



ตัวควบคุมการอัดประจุพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว
A PV CHARGE CONTROLLER FOR LEAD-ACID BATTERIES



นายอนุพันธ์ พันธุ์ใหญ่ รหัส 49381568

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 19, ส.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15758129
เลขเรียกหนังสือ..... มค.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2/94

๓
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2552

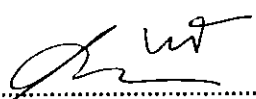


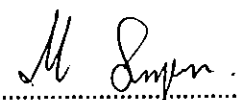
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ตัวควบคุมการอัดประจุพลังแสงอาทิตย์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว
ผู้ดำเนินโครงการ นายอนุพันธ์ พันธุ์ใหญ่ รหัส 49381568
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาดำเนินหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


..... ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


..... กรรมการ
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


..... กรรมการ
(ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ ตัวควบคุมการอัดประจุพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว
ผู้ดำเนินโครงการ นายอนุพันธ์ พันธุ์ใหญ่ รหัส 49381568
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการเกี่ยวกับการสร้างตัวควบคุมการอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อัดประจุแบตเตอรี่จึงจำเป็นต้องควบคุมให้เหมาะสม ตัวควบคุมฯที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสองส่วนหลัก ส่วนแรกคือวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส ส่วนที่สองคือวงจรตัด-ต่อการอัดประจุ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าตัวควบคุมฯที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นการใช้ตัวควบคุมฯจึงช่วยป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ถูกอัดประจุด้วยแรงดันที่สูงเกินไป นอกจากนี้ยังสามารถรักษาระดับพลังงานของแบตเตอรี่ให้เต็มหรืออยู่ในระดับที่สูงได้

Project title A PV Charge Controller for Lead-Acid Batteries

Name Mr. Anupan Panyai ID. 49381568

Project advisor Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2009

.....

Abstract

This thesis presents a project which deals with charging lead-acid batteries by using solar energy. Since the output voltage and current of a photovoltaic (PV) module vary according to weather conditions, this charging process must be properly controlled. The charge controller designed and constructed in this project consists of two main parts: the first part is the voltage regulator with current limit function, the second part is connect-disconnect circuit by using a relay. The experimental results show that the charge controller can regulate the charging process as desired so that the battery can be maintained at or near fully charged state.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยชี้แนะแนวทางตลอดการทำโครงการ

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอันประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณภรรยา กางพรม และคุณชิตดนัย ชมใจ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวงจร อุปกรณ์ และวิธีการทดลองในระหว่างดำเนินโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาอย่างหาที่เปรียบมิได้ที่ให้ความรัก กำลังใจ ความหวังดี และคอยสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นายอนุพันธ์ พันธุ์ใหญ่

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน.....	4
2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกเจือ.....	5
2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น.....	6
2.1.5 กระบวนการทางฟิสิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ.....	11
2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	11
2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์.....	12
2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	16
2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	18
2.2.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	19
2.2.2 ปฏิกริยาทางไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	20
2.2.3 ลักษณะและสาเหตุการเสียของแบตเตอรี่.....	23
2.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	24
2.3.1 การอัดประจุแบบใช้แรงดันคงที่.....	25
2.3.2 การอัดประจุแบบใช้กระแสคงที่.....	25
2.3.3 การอัดประจุด้วยกระแสต่ำ.....	25
บทที่ 3 การสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ.....	27
3.1 การออกแบบตัวควบคุมการอัดประจุ.....	27
3.2 การสร้างวงจรควบคุมแรงดันและจำกัดกระแส.....	27
3.3 วงจรตัดการอัดประจุแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่เต็ม.....	29
3.4 การประกอบตัวควบคุมการอัดประจุ.....	29
บทที่ 4 ผลการทดสอบตัวควบคุมการอัดประจุ.....	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	34
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	34
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก ก รายละเอียดของไอซี LM317K.....	37
ภาคผนวก ข รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ หมายเลข BC337.....	42
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไอซี LM311.....	47
ภาคผนวก ง รายละเอียดของรีกูเลเตอร์ หมายเลข L7805CV.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ รายละเอียดของรีเลย์ OMRON รุ่น MY2N..... 65

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ..... 70



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน.....	5
2.2 การเติมสารเจือ (a) ด้วยอะตอมฟอสฟอรัส และ (b) ด้วยอะตอมโบรอน.....	6
2.3 การกระจายประจุพาหะที่รอยต่อพีเอ็น และกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ.....	7
2.4 หลักการทำงาน โดยสังเขปของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ.....	11
2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ.....	12
2.7 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.8 ตัวอย่างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.9 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน.....	15
2.10 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน.....	15
2.11 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน.....	16
2.12 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน.....	17
2.13 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.14 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	19
2.15 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขณะคายประจุ.....	20
2.16 การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	20
2.17 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขณะอัดประจุ.....	21
2.18 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12.....	22
2.19 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่.....	23
3.1 แผนภาพวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว.....	28
3.2 ลายวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ.....	30
3.3 ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นโครงการ (ภาพด้านหน้า).....	30
3.4 ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นโครงการ (ภาพด้านหลัง).....	31
4.1 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเทียบกับเวลาขณะอัดประจุ.....	32
4.2 การเปลี่ยนแปลงของกระแสเทียบกับเวลาขณะอัดประจุ.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสนใจในด้านพลังงาน เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน เช่น การเผาผลาญน้ำมัน โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลาซึ่งเมื่อนำแบตเตอรี่ไปอัดประจุโดยใช้แหล่งจ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาจทำให้แบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุในขนาดที่สูงเกินค่าความจุของแบตเตอรี่ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพและมีอายุการใช้งานที่สั้นลงเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ต้องมีการผลิตแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับการใช้แบตเตอรี่ของประชากรซึ่งทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด การควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่โดยการคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแสให้มีขนาดที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ โครงการนี้จึงทำการศึกษาและสร้างตัวอัดประจุแบตเตอรี่ให้ควบคุมการอัดประจุที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การดำเนินโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตัวควบคุมการอัดประจุที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว โดยพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุได้มาจากแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้อัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว
- 2) สร้างตัวอัดประจุที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขนาด 12 V

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2552							ปี 2553		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	■									
2. ศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่		■								
3. ศึกษาวิธีอัดประจุแบตเตอรี่			■							
4. ศึกษาการทำงานของวงจรอัดประจุแบตเตอรี่				■						
5. เลือกอุปกรณ์ที่จะใช้สร้างตัวอัดประจุแบตเตอรี่					■					
6. ออกแบบและสร้างวงจรอัดประจุแบตเตอรี่					■	■				
7. ทดสอบและปรับปรุงวงจร							■	■		
8. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปฏิญานិพนธ์									■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นในโครงการช่วยให้การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วเป็นไปอย่างเหมาะสมทั้งในประเด็นด้านแรงดันและกระแสที่ใช้อัดประจุ เป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ นอกจากนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอัดประจุเป็นการส่งเสริมการนำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งช่วยลดการใช้ไฟที่ผลิตจากการไฟฟ้าฯ

1.6 งบประมาณ

1) แบคเตอร์ชนิดตะกั่ว	200 บาท
2) ตัวควบคุมการอัดประจุ	780 บาท
3) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการสร้างชิ้นงาน	700 บาท
4) ค่าถ่ายเอกสารและเช่าเล่มปริญญาบัตร	650 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันสามร้อยสามสิบบาทถ้วน)	<u>2,330 บาท</u>

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในโครงการนี้จะเน้นศึกษาการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นไปได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) จากนั้นนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว ซึ่งการอัดประจุดังกล่าวจำเป็นต้องมีการควบคุมให้เป็นไปอย่างเหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ในบทนี้จึงได้อธิบายทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการ

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน

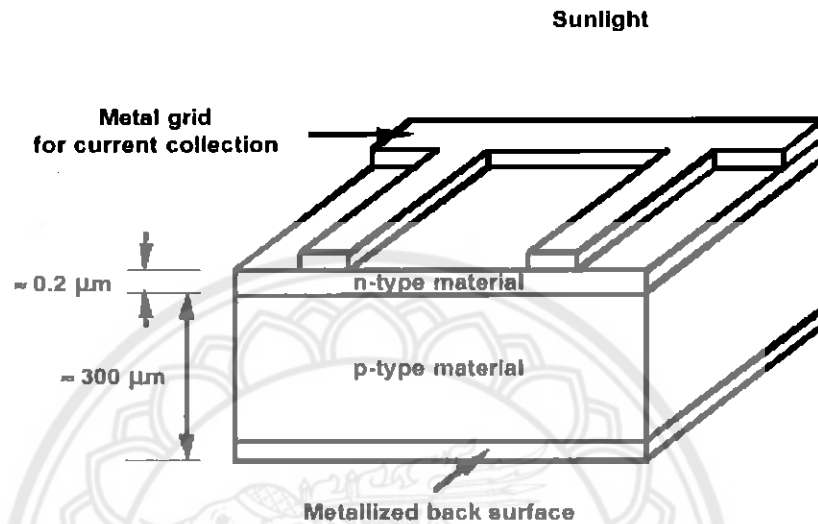
เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี พ.ศ. 2497 (ค.ศ. 1954) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell telephone) ซึ่งค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์ชิ้นแรกของโลกซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียม โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า แต่หลังจากเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. 2516 (ค.ศ. 1973) จึงได้มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับงานบนพื้นโลกมากขึ้นตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

การเปลี่ยนพลังงานการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง สามารถเป็นจริงได้ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic effect) โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) คำว่า "Photovoltaic" มักจะถูกเขียนย่อด้วย "PV" พลังงานการแผ่รังสีถูกส่งผ่านโดยตรงไปยังอิเล็กตรอนในเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการโฟโต้เอฟเฟกต์ (Photoeffect) ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของประจุตัวนำพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์เกือบทั้งหมดที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันคือ ซิลิกอน โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิกอนถูกแสดงอย่างคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 2.1

เวเฟอร์ซิลิกอนหนาประมาณ 300 μm ประกอบด้วย 2 ชั้นที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งส่วนมากถูกเจือด้วย โบรอนและฟอสฟอรัส ผิวด้านหลังของเซลล์ทำจากโลหะทั้งหมดเพื่อรวบรวมประจุ ในขณะที่ด้านหน้าซึ่งเป็นส่วนรับแสงที่จะมาตกกระทบ จะใช้เพียงกริด

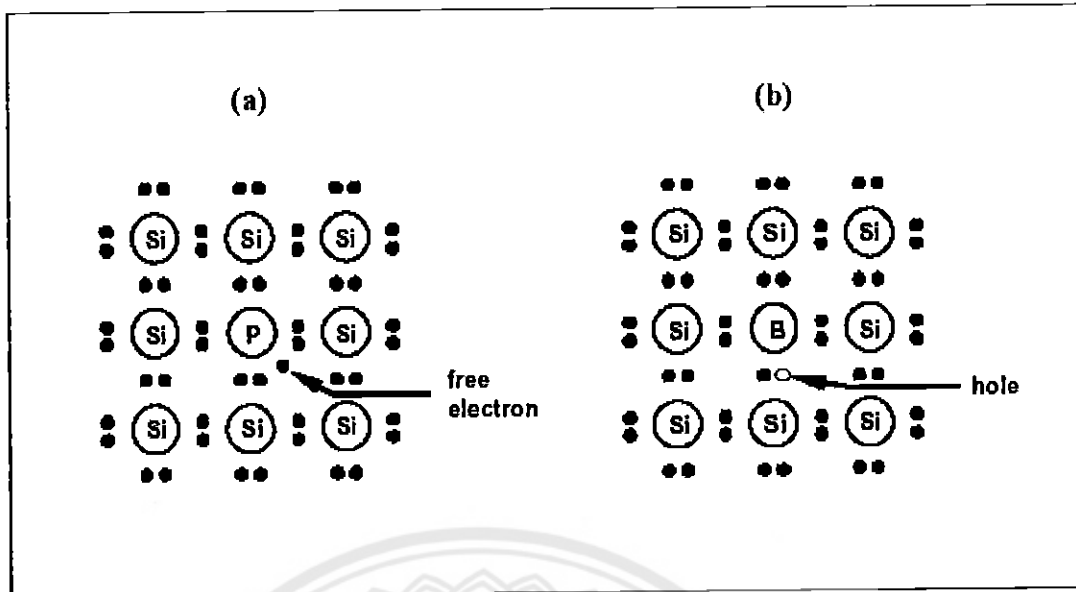
โลหะ 1 ชั้น เพื่อให้แสงผ่านเข้าสู่เซลล์ได้มากที่สุด โดยปกติผิวของเซลล์จะถูกเคลือบด้วยสารต้านการสะท้อน (Antireflection coating) เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดจากการสะท้อนให้เหลือน้อยที่สุด [1]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน [1]

2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกรบกวน

ถ้าพิจารณาการเจือซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 4 ตัว (Tetravalent element) และเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุดรวมถึงการนำไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ การแทนที่อะตอมของซิลิกอน 1 อะตอมด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว (Pentavalent element) ดังรูปที่ 2.2(a) เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) หรือ สารหนู (Arsenic: As) 1 อะตอมทำให้เหลืออิเล็กตรอน 1 ตัว ที่ยึดติดอย่างหลวม ๆ ด้วยแรงคูลอมบ์ (Coulomb force) ซึ่งสามารถถูกทำลายด้วยพลังงานประมาณ 0.002 eV ปริมาณอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) คือหน่วยของพลังงานซึ่งสอดคล้องกับค่าพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับเมื่อมีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 V เนื่องจากธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัวให้อิเล็กตรอนอย่างง่ายดาย จึงถูกเรียกว่า “สารเจือผู้ให้ (Donor)” หลังจากให้อิเล็กตรอนแล้วอะตอมของสารเจือผู้ให้จะมีประจุบวก และเนื่องจากโดยปกติแล้วกระแสที่เกิดขึ้นจะเกิดจากอิเล็กตรอนเท่านั้น จึงเรียกสารชนิดนี้ว่า “สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type material)” [1]



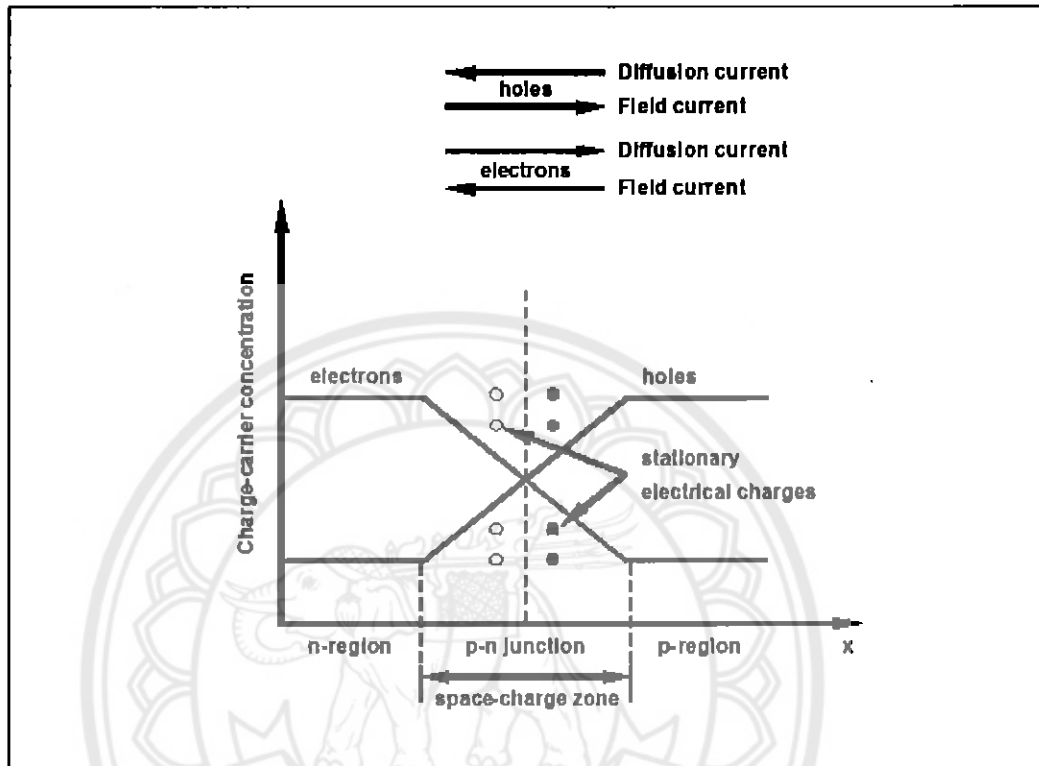
รูปที่ 2.2 การเติมสารเจือ (a) ด้วยอะตอมฟอสฟอรัส และ (b) ด้วยอะตอมโบรอน [1]

ในทางกลับกัน การแทนที่อะตอมของซิลิกอน 1 อะตอมด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว (Trivalent element) ดังรูปที่ 2.2(b) เช่น โบรอน (Boron: B) หรือ อลูมิเนียม (Aluminium: Al) หรือ แกลเลียม (Gallium: Ga) 1 อะตอมทำให้ขาดอิเล็กตรอน 1 ตัว หรือพูดได้ว่าเกิดโฮล (Hole) ขึ้น ในขณะที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับโฮลสามารถเข้าไปเติมในช่องว่างดังกล่าวนี้ได้ และทำให้เกิดโฮลที่ตำแหน่งเดิมของมันเป็นลำดับ กระบวนการนี้ก่อให้เกิดการนำกระแสโดยที่ โฮลซึ่งมีประจุบวก ดังนั้นสารนี้จึงถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type material) และเนื่องจากอะตอมของสารเจือในกรณีนี้รับอิเล็กตรอนอย่างง่ายดาย จึงถูกเรียกว่า “สารเจือผู้รับ (Acceptor)” อะตอมของสารเจือผู้รับจะถูกไอออนไนซ์ (Ionized) เป็นประจุลบด้วยการรับอิเล็กตรอน โดยทั่วไปอะตอมของสารเจือผู้ให้ และของสารเจือผู้รับจะถูกไอออนไนซ์แล้วที่อุณหภูมิห้อง [1]

2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น

โดยปกติรอยต่อพีเอ็น ถูกสร้างจากความจริงที่ว่าชั้นชนิดเอ็นเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำชนิดพีด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือผู้ให้ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 850°C) ในทำนองเดียวกันกับกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อพีเอ็นสามารถถูกสร้างได้ด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือชนิดผู้รับ แม้ว่าจะเป็นที่นิยมน้อยกว่าก็ตาม ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวขอบของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นหรือพี จะเกิดปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้ ในด้านเอ็น มีอิเล็กตรอนจำนวนมากในด้านพีมีโฮลจำนวนมาก ความแตกต่างในด้านปริมาณดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดผลที่ตามมาคือ อิเล็กตรอนจากด้านเอ็นแพร่เข้า

ไปยังด้านพี และโฮลแพร่จากด้านพีเข้าไปในด้านเอ็นผลที่ตามมาคือ เกิดกระแสของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการแพร่เข้าไปในด้านพี และกระแสจากการแพร่ของโฮลเข้าไปในด้านเอ็น [1] ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายประจุพาหะที่รอยต่อพีเอ็น และกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ [1]

การไหลของพาหะประจุลบและบวก ทำให้เกิดการขาดประจุพาหะภายในบริเวณที่เลขเป็นกลางทางไฟฟ้านั้นคือ เกิดประจุบวกภายในบริเวณสารเจือผู้ให้ และเกิดประจุลบภายในบริเวณสารเจือผู้รับ ดังนั้นจึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นตรงผิวขอบและก่อให้เกิดกระแสจากประจุพาหะทั้งสองชนิด ซึ่งไหลต้านกระแสที่เกิดจากการแพร่ในสภาวะสมดุล ค่าของกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านผิวรอยต่อมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้าชดเชยกระแสที่เกิดจากการแพร่อย่างสมบูรณ์ นั่นคือกระแสโฮลชนิดชดเชยระหว่างกันอย่างสมบูรณ์ และกระแสอิเล็กตรอนก็เช่นกันดังรูปที่ 2.3

สนามไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อนี้ สอดคล้องกับค่าความต่างศักย์ V_D ซึ่งถูกเรียกว่า “กำแพงศักย์ (Potential barrier)” โดยมีค่าประมาณ 0.8 eV สนามไฟฟ้านี้ทำให้ประจุพาหะที่เป็นผลมาจากแสงที่ตกกระทบเซลล์นั้นแยกออกจากกัน ภายในบริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) หรือ (Space-charge zone) จะไม่มีประจุพาหะอิสระ ซึ่งบริเวณนี้มีค่าความต้านทานสูงมาก

การป้อนแรงดันลบที่ด้านเอ็น ซึ่งเรียกว่า ไบอัสตรง (Forward bias) ทำให้กำแพงศักย์มีค่าลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของพาหุประจุที่เกิดจากสนามไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย ทำให้ขณะไม่สามารถชดเชยกับกระแสที่เกิดจากการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลดังเช่นขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกได้อีกต่อไป ผลที่ตามมาคือ มีกระแสสุทธิที่เกิดจากการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลไหลผ่านรอยต่อพีเอ็น ถ้าแรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้าไปมีค่าเท่ากับค่ากำแพงศักย์ จะไม่มีกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้า และค่ากระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานของสารเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม การป้อนแรงดันลบจากภายนอกเข้าที่ด้านลบ ซึ่งเรียกว่า ไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) จะเพิ่มค่าแรงดันของกำแพงศักย์ ทำให้บริเวณปลอดพาหุมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้กระแสจากสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่ากระแสสุทธิที่มีทิศตามไบอัสย้อนกลับจึงมีค่าน้อยมาก กระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพีเอ็นนำไปสู่สมการ ไดโอด นั่นคือ

$$I_D = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ	I_D	คือ กระแสของไดโอด (A)
	q	คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} A.s)
	V	คือ แรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้าไป (V) มีค่าเป็นบวกในกรณีไบอัสตรง และมีค่าเป็นลบในกรณีไบอัสย้อนกลับ
	k	คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์ (8.65×10^{-5} eV/K)
	T	คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ปริมาณ I_0 เรียกว่า “กระแสมืด (Dark current หรือ Saturated current)” ของไดโอด ซึ่งมีค่าคงที่สำหรับไดโอดแต่ละตัว และมีความสำคัญอย่างมากในเรื่องของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

2.1.5 กระบวนการทางฟิสิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์

1) การดูดกลืนแสง (Optical absorption)

ในขณะที่แสงตกลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ แสงบางส่วนถูกสะท้อน บางส่วนถูกดูดกลืน ส่วนที่เหลือสามารถผ่านเซลล์ไปได้ เนื่องจากซิลิกอนมีดัชนีการหักเห (Refractive index) สูง (มากกว่า 3.5) ทำให้กว่า 30% ของแสงที่ตกกระทบถูกสะท้อน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมักถูกเคลือบด้วยสารด้านการสะท้อน ซึ่งโดยปกตินิยมเคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ ทำให้ลดความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนเหลือประมาณ 10% โดยปกติโฟตอน หรือ ควอนตัมของแสงทำปฏิกิริยากับสารด้วยการกระตุ้นอิเล็กตรอน กระบวนการที่สำคัญทางด้านพลังงานที่ใช้

กับเซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า “การดูด-กลืนทางโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption)” ด้วยเหตุนี้ โฟตอนจึงถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์แบบด้วยอิเล็กตรอนวงนอก อิเล็กตรอนได้รับพลังงานทั้งหมดจากโฟตอนแล้วกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตามในสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะสามารถถูกดูดกลืนก็ต่อเมื่อพลังงานของมันมีค่าสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Bandgap) โฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะผ่านทะลุสารกึ่งตัวนำและไม่สามารถก่อให้เกิดการแปลงพลังงาน อย่างไรก็ตามโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงานก็จัดเป็นความสูญเสียในด้านการแปลงพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนในผลึกอย่างรวดเร็วในช่วงการทำปฏิกิริยาระหว่างสเปกตรัม โดยทั่วไปของรังสีแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน ในกระบวนการแปลงพลังงาน พลังงานจะสูญเสียประมาณ 60% เพราะมีโฟตอนจำนวนมากมีพลังงานทั้งที่ต่ำกว่าและสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน

2) การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination of charge carriers)

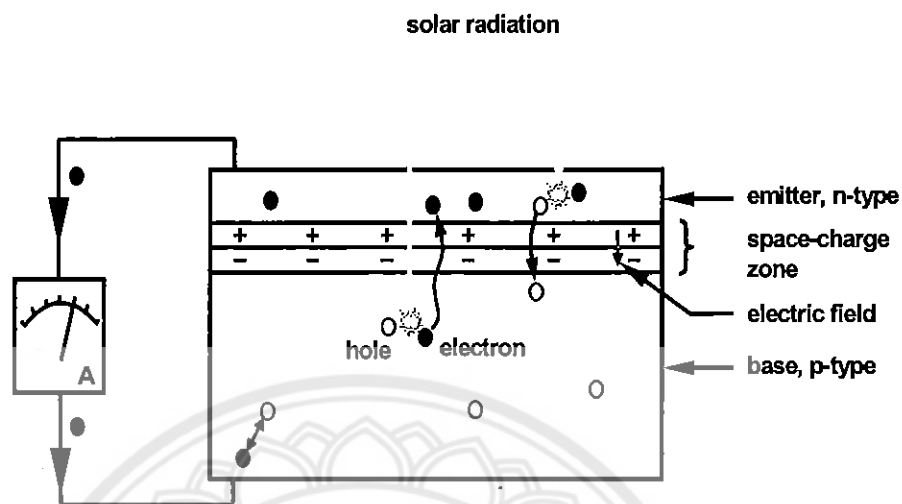
การดูดกลืนแสงก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน ดังนั้นในช่วงที่มีแสงปริมาณของประจุพาหะจึงมีค่ามากกว่าในช่วงเวลาที่มีค่านั้นคือในขณะที่ไม่มีแสงปริมาณประจุพาหะจะมีค่าเท่ากับในช่วงเวลาที่มีค ะบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่า “การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination)” และเป็นกระบวนการย้อนกลับจากกระบวนการสร้างประจุพาหะด้วยการดูดกลืนแสง การรวมตัวของประจุพาหะเกิดตามธรรมชาติแม้กระทั่งในกระบวนการสร้างประจุพาหะ ปริมาณของประจุพาหะสุทธิในขณะที่มีแสงจึงเป็นผลที่เกิดจากทั้งสองกระบวนการดังกล่าว

ในช่วงอายุขัย (Lifetime) ของประจุพาหะ ประจุพาหะสามารถเคลื่อนที่ในผลึกได้ในระยะทางที่แน่นอนก่อนที่จะเกิดการรวมตัว ระยะทางเฉลี่ยที่ประจุพาหะจะสามารถเดินทางได้ระหว่างจุดกำเนิดของประจุกับจุดที่เกิดการรวมตัว เรียกว่า “ระยะทางการแพร่” (Diffusion length) ปริมาณนี้มีบทบาทสำคัญในการอธิบายพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ และมีค่าขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของสาร และอายุขัยของประจุพาหะ (ระยะเวลาที่ใช้จนกระทั่งประจุพาหะเกิดการรวมตัว)

3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงตกกระทบ

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสดงไว้โดยสังเขปดังรูปที่ 2.4 อันได้แก่ อิมิตเตอร์ชนิดเอ็น (n-doped emitter) บริเวณปลดพาหะ (Depletion region) และ เบสชนิดพี (p-doped base) โฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอตกลงบนผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านทะลุอิมิตเตอร์และบริเวณปลดพาหะ แล้วถูกดูดกลืนในเบสชนิดพี ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นพาหะส่วนน้อยภายในเบสชนิดพี จึงถูกเรียกว่า “ประจุพาหะส่วนน้อย” ซึ่งตรงกันข้ามกับโฮลที่เป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในบริเวณนี้ อิเล็กตรอนนี้แพร่เข้าไปในเบสชนิดพี

จนกระทั่งถึงขอบของบริเวณปลอดพาหะ สนามไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณเขตปลอดพาหะจะเร่งอิเล็กตรอนและพาอิเล็กตรอนไปยังด้านอิมิตเตอร์



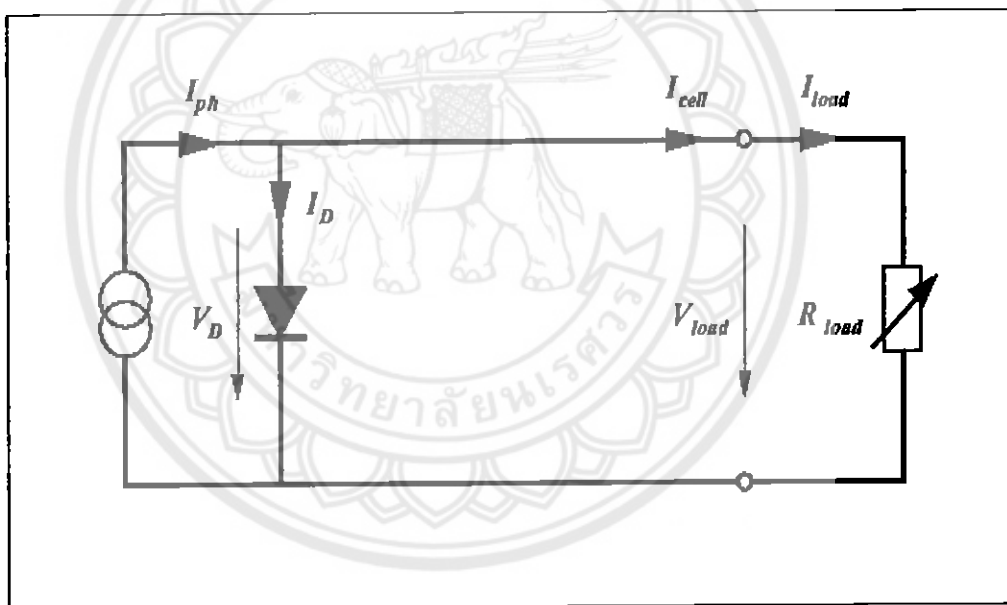
รูปที่ 2.4 หลักการทำงาน โดยสังเขปของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การแยกออกจากกันของประจุพาหะจึงเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ สนามไฟฟ้าจึงทำงานคล้ายกับเป็นตัวกลางในการแยกแต่ข้อแม้คือ ระยะทางการแพร่ของอิเล็กตรอนจะต้องมากเพียงพอให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณปลอดพาหะ ในกรณีที่ระยะทางการแพร่สั้นเกินไป การรวมตัวของประจุพาหะจะเกิดขึ้นก่อนถึงบริเวณปลอดพาหะ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานการดูดกลืนควอนตัมของแสงในอิมิตเตอร์ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลเช่นกัน แต่เนื่องจากโฮลเป็นประจุพาหะส่วนน้อยในบริเวณอิมิตเตอร์ชนิดเอ็น ด้วยระยะทางการแพร่ที่มากเพียงพอ ทำให้โฮลเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณปลอดพาหะ และถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าและถูกพาไปยังด้านเบสชนิดพี ถ้าการดูดกลืนควอนตัมของแสงเกิดขึ้นในบริเวณปลอดพาหะ อิเล็กตรอนและโฮลจะถูกแยกออกจากกันทันทีด้วยสนามไฟฟ้าที่มีในบริเวณนั้นนั่นเอง ผลจากการมีแสงตกกระทบจะได้ว่า ถ้าปริมาณของอิเล็กตรอนทางด้านอิมิตเตอร์ชนิดเอ็นเพิ่มขึ้น ปริมาณของโฮลทางด้านเบสชนิดพีก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าถ้าอิมิตเตอร์ชนิดเอ็นและเบสชนิดพีถูกนำมาต่อกันผ่านตัวต้านทาน อิเล็กตรอนจากด้านอิมิตเตอร์ไหลผ่านตัวต้านทานไปยังเบสแล้วรวมตัวกับโฮลในบริเวณนั้นอย่างไรก็ตาม การไหลของกระแสหมายถึงกำลังด้านออกการไหลของกระแสนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่ยังคงมีแสงตกกระทบเซลล์ ผลก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนทันทีเป็นพลังงานไฟฟ้า [1]

2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น เซลล์อาทิตย์ที่ถูกแสงจะสร้างประจุพาหะอิสระ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลผ่านภาระ (Load) ที่ต่ออยู่ ปริมาณประจุพาหะอิสระที่เกิดขึ้นแปรผันตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ เช่นเดียวกับกระแสโฟโต (I_{ph}) ซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเซลล์อาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถถูกแสดงด้วยวงจรสมมูลอย่างง่ายในรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยไดโอดที่เกิดขึ้นจากรอยต่อพีเอ็นและแหล่งจ่ายกระแสโฟโต ที่มีค่ากระแสขึ้นอยู่ กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกต่อเป็นภาระของเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ถูกแสง [1] นำไปสู่สมการต่อไปนี้

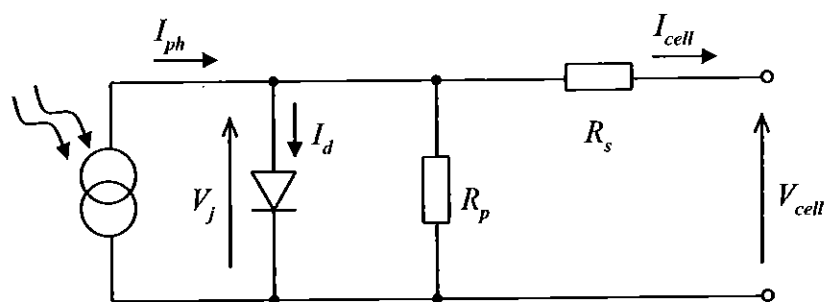
$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_D \cdot \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [1]

2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง

ในสภาพความเป็นจริง เนื้อสารกึ่งตัวนำและหน้าสัมผัสโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อให้เกิดค่าความต้านทานอนุกรม R_s (Parasitic series resistance) ในวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กระแสรั่วรอบ ๆ ขอบของเซลล์ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในผิวของเซลล์ และตำหนิที่เกิดจากการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสก่อให้เกิดค่าความต้านทานขนาน R_p (Parasitic parallel resistance) [1] ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [1]

กระแสที่ไหลผ่านไดโอดในรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายด้วยสมการไดโอดต่อไปนี้

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_j}{AkT_{cell}}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

โดยที่ I_0 คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse saturation current)

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน

V_j คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็น

k คือ ค่าคงที่ของโบลท์ซมันน์

T_{cell} คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ในหน่วยเคลวิน

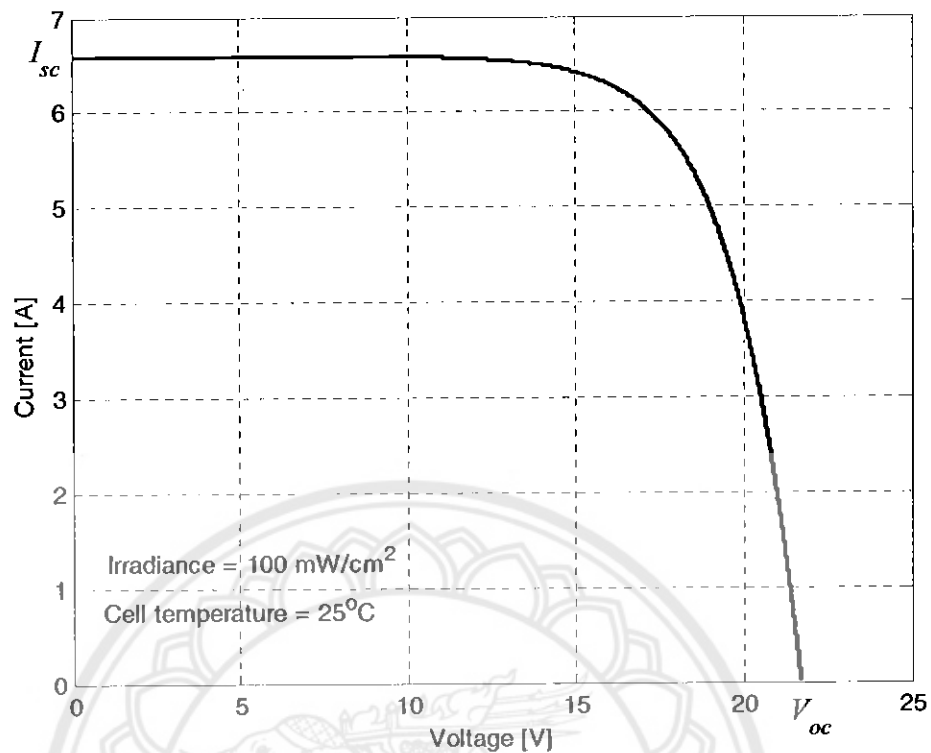
A คือ ค่าความสมบูรณ์ของรอยต่อพีเอ็น

เราสามารถเขียนสมการของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ T_{cell} ได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left\{\frac{q}{AkT_{cell}}(V_{cell} + R_s I_{cell})\right\} - 1 \right] - \left(\frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_p} \right) \quad (2.4)$$

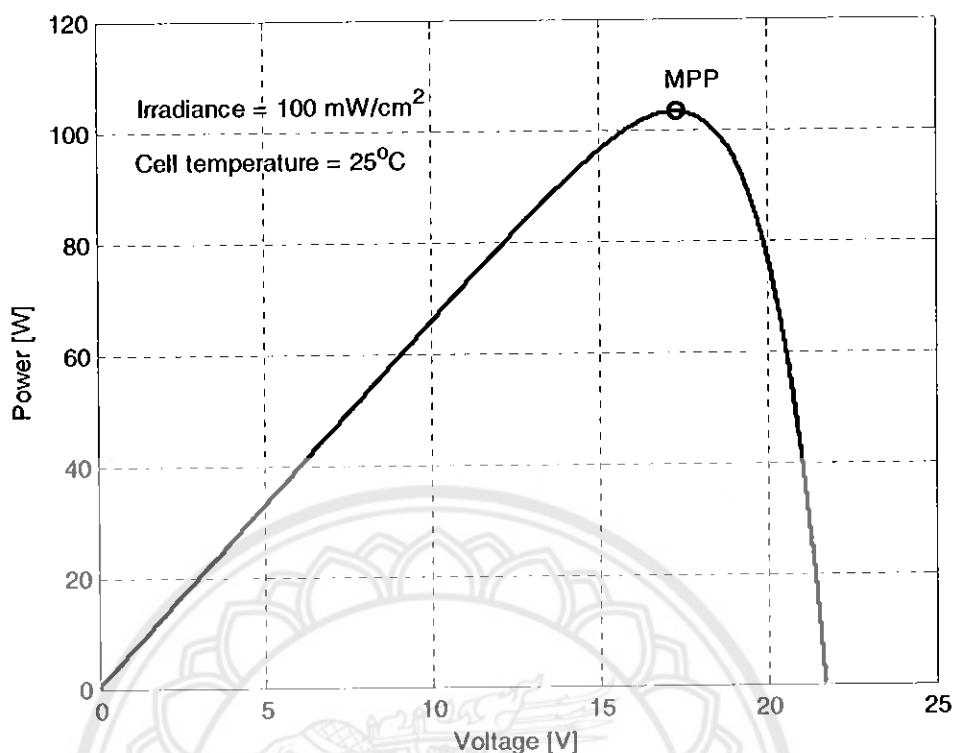
2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์

ลักษณะเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์หนึ่ง ๆ สามารถแสดงได้รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภายใต้สภาพอากาศหนึ่ง ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังด้านออกสูงสุดเมื่อทำงานที่จุดกำลังสูงสุด โดยเราสามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของแผงได้จากผลคูณของกระแสและแรงดันของแผงจากรูปที่ 2.7 เราสามารถสร้างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงได้ดังรูปที่ 2.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์สร้างกระแสสูงสุดเท่ากับค่ากระแสลัดวงจร (Short-circuit current, I_{sc}) เมื่อแรงดันของแผงมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งที่จุดนี้จะไม่มีการจ่ายกำลังด้านออกเนื่องจากผลคูณของกระแสกับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ ในทางกลับกัน ค่ากระแสด้านออกของแผงมีค่าเป็นศูนย์เมื่อแรงดันของแผงมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร (Open-circuit voltage, V_{oc}) ทำให้กำลังด้านออกมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน อย่างไรก็ตามระหว่างจุดทั้งสองดังกล่าว กำลังด้านออกของแผงมีค่ามากกว่าศูนย์ จากรูปที่ 2.8 จุดกำลังสูงสุดแสดงด้วยวงกลมเล็ก [1]



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

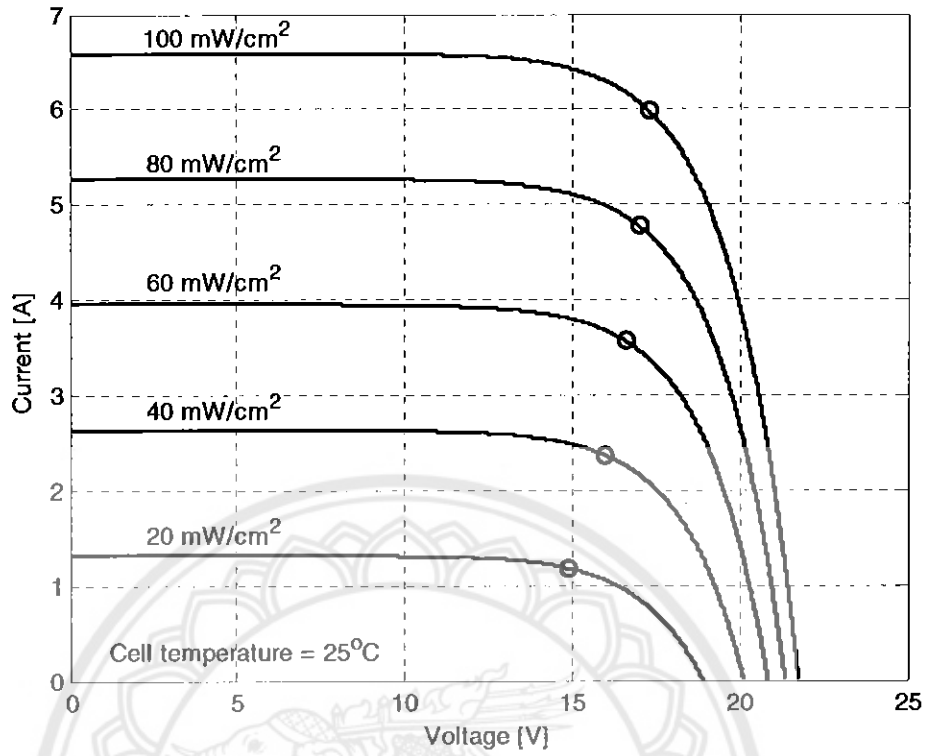
2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 กระแสโฟโตนิกเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับค่าความเข้มแสงเมื่ออุณหภูมิของเซลล์คงที่ ดังนั้นค่ากระแสลัดวงจรจึงแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง

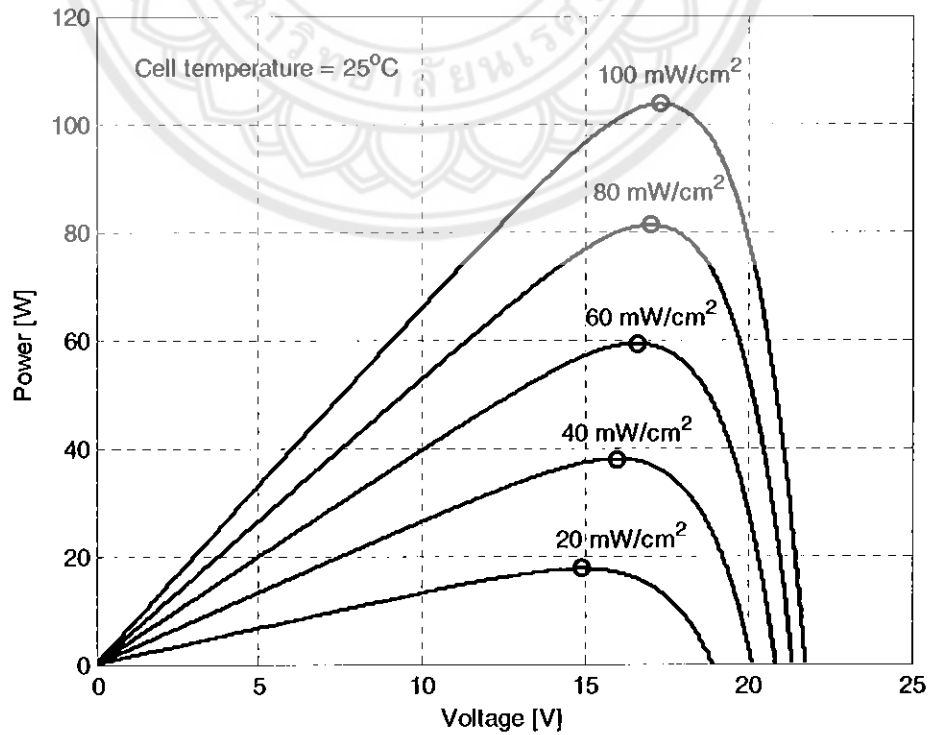
ภายใต้เงื่อนไขการเปิดวงจร (เมื่อไม่พิจารณาความต้านทานขนาน)

$$V_{oc} = \frac{n_s AkT_{cell}}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 \right) \quad (2.5)$$

สมการที่ (2.5) แสดงให้เห็นว่าในขณะที่กระแสโฟโตนิกแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง แรงดันเปิดวงจรจะแปรผันเป็นฟังก์ชันลอการิทึม เส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันที่สัมพันธ์กับรูปที่ 2.9 แสดงได้ดังรูปที่ 2.10 โดยจะเห็นได้ชัดว่ากำลังด้านออกของแผงมีค่าลดลงตามความเข้มแสง [1]



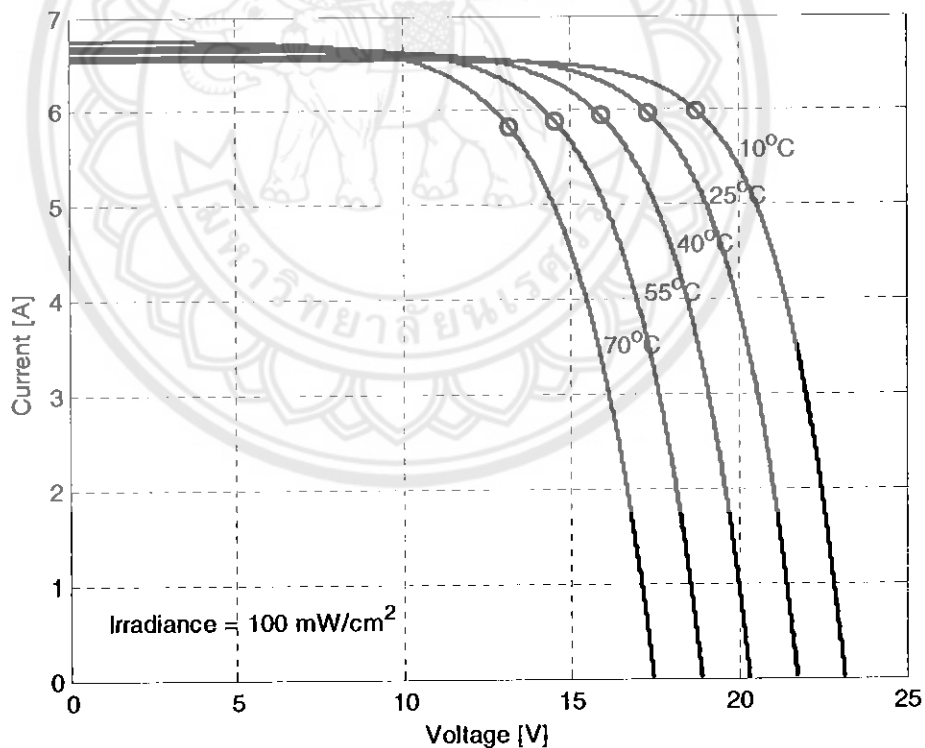
รูปที่ 2.9 ผลของความเข้มแสงต่อเส้น โถ้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



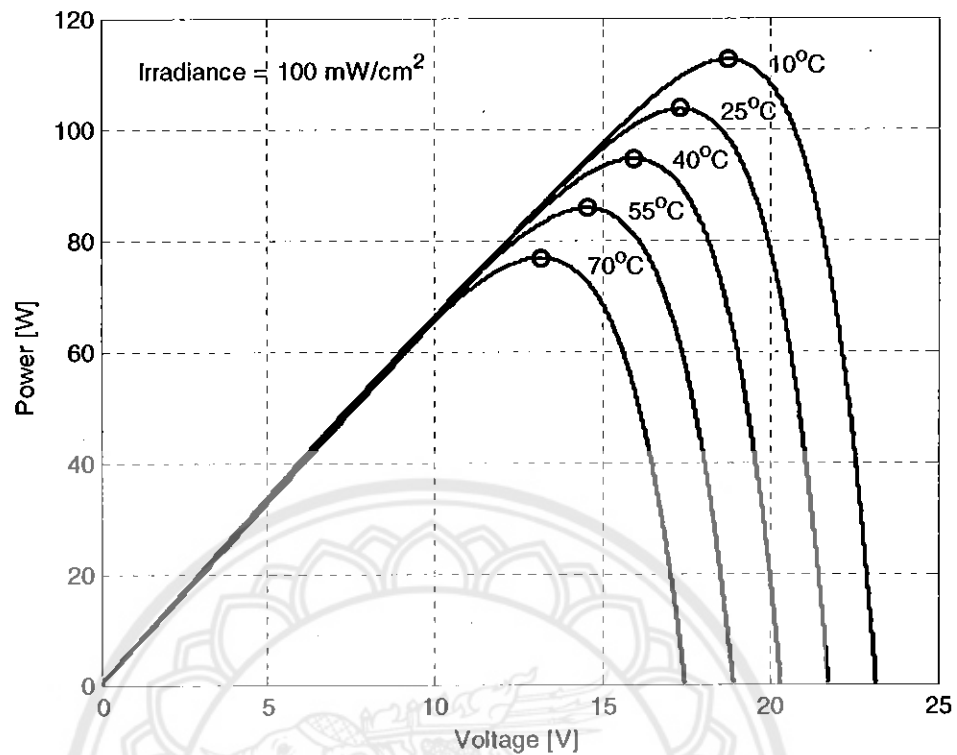
รูปที่ 2.10 ผลของความเข้มแสงต่อเส้น โถ้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2.11 แสดงเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันสำหรับค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่แตกต่างกัน กระแสโฟโต้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเนื่องจากแถบช่องว่างพลังงานแคบลงและระยะแพร่ของประจุพาหะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเซลล์ส่งผลให้กระแสลัดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ประมาณ $0.07\%/^{\circ}\text{C}$ สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน) ในทางตรงกันข้าม แรงดันเปิดวงจรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับเพิ่มขึ้นอย่างมาก และช่องว่างแถบพลังงานแคบลง ส่งผลให้แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลง จากการแสดงให้เห็นใน แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลงตามอุณหภูมิในลักษณะค่อนข้างเชิงเส้น ในอัตราประมาณ $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าอุณหภูมิมิผลอย่างมากต่อค่ากำลังด้านออกที่ระดับแรงดันสูงกว่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด



รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



รูปที่ 2.12 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

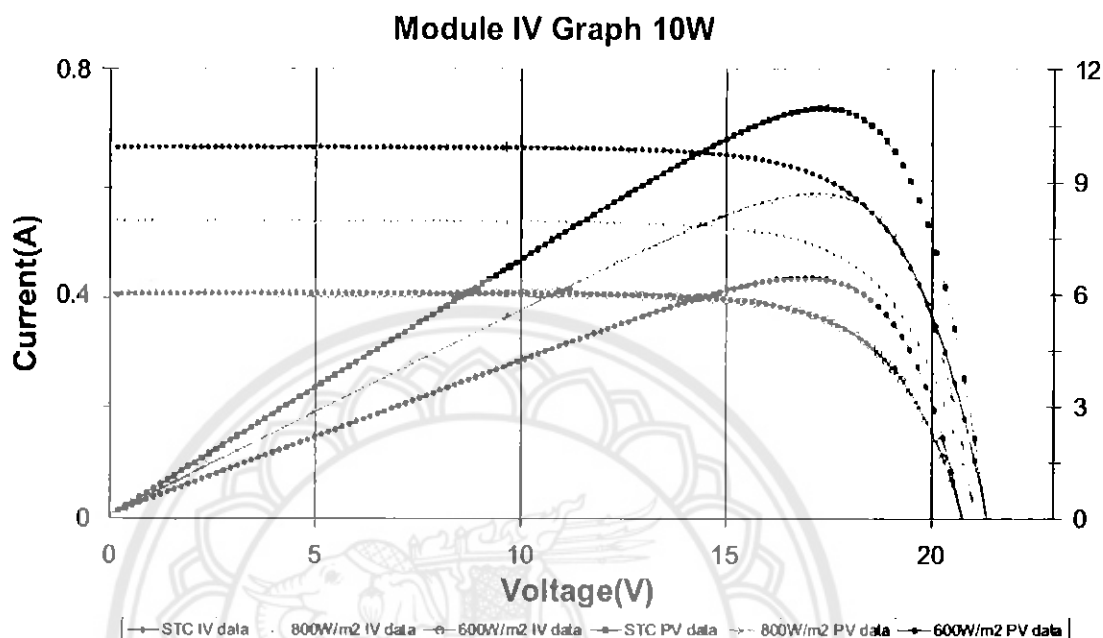
2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

ในที่นี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ Suntech รุ่น STP010S-12/kb มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

Cell:	Mono Crystalline Silicon
Dimension (mm):	310×366×18
Weight:	1.5 kg
No. of cells and connections	36 (4×9)
Open circuit voltage (Voc)	21.6 V
Optimum operating voltage (Vmp)	17.2 V
Short circuit current (Isc)	0.66 A
Optimum operating current (Imp)	0.58 A
Maximum power at STC (Pm)	10 Wp
Operating temperature	-40 to +80°C
Maximum system voltage	715 VDC

หมายเหตุ STC: Irradiance 1000 W/m², Module temperature 25°C, AM 1.5

กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแส รวมทั้งกราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP010S-12/kb แสดงได้รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

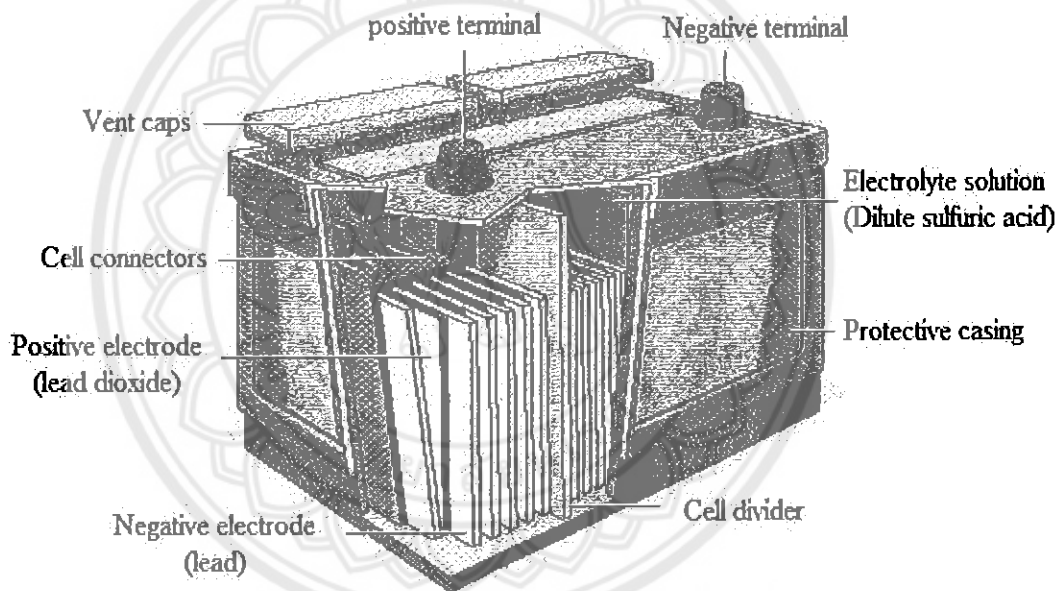
2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

แบตเตอรี่ที่นิยมใช้กับรถมากที่สุ่ดส่วนใหญ่จะเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว (Lead-acid batteries) เพราะราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและผลิตได้ง่ายอีกทั้งยังมีการพัฒนามานานแล้วจึงมีความเชื่อถือได้และหาข้อมูลได้ง่าย ถ้าหากใช้อย่างถูกต้องจะทนทานมาก จากการศึกษพบว่า แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วมีอัตราปล่อยประจุด้วยตนเอง (Self discharge) ต่ำเมื่อเทียบกับระบบแบตเตอรี่ประเภทสามารถประจุไฟได้ชนิดอื่น ๆ การบำรุงรักษามีไม่มาก โดยเฉพาะแบตเตอรี่ตะกั่วแบบแห้ง และยังสามารถให้กระแสคายประจุได้มาก ส่วนขนาดของแบตเตอรี่ก็มีให้เลือกหลายขนาด

แต่มีข้อด้อยที่ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักต่ำทำให้มีน้ำหนักมากและไม่สามารถเก็บไว้ได้โดยแบตเตอรี่ไม่มีประจุ เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว ในส่วนของตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักก็เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ในการขนส่งก็ต้องมีระเบียบที่เข้มงวด โดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบเปียก เพราะอาจเกิดการหกหรือซึมของกรดออกจากเปลือกแบตเตอรี่ได้

2.2.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิด คือ แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ (ดังรูปที่ 2.14) แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกันจนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกันไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น (Separators) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบแตะกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้ น้ำกรดหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจาง ประกอบด้วยกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณ 38% ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดมีค่า 1.260-1.280 ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$

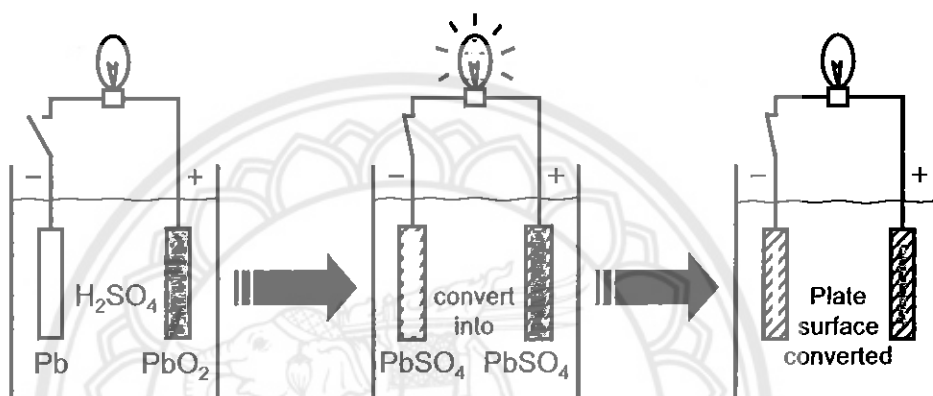


รูปที่ 2.14 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

เซลล์แบตเตอรี่ (Battery cell) คือช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวกและลบซึ่งวางสลับกันและกันด้วยแผ่นกั้นแล้วจุ่มในน้ำกรด ในแต่ละเซลล์ก็จะมีส่วนบนเป็นที่เติมน้ำกรดและมีฝาปิดป้องกันน้ำกรดกระเด็นออกมา ฝาปิดนี้จะมีรูระบายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 V/cell ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่นั้น ๆ เช่น แบตเตอรี่ที่มี 6 เซลล์ จะให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12 V [2]

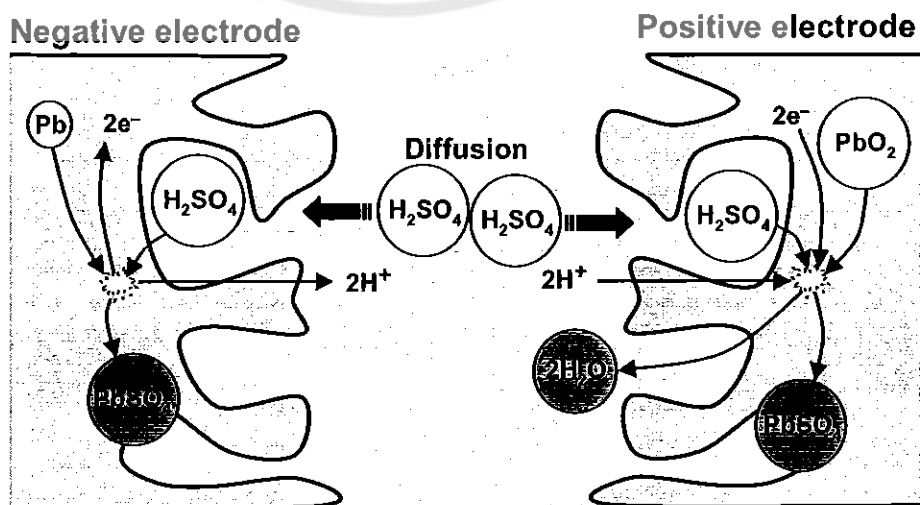
2.2.2 ปฏิกริยาทางไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

เราสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่ขณะคายประจุแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 กำหนดให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพประจุเต็ม (Fully charged condition) ก่อนจะต่อกับโหลด เนื้อสารที่ขั้วลบจะเป็นตะกั่วส่วนขั้วบวกจะเป็นตะกั่วออกไซด์ หลังจากนำโหลดมาต่อแบตเตอรี่จะเริ่มคายประจุโดยเนื้อสารที่ขั้วลบและบวกจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำยาอิเล็กโทรไลต์จนกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต การคายประจุของแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลงเมื่อเนื้อสารทั้งขั้วลบและขั้วบวกกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตทั้งหมด



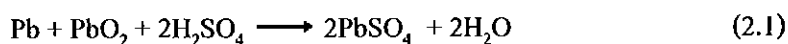
รูปที่ 2.15 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขณะคายประจุ

ในระหว่างที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวกดังแสดงในรูปที่ 2.16 จึงเกิดกระแสไหลผ่านโหลด ซึ่งค่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่เนื้อสารสัมผัสกับน้ำกรด [2]

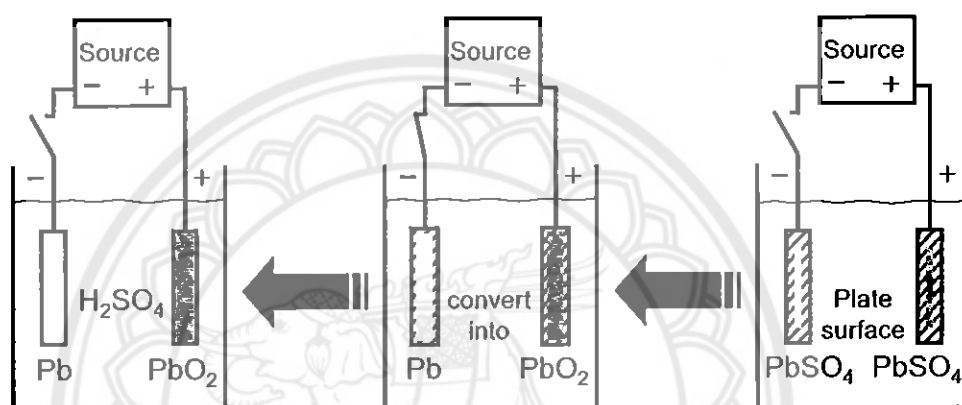


รูปที่ 2.16 การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเคมีต่อไปนี้



จากสมการที่ (2.1) การคายประจุจะอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากซ้ายไปขวา ในขณะที่การอัดประจุแบตเตอรี่จะอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสมการจากขวาไปซ้ายเมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ โดยเนื้อสารที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจากการคายประจุดังแสดงดังรูปที่ 2.17



