

ตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือพลังแสงอาทิตย์

A PV CHARGE CONTROLLER FOR MOBILES



นายณัฐพงษ์ อินตะเสนา รหัส 49380752

นายสุเมธี อินคำเชื้อ รหัส 49381520

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 19 ส.ค. 2555
เลขที่หนังสือ 15740253
เลขที่เอกสารอ้างอิง ร.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๘๔๓๓๙๐๗

2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้ดำเนินโครงการ นายณัฐพงษ์ อินตะเสนา รหัส 49380752

นายสุเมธี อินคำเชื้อ รหัส 49381520


ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

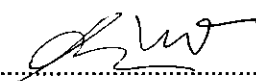
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

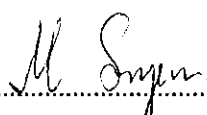
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2552

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

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

..... กรรมการ
(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

..... กรรมการ
(ดร. มุทิตา สงษ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ ตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้ดำเนินโครงการ นายณัฐพงษ์ อินตะเสนา รหัส 49380752

นายสุเมธี อินคำเชื้อ รหัส 49381520

ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการเกี่ยวกับการสร้างตัวควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ แนวคิดในการดำเนินโครงการนี้มาจากการตระหนักถึงสถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบัน การสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดความพยายามในการลดการใช้พลังงาน รวมถึงการหาทางใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ตัวควบคุมฯ ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้รับแรงดันด้านเข้าเป็นไฟกระแสตรงตั้งแต่ 8 V ขึ้นไป จึงสามารถใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป และเหมาะสมสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือที่ต้องการแรงดันกระแสตรงที่มีค่าคงที่ 5 V โดยตัวควบคุมฯ ประกอบด้วย 3 วงจรหลัก คือ วงจรคุมค่าแรงดัน วงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรจำกัดกระแส ในขณะที่แรงดันด้านเข้าของตัวควบคุมฯ (ซึ่งเป็นแรงดันด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์) มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ วงจรคุมค่าแรงดันจะรักษาแรงดันด้านออกของวงจรให้คงที่ที่ 8 V แล้วป้อนให้กับวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งปรับตั้งค่าตัวดีไอซีเกลียวไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งเพื่อจ่ายแรงดัน 5 V คงที่ ซึ่งเป็นแรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯ และใช้ในการอัดประจุ โดยมีวงจรจำกัดกระแสช่วยให้กระแสอัดประจุมีค่าไม่เกิน 1 A

Project title	A PV Charge Controller for Mobiles	
Name	Mr. Natthapong Intasena	ID. 49380752
	Mr. Sumatee Inkamchur	ID. 49381520
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 mobile phones by using solar energy. Development of this project was encouraged by the global energy situation and environmental issues, which have been caused by fossil fuel consumption. The attempts to relieve the aforementioned problems have driven a decrease in conventional fuel use as well as more attention to such renewable sources as solar energy. In this project a charge controller for mobile phones that require constant 5-V charging voltage was constructed while the charging power could be the output power of a photovoltaic (PV) module. The controller accepts higher DC inputs than 8 V, and is therefore compatible with typical PV modules. This controller consists of 3 circuits: a voltage regulator, a step-down converter and a current limiter. As the input voltage of the controller, i.e. the output voltage of the PV module, varies according to weather conditions, the voltage regulator holds its output voltage constant at 8 V. Subsequently, the step-down converter adjusted the aforesaid constant voltage to 5 V constant, which is used to charge the mobiles. In addition, charging current is restricted to not higher than 1 A by the current limiter.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณคุณพลวัฒน์ ทองบัวบาน ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ในระหว่างดำเนินโครงการ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฐพงษ์ อินตะเสนา

นายสุเมธี อินคำเชื้อ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการ.....	3
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการ.....	4
1.6 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน.....	5
2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกเจือ.....	6
2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น.....	7
2.1.5 กระบวนการทางฟิสิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ.....	12
2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	12
2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์.....	13
2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการงาน	18
2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน	19
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน	20
2.2.2 การหาอัตราขยายของแรงดัน	23
2.2.3 ค่าความพลิวของแรงดันด้านออก	23
2.2.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน	25
2.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	28
2.3.1 ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	28
2.3.2 ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์.....	28
2.3.3 การทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	28
2.3.4 โครงสร้างภายในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	29
2.3.5 ข้อเสนอแนะการใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์สำหรับโทรศัพท์มือถือ	32
2.3.6 ข้อควรระวังในการใช้แบตเตอรี่ โทรศัพท์มือถือรุ่นที่เป็นแบบลิเทียม-อ็อกไซด์	32
2.4 วงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส	32
บทที่ 3 การสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ	34
3.1 การออกแบบวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ	34
3.2 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน.....	34
3.3 การสร้างวงจรควบคุมสวิตช์	35
3.4 การสร้างวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส.....	36
3.5 การประกอบตัวควบคุมการอัดประจุ.....	36
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	39
4.1 การทดสอบการคุมค่าแรงดันของ L7808	39
4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน	40
4.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะอัดประจุ.....	41
4.4 การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการ	45
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	45
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก ก รายละเอียดของมอสเฟตหมายเลข IRF 9540N	48
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไอซีหมายเลข L7808.....	57
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไอซีหมายเลข LM317T.....	64
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบการคุมค่าแรงดันที่ 8 V ของ L7808.....	39
4.2 การปรับค่าควิตซ์ไชเกิลโดยที่ปรับแรงดันด้านเข้าคงที่	40
4.3 แรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะอัดประจุ	42
4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุโทรศัพท์มือถือ.....	44



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สถิติการใช้พลังงานปรมาณูของโลก	1
1.2 สถิติการใช้พลังงานปรมาณูของประเทศไทย	2
2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน	6
2.2 การใส่สารเจือ (a) ด้วยอะตอมฟอสฟอรัส และ (b) ด้วยอะตอมโบรอน	7
2.3 การกระจายประจุพาหะที่รอยต่อพีเอ็น และกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ	8
2.4 หลักการทำงาน โดยสังเขปของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ	12
2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ	13
2.7 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.8 ตัวอย่างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.9 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน	16
2.10 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน	16
2.11 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน	17
2.12 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน	18
2.13 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.14 แรงดันด้านออกของวงจรสวิตชิงอย่างง่าย	20
2.15 วงจรทอนระดับแรงดัน	21
2.16 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์นำกระแส	21
2.17 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	22
2.18 รูปคลื่นของกระแสและความพลั่วของแรงดันตัวเก็บประจุ	24
2.19 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	26
2.20 การทำงานของเบตเตอร์ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	29
2.21 โครงสร้างภายในเบตเตอร์ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์	30
2.22 กราฟคุณลักษณะของเบตเตอร์ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์ระหว่างการอัดประจุ	30
2.23 ผลของอุณหภูมิของเบตเตอร์ต่อกระแสที่สามารถจ่ายได้	31
2.24 ระยะเวลาที่สามารถใช้งานได้เมื่อใช้งานที่กระแสน้ำต่าง ๆ กัน	31

