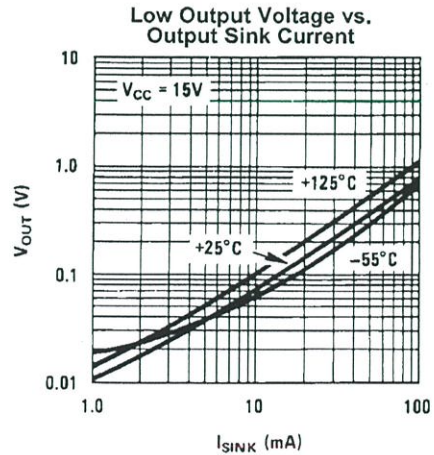
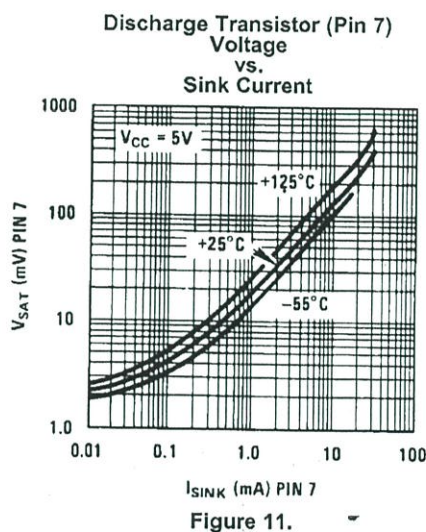
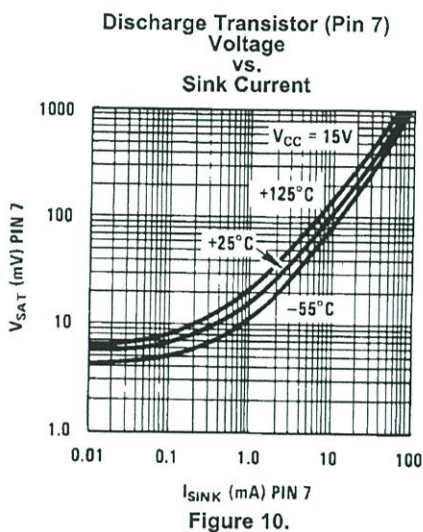
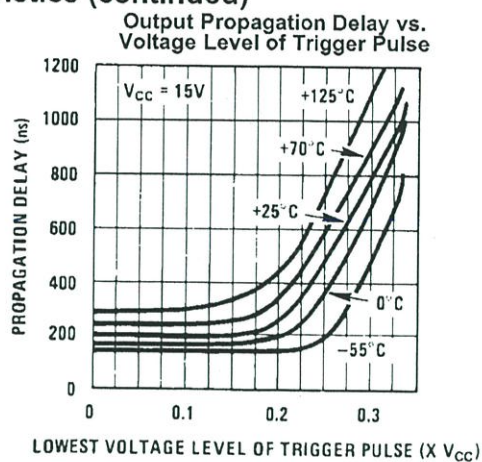
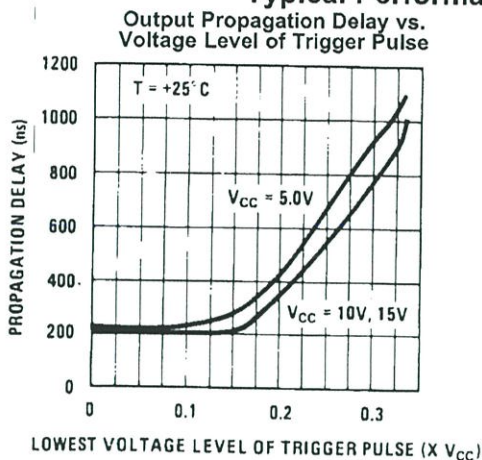


Figure 7.