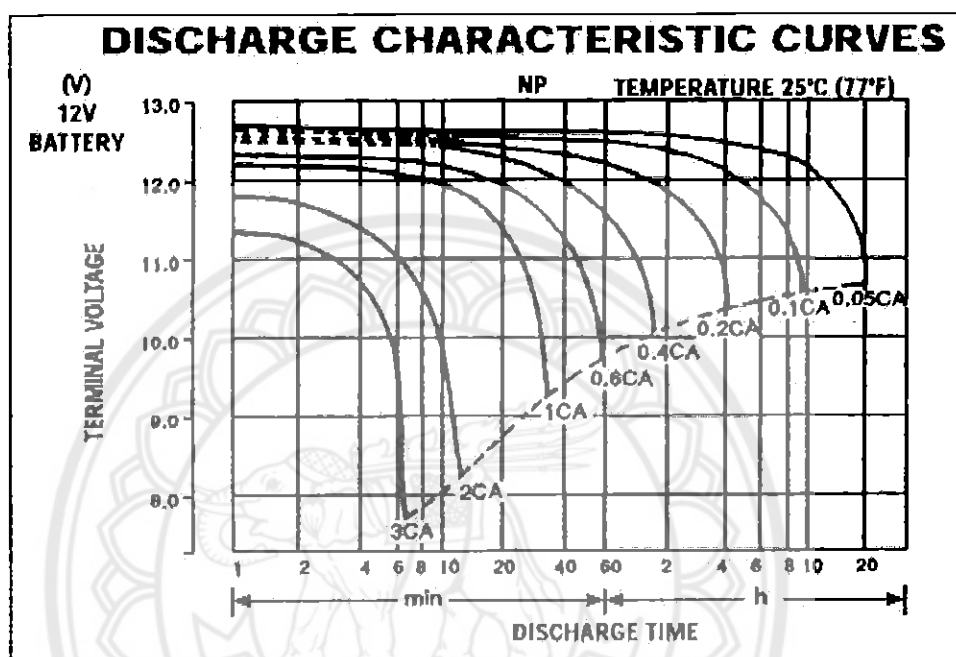
รูปที่ 2.17 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วขณะอัดประจุ

การใช้งานแบตเตอรี่จำเป็นต้องศึกษาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ ได้แก่

ก) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery capacity) มีหน่วย “แอมแปร์-ชั่วโมง” (Ah) หรือ “วัตต์-ชั่วโมง” (Wh) ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายได้ เราสามารถคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ได้ด้วยการคายประจุของแบตเตอรี่ (Discharge) ความจุที่ใช้งานได้ (Available capacity) ขึ้นจะอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้าง ซึ่งเชื่อมโยงกับการออกแบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ปริมาณของตะกั่ว, ตะกั่วออกไซด์, น้ำกรด, ความหนาของแผ่นโลหะ และผิวสัมผัสของโลหะ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงขึ้นความจุของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสูงขึ้น แต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลง ค่าพลังงานสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ ณ ค่ากระแส และอุณหภูมิค่าหนึ่งที่กำหนด โดยผู้ผลิต เรียกว่า พิกัดความจุ (Rated capacity หรือ Nominal capacity) ของแบตเตอรี่

ข) จุดสิ้นสุดของการคายประจุ (End of discharge) คือระดับแรงดันที่เรายอมให้แบตเตอรี่คายประจุได้ก่อนจะยุติกระบวนการคายประจุ จุดสิ้นสุดของการคายประจุจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสคายประจุซึ่งกำหนดโดยผู้ผลิต รูปที่ 2.18 แสดงกราฟพิกัดลักษณะการคายประจุของ

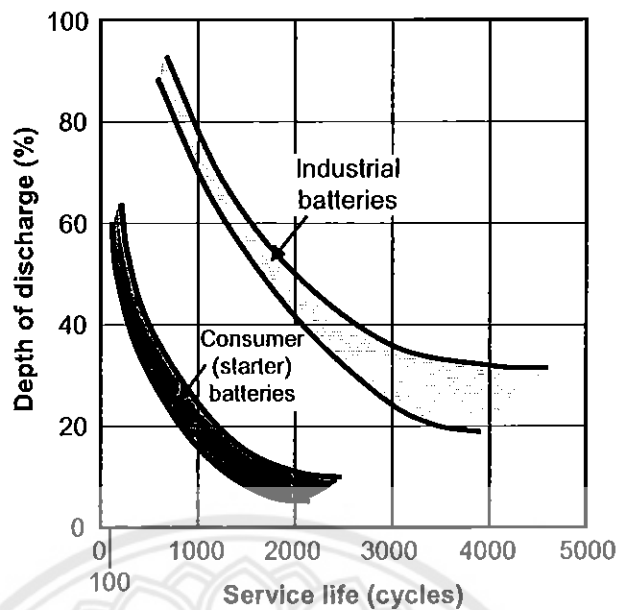
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว NP4-12 ซึ่งค่าพิกัดความจุมีค่า 4 Ah ที่กระแส 0.2 A (0.05C) อุณหภูมิ 25 °C และจุดสิ้นสุดการคายประจุที่ 10.7 V จะเห็นว่าถ้าแบตเตอรี่คายประจุที่กระแสสูงกว่า 0.2 A จุดสิ้นสุดการคายประจุจะต่ำกว่าเนื่องจากยังมีเนื้อสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำกรดต่อได้อีก แต่ค่าความจุที่ใช้งานได้จะลดลงจากค่าพิกัด



รูปที่ 2.18 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12

ค) อายุการใช้งาน (Service life) ของแบตเตอรี่ถูกกำหนดในรูปของจำนวนรอบของการอัดและคายประจุ (Charge-discharge cycle) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความลึกในการคายประจุแต่ละครั้ง (Depth of discharge, DoD) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ถ้าความลึกในการคายประจุมีค่าสูงจะทำให้อายุการใช้งานจะสั้นลง

การคายประจุต่ำกว่าจุดสิ้นสุดของการคายประจุ (Deep discharge) จะทำให้แบตเตอรี่ทำงานหนักเกินไป หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ต้องรีบอัดประจุคืนให้เต็ม มิฉะนั้นจะเหลือผลึกตะกั่วซัลเฟตที่ขี้ววมกและลบ หากปล่อยไว้เนิ่นนานผลึกเหล่านี้จะโตขึ้นจนยากต่อการเปลี่ยนกลับคืนเป็นตะกั่ว (ที่ขี้ววม) และตะกั่วออกไซด์ (ที่ขี้ววม) ได้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ซัลเฟชัน” (Sulphation) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อสารที่จะทำปฏิกิริยา ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการป้องกันการคายประจุลึกกว่าจุดสิ้นสุดการคายประจุ (Deep discharge protection) โดยวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการวัดค่าและตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.19 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ง) จุดสิ้นสุดการอัดประจุ (End of charge) ในการอัดประจุแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้แรงดันของแหล่งจ่ายสูงกว่า เช่นประมาณ 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 V เมื่ออัดประจุจนแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้ไนโตรเจนที่แตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วลบและก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก ถ้าอัดประจุนานเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในแบตเตอรี่ลดลง นอกจากนี้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูงยังทำให้เกิดความเครียดในเนื้อสารซึ่งทำให้การเกาะตัวของโมเลกุลในเนื้อสารแย่งจนส่งผลให้เนื้อสารบางส่วนหลุดออกจากขั้ว ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียความจุที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ ดังนั้นในระหว่างการอัดประจุจึงต้องมีการจำกัดแรงดันและกระแส เช่น การอัดประจุด้วยกระแสไม่เกิน 1 A และใช้แรงดันในการอัดประจุประมาณ 2.3-2.4 V/cell หรือ 14.4 V (สำหรับแบตเตอรี่ 12 V) ที่อุณหภูมิ 20°C [2]

2.2.3 ลักษณะและสาเหตุการเสียหายของแบตเตอรี่

เพื่อให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรศึกษาและวิเคราะห์ถึงลักษณะและสาเหตุของการเสียหายของแบตเตอรี่ที่เสียและชำรุดก่อนกำหนดอายุการใช้งาน โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากลักษณะและสาเหตุการเสียหายของแบตเตอรี่ดังนี้

ก) การอัดประจุกระแสไฟฟ้าเกิน (Overcharge) คือปรากฏการณ์ของแบตเตอรี่ที่ได้รับ การอัดประจุมากเกินไปหรืออัดประจุด้วยกระแสสูง ๆ แบตเตอรี่ที่มีการอัดประจุกระแสไฟฟ้าเกิน จะมีลักษณะที่สังเกตเห็นได้คือ แผ่นกั้นจะเป็นสีดำหรือน้ำตาลไหม้และเปรอะแผ่นบวกและกริดห้กร่วง สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดการประจุกระแสไฟฟ้าเกินมีดังนี้

➢ วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage regulator) หรือเครื่องตัดกระแสไฟฟ้าทำงานผิดปกติที่แรงดันสูงเกินไป ปกติแล้วควรตัดไม่เกิน 14 V ในแบตเตอรี่ขนาด 12 V ถ้าสูงกว่านี้แบตเตอรี่จะได้รับการอัดประจุสูงเป็นเวลานาน ๆ ติดต่อกันตลอดเวลา

➢ เกิดจากการอัดประจุแบตเตอรี่อย่างรวดเร็ว ก็คืออัดประจุด้วยกระแสสูงโดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ถ้าทำบ่อยก็ทำให้เกิดการประจุกระแสไฟฟ้าเกินได้

➢ ความถ่วงจำเพาะของกรดสูงเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสูงมากขณะใช้งานทำให้แผ่นกั้นชำรุดและแผ่นธาตุเสีย

➢ ใช้งานในสภาพที่ร้อนจัด เช่น แบตเตอรี่ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงแบตเตอรี่จะได้รับการอัดประจุเข้ามากกว่าปกติ

ข) ซัลเฟชัน (Sulfation) คือการเกิดผลึกขาวที่แผ่นลบเกิดขึ้นเนื่องจากแบตเตอรี่ ง่ายไฟออกนาน ๆ หรือทิ้งไว้นาน ๆ จะเกิดผลึกซัลเฟต ($PbSO_4$) ขึ้นทีละน้อยผลึกซัลเฟตจะเป็นสีขาวและจะค่อย ๆ สะสมจนหนาขึ้นเรื่อย ๆ และแก้ไขได้ยาก ซัลเฟชันอาจเกิดขึ้นได้เมื่อแผ่นบวกและแผ่นลบถูกอากาศนาน ๆ เนื่องจากกรดแห้งแบตเตอรี่ใหม่ ๆ ถ้าเติมน้ำกลั่นแทนกรดก็จะเกิดปฏิกิริยาคลายซัลเฟชันเหมือนกัน แต่เป็นคนละอย่างซึ่งทำให้แบตเตอรี่เสียเหมือนกัน

ค) การคายประจุเกิน (Over Discharge) คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานจนไฟหมดแล้วความถ่วงจำเพาะของกรดต่ำลงมาก ๆ แล้วทิ้งไว้โดยไม่อัดประจุเพิ่มความถ่วงจำเพาะของกรดจะลดลงเรื่อย ๆ จนมีลักษณะเหมือนน้ำกลั่นและการที่กรดมีความเจือจางมาก ๆ เช่นนี้จะมีคุณสมบัติที่จะสามารถละลายตะกั่วได้ ดังนั้นแผ่นลบก็จะถูกกัดกร่อนละลายออกมาเป็นผงตะกั่วทะลุผ่านแผ่นกั้นมาหาแผ่นบวก เนื่องจากแผ่นกั้นเป็นรูพรุนทำให้เกิดการลัดวงจร ลักษณะของแบตเตอรี่ที่มีการคายประจุเกินคือแผ่นกั้นจะมีสีซีดขาว กริดแผ่นบวกหักงอ [2]

2.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

เมื่อพิจารณาลักษณะการอัดประจุอย่างง่าย อาจดูว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วควรถูกอัดประจุโดยการใช้แรงดันคงที่เท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือใช้ระยะเวลาในการอัดประจุนาน เพราะความสามารถในการยอมรับประจุ (นั่นคือกระแสอัดประจุ) ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อแบตเตอรี่เข้าใกล้สถานะประจุเต็ม ดังนั้นการอัดประจุด้วยแรงดันค่าต่ำ (และคงที่) จะใช้เวลานานซึ่งไม่เป็นที่นิยมโดยเฉพาะในงานที่ต้องการอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มภายในระยะเวลาที่แน่นอน ในทางกลับกัน การอัดประจุด้วยแรงดันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้สูญเสีย น้ำและการสึกกร่อนของกริด ดังนั้นเพื่อให้การอัดประจุเป็นที่ยอมรับ การอัดประจุที่ค่าแรงดัน

ต่างกันและการอัดประจุด้วยกระแสคงที่จึงถูกนำมาใช้ในแต่ละช่วงของการอัดประจุ ส่งผลให้มีวิธีการอัดประจุหลายวิธีสำหรับการใช้งานต่าง ๆ

2.3.1 การอัดประจุแบบใช้แรงดันคงที่

การอัดประจุแบบใช้แรงดันคงที่ (Constant-voltage charging) หรือการอัดประจุลอย (Float charging) จะใช้แรงดันคงที่อย่างต่อเนื่อง วิธีนี้นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว โดยเฉพาะแบตเตอรี่ที่ใช้ทำงานเป็นตัวสำรองไฟโดยจะคายประจุเพื่อช่วยให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าถูกเติมเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับไฟจากการไฟฟ้าฯ โดยทั่วไปการอัดประจุด้วยวิธีนี้ทำโดยการเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงไว้ตลอดเวลา

แบตเตอรี่ไม่มีประจุเหลืออยู่ (Discharged battery) จะมีความสามารถในการรับประจุหรือกระแสได้สูง (High charge acceptance) คำนี้นั้นขณะเริ่มการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ อัตราการอัดประจุจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของกระแสที่วงจรอัดประจุสามารถจ่ายได้ ในระหว่างที่การอัดประจุดำเนินต่อไปความสามารถในการรับกระแสของแบตเตอรี่จะจำกัดค่ากระแสอัดประจุทำให้กระแสมีค่าลดลงทีละน้อยจนในที่สุดกระแสจะมีค่าคงที่ที่ค่าน้อย ๆ เรียกว่า “กระแสลอย” (Float current) นั่นคือการอัดประจุได้เสร็จสิ้น

2.3.2 การอัดประจุแบบใช้กระแสคงที่

การอัดประจุแบบใช้กระแสคงที่ (Constant-current charging) มักใช้กับแบตเตอรี่แบบตะกั่วชนิด VLRA ขนาดเล็กที่ใช้กับงานประเภทคายประจุเป็นบางโอกาส เช่น เครื่องมือทำสวน ไฟฉาย หรืออุปกรณ์พกพาอื่น ๆ ตัวควบคุมการอัดประจุแบบใช้กระแสคงที่อย่างง่ายมีราคาถูก เพราะไม่มีวงจรที่ซับซ้อน (ยกเว้นอุปกรณ์จับเวลา) อย่างไรก็ตาม การอัดประจุวิธีนี้ไม่แนะนำให้ใช้ทั่วไปกับแบตเตอรี่ชนิด VLRA เพราะแรงดันของแบตเตอรี่อาจเพิ่มขึ้นจนควบคุมไม่ได้ การที่แรงดันสูงขึ้นหมายถึงการเกิดก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งบ่งบอกถึงการสูญเสียน้ำ) และการสึกกร่อนของกริดมากขึ้น

การอัดประจุวิธีนี้สามารถปรับปรุงได้โดยใช้กระแสคงที่ในช่วงเวลาจำกัดเท่านั้น จากนั้นปรับลดกระแสอัดประจุให้น้อยลง หรือเปลี่ยนไปใช้วิธีการอัดประจุแบบใช้แรงดันคงที่

2.3.3 การอัดประจุด้วยกระแสต่ำ

การอัดประจุด้วยกระแสต่ำ (Trickle charging) เป็นการอัดประจุอย่างต่อเนื่องด้วยกระแสค่าน้อย ๆ โดยมีค่าเพียงพอที่จะชดเชยกับการสูญเสียภายในแบตเตอรี่และเหมาะสมที่จะใช้รักษาระดับประจุที่สะสมในแบตเตอรี่ให้เต็มอยู่เสมอ ค่ากระแสที่ใช้ในการอัดประจุวิธีนี้มีค่าต่ำกว่า 100 mA/100 Ah

15258129

๒/๕

0194๓

๒๕๕๒

เราสามารถใช้อัดประจุด้วยกระแสต่ำเป็นการอัดประจุในช่วงที่สอง (หลังจากช่วงที่ใช้กระแสคงที่) บางครั้งการอัดประจุวิธีนี้ใช้สำหรับการเก็บรักษาแบตเตอรี่เพื่อให้อยู่ในสถานะประจุเต็มอยู่เสมอของมันเอง นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการอัดประจุแบบนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนขึ้นในแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสียหาย [3]

ในที่นี้ ผู้ดำเนินโครงการเลือกศึกษา ออกแบบ และสร้างตัวควบคุมการอัดประจุแบบใช้แรงคั่นคงที่ โดยมีการจำกัดกระแสอัดประจุ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด



บทที่ 3

การสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ

จากการศึกษาการอัดประจุแบตเตอรี่ในบทที่ 2 จะพบว่าการอัดประจุจะต้องมีการควบคุมแรงดันและกระแสที่ใช้อัดประจุ และเมื่ออัดประจุจนเต็มแล้วต้องหยุดการอัดประจุ มิฉะนั้นจะส่งผลเสียทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างตัวควบคุมการอัดประจุที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว

3.1 การออกแบบตัวควบคุมการอัดประจุ

ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้น โครงงานนี้ถูกออกแบบให้รับไฟกระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้แรงดันด้านออกตั้งแต่ 8 V โดยแรงดันด้านออกถูกควบคุมด้วยไอซีหมายเลข LM317K โดยสามารถปรับเลือกค่าแรงดันที่ต้องการรักษาให้คงที่ได้ในช่วง 1.2-15.8 V และสามารถจำกัดกระแสด้านออกไว้ที่ 1.5 A แต่วงจรคุมค่าแรงดันนี้จ่ายแรงดันสูงกว่าขนาดของแรงดันแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุจนเต็มที่มีค่าอยู่ที่ 14.4 V เนื่องจากเราต้องการจำกัดแรงดันของแบตเตอรี่ให้ได้รับการประจุถึง 14.4 V จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนที่ใช้จำกัดแรงดันของแบตเตอรี่เข้าไปถัดจากวงจรคุมค่าแรงดันดังรูปที่ 3.1 ในที่นี้เลือกไอซี 2 ตัวและทรานซิสเตอร์ 1 ตัวเป็นตัวควบคุมการทำงานของรีเลย์เพื่อใช้ในการตัดต่อวงจรโดยจะมีไอซีหมายเลข L7805CV, LM311 และทรานซิสเตอร์หมายเลข BC337 ซึ่งความสัมพันธ์ของการทำงานของไอซีและทรานซิสเตอร์ทั้ง 3 ตัวจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.3

3.2 การสร้างวงจรควบคุมแรงดันและจำกัดกระแส

วงจรคุมค่าแรงดันในโครงงานนี้มีหน้าที่รักษาระดับแรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯ ให้มีค่าคงที่ โดยสามารถเลือกค่าระดับแรงดันได้ในช่วง 1.2-37 V ในที่นี้เลือกปรับตั้งไว้ที่ 15.8 V นอกจากนี้วงจรยังสามารถจำกัดกระแสไว้ไม่เกิน 1.5 A เพื่อใช้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ต้องการ

จากรูปที่ 3.1 เราเลือกใช้ไอซีวงจรมุมค่าแรงดันหมายเลข LM317K เพื่อจำกัดกระแสค่านอกไว้ไม่ให้เกิน 1.5 A และเมื่อนำไอซีนี้มาต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก ได้แก่ ตัวต้านทานค่าคงที่และตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังที่ได้อธิบายหลักการไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ทำให้สามารถปรับค่าแรงดันค่านอกได้ในช่วง 1.2-37 V ในโครงการนี้เราจะปรับค่าแรงดันค่านอกไว้ที่ 15 V นอกจากนี้ยังใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 k Ω ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งค่าแรงดันค่านอกให้กับ LM317K (ศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ก) และใช้ไดโอด 1N4007 เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเข้า LM317K [4, 5]

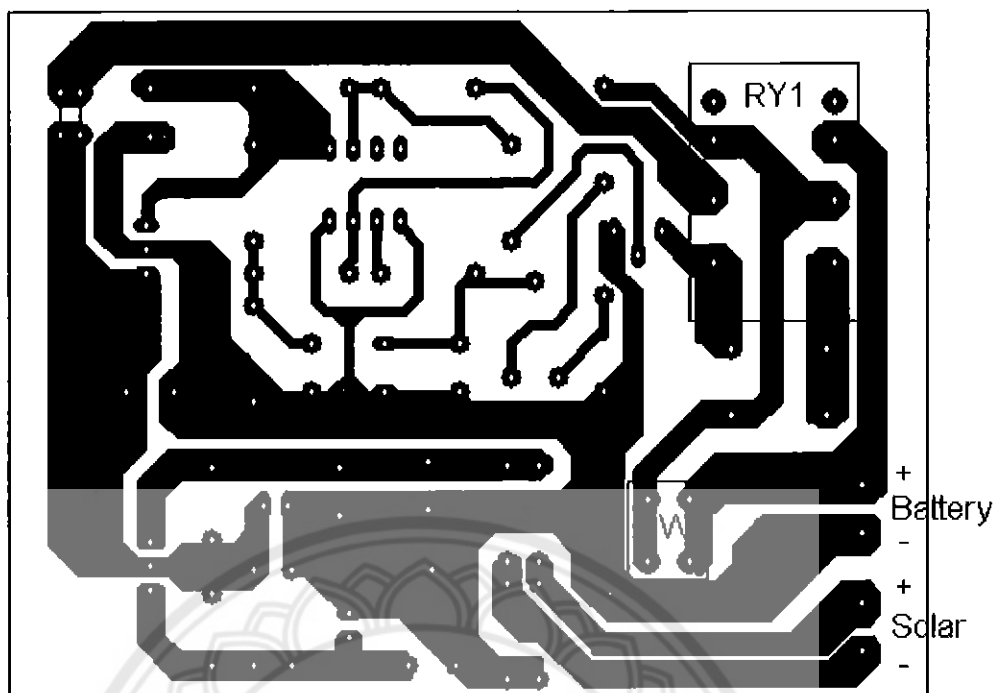
3.3 วงจรตัดการอัดประจุแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่เต็ม

ในส่วนของการตัดการอัดประจุจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ตัวเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์ให้ทำการตัดและต่อการอัดประจุซึ่งประกอบด้วยไอซีหมายเลข L7805CV, LM311 และทรานซิสเตอร์หมายเลข BC337 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

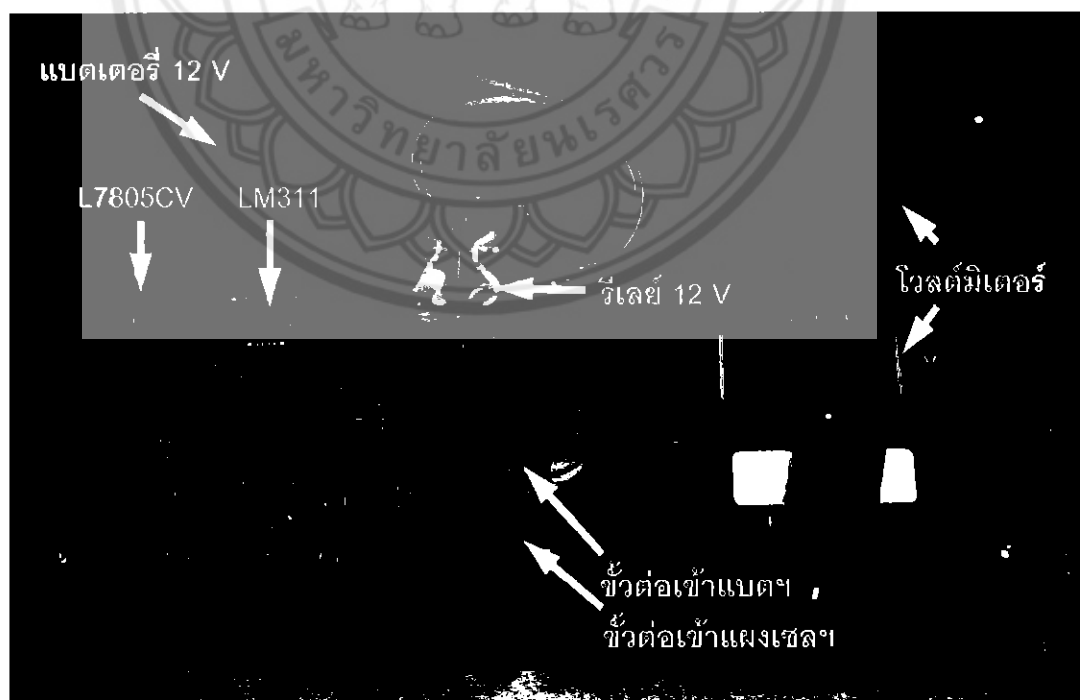
ไอซีหมายเลข LM311 ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแรงดันคงที่ที่ L7805CV ส่งมากับฝั่งของแบตเตอรี่ที่มีการแบ่งแรงดัน โดยใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ) แล้วส่งเข้า LM311 เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันแล้วส่งแรงดันให้ BC337 ไปสั่งให้รีเลย์ทำการตัด-ต่อการอัดประจุซึ่ง BC337 จะมีช่วงการตัด-ต่อวงจรอยู่ที่ 1 V (ศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ข) แต่ LM311 ต้องการไฟเลี้ยงเดี่ยวขนาด 5 V เพื่อเลี้ยง LM311 ให้ทำงานจึงต้องนำไอซีหมายเลข L7805CV ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันค่านอกได้ 5 V คงที่มาเป็นตัวจ่ายแรงดัน ให้กับ LM311 และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 k Ω เป็นตัวปรับค่าการตัดการอัดประจุ [4, 5]

3.4 การประกอบตัวควบคุมการอัดประจุ

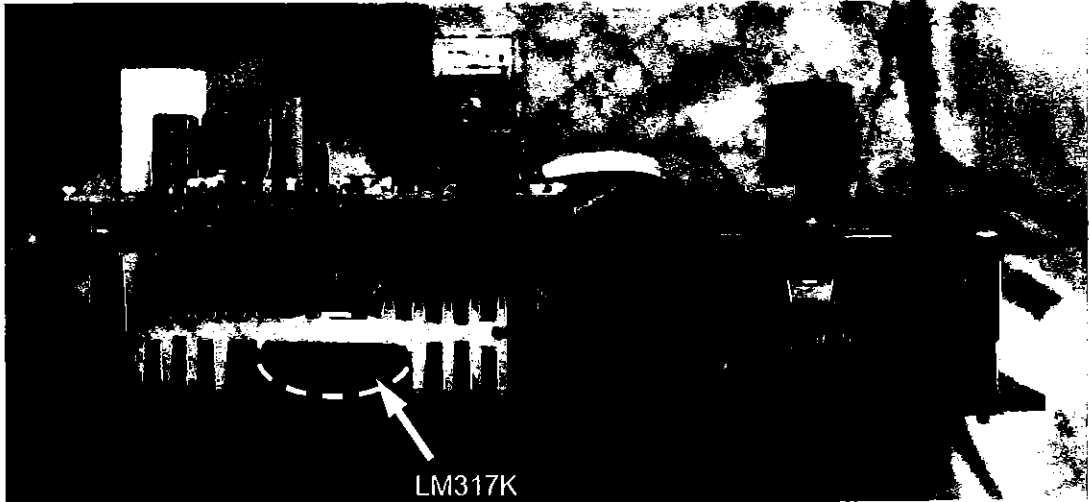
หลังจากต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรต่าง ๆ บนโปรโตบอร์ด (Protoboard) แล้วจึงทำการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม PCB Wizard และประกอบชิ้นงานจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วดังแสดงในรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 สายวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ



รูปที่ 3.3 ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้น ใช้งาน (ภาพด้านหน้า)



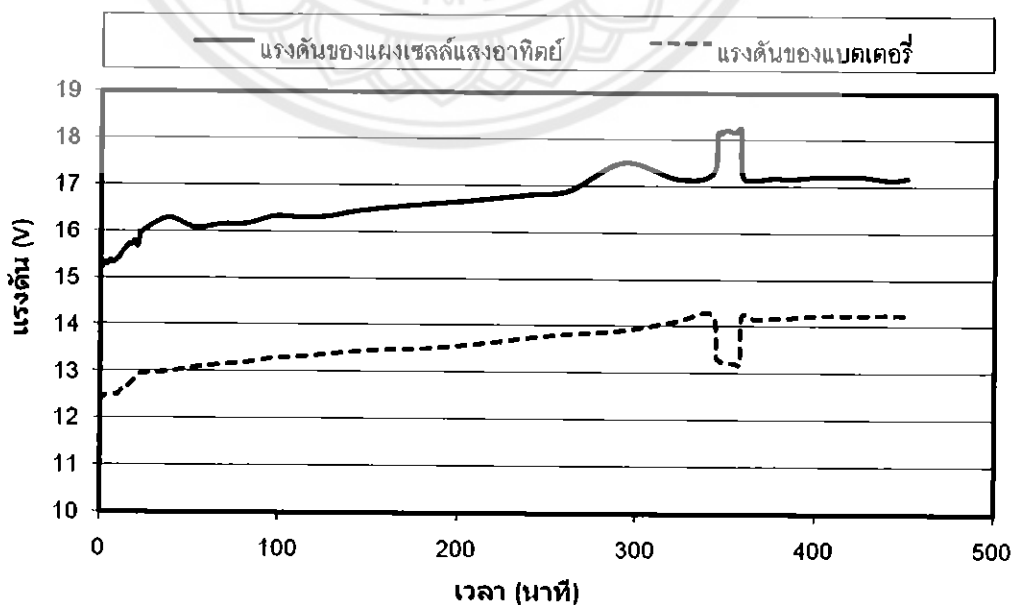
รูปที่ 3.4 ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้น โครงงาน (ภาพด้านข้าง)



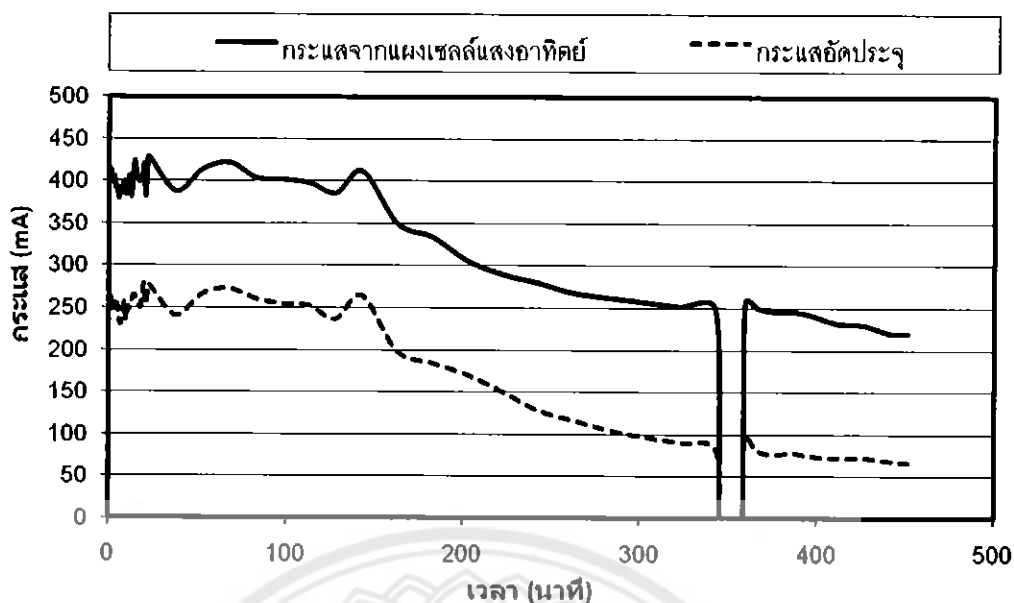
บทที่ 4

ผลการทดสอบตัวควบคุมการอัดประจุ

หลังจากดำเนินการออกแบบและสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ จึงนำชิ้นงานมาทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Suntech รุ่น STP010S-12/kb (ดูรายละเอียดทางไฟฟ้าของแผงได้ในหัวข้อที่ 2.1.11) เพื่อใช้อัดประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ New Power ชนิด VRLA รุ่น NS12-1.3 ซึ่งมีขนาดแรงดัน 12 V และพิกัดความจุ 1.3 Ah โดยก่อนเริ่มทำการอัดประจุ แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 11.5 V ในการทดสอบนี้ได้ตั้งเงื่อนไขทดสอบคือให้แบตเตอรี่รับไฟจากแผงเซลล์อาทิตย์ผ่านตัวควบคุมการอัดประจุที่ตั้งค่าจำกัดกระแสไว้ไม่ให้เกิน 1.5 A เพื่อป้องกันกระแสสูงเกิน โดยในช่วงแรกการอัดประจุจะให้แบตเตอรี่รับกระแสอย่างเต็มที่ (แต่ไม่เกิน 1.5 A) หลังจากที่แรงดันของแบตเตอรี่สูงขึ้นจนถึงระดับที่บ่งบอกว่าแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้ว ตัวควบคุมจะยุติการอัดประจุเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำอันเกิดจากปฏิกิริยาทุติยภูมิในแบตเตอรี่ (การแตกตัวของน้ำเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วลบและออกซิเจนที่ขั้วบวก) และเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงจนถึงระดับหนึ่ง ตัวควบคุมจะเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับวงจรเพื่อเริ่มการอัดประจุอีกครั้ง การตัดต่อแบตเตอรี่ออกจากวงจรจะใช้อัตโนมัติ โดยใช้รีเลย์ โดยปรับตั้งให้รีเลย์ตัดวงจรเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่สูงขึ้นจนถึงระดับแรงดันค่าบน (Upper limit) 14.3 V และต่อวงจรเมื่อแรงดันตกลงมาถึงระดับแรงดันค่าล่าง (Lower limit) 13.2 V ผลการทดลองแสดงดังจากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเทียบกับเวลาขณะอัดประจุ



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของกระแสเทียบกับเวลาขณะอัดประจุ

จากผลการทดสอบ จะพบว่าเมื่อเริ่มดำเนินการอัดประจุ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายแรงดัน 15.2 V และกระแส 412 mA เข้าสู่ตัวควบคุม และเกิดกระแสอัดประจุค่าประมาณ 250 mA ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ ส่งผลให้แรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (เพิ่มจาก 11.5 เป็น 12.37 V) เนื่องจากปริมาณ โมเลกุลของกรดกำมะถันเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนเป็น ตะกั่วและตะกั่วออกไซด์ที่ขั้วลบและขั้วบวกของแบตเตอรี่ ตามลำดับ

หลังจากผ่านไปประมาณ 150 นาที แรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง กระแสอัดประจุจะเริ่มลดเนื่องจากความสามารถในการรับกระแสของแบตเตอรี่มีค่าลดลง จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 345 นาที แรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับแรงดันกำหนด (14.3 V) ที่ตั้งไว้ รีเลย์จึงตัดแบตเตอรี่ออกจากตัวควบคุมฯ ทำให้กระแสอัดประจุเป็นศูนย์ และไม่มีการดึงกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ตัวควบคุมฯ อีก แผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำงานอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open circuit) ทำให้แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะของแผงฯ (ดูรูปที่ 2.13 ประกอบ) และเมื่อเวลาผ่านไป 359 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ตกลงมาถึงระดับแรงดันค่าต่ำ (13.2 V) ที่ตั้งไว้ รีเลย์จึงต่อแบตเตอรี่กับตัวควบคุมฯ อีกครั้ง เพื่อให้การอัดประจุเริ่มอีกครั้ง จึงมีการดึงกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้อัดประจุ ส่งผลให้แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะของแผงฯ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนิน โครงการและให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้มีการศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วแบบต่าง ๆ จากนั้นได้ทำการออกแบบและสร้างตัวควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งอาศัยหลักการอัดประจุแบบใช้แรงดันคงที่โดยมีการจำกัดกระแส ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกคือวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส ส่วนที่สองคือวงจรตัด-ต่อการอัดประจุ

การตัดและต่อแบตเตอรี่จะควบคุมด้วยรีเลย์โดยใช้แรงดันของแบตเตอรี่เป็นตัวกำหนด ในที่นี้ได้ปรับตั้งให้รีเลย์ตัดวงจรเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่สูงถึงระดับแรงดันค่าบนเท่ากับ 14.3 V และต่อวงจรเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ลดต่ำลงจนถึงระดับแรงดันค่าล่างเท่ากับ 13.2 V

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าตัวควบคุมฯที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นการใช้ตัวควบคุมฯจึงช่วยป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ถูกอัดประจุด้วยแรงดันที่สูงเกินไป นอกจากนี้ยังสามารถรักษาระดับพลังงานของแบตเตอรี่ให้เต็มหรืออยู่ในระดับที่สูงได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในโครงการ การปรับตั้งค่าระดับแรงดันค่าล่างของวงจรตัด-ต่อ กระทำโดยปรับค่าของตัวต้านทานเกือกม้า จึงมีความละเอียดต่ำ ทำให้ในระหว่างการทำงานของวงจร ระดับแรงดันที่รีเลย์ตัดและต่อวงจรมีความคลาดเคลื่อนจากค่าระดับแรงดันที่ต้องการ แนวทางแก้ไข คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีค่าความละเอียดสูงขึ้น

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

หลักการอัดประจุที่ใช้ในโครงการนี้สามารถนำไปปรับใช้กับการอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดอื่น เช่น นิกเกิล-แคดเมียม รวมถึงวงจรที่เป็นส่วนประกอบของชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้วิธีการอัดประจุแบบอื่นเพื่อสร้างเป็นตัวควบคุมการอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานที่แตกต่างกันได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Schmidt, "From the solar to the PV generator" In: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems: Course book for the seminar: Photovoltaic Systems, Freiburg, 1995.
- [2] G. Hille, W. Roth, and H. Schmidt, "Course book for the seminar - Photovoltaic Systems", Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, 1995.
- [3] D. Berndt, "Maintenance-Free Batteries: lead-acid, nickel/cadmium, nickel/metal hydride: a handbook of battery technology", Research Studies press Ltd., Great Britain, 1997.
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร์ "วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน", บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547
- [5] ธนันต์ ศรีสกุล "พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Basic Electronics Circuit Design)", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง, กรุงเทพฯ, 2547





**LM117/217
LM317**

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

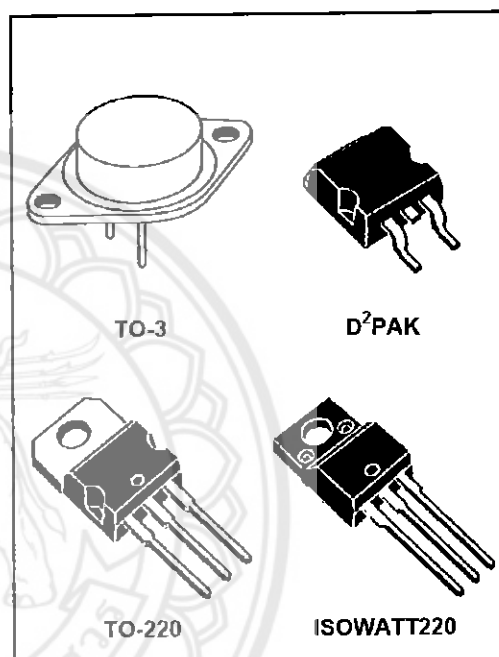
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D²PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



ABSOLUTE MAXIMUM RATING

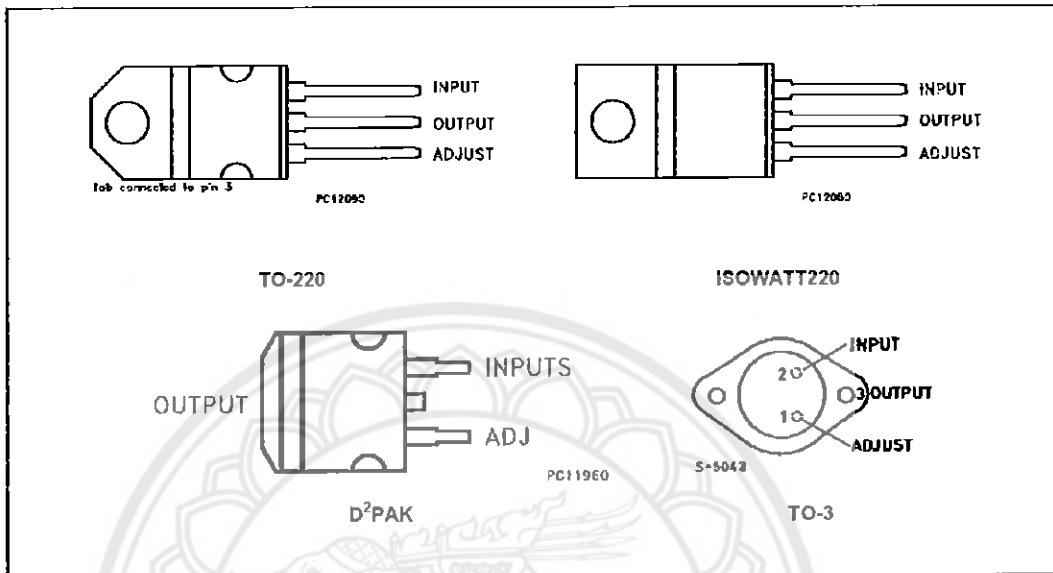
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{i-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I_o	Output Current	Internally Limited	
T_{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C °C °C
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{sig}	Storage Temperature	- 65 to 150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	4	3	4	3	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	35	50	60	62.5	°C/W

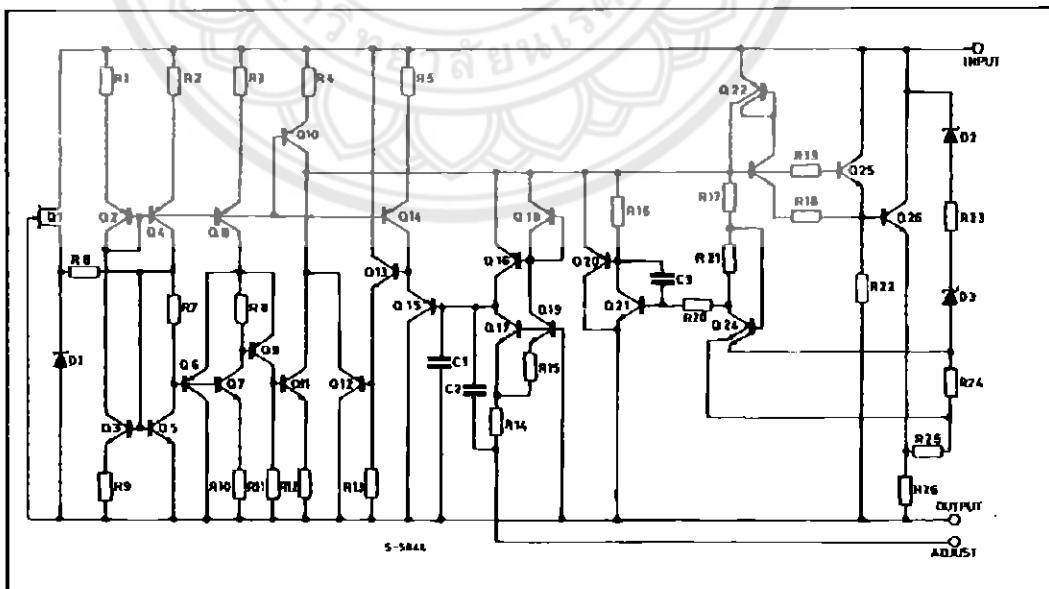
LM117/217/317

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)