สารบัญรูป (ต่อ)

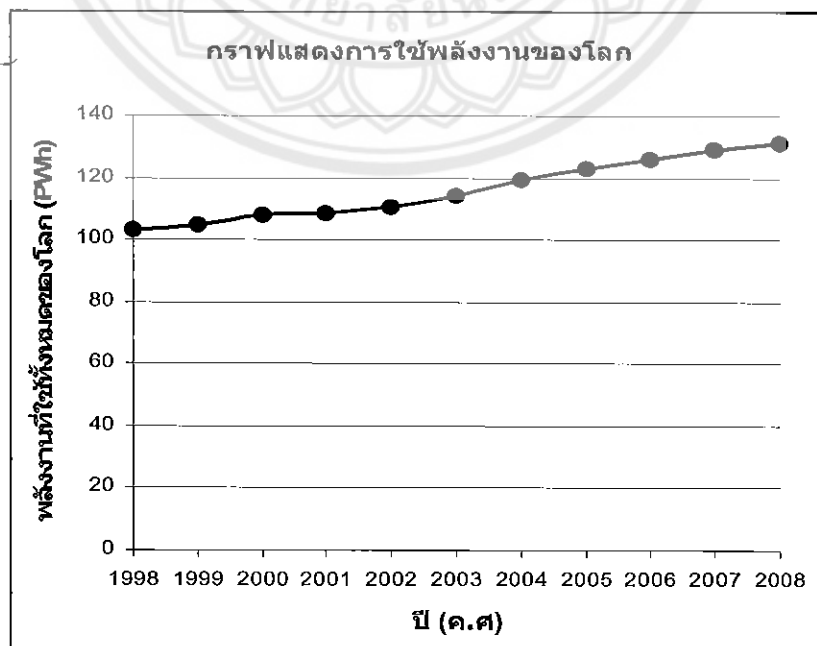
รูปที่	หน้า
2.25 วงจรใช้งานเบื้องต้นของไอซี LM317T	33
3.1 แผนภาพวงจรในตัวควบคุมการอัดประจุ.....	34
3.2 วงจรสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม	35
3.3 ลายวงจรของชุดวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ.....	36
3.4 การติดตั้งวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรควบคุมสวิตช์.....	37
3.5 การติดตั้งวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส.....	37
3.6 ตัวควบคุมการอัดประจุ โทรศัพท์มือถือพลังแสงอาทิตย์.....	38
4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน	41
4.2 แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และตัวควบคุมฯที่ช่วงเวลาต่าง ๆ	43
4.3 กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ	43

บทที่ 1

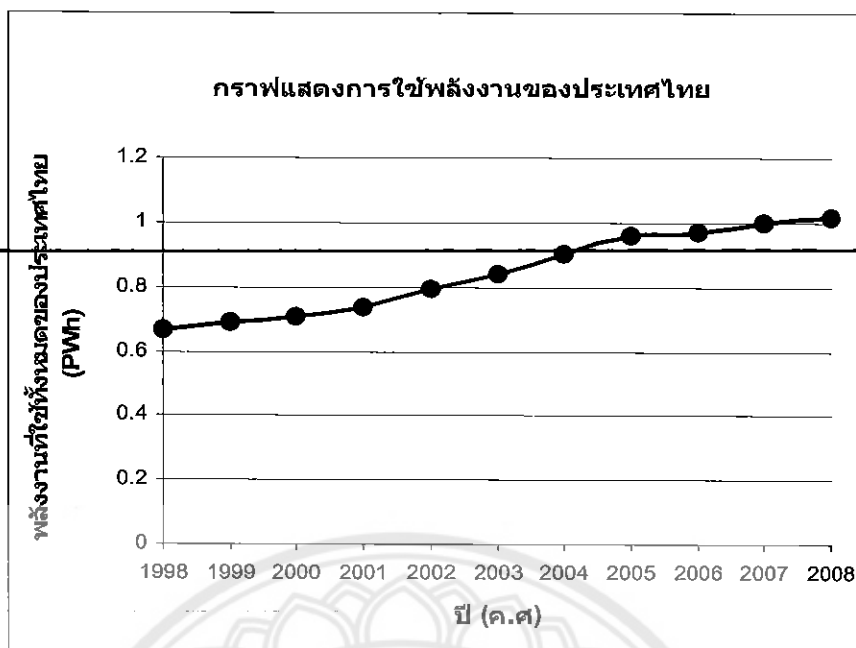
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตและประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงทำให้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละปี จากรูปที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานทั้งหมดของโลกจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของมนุษย์บนโลกใบนี้ไม่มีที่สิ้นสุดและเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุก ๆ ปี และอาจจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองและมากขึ้นในทุก ๆ ปี [1] ทำให้ปัญหาตามมาอีกมากมายจากการใช้ทรัพยากรอย่างไร้ค่า อีกทั้งยังทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรบนโลกใบนี้จากรูปที่ 1.2 แสดงการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศไทยจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี [1] เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงานทั้งหมดของโลก อันจะส่งผลให้เกิดปัญหาตามมาอีกในอนาคตแต่ปัญหาที่สำคัญและประสพอยู่ทุกวันนี้คือปัญหาภาวะโลกร้อน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเล็งเห็นความสำคัญของการช่วยประหยัดพลังงาน โดยเลือกการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการนำเอาการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่สะอาดและไร้มลภาวะเข้ามาช่วยในการทดแทนการใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 สถิติการใช้พลังงานปรุณภูมิของโลก [1]



รูปที่ 1.2 สถิติการใช้พลังงานปฐมภูมิของประเทศไทย [1]

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่มีอยู่ทุกหนแห่ง และมีปริมาณมากเพียงพอกับความต้องการของมนุษย์ อีกทั้งยังไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงได้มีความพยายามที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในด้านต่าง ๆ กันมากขึ้น