Typical Performance Characteristics (continued)



APPLICATIONS INFORMATION

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 12). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

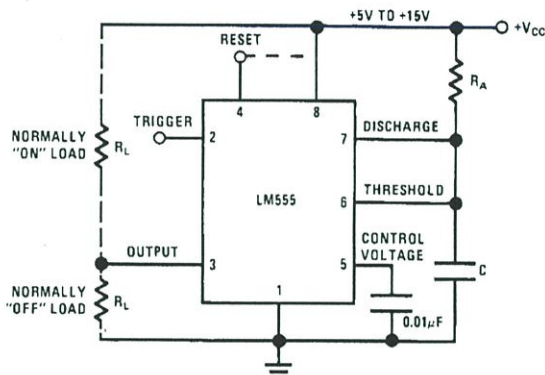
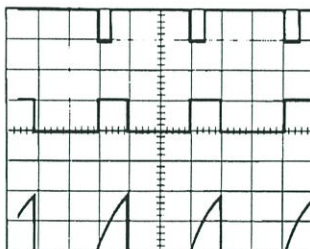


Figure 12. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 13 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

Figure 13. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 14 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE

In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

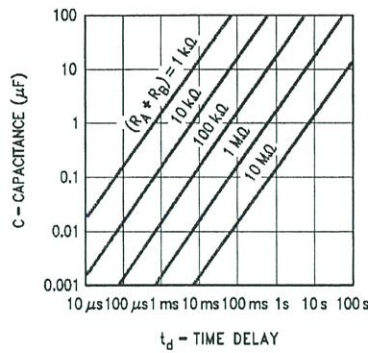


Figure 14. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 15 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

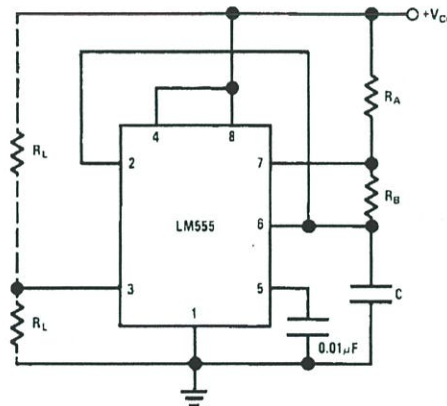
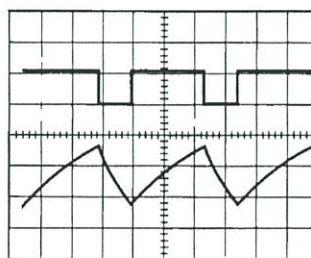


Figure 15. Astable

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

Figure 16 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μs /DIV.
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

Figure 16. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C \quad (1)$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C \quad (2)$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C \quad (3)$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C} \quad (4)$$

Figure 17 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad (5)$$

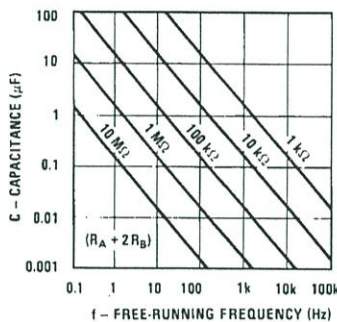
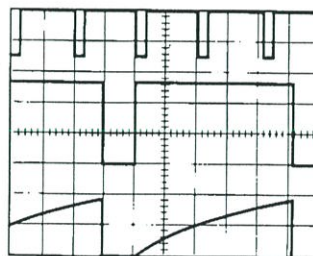


Figure 17. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 12 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 18 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 20\mu s/DIV.$
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 4V/Div.
 Middle Trace: Output 2V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

Figure 18. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 19 shows the circuit, and in Figure 20 are some waveform examples.

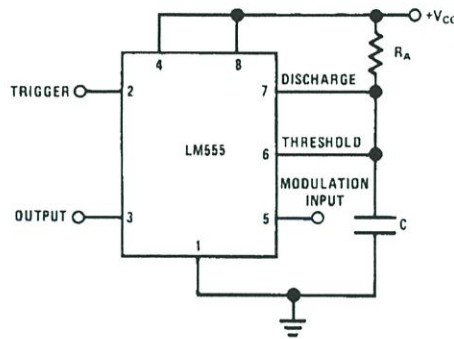
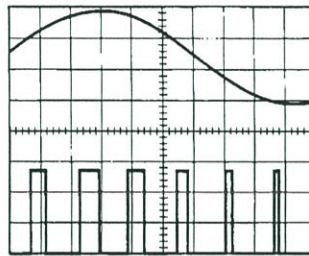


Figure 19. Pulse Width Modulator



$V_{CC} = 5V$ Top Trace: Modulation 1V/Div.
 TIME = 0.2 ms/DIV. Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Figure 20. Pulse Width Modulator

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 21, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 22 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

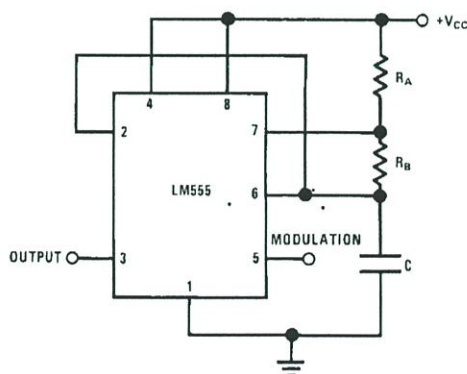
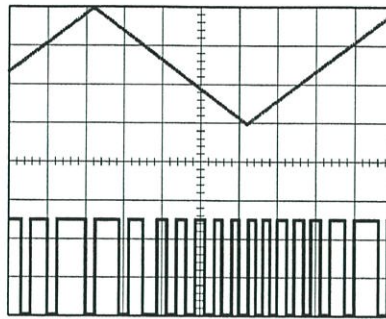


Figure 21. Pulse Position Modulator



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 0.1 \text{ ms/DIV.}$
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
 Bottom Trace: Output 2V/Div.

Figure 22. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 23 shows a circuit configuration that will perform this function.

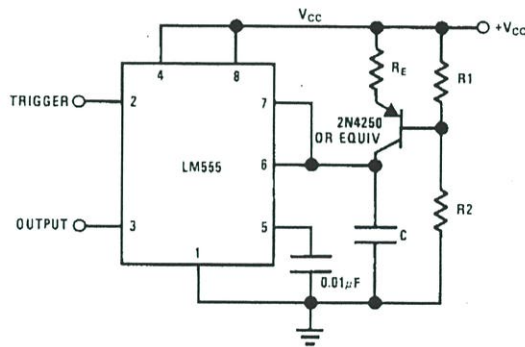


Figure 23.

Figure 24 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by:

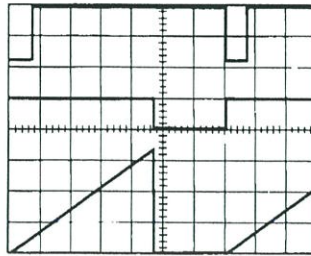
$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$V_{BE} \approx 0.6V$

$V_{BE} \approx 0.6V$

(6)

(7)



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

Top Trace: Input 3V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

Figure 24. Linear Ramp

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 25. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right] \quad (8)$$

Thus the frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} \quad (9)$$

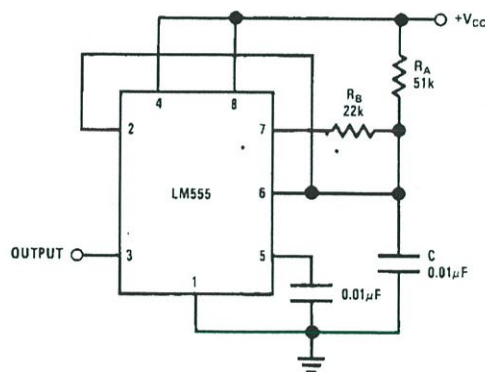


Figure 25. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

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

Lower comparator storage time can be as long as 10 μ s when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to 10 μ s minimum.

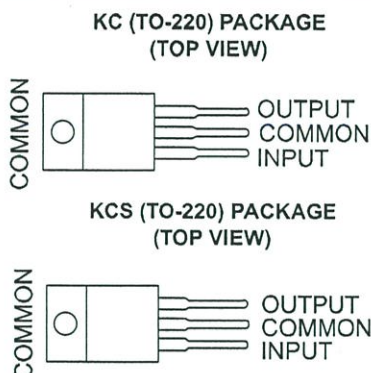
Delay time reset to output is 0.47 μ s typical. Minimum reset pulse width must be 0.3 μ s, typical.

Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

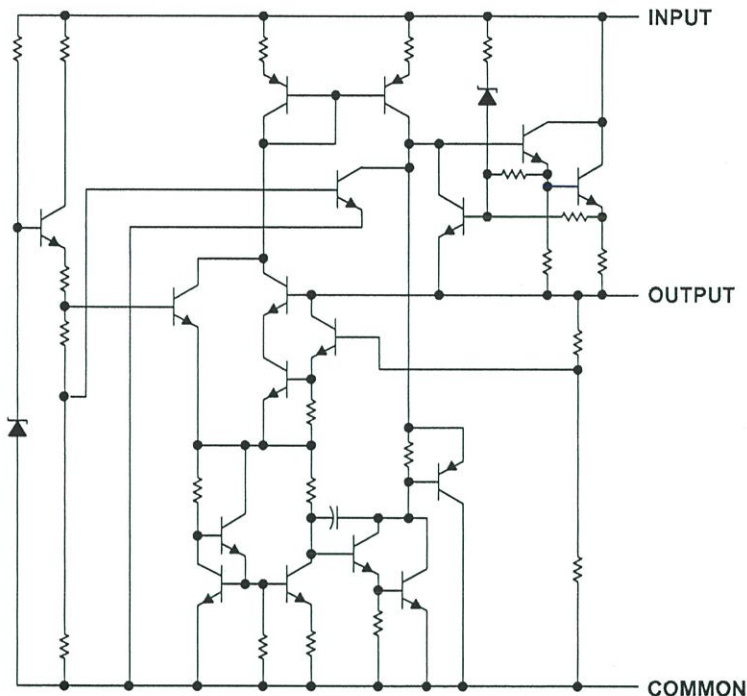
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I : $\mu A7824C$	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°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.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
V_I Input voltage	μA7805C	7	25	V
	μA7808C	10.5	25	
	μA7810C	12.5	28	
	μA7812C	14.5	30	
	μA7815C	17.5	30	
	μA7824C	27	38	
I_O Output current		1.5		A
T_J Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 7$ V to 20 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7$ V to 25 V	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8$ V to 12 V			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8$ V to 18 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			5	50	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C		40		μV
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	$V_I = 7$ V to 25 V	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		750		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.016			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-0.8			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	52			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3		8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	450			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 17\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	25°C		7	200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$			2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	100	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	70			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3		8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	400			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		10	240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$			3	120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	75			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	350			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.019			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	90			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.4	8		mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	230			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30\text{ V to }36\text{ V}$			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28\text{ V to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	240	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.028			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.5			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		170		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		150		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATION INFORMATION

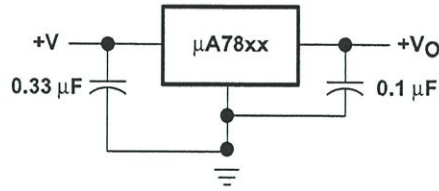


Figure 1. Fixed-Output Regulator

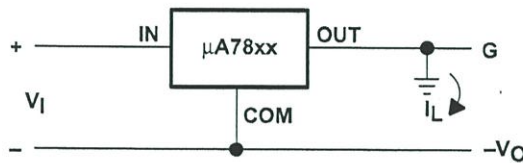
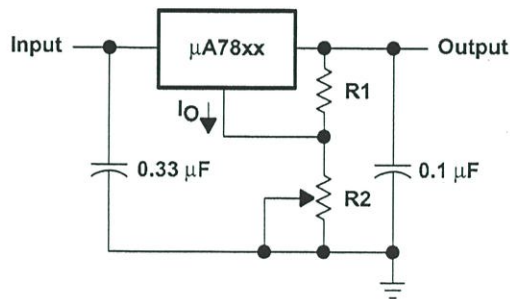


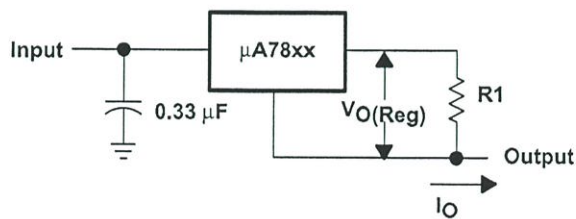
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

Figure 4. Current Regulator

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

APPLICATION INFORMATION

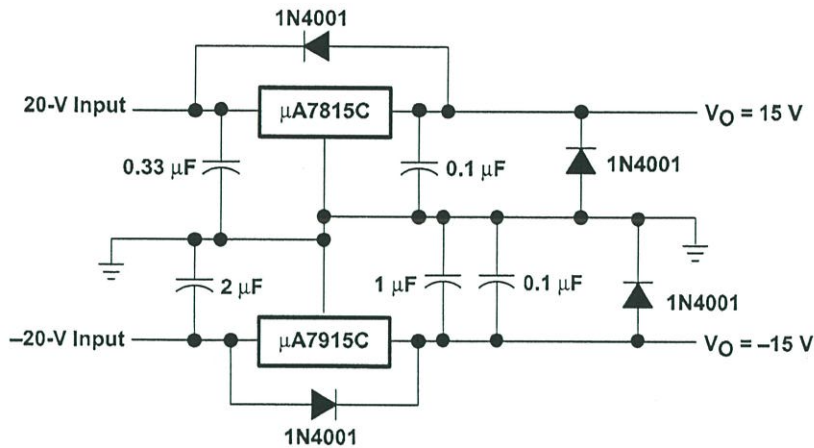


Figure 5. Regulated Dual Supply

operation with a load common to a voltage of opposite polarity

In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.