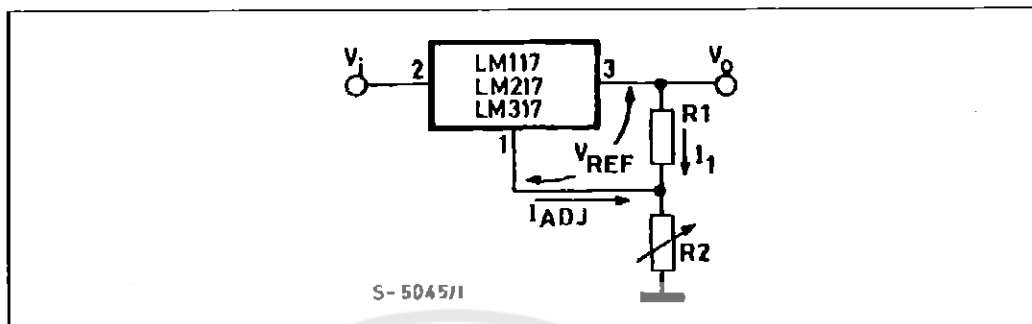


Type	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK
LM117	LM117K			
LM217	LM217K	LM217T		LM217D2T
LM317	LM317K	LM317T	LM317P	LM317D2T

SCHEMATIC DIAGRAM



BASIC ADJUSTABLE REGULATOR

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_i - V_o = 5\text{ V}$, $I_o = 500\text{ mA}$, $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$ and $P_{MAX} = 20\text{ W}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	LM117/LM217			LM317			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
ΔV_o	Line Regulation	$V_i - V_o = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.02		0.01	0.04	%/V	
				0.02	0.05		0.02	0.07	%/V	
ΔV_o	Load Regulation	$V_o \leq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	5	15		5	25	mV	
				20	50		20	70	mV	
		$V_o \geq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	0.1	0.3		0.1	0.5	%	
				0.3	1		0.3	1.5	%	
I_{ADJ}	Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
ΔI_{ADJ}	Adjustment Pin Current	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$		0.2	5		0.2	5	μA	
V_{REF}	Reference Voltage (between pin 3 and pin 1)	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.2	1.25	1.3	1.2	1.25	1.3	V	
$\frac{\Delta V_o}{V_o}$	Output Voltage Temperature Stability			1			1		%	
$I_{o(min)}$	Minimum Load Current	$V_i - V_o = 40\text{ V}$		3.5	5		3.5	10	mA	
$I_{o(max)}$	Maximum Load Current	$V_i - V_o \leq 15\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		1.5	2.2		A	
		$V_i - V_o = 40\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$		0.4			0.4		A	
e_N	Output Noise Voltage (percentage of V_o)	$B = 10\text{ Hz to }10\text{ KHz}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$		0.003			0.003		%	
SVR	Supply Voltage Rejection (*)	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$		65			65		dB
			$C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$	66	80		66	80		dB

(*) C_{ADJ} is connected between pin 1 and ground.

Note:

(1) Unless otherwise specified the above specs, apply over the following conditions: LM 117 $T_j = -55\text{ to }150^\circ\text{C}$;
LM 217 $T_j = -25\text{ to }150^\circ\text{C}$; LM 317 $T_j = 0\text{ to }125^\circ\text{C}$.

LM117/217/317

Figure 1 : Output Current vs. Input-output Differential Voltage.

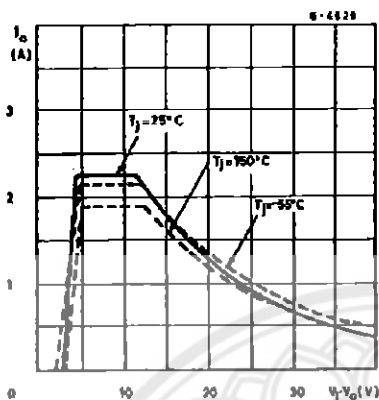


Figure 3 : Reference Voltage vs. Junction

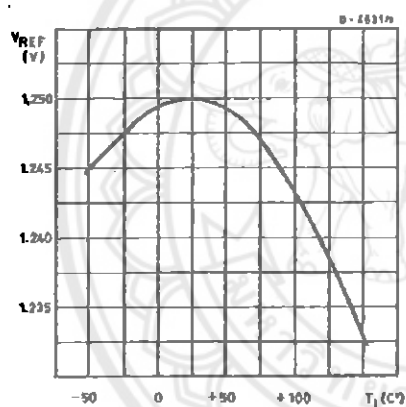


Figure 2 : Dropout Voltage vs. Junction Temperature.

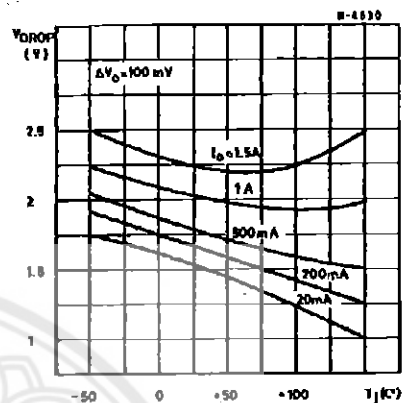
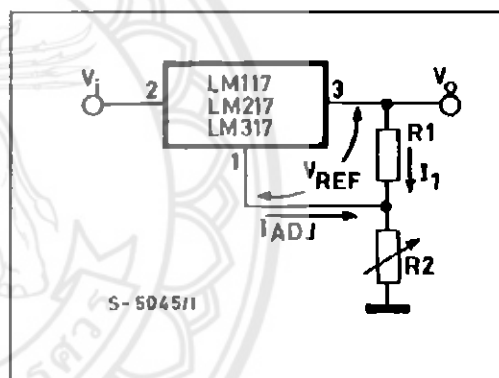


Figure 4 : Basic Adjustable Regulator.



APPLICATION INFORMATION

The LM117/217/317 provides an internal reference voltage of 1.25V between the output and adjustments terminals. This is used to set a constant current flow across an external resistor divider (see fig. 4), giving an output voltage V_O of:

$$V_O = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

The device was designed to minimize the term I_{ADJ} (100 μ A max) and to maintain it very constant with line and load changes. Usually, the error term $I_{ADJ} \cdot R_2$ can be neglected. To obtain the previous requirement, all the regulator quiescent current is returned to the output terminal, imposing a minimum load current condition. If the load is insufficient, the output voltage will rise.

Since the LM117/217/317 is a floating regulator and "sees" only the input-to-output differential

voltage, supplies of very high voltage with respect to ground can be regulated as long as the maximum input-to-output differential is not exceeded. Furthermore, programmable regulator are easily obtainable and, by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the device can be used as a precision current regulator.

In order to optimise the load regulation, the current set resistor R_1 (see fig. 4) should be tied as close as possible to the regulator, while the ground terminal of R_2 should be near the ground of the load to provide remote ground sensing.

Performance may be improved with added capacitance as follow:

An input bypass capacitor of 0.1 μ F

An adjustment terminal to ground 10 μ F capacitor



NPN general purpose transistor

BC337

FEATURES

- High current (max. 500 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification, e.g. driver and output stages of audio amplifiers.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.
PNP complement: BC327.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

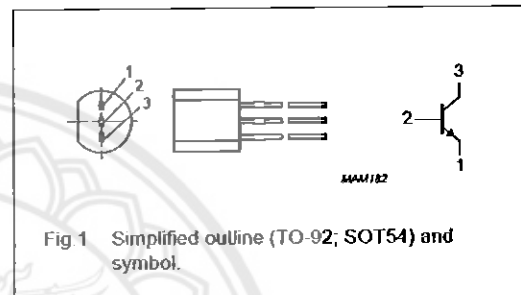


Fig. 1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	—	50	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	—	45	V
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	—	5	V
I_C	collector current (DC)		—	500	mA
I_{CM}	peak collector current		—	1	A
I_{BM}	peak base current		—	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1	—	625	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		—	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

NPN general purpose transistor

BC337

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta ja}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.2	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

$T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

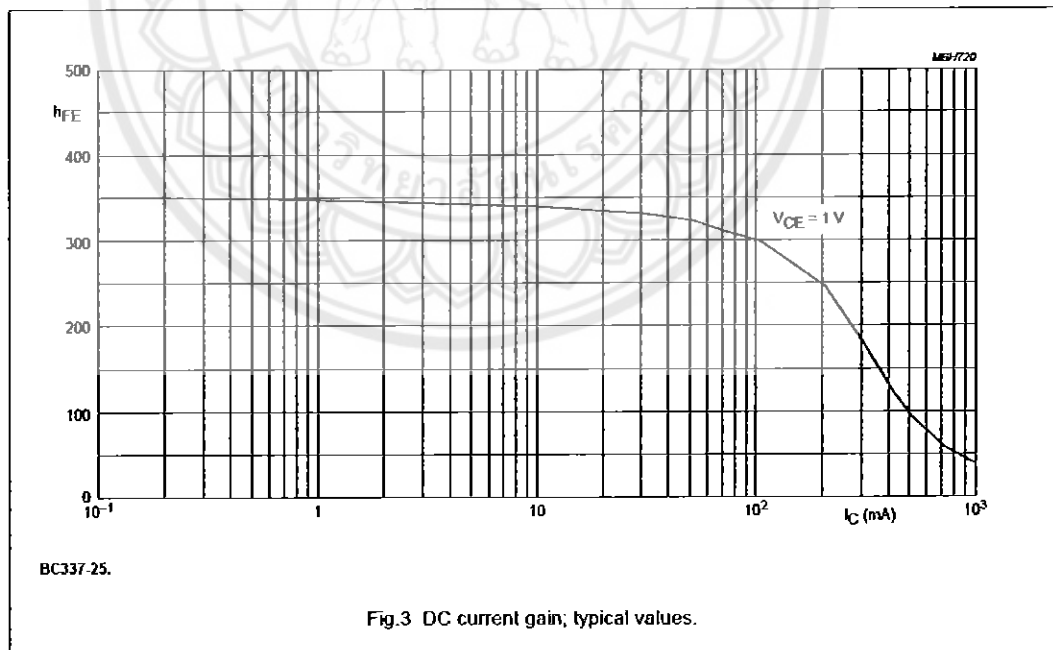
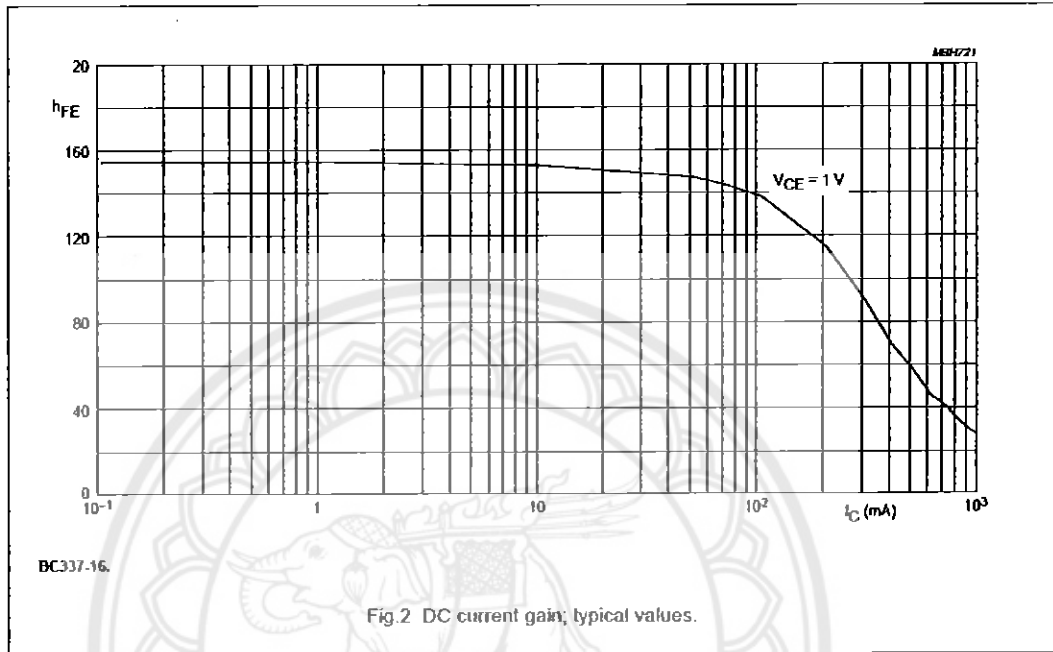
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}$	—	—	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}; T_j = 150^\circ\text{C}$	—	—	5	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	—	—	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	100	—	600	
			BC337	100	—	250
	BC337-16	160	—	400		
	BC337-25	250	—	600		
	BC337-40	40	—	—		
	DC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	40	—	—	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	—	—	700	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ note 1	—	—	1.2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_B = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	—	5	—	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	—	—	MHz

Note

1. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

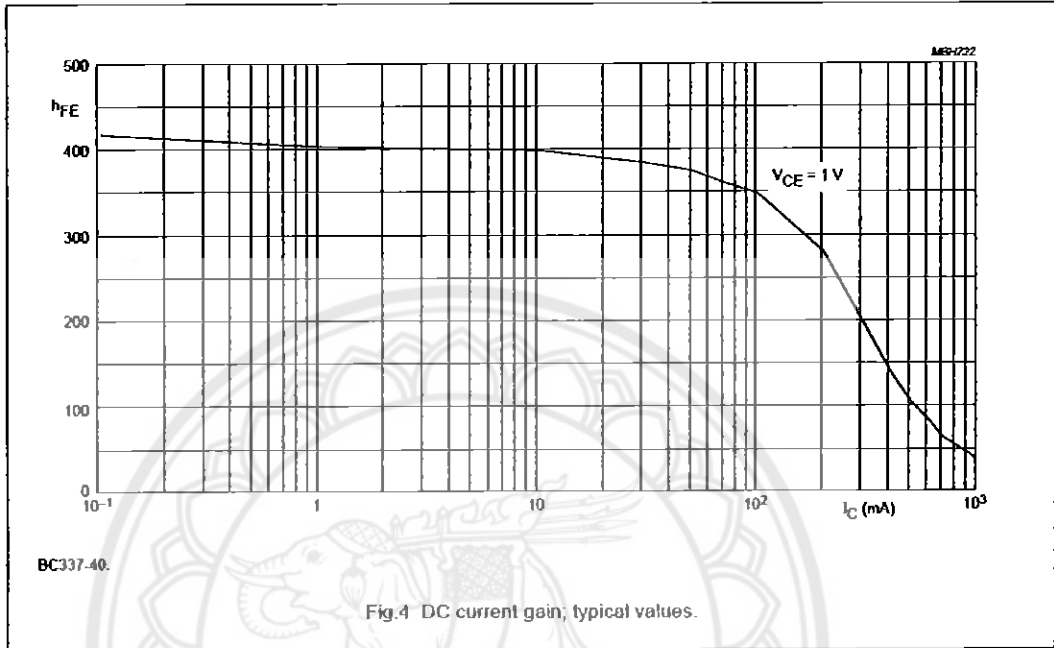
NPN general purpose transistor

BC337



NPN general purpose transistor

BC337







January 2001

LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator

1.0 General Description

The LM111, LM211 and LM311 are voltage comparators that have input currents nearly a thousand times lower than devices like the LM106 or LM710. They are also designed to operate over a wider range of supply voltages: from standard $\pm 15\text{V}$ op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Their output is compatible with TTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50 mA.

Both the inputs and the outputs of the LM111, LM211 or the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM106 and LM710 (200 ns response time vs 40 ns)

the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 has the same pin configuration as the LM106 and LM710.

The LM211 is identical to the LM111, except that its performance is specified over a -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$ temperature range instead of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$. The LM311 has a temperature range of 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

2.0 Features

- Operates from single 5V supply
- Input current: 150 nA max. over temperature
- Offset current: 20 nA max. over temperature
- Differential input voltage range: $\pm 30\text{V}$
- Power consumption: 135 mW at $\pm 15\text{V}$

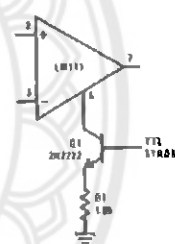
3.0 Typical Applications (Note 3)

Offset Balancing



00570406

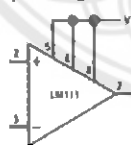
Strobing



00570437

Note: Do Not Ground Strobe Pin. Output is turned off when current is pulled from Strobe Pin.

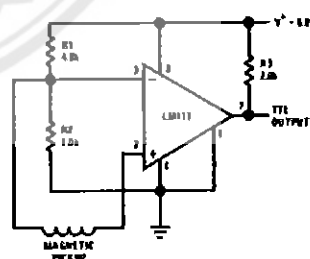
Increasing Input Stage Current (Note 1)



00570408

Note 1: Increases typical common mode slew from $7.0\text{V}/\mu\text{s}$ to $18\text{V}/\mu\text{s}$.

Detector for Magnetic Transducer



00570409

5.0 Absolute Maximum Ratings for the LM311 (Note 12)

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

Total Supply Voltage (V_{E4})	36V
Output to Negative Supply Voltage (V_{74})	40V
Ground to Negative Supply Voltage (V_{14})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 13)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 14)	500 mW
ESD Rating (Note 19)	300V

Output Short Circuit Duration	10 sec
Operating Temperature Range	0° to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	260°C
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

Electrical Characteristics (Note 15) for the LM311

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 16)	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_S \leq 50k$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 16)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$	40	200		V/mV
Response Time (Note 17)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10\text{ mV}$, $I_{OUT} = 50\text{ mA}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 18)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		2.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10\text{ mV}$, $V_{OUT} = -35V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{STROBE} = 3\text{ mA}$ $V^- = \text{Pin } 1 = -5V$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 16)	$R_S \leq 50k$			10	mV
Input Offset Current (Note 16)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V$, $V^- = 0$ $V_{IN} \leq -10\text{ mV}$, $I_{OUT} \leq 8\text{ mA}$		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		4.1	5.0	mA

Note 12: 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 guarantee specific performance limits.

Note 13: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 14: The maximum junction temperature of the LM311 is 110°C. For operating at elevated temperature, devices in the HOE package must be derated based on a thermal resistance of 165°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 15: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and Pin 1 at ground, and $0^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$, unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15V$ supplies.

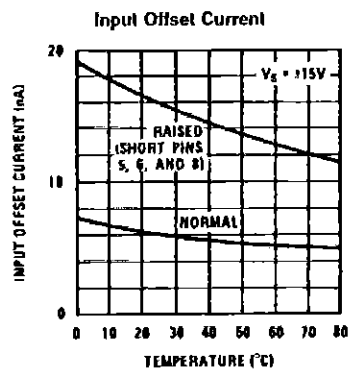
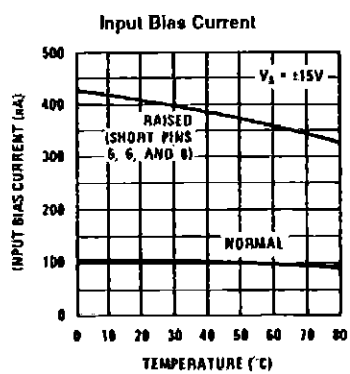
Note 16: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and R_S .