ในปัจจุบัน โทรศัพท์มือถือมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันของเรามาก เพราะช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร จนอาจถือได้ว่าได้กลายเป็นปัจจัยที่ 5 ในประเทศไทยความนิยมใช้โทรศัพท์มือถือมีมากขึ้นจนกระทั่งส่งผลให้มีการประกาศยกเลิกโทรเลขที่ใช้กันมานาน แต่เนื่องจากการทำงานของโทรศัพท์มือถือต้องอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการอัดประจุ ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ อันจะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดความสะดวกในกรณีที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งพลังงานของการไฟฟ้าฯ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอัดประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือได้อย่างเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือที่จ่ายแรงดันด้านออกคงที่ที่ 5 V
- 2) เชื่อมต่อตัวควบคุมการอัดประจุกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่ออัดประจุโทรศัพท์มือถือ

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. ศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์										
2. ศึกษาหลักการการทำงานของจอร์ทอนระดับแรงดันและหลักการคุมค่าแรงดัน										
3. ศึกษาการทำงานของตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือแต่ละรุ่น										
4. เลือกชนิดและขนาดของอุปกรณ์ที่จะใช้ในโครงการ										
5. ประกอบชิ้นงาน										
6. ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน										
7. สรุปผลการดำเนินงานและเขียนปริญญานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายไฟให้กับโทรศัพท์มือถือโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ อันจะเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานจากการไฟฟ้าฯ และก่อให้เกิดความสะดวกในการอัดประจุโทรศัพท์มือถือในทุกสถานที่ จึงลดความกังวลในการใช้งานโทรศัพท์มือถือ เพราะช่วยให้เกิดความต่อเนื่องในการสื่อสาร

1.6 งบประมาณ

1) วงจรอัดประจุ	500 บาท
2) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการสร้างชิ้นงาน	700 บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริิญาณิพนธ์	700 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หนึ่งพันเก้าร้อยบาทถ้วน)	<u>1,900 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การอัดประจุโทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ในโครงการนี้ใช้หลักการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในที่นี้ผู้ดำเนินโครงการได้ออกแบบให้ตัวควบคุมการอัดประจุรับแรงดันด้านเข้าที่มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันที่โทรศัพท์มือถือต้องการ ตัวควบคุมจึงต้องลดระดับแรงดันลงให้เหมาะสมกับการอัดประจุ พร้อมทั้งรักษาระดับแรงดันให้คงที่และควบคุมไม่ให้กระแสอัดประจุมีค่าสูงเกินไป ดังนั้นในบทนี้จึงเขียนอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรทอนระดับแรงดัน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน ตัวคุมค่าแรงดัน และวงจรจำกัดกระแส

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

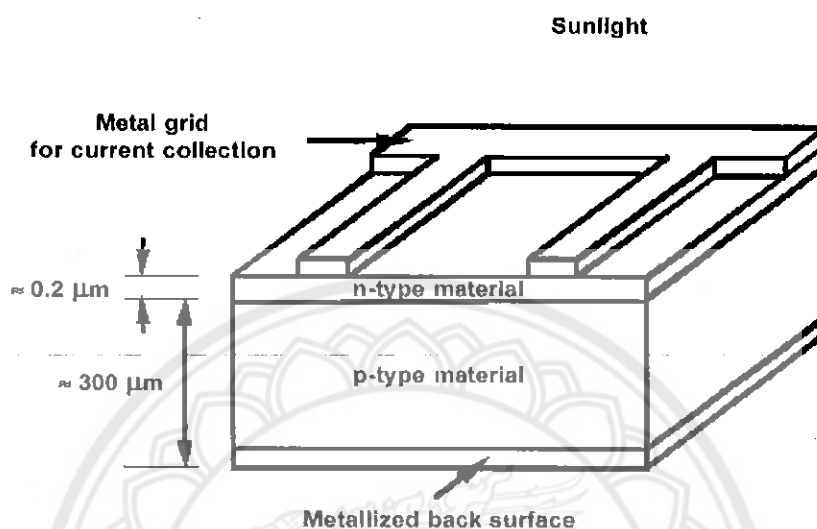
2.1.1 ความเป็นมาและหลักการทำงาน

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 จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากการดูดกลืนพลังงานที่มากกระตุ้นวัตถุที่พื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์เกือบทั้งหมดที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันคือ ซิลิกอน โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนถูกแสดงอย่างคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 2.1 เวเฟอร์ซิลิกอนหนาประมาณ 300 μm ประกอบด้วย 2 ชั้นที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่ง

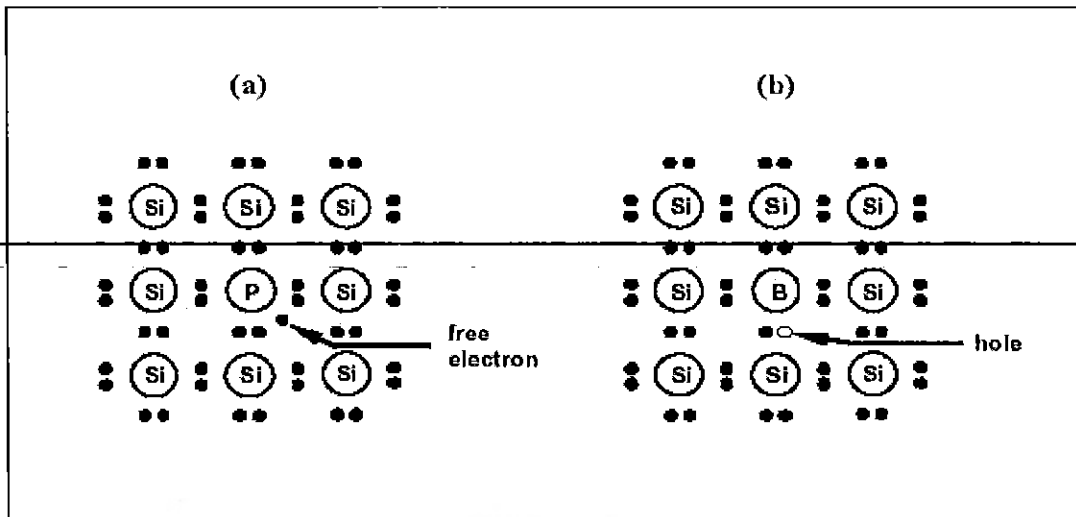
ส่วนมากถูกเจือด้วยโบรอนและฟอสฟอรัส ผิวด้านหลังของเซลล์ทำจากโลหะทั้งหมดเพื่อรวบรวมประจุ ในขณะที่ด้านหน้าซึ่งเป็นส่วนรับแสงที่จะมาตกกระทบ จะให้เพียงกริดโลหะ 1 ชั้น เพื่อให้แสงผ่านเข้าสู่เซลล์ได้มากที่สุด โดยปกติผิวของเซลล์จะถูกเคลือบด้วยสารด้านการสะท้อน (Antireflection coating) เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดจากการสะท้อนให้เหลือน้อยที่สุด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน [2]

2.1.3 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะในซิลิกอนที่ถูกเจือ

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)”

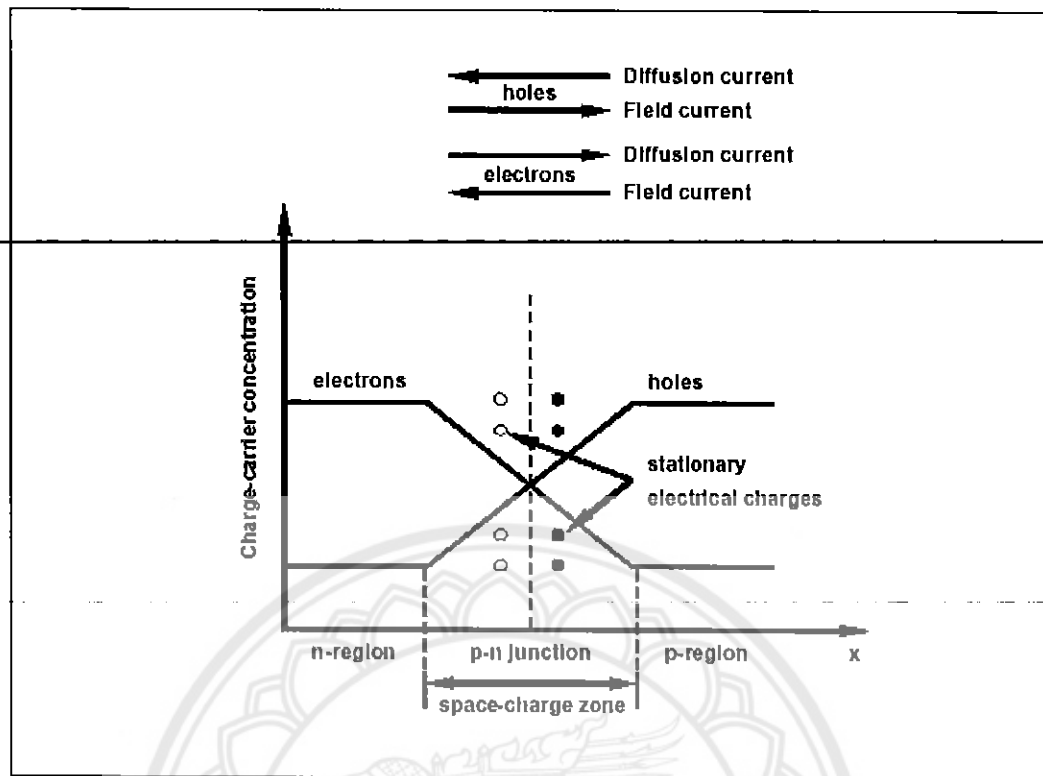


รูปที่ 2.2 การใส่สารเจือ (a) ด้วยอะตอมฟอสฟอรัส และ (b) ด้วยอะตอมโบรอน [2]

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

2.1.4 ผลของรอยต่อพีเอ็น

โดยปกติรอยต่อพีเอ็น ถูกสร้างจากความจริงที่ว่าชั้นชนิดเอ็นเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำชนิดพีด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือผู้ให้ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 850°C) ในทำนองเดียวกันกับกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อพีเอ็นสามารถถูกสร้างได้ด้วยการแพร่เข้าไปของสารเจือชนิดผู้รับ แม้ว่าจะเป็นที่นิยมน้อยกว่าก็ตาม ในบริเวณใกล้ ๆ กับผิวขอบของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นหรือพี จะเกิดปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้ ในด้านเอ็น มีอิเล็กตรอนจำนวนมากในด้านพีมีโฮลจำนวนมาก ความแตกต่างในด้านปริมาณดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดผลที่ตามมาคือ อิเล็กตรอนจากด้านเอ็นแพร่เข้าไปยังด้านพี และโฮลแพร่จากด้านพีเข้าไปในด้านเอ็นผลที่ตามมาคือ เกิดกระแสของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการแพร่เข้าไปในด้านพี และกระแสจากการแพร่ของโฮลเข้าไปในด้านเอ็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายประจุพาหะที่รอยต่อพีเอ็น และกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ [2]

การไหลของพาหะประจุลบและบวก ทำให้เกิดการขาดประจุพาหะภายในบริเวณที่เคยเป็นกลางทางไฟฟ้านั้นคือ เกิดประจุบวกภายในบริเวณสารเจือผู้ให้ และเกิดประจุลบภายในบริเวณสารเจือผู้รับ ดังนั้นจึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นตรงผิวขอบและก่อให้เกิดกระแสจากประจุพาหะทั้งสองชนิด ซึ่งไหลต้านกระแสที่เกิดจากการแพร่ในสภาวะสมดุล ค่าของกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านผิวรอยต่อมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้าชดเชยกระแสที่เกิดจากการแพร่อย่างสมบูรณ์ นั่นคือกระแสโฮลชนิดชดเชยระหว่างกันอย่างสมบูรณ์ และกระแสอิเล็กตรอนก็เช่นกัน ดังรูปที่ 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 ส่งผลให้ความเข้มข้นไฟฟ้าและกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย ทำให้ขณะไม่สามารถชดเชยกับกระแสที่เกิดจากการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลดังเช่นขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกได้อีกต่อไป ผลที่ตามมาก็คือ มีกระแสสุทธิที่เกิดจากการแพร่ของ

อิเล็กตรอนและโฮลไหลผ่านรอยต่อพีเอ็น ถ้าแรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้าไปมีค่าเท่ากับค่ากำแพงศักย์ จะไม่มีกระแสที่เกิดจากสนามไฟฟ้า และค่ากระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานของสารเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม การป้อนแรงดันบวกจากภายนอกเข้าที่ด้านลบ ซึ่งเรียกว่าไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) จะเพิ่มค่าแรงดันของกำแพงศักย์ ทำให้บริเวณปลอดพาหะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้กระแสจากสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่ากระแสสุทธิตามไบอัสย้อนกลับจึงมีค่าน้อยมาก กระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพีเอ็นนำไปสู่สมการไดโอด 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

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 ด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ ทำให้ลดความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนเหลือประมาณ 10% โดยปกติโฟตอน หรือ ควอนตัมของแสงทำปฏิกิริยากับสารด้วยการกระตุ้นอิเล็กตรอน กระบวนการที่สำคัญทางด้านพลังงานที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า “การดูด-กลืนทางโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption)” ด้วยเหตุนี้ โฟตอนจึงถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์แบบด้วยอิเล็กตรอนวงนอก อิเล็กตรอนได้รับพลังงานทั้งหมดจากโฟตอนแล้วกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตามในสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะสามารถถูกดูดกลืนก็ต่อเมื่อพลังงานของมันมีค่าสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Bandgap) โฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะผ่านทะลุสารกึ่งตัวนำและไม่สามารถก่อให้เกิดการแปลง

พลังงาน อย่างไรก็ตาม โฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงานก็จัดเป็นความสูญเสียในด้านการแปลงพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนในผลึกอย่างรวดเร็วในช่วงการทำปฏิกิริยาระหว่างสเปกตรัมโดยทั่วไปของรังสีแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน ในกระบวนการแปลงพลังงาน พลังงานจะสูญเสียประมาณ 60% เพราะมีโฟตอนจำนวนมากมีพลังงานทั้งที่ต่ำกว่าและสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน

2) การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination of charge carriers)

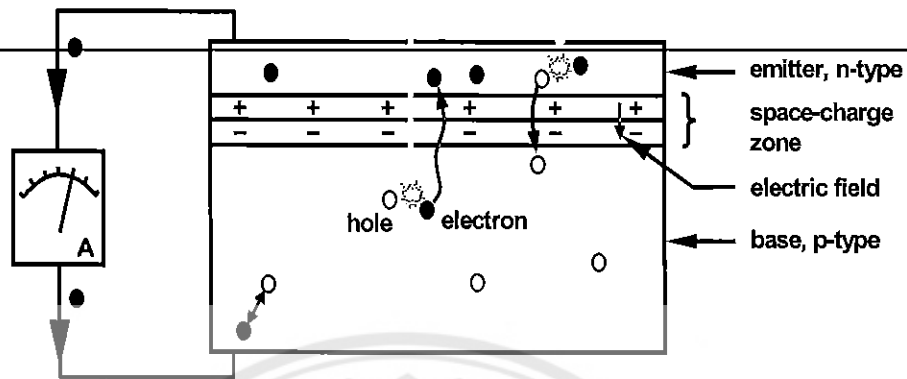
การดูดกลืนแสงก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน ดังนั้นในช่วงที่มีแสงปริมาณของประจุพาหะจึงมีค่ามากกว่าในช่วงเวลาที่มืด นั่นคือในขณะที่ไม่มีแสงปริมาณประจุพาหะจะมีค่าเท่ากับในช่วงเวลาที่มืด กระบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่า “การรวมตัวของประจุพาหะ (Recombination)” และเป็นกระบวนการย้อนกลับจากกระบวนการสร้างประจุพาหะด้วยการดูดกลืนแสง 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) บริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) และ เบสชนิดพี (p-doped base) โฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอตกลงบนผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านทะลุอิมิตเตอร์และบริเวณปลอดพาหะ แล้วถูกดูดกลืนในเบสชนิดพี ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นพาหะส่วนน้อยภายในเบสชนิดพี จึงถูกเรียกว่า “ประจุพาหะส่วนน้อย” ซึ่งตรงกันข้ามกับโฮลที่เป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในบริเวณนี้ อิเล็กตรอนนี้แพร่เข้าไปในเบสชนิดพีจนกระทั่งถึงขอบของบริเวณปลอดพาหะ สนามไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณเขตปลอดพาหะจะเร่งอิเล็กตรอนและพาอิเล็กตรอนไปยังด้านอิมิตเตอร์

solar radiation



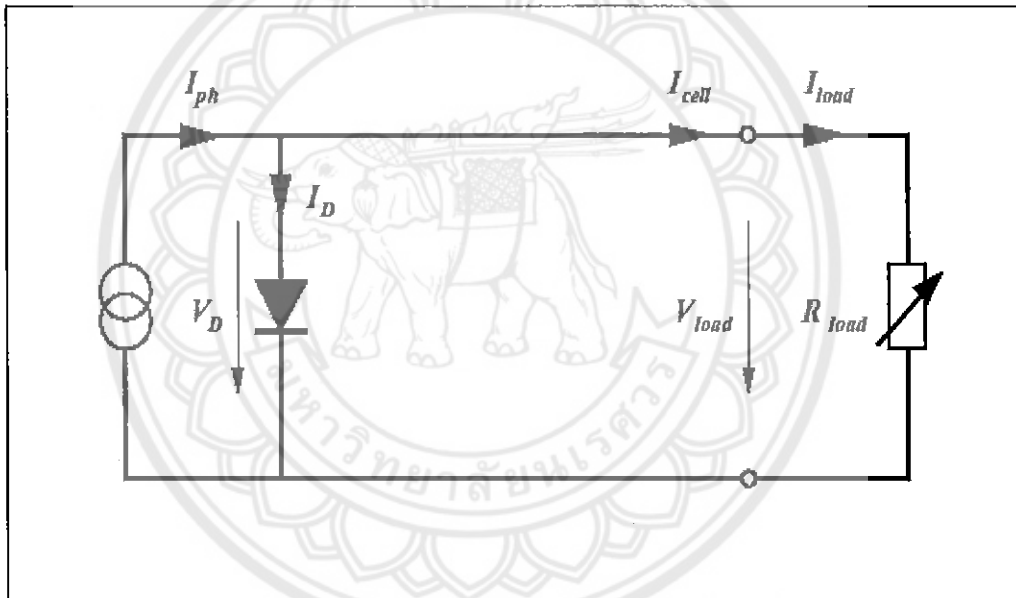
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานโดยสังเขปของเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การแยกออกจากกันของประจุพาหะจึงเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ สนามไฟฟ้าจึงทำงานคล้ายกับเป็นตัวกลางในการแยกแต่ข้อแม้คือ ระยะทางการแพร่ของ อิเล็กตรอนจะต้องมากเพียงพอให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณปลอดพาหะ ในกรณีนี้ ระยะทางการแพร่สั้นเกินไป การรวมตัวของประจุพาหะจะเกิดขึ้นก่อนถึงบริเวณปลอดพาหะ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานการดูดกลืนควอนต้าของแสงในอิมิตเตอร์ก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลเช่นกัน แต่เนื่องจากโฮลเป็นประจุพาหะส่วนน้อยในบริเวณอิมิตเตอร์ชนิดเอ็น ด้วยระยะทางการแพร่ที่มากเพียงพอ ทำให้โฮลเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณปลอดพาหะ และถูกร่งด้วยสนามไฟฟ้า และถูกพาไปยังด้านเบสชนิดพี ถ้าการดูดกลืนควอนต้าของแสงเกิดขึ้นในบริเวณปลอดพาหะ อิเล็กตรอนและ โฮลจะถูกแยกออกจากกันทันทีด้วยสนามไฟฟ้าที่มีในบริเวณนั้นนั่นเอง ผลจากการมีแสงตกกระทบจะได้ว่า ถ้าปริมาณของอิเล็กตรอนทางด้านอิมิตเตอร์ชนิดเอ็นเพิ่มขึ้น ปริมาณของโฮลทางด้านเบสชนิดพีก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าถ้าอิมิตเตอร์ชนิดเอ็นและเบสชนิดพีถูกนำมาต่อกันผ่านตัวต้านทาน อิเล็กตรอนจากด้านอิมิตเตอร์ไหลผ่านตัวต้านทานไปยังเบส แล้วรวมตัวกับโฮลในบริเวณนั้นอย่างไรก็ตาม การไหลของกระแสหมายถึงกำลังด้านออกการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่ยังคงมีแสงตกกระทบเซลล์ ผลก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนทันทีเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.1.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น เซลล์อาทิตย์ที่ถูกแสงจะสร้างประจุพาหะอิสระ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลผ่านภาระ (Load) ที่ต่ออยู่ ปริมาณประจุพาหะอิสระที่เกิดขึ้นแปรผันตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ เช่นเดียวกับกระแสโฟโต้ (I_{ph}) ซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเซลล์อาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถถูกแสดงด้วยวงจรสมมูลอย่างง่ายในรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยไดโอดที่เกิดขึ้นจากรอยต่อพีเอ็นและแหล่งจ่ายกระแสโฟโต้ ที่มีค่ากระแสขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ถูกต่อเป็นภาระของเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ถูกแสง นำไปสู่สมการต่อไปนี้

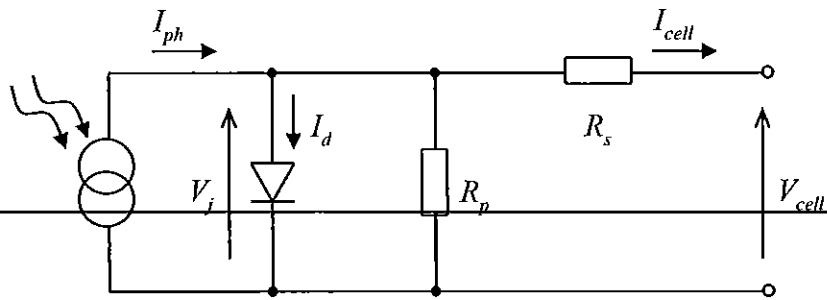
$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_D \cdot \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [2]

2.1.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จริง

ในสภาพความเป็นจริง เมื่อสารกึ่งตัวนำและหน้าสัมผัสโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อให้เกิดค่าความต้านทานอนุกรม R_s (Parasitic series resistance) ในวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กระแสรั่วรอบ ๆ ขอบของเซลล์ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในผิวของเซลล์และตำหนิที่เกิดจากการเชื่อมต่อหน้าสัมผัสก่อให้เกิดค่าความต้านทานขนาน R_p (Parasitic parallel resistance) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติที่ต่อกับภาระ [2]

กระแสที่ไหลผ่านไดโอดในรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายด้วยสมการไดโอดต่อไปนี้

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

โดยที่ I_o คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse saturation current)

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน

V_j คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็น

k คือ ค่าคงที่ของโบลท์ซมันน์

T_{cell} คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ในหน่วยเคลวิน

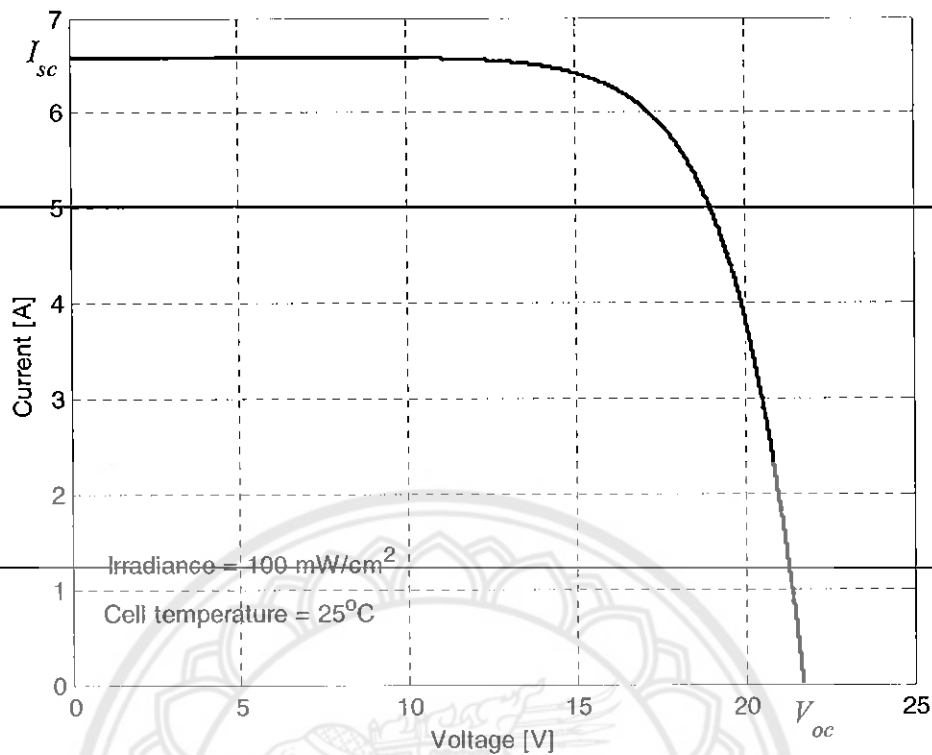
A คือ ค่าความสมบูรณ์ของรอยต่อพีเอ็น

เราสามารถเขียนสมการของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ T_{cell} ได้ดังนี้

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

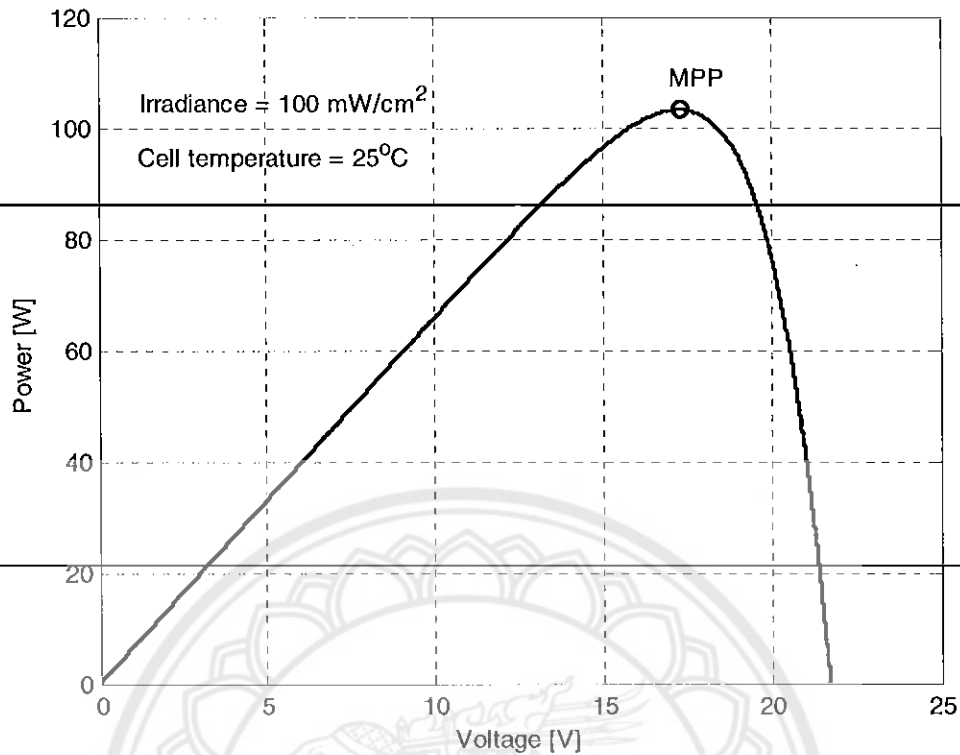
2.1.8 เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์อาทิตย์

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 กำลังด้านออกของแผงมีค่ามากกว่าศูนย์จากรูปที่ 2.8 จุดกำลังสูงสุดแสดงด้วยวงกลมเล็ก



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

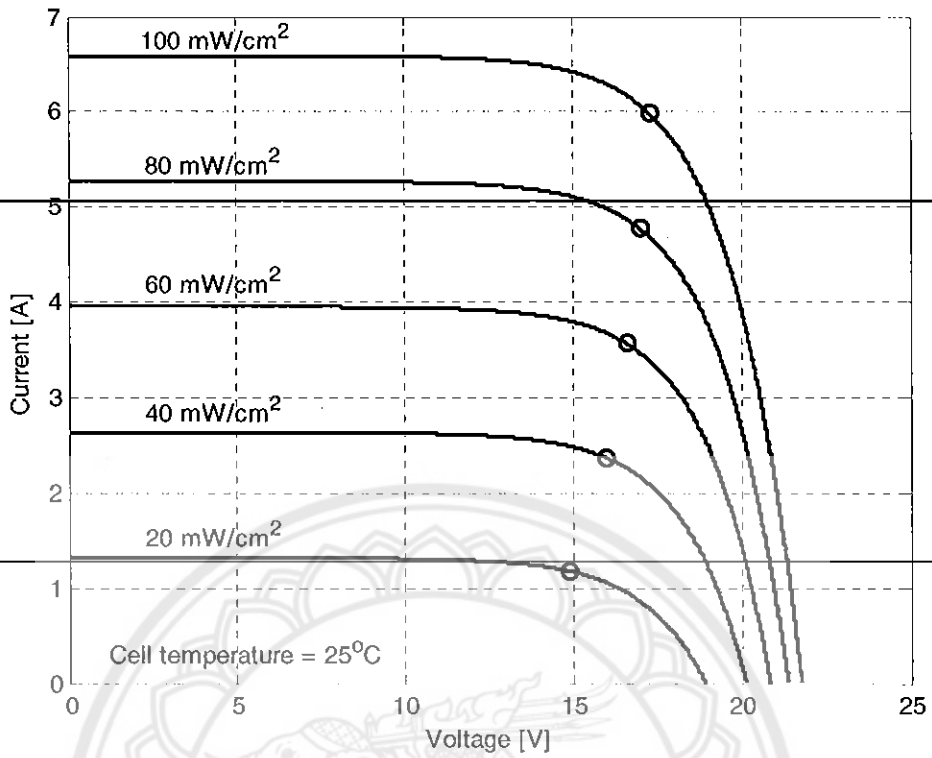
2.1.9 ผลของความเข้มแสงต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 กระแสโฟโตนิกเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับค่าความเข้มแสงเมื่ออุณหภูมิของเซลล์คงที่ ดังนั้นค่ากระแสลัดวงจรจึงแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง

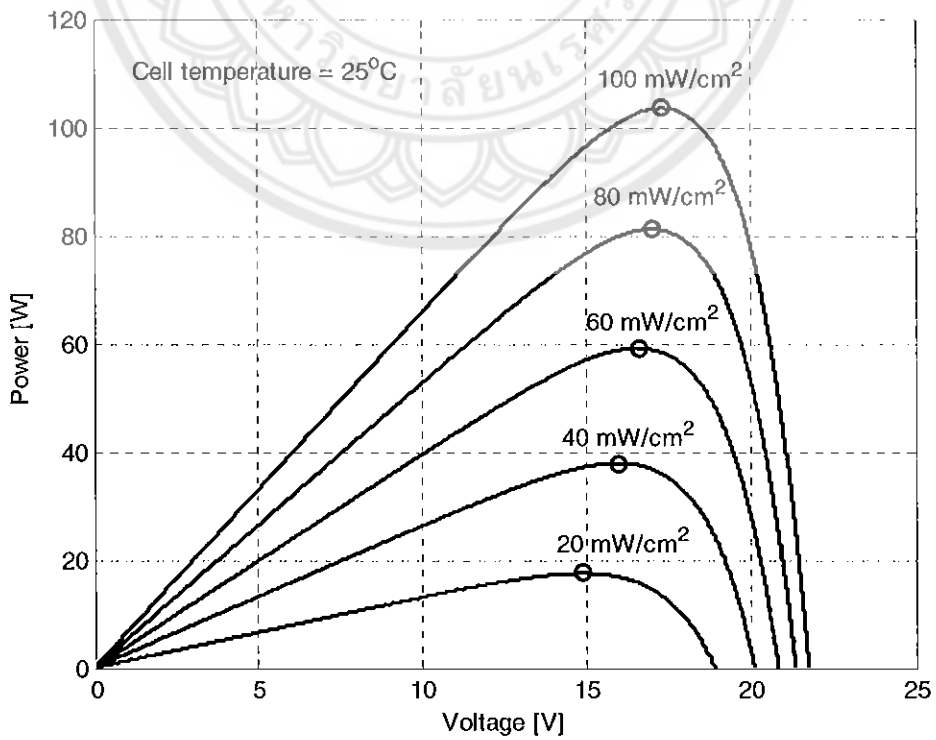
ภายใต้เงื่อนไขการเปิดวงจร (เมื่อไม่พิจารณาค่าความต้านทานขนาน)

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

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



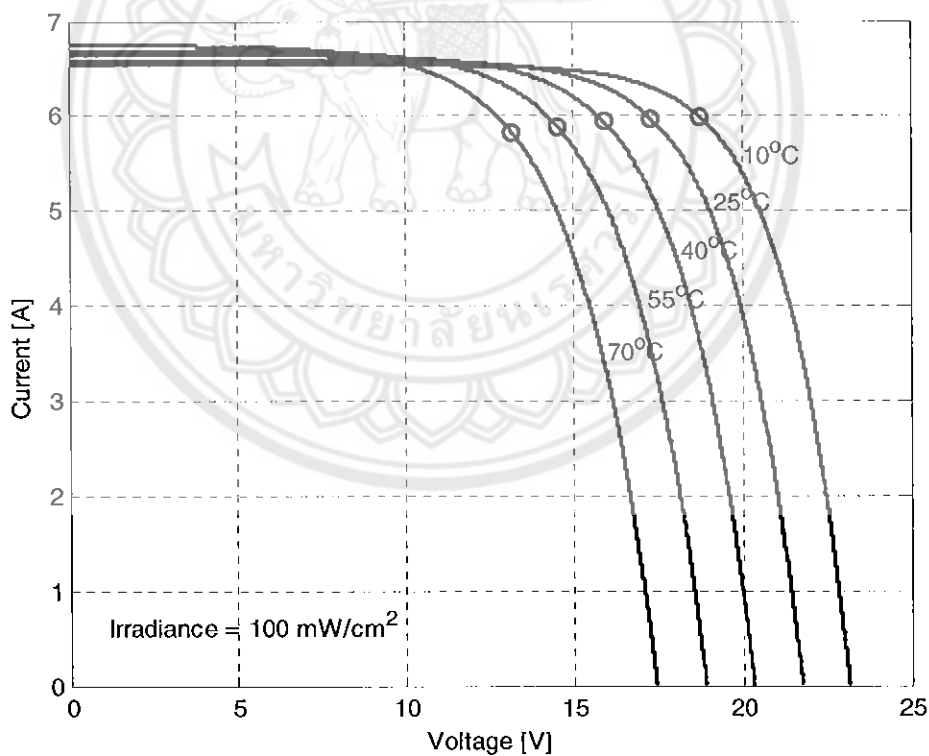
รูปที่ 2.9 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



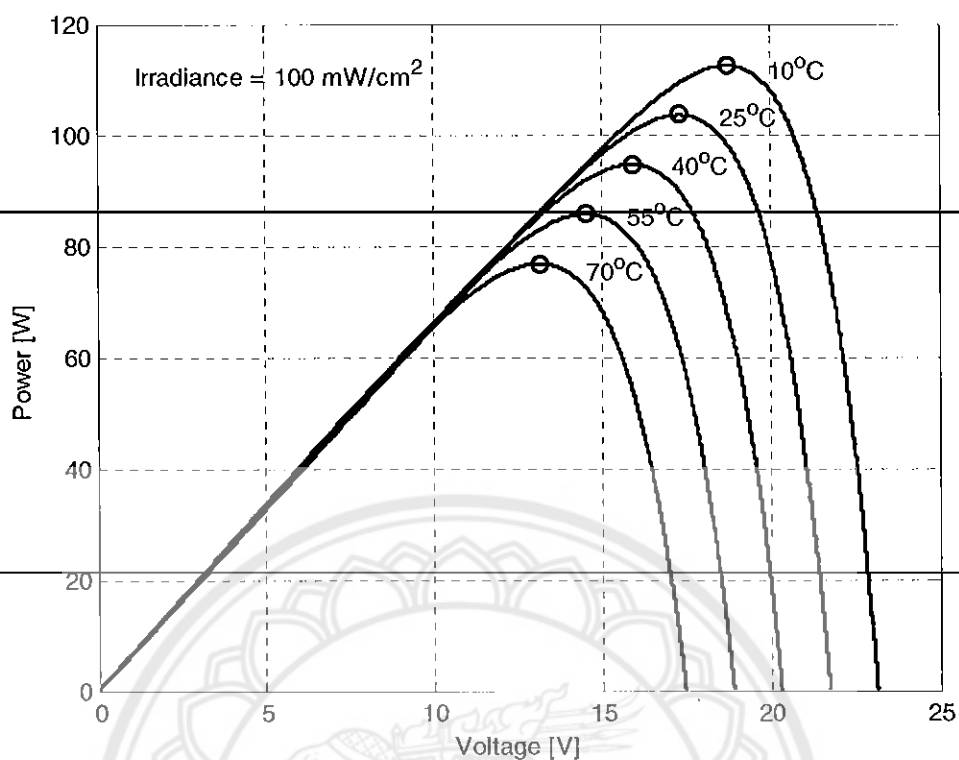
รูปที่ 2.10 ผลของความเข้มแสงต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

2.1.10 ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2.11 แสดงเส้น โคง์คุณลักษณะกระแส-แรงดันสำหรับค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่แตกต่างกัน กระแสไฟโด้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเนื่องจากแถบช่องว่างพลังงานแคบลงและระยะแพร่ของประจุพาหะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเซลล์ส่งผลให้กระแสลัดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ประมาณ $0.07\%/^{\circ}\text{C}$ สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน) ในทางตรงกันข้าม แรงดันเปิดวงจรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับเพิ่มขึ้นอย่างมาก และช่องว่างแถบพลังงานแคบลง ส่งผลให้แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลง จากการแสดงให้เห็นใน แรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลงตามอุณหภูมิในลักษณะค่อนข้างเชิงเส้น ในอัตราประมาณ $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน [3] ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเส้น โคง์คุณลักษณะกำลัง-แรงดันแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าอุณหภูมิมิผลอย่างมากต่อค่ากำลังด้านออกที