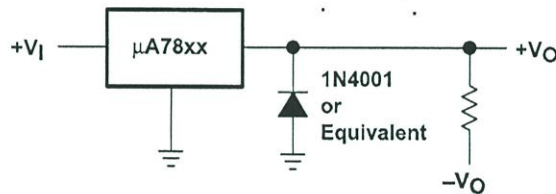


Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit

reverse-bias protection

Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.

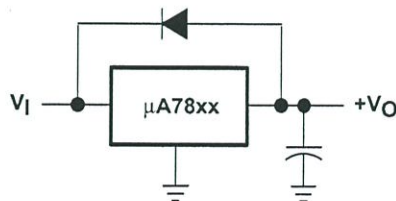


Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MPS2222, MPS2222A

MPS2222A is a Preferred Device

General Purpose Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage MPS2222 MPS2222A	V_{CE0}	30 40	Vdc
Collector-Base Voltage MPS2222 MPS2222A	V_{CB0}	60 75	Vdc
Emitter-Base Voltage MPS2222 MPS2222A	V_{EB0}	5.0 6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	600	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

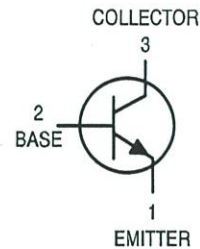
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

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

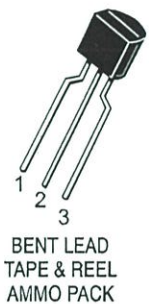
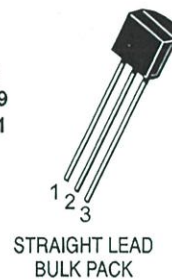


ON Semiconductor®

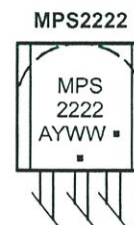
<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 1



MARKING DIAGRAMS



A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
▪ = Pb-Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

MPS2222, MPS2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 0)	MPS2222 MPS2222A	V _{(BR)CEO}	30 40	– –	Vdc
Collector–Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μAdc, I _E = 0)	MPS2222 MPS2222A	V _{(BR)CBO}	60 75	– –	Vdc
Emitter–Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μAdc, I _C = 0)	MPS2222 MPS2222A	V _{(BR)EBO}	5.0 6.0	– –	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	MPS2222A	I _{CEX}	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0) (V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0) (V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0, T _A = 125°C) (V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0, T _A = 125°C)	MPS2222 MPS2222A MPS2222 MPS2222A	I _{CBO}	– – – –	0.01 0.01 10 10	μAdc
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 3.0 Vdc, I _C = 0)	MPS2222A	I _{EBO}	–	100	nAdc
Base Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	MPS2222A	I _{BL}	–	20	nAdc

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, T _A = –55°C) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (Note 1) (I _C = 500 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1)	MPS2222A only MPS2222 MPS2222A	h _{FE}	35 50 75 35 100 50 30 40	– – – – 300 – – –	–
Collector–Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc) (I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	MPS2222 MPS2222A MPS2222 MPS2222A	V _{CE(sat)}	– – – –	0.4 0.3 1.6 1.0	Vdc
Base–Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc) (I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	MPS2222 MPS2222A MPS2222 MPS2222A	V _{BE(sat)}	– 0.6 – –	1.3 1.2 2.6 2.0	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current–Gain – Bandwidth Product (Note 2) (I _C = 20 mAdc, V _{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	MPS2222 MPS2222A	f _T	250 300	– –	MHz
Output Capacitance (V _{CB} = 10 Vdc, I _E = 0, f = 1.0 MHz)		C _{obo}	–	8.0	pF
Input Capacitance (V _{EB} = 0.5 Vdc, I _C = 0, f = 1.0 MHz)	MPS2222 MPS2222A	C _{ibo}	– –	30 25	pF
Input Impedance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	MPS2222A MPS2222A	h _{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	kΩ
Voltage Feedback Ratio (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	MPS2222A MPS2222A	h _{re}	– –	8.0 4.0	X 10 ^{–4}
Small–Signal Current Gain (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	MPS2222A MPS2222A	h _{fe}	50 75	300 375	–
Output Admittance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	MPS2222A MPS2222A	h _{oe}	5.0 25	35 200	μmhos
Collector Base Time Constant (I _E = 20 mAdc, V _{CB} = 20 Vdc, f = 31.8 MHz)	MPS2222A	rb'C _c	–	150	ps
Noise Figure (I _C = 100 μAdc, V _{CE} = 10 Vdc, R _S = 1.0 kΩ, f = 1.0 kHz)	MPS2222A	NF	–	4.0	dB

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.
2. f_T is defined as the frequency at which |h_{fe}| extrapolates to unity.

MPS2222, MPS2222A

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
SWITCHING CHARACTERISTICS MPS2222A only				
Delay Time	t_d	-	10	ns
Rise Time				
Storage Time	t_s	-	225	ns
Fall Time				
	t_f	-	60	ns

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

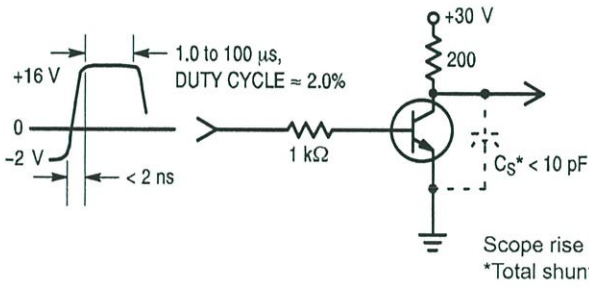


Figure 1. Turn-On Time

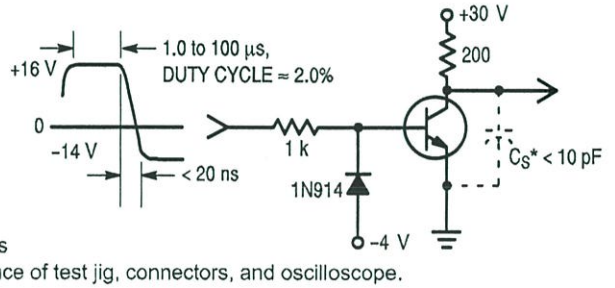


Figure 2. Turn-Off Time

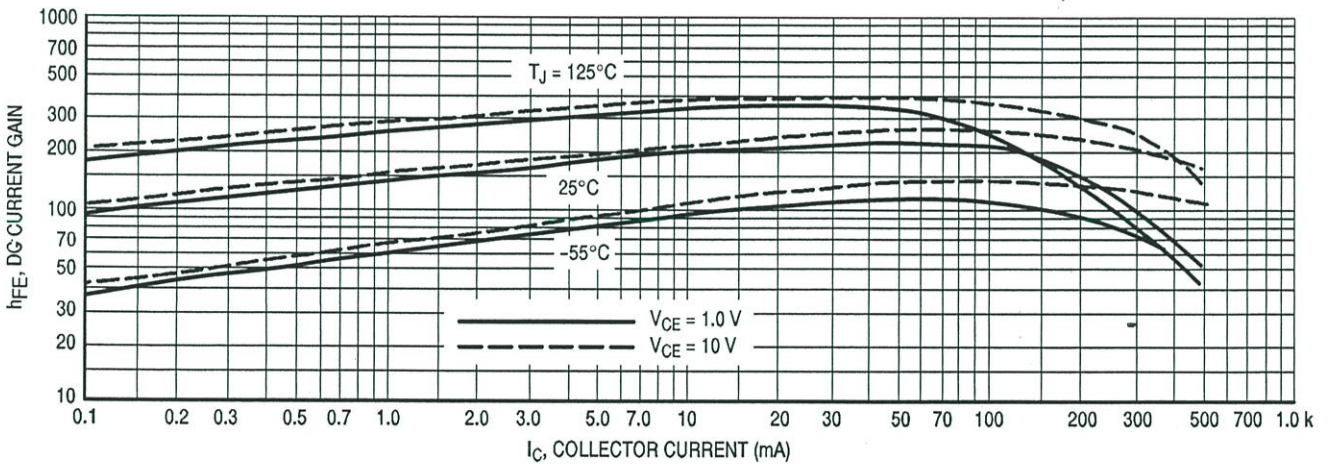


Figure 3. DC Current Gain