Note 17: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 18: This specification gives the range of current which must be drawn from the strobe pin to ensure the output is properly disabled. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

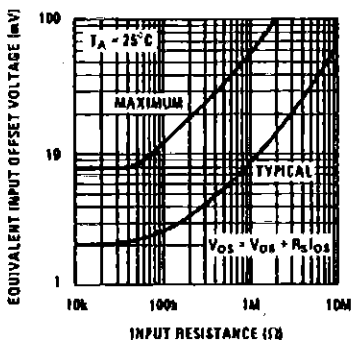
Note 19: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

7.0 LM311 Typical Performance Characteristics



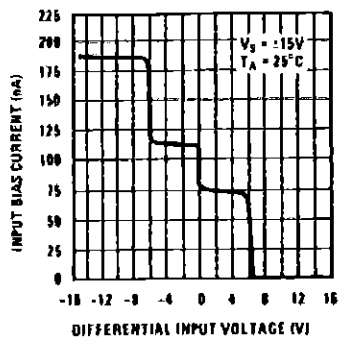
7.0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)

Offset Error



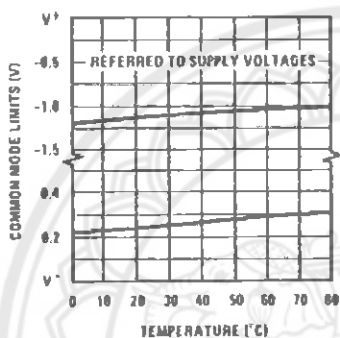
00570402

Input Characteristics



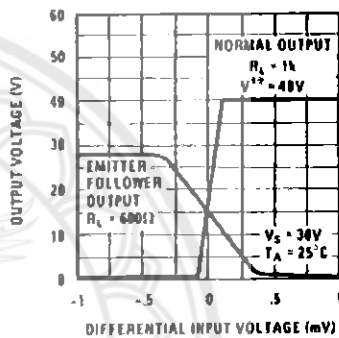
00570401

Common Mode Limits



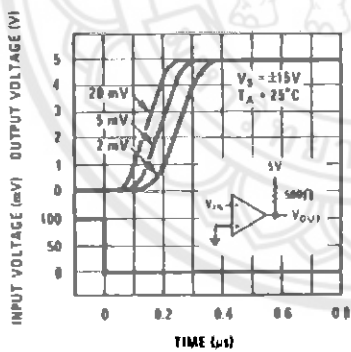
00570402

Transfer Function



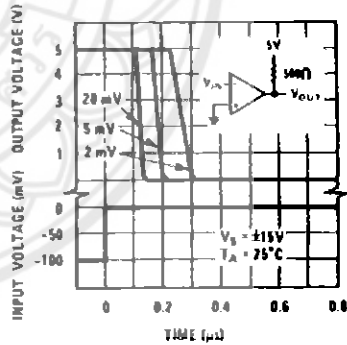
00570402

Response Time for Various Input Overdrives



00570401

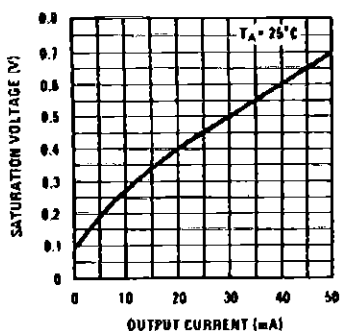
Response Time for Various Input Overdrives



00570402

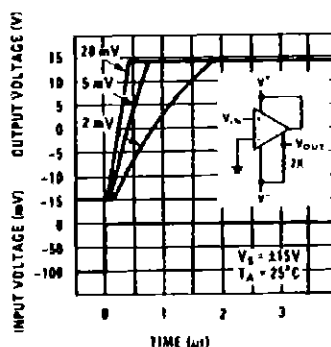
7.0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Saturation Voltage



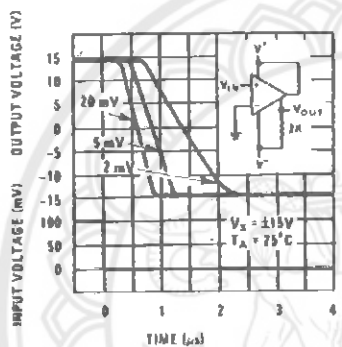
00570463

Response Time for Various Input Overdrives



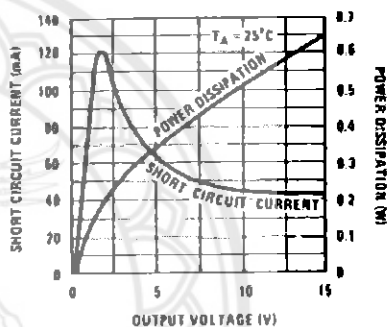
00570467

Response Time for Various Input Overdrives



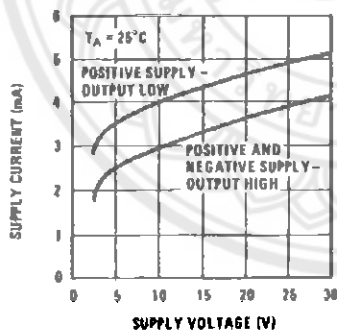
00570468

Output Limiting Characteristics



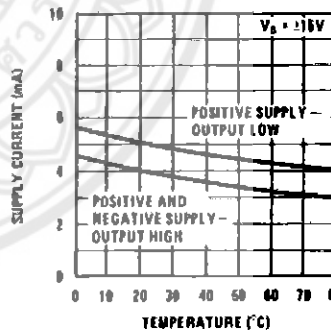
00570469

Supply Current



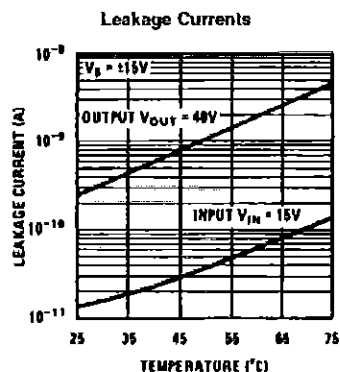
00570470

Supply Current



00570471

7.0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)



8.0 Application Hints

8.1 CIRCUIT TECHNIQUES FOR AVOIDING OSCILLATIONS IN COMPARATOR APPLICATIONS

When a high-speed comparator such as the LM111 is used with fast input signals and low source impedances, the output response will normally be fast and stable, assuming that the power supplies have been bypassed (with 0.1 μF disc capacitors), and that the output signal is routed well away from the inputs (pins 2 and 3) and also away from pins 5 and 6.

However, when the input signal is a voltage ramp or a slow sine wave, or if the signal source impedance is high (1 $\text{k}\Omega$ to 100 $\text{k}\Omega$), the comparator may burst into oscillation near the crossing-point. This is due to the high gain and wide bandwidth of comparators like the LM111. To avoid oscillation or instability in such a usage, several precautions are recommended, as shown in Figure 1 below.

1. The trim pins (pins 5 and 6) act as unwanted auxiliary inputs. If these pins are not connected to a trim-pot, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, a 0.01 μF capacitor C1 between pins 5 and 6 will minimize the susceptibility to AC coupling. A smaller capacitor is used if pin 5 is used for positive feedback as in Figure 1.
2. Certain sources will produce a cleaner comparator output waveform if a 100 pF to 1000 pF capacitor C2 is connected directly across the input pins.
3. When the signal source is applied through a resistive network, R_S , it is usually advantageous to choose an R_S of substantially the same value, both for DC and for dynamic (AC) considerations. Carbon, tin-oxide, and metal-film resistors have all been used successfully in comparator input circuitry. Inductive wirewound resistors are not suitable.
4. When comparator circuits use input resistors (eg. summing resistors), their value and placement are particularly important. In all cases the body of the resistor should be close to the device or socket. In other words there should be very little lead length or printed-circuit foil run between comparator and resistor to radiate or pick up signals. The same applies to capacitors, pots, etc. For example, if $R_S=10 \text{ k}\Omega$, as little as 5 inches of

lead between the resistors and the input pins can result in oscillations that are very hard to damp. Twisting these input leads tightly is the only (second best) alternative to placing resistors close to the comparator.

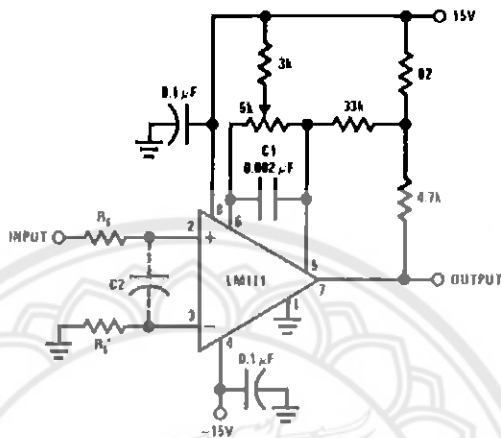
5. Since feedback to almost any pin of a comparator can result in oscillation, the printed-circuit layout should be engineered thoughtfully. Preferably there should be a groundplane under the LM111 circuitry, for example, one side of a double-layer circuit card. Ground foil (or, positive supply or negative supply foil) should extend between the output and the inputs, to act as a guard. The foil connections for the inputs should be as small and compact as possible, and should be essentially surrounded by ground foil on all sides, to guard against capacitive coupling from any high-level signals (such as the output). If pins 5 and 6 are not used, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, the trim-pot should be located, at most, a few inches away from the LM111, and the 0.01 μF capacitor should be installed. If this capacitor cannot be used, a shielding printed-circuit foil may be advisable between pins 6 and 7. The power supply bypass capacitors should be located within a couple inches of the LM111. (Some other comparators require the power-supply bypass to be located immediately adjacent to the comparator.)
6. It is a standard procedure to use hysteresis (positive feedback) around a comparator, to prevent oscillation, and to avoid excessive noise on the output because the comparator is a good amplifier for its own noise. In the circuit of Figure 2, the feedback from the output to the positive input will cause about 3 mV of hysteresis. However, if R_S is larger than 100 Ω , such as 50 $\text{k}\Omega$, it would not be reasonable to simply increase the value of the positive feedback resistor above 510 $\text{k}\Omega$. The circuit of Figure 3 could be used, but it is rather awkward. See the notes in paragraph 7 below.

8.0 Application Hints (Continued)

7. When both inputs of the LM111 are connected to active signals, or if a high-impedance signal is driving the positive input of the LM111 so that positive feedback would be disruptive, the circuit of Figure 1 is ideal. The positive feedback is to pin 5 (one of the offset adjustment pins). It is sufficient to cause 1 to 2 mV hysteresis and sharp transitions with input triangle waves from a few Hz to hundreds of kHz. The positive-feedback signal across the 82Ω resistor swings 240 mV below the posi-

tive supply. This signal is centered around the nominal voltage at pin 5, so this feedback does not add to the V_{OS} of the comparator. As much as 8 mV of V_{OS} can be trimmed out, using the 5 kΩ pot and 3 kΩ resistor as shown.

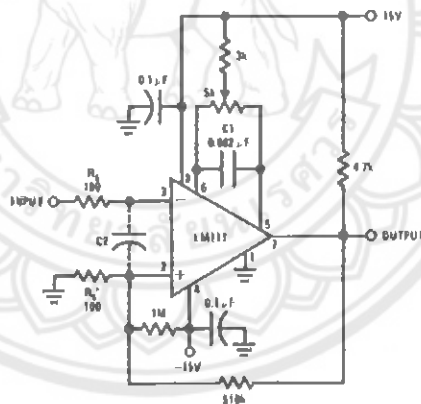
8. These application notes apply specifically to the LM111, LM211, LM311, and LF111 families of comparators, and are applicable to all high-speed comparators in general, (with the exception that not all comparators have trim pins).



Pin connections shown are for LM111H in the H08 hermetic package

00270428

FIGURE 1. Improved Positive Feedback



Pin connections shown are for LM111H in the H08 hermetic package

00270428

FIGURE 2. Conventional Positive Feedback

8.0 Application Hints (Continued)

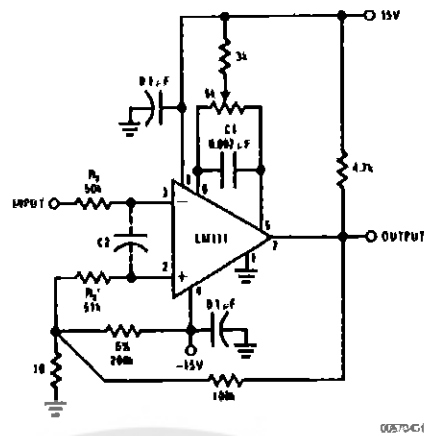
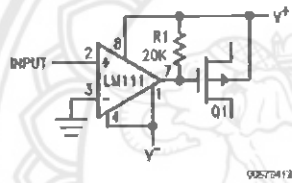


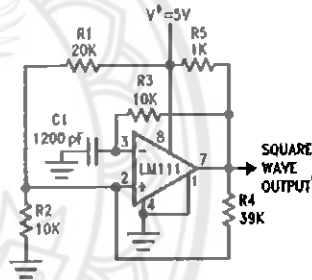
FIGURE 3. Positive Feedback with High Source Resistance

9.0 Typical Applications (Pin numbers refer to HO8 package)

Zero Crossing Detector Driving MOS Switch



100 kHz Free Running Multivibrator

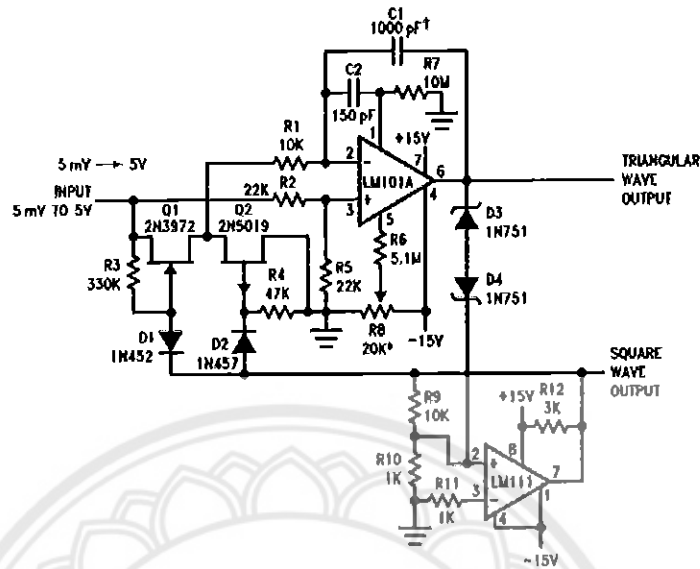


*TTL or DTL fanout of two

00570414

9.0 Typical Applications (Pin numbers refer to H08 package) (Continued)

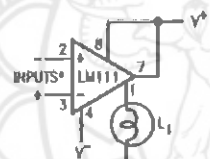
10 Hz to 10 kHz Voltage Controlled Oscillator



*Adjust for symmetrical square wave time when $V_{EN} = 5 \text{ mV}$
 †Minimum capacitance 20 pF. Maximum frequency 60 kHz

00570415

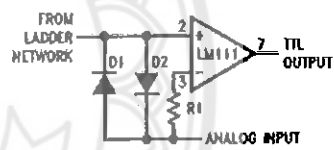
Driving Ground-Referred Load



00570446

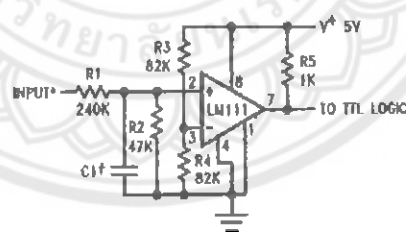
*input polarity is reversed when using pin 1 as output.

Using Clamp Diodes to Improve Response



00570417

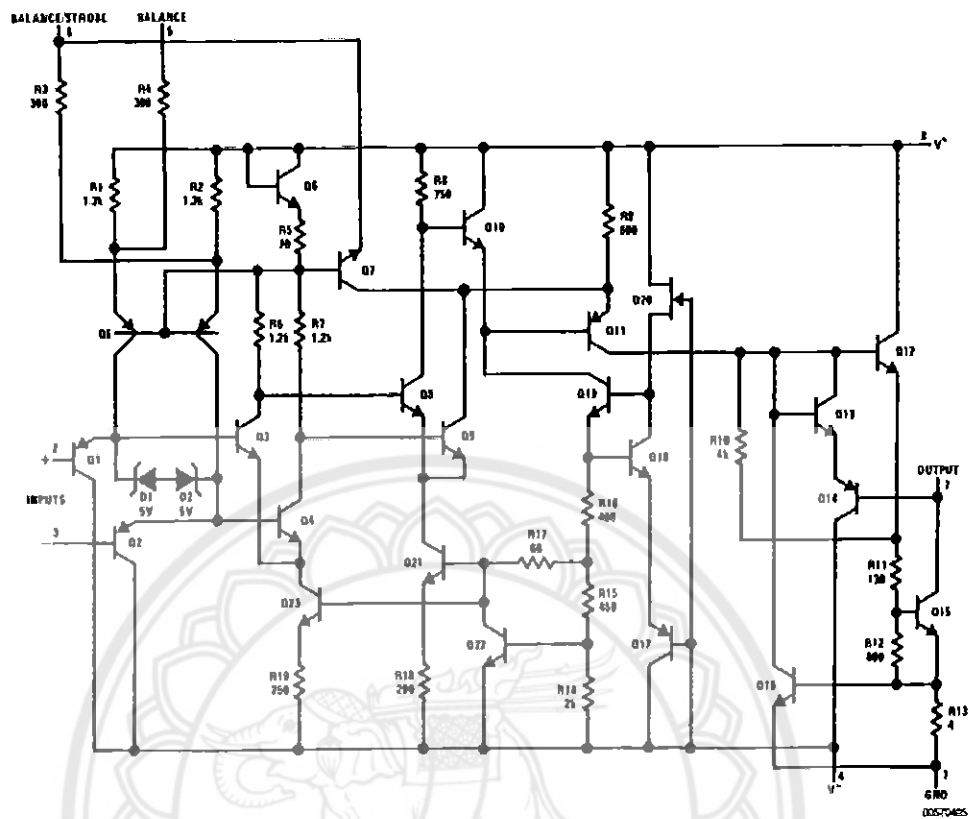
TTL Interface with High Level Logic



00570418

*Values shown are for a 0 to 30V logic swing and a 15V threshold.
 †May be added to control speed and reduce susceptibility to noise spikes.

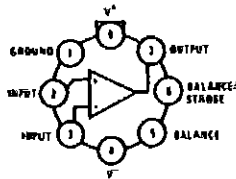
10.0 Schematic Diagram (Note 20)



Note 20: Pin connections shown on schematic diagram are for Ho8 package.

11.0 Connection Diagrams

Metal Can Package

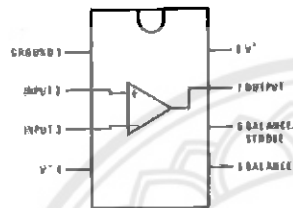


0027040C

Note: Pin 4 connected to case

Top View
 Order Number LM111H, LM111H/883(Note 21), LM211H or LM311H
 See NS Package Number H08C

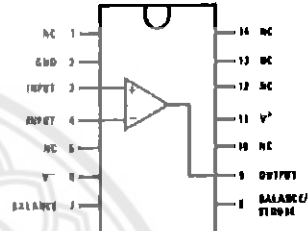
Dual-In-Line Package



0027040A

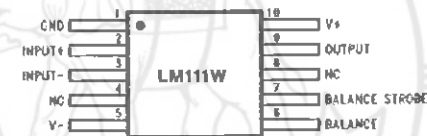
Top View
 Order Number LM111J-8, LM111J-8/883(Note 21),
 LM311M, LM311MX or LM311N
 See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Dual-In-Line Package



0027040B

Top View
 Order Number LM111J/883(Note 21)
 See NS Package Number J14A or N14A



0027042B

Order Number LM111W/883(Note 21), LM111WG/883
 See NS Package Number W10A, WG10A

Note 21: Also available per JMC6510/10304



ภาคผนวก ง
รายละเอียดของรีกิวเลเตอร์ หมายเลข L7805CV



L7800 SERIES

POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-220FM, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

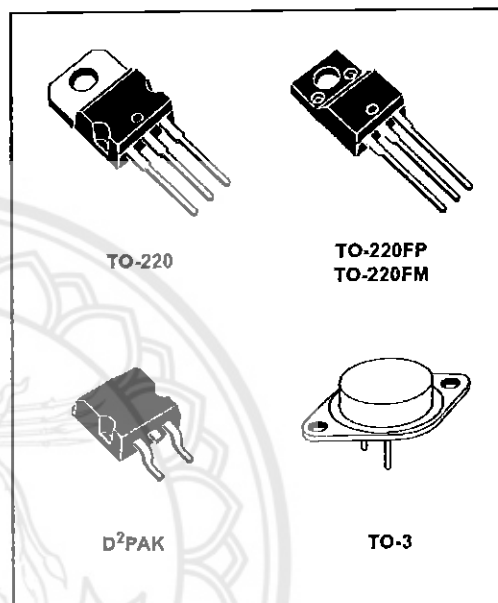
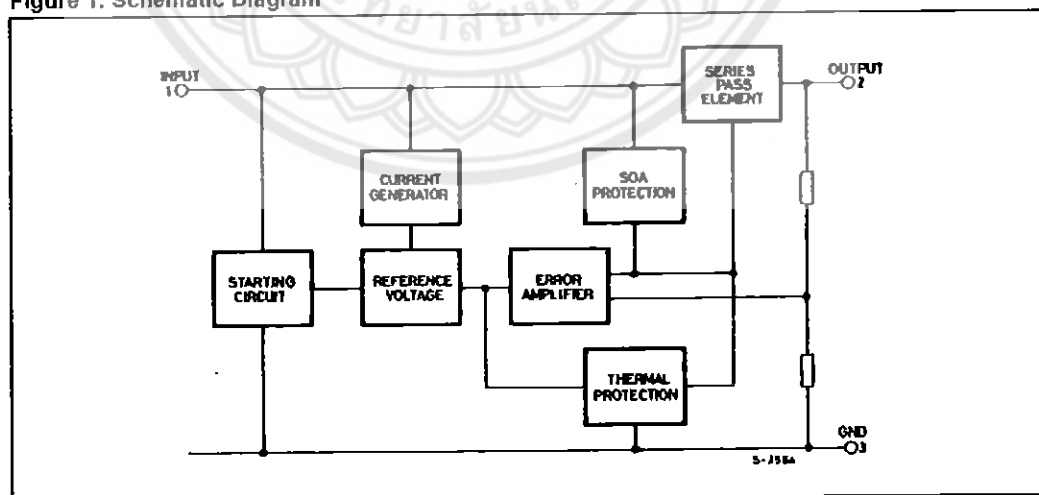


Figure 1: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

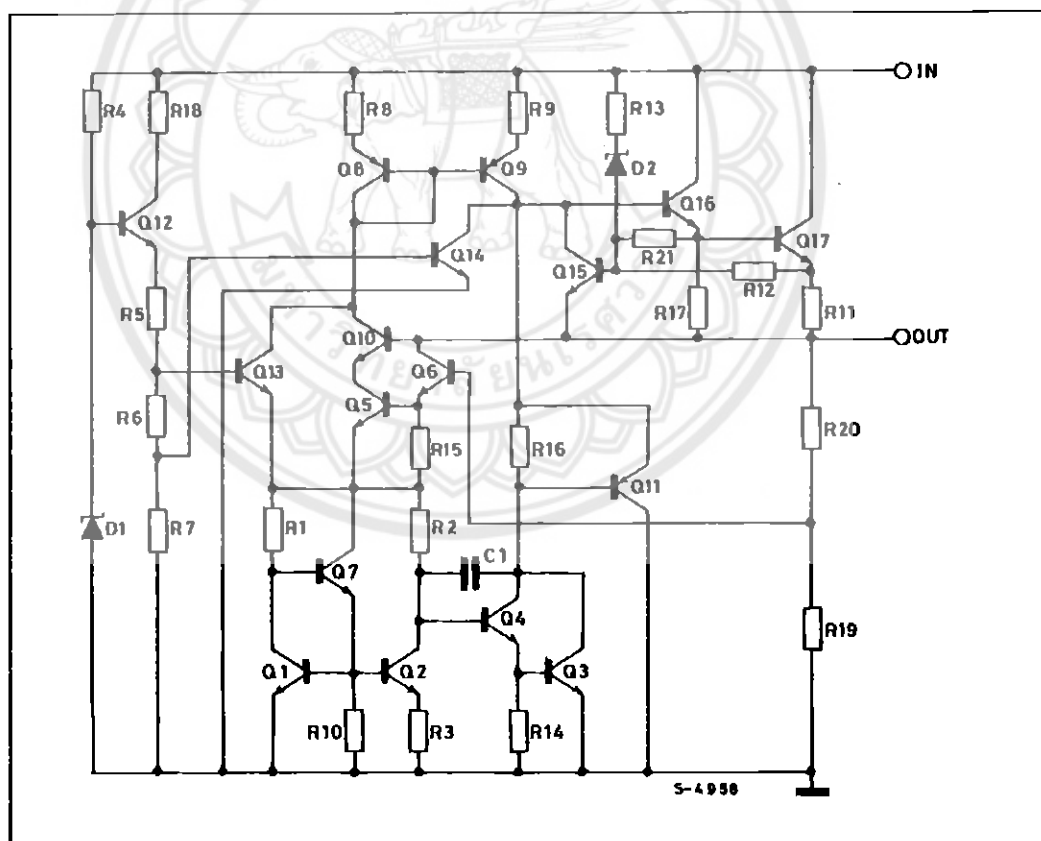
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input Voltage	for $V_O = 5$ to 18V	35	V
		for $V_O = 20, 24V$	40	
I_O	Output Current		Internally Limited	
P_{tot}	Power Dissipation		Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal Data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-220FM	TO-3	Unit
$R_{th(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	5	4	°C/W
$R_{th(ja)}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	60	35	°C/W

Figure 2: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Figure 3: Connection Diagram (top view)

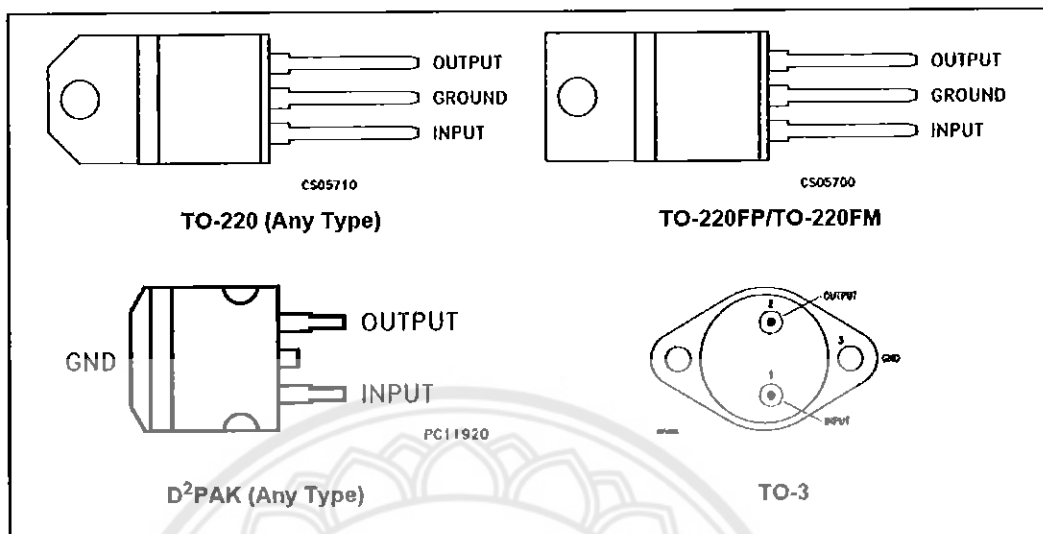


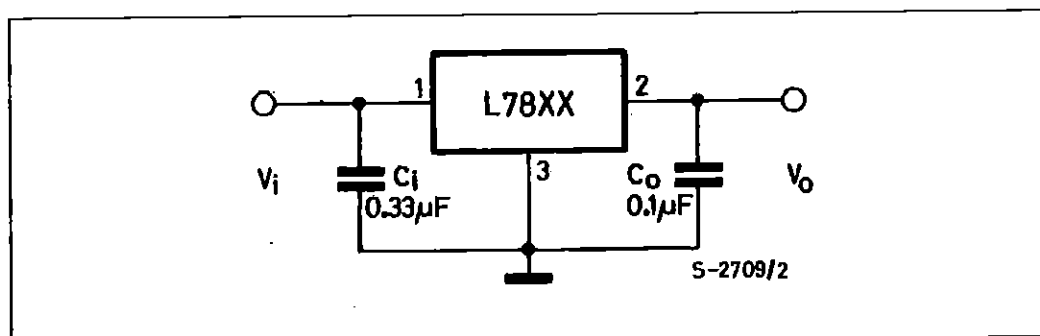
Table 3: Order Codes

TYPE	TO-220 (A Type)	TO-220 (C Type)	TO-220 (E Type)	D ² PAK (A Type) (*)	D ² PAK (C Type) (T & R)	TO-220FP	TO-220FM	TO-3
L7805								L7805T
L7805C	L7805CV	L7805C-V	L7805CV1	L7805CD2T	L7805C-D2TR	L7805CP	L7805CF	L7805CT
L7852C	L7852CV			L7852CD2T		L7852CP	L7852CF	L7852CT
L7806								L7806T
L7806C	L7806CV	L7806C-V		L7806CD2T		L7806CP	L7806CF	L7806CT
L7808								L7808T
L7808C	L7808CV	L7808C-V		L7808CD2T		L7808CP	L7808CF	L7808CT
L7885C	L7885CV			L7885CD2T		L7885CP	L7885CF	L7885CT
L7809C	L7809CV	L7809C-V		L7809CD2T		L7809CP	L7809CF	L7809CT
L7810C	L7810CV			L7810CD2T		L7810CP		
L7812								L7812T
L7812C	L7812CV	L7812C-V		L7812CD2T		L7812CP	L7812CF	L7812CT
L7815								L7815T
L7815C	L7815CV	L7815C-V		L7815CD2T		L7815CP	L7815CF	L7815CT
L7818								L7818T
L7818C	L7818CV			L7818CD2T		L7818CP	L7818CF	L7818CT
L7820								L7820T
L7820C	L7820CV			L7820CD2T		L7820CP	L7820CF	L7820CT
L7824								L7824T
L7824C	L7824CV			L7824CD2T		L7824CP	L7824CF	L7824CT

(*) Available in Tape & Reel with the suffix "-TR".

L7800 SERIES

Figure 4: Application Circuits



TEST CIRCUITS

Figure 5: DC Parameter

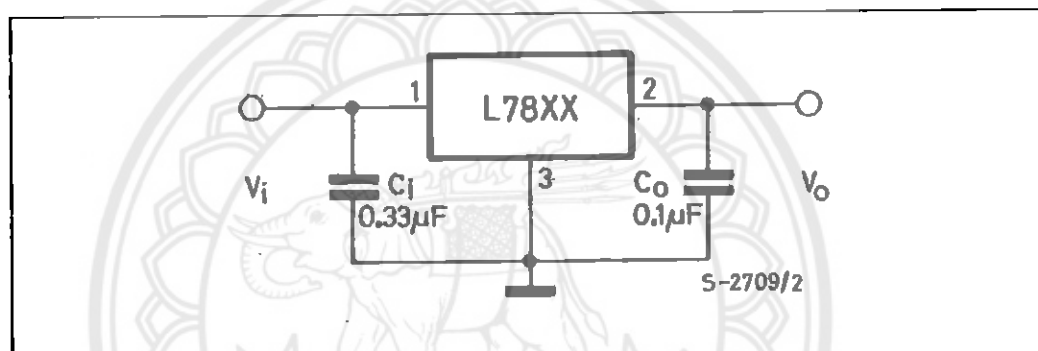


Figure 6: Load Regulation

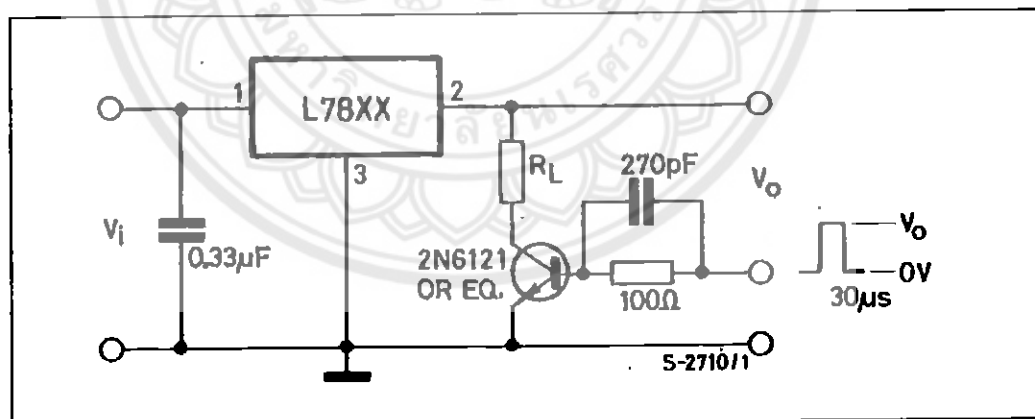


Figure 7: Ripple Rejection

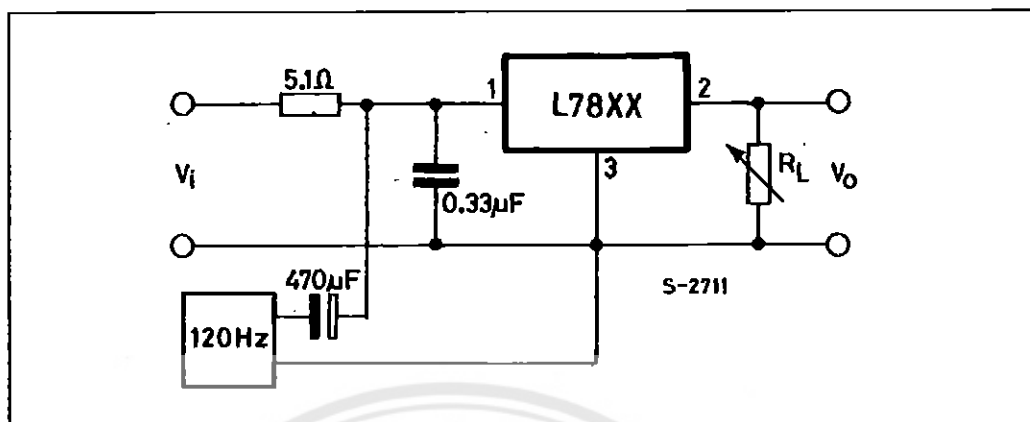


Table 4: Electrical Characteristics Of L7805 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_1 = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8\text{ to } 20\text{ V}$	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O(\%)$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to } 25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8\text{ to } 12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O(\%)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = 8\text{ to } 25\text{ V}$			0.5	mA
					0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to } 18\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	68			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



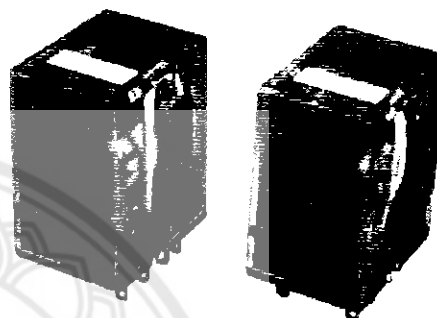
OMRON

General-purpose Relay

MY

Versatile, Multi-featured, Two-and Four-Pole Miniature Power Relays for Sequence Control and Power Switching Applications

- Increased reliability through automated production.
- Multiple features available, including LED indicator, test button, bifurcated contacts, built-in diode and CR (surge suppression).
- Max. switching current: two-pole/10 A, four-pole/5 A.
- Environment-friendly cadmium-free contacts.
- Built-in operation indicator and name-plate is standard.



Ordering Information

■ RELAYS

Standard Coil Polarity

Type	Contact form	Model		
		Plug-in socket/Solder terminals		
		Standard with LED indicator	With LED indicator and test button	Without LED indicator
Standard	DPDT	MY2N	MY2IN	MY2
	4PDT	MY4N	MY4IN	MY4
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN	MY4ZIN	MY4Z
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2N-D2	MY2IN-D2	—
	4PDT	MY4N-D2	MY4IN-D2	—
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN-D2	MY4ZIN-D2	—
With built-in CR (220/240 VAC, 110/120 VAC only)	DPDT	MY2N-CR	MY2IN-CR	—
	4PDT	MY4N-CR	MY4IN-CR	—
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN-CR	MY4ZIN-CR	—

Note: 1. When ordering, add the rated coil voltage to the model number. Rated coil voltages are given in the coil ratings table.
Example: MY2 AC6(S)

↑
Rated coil voltage

2. Arc barrier standard on all four-pole relays.
3. Other models also available, such as, three-pole versions, flange-mount, PCB, etc. Contact your Omron Representative for details.

OMRON

Ordering Information - continued from previous page

Reverse Coil Polarity

Type	Contact form	Model	
		Plug-in socket/Solder terminals	With LED indicator and test button
Standard (DC only)	DPDT	MY2N1	MY2IN1
	4PDT	MY4N1	MY4IN1
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN1	MY4ZIN1
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2N1-D2	MY2IN1-D2
	4PDT	MY4N1-D2	MY4IN1-D2
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN1-D2	MY4ZIN1-D2

Note: 1. When ordering, add the rated coil voltage to the model number. Rated coil voltages are given in the coil ratings table.

Example: MY2 AC6(S)

↑
Rated coil voltage

2. Arc barrier standard on all four-pole relays.

Specifications

■ COIL RATINGS

Rated voltage	Rated current		Coil resistance	Inductance (reference value)		Must operate	Must release	Max. voltage	Power consumption (approx.)	
	50 Hz	60 Hz		Arm. OFF	Arm. ON					
AC	6 V*	214.1 mA	183 mA	12.2 Ω	0.04 H	0.08 H	80% max.	30% min.	110%	1.0 to 1.2 VA (60 Hz)
	12 V	106.5 mA	91 mA	48 Ω	0.17 H	0.33 H				
	24 V	53.8 mA	46 mA	160 Ω	0.69 H	1.30 H				
	48 V*	25.7 mA	22 mA	788 Ω	3.22 H	5.60 H				
	110/120 V	9.9/10.8 mA	8.4/9.2 mA	4,430 Ω	19.20 H	32.1 H				
	220/240 V	4.8/5.3 mA	4.2/4.6 mA	18,790 Ω	83.50 H	138.4 H				0.9 to 1.1 VA (60 Hz)
DC	6 V*	151 mA		39.8 Ω	0.17 H	0.33 H	10% min.			0.9 W
	12 V	75 mA		160 Ω	0.73 H	1.37 H				
	24 V	37.7 mA		836 Ω	3.20 H	5.72 H				
	48 V*	18.8 mA		2,560 Ω	10.60 H	21.0 H				
	100/110 V	9.0/9.9 mA		11,100 Ω	45.60 H	86.2 H				

Note: 1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with tolerances of +15%/-20% for rated currents and ±15% for DC coil resistance.

2. Performance characteristic data are measured at a coil temperature of 23°C.

3. AC coil resistance and impedance are provided as reference values (at 60 Hz).

4. Power consumption drop was measured for the above data. When driving transistors, check leakage current and connect a bleeder resistor if required.

5. Rated voltage denoted by "*" will be manufactured upon request. Ask your OMRON representative.

OMRON

■ CONTACT RATINGS

Item	2-pole		4-pole		4-pole (bifurcated)	
	Resistive load ($\cos\phi = 1$)	Inductive load ($\cos\phi = 0.4$, $L/R = 7$ ms)	Resistive load ($\cos\phi = 1$)	Inductive load ($\cos\phi = 0.4$, $L/R = 7$ ms)	Resistive load ($\cos\phi = 1$)	Inductive load ($\cos\phi = 0.4$, $L/R = 7$ ms)
Rated load	5A, 250 VAC 5A, 30 VDC	2A, 250 VAC 2A, 30 VDC	3 A, 250 VAC 3 A, 30 VDC	0.8 A, 250 VAC 1.5 A, 30 VDC	3 A, 250 VAC 3 A, 30 VDC	0.8 A, 250 VAC 1.5 A, 30 VDC
Carry current	10 A (See Note.)		5 A (See Note.)			
Max. switching voltage	250 VAC 125 VDC		250 VAC 125 VDC			
Max. switching current	10 A		5 A			
Max. switching capacity	2,500 VA 300 W	1,250 VA 300 W	1,250 VA 150 W	500 VA 150 W	1,250 VA 150 W	500 VA 150 W

Note: Do not exceed the carry current of a Socket in use.

■ CHARACTERISTICS

Contact resistance	100 m Ω max.	
Operate time	20 ms max.	
Release time	20 ms max.	
Max. operating frequency	Mechanical	18,000 operations/hr
	Electrical	1,800 operations/hr (under rated load)
Insulation resistance	1,000 M Ω min. (at 500 VDC)	
Dielectric withstand voltage	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1.0 min (1,000 VAC between contacts of same polarity)	
Vibration resistance	Destruction: 10 to 55 Hz, 1.0 mm double amplitude Malfunction: 10 to 55 Hz, 1.0 mm double amplitude	
Shock resistance	Destruction: 1,000 m/s ² (approx. 100G) Malfunction: 200 m/s ² (approx. 20G)	
Life expectancy	See the following table.	
Ambient temperature	Operating	-55°C to 70°C (-67°F to 158°F) with no icing (See Note.)
Ambient humidity	Operating	35% to 85%
Weight	Approx. 35 g	

Note: The values given above are initial values.

■ LIFE EXPECTANCY CHARACTERISTICS

Pole	Mechanical life (at 18,000 operations/hr)	Electrical life (at 1,800 operations/hr under rated load)
2-pole	AC: 50,000,000 operations min.	500,000 operations min.
4-pole	DC: 100,000,000 operations min.	200,000 operations min.
4-pole (bifurcated)	20,000,000 operations min.	100,000 operations min.

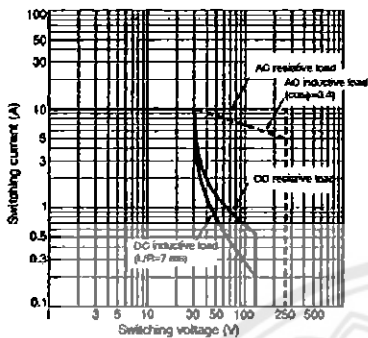
■ APPROVED STANDARDS

VDE, UL, CSA, IMQ, CE

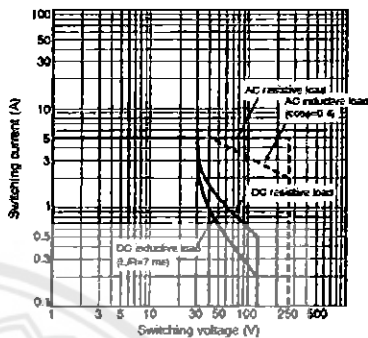
Engineering Data

■ MAXIMUM SWITCHING CAPACITY

MY2

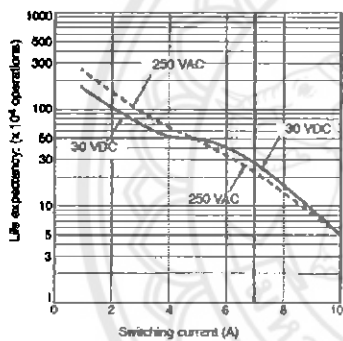


MY4, MY4Z

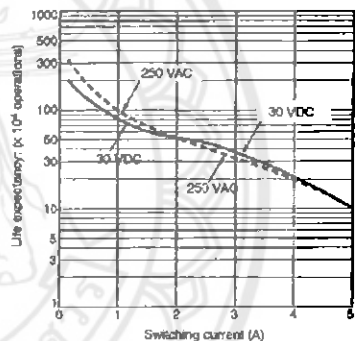


■ LIFE EXPECTANCY

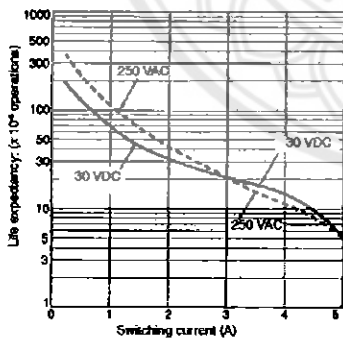
MY2 (Resistive Loads)



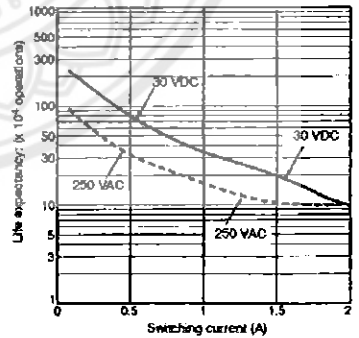
MY2 (Inductive Loads)



MY4 (Resistive Loads)



MY4 (Inductive Loads)



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายอนุพันธ์ พันธุ์ใหญ่

ภูมิลำเนา 31 หมู่ 5 ต. บ้านสาบ อ. เมือง จ. พะเยา

ประวัติการศึกษา

– จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนฟากแก้ววิทยาคม

จ.พะเยา

– ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: takkrab_@hotmail.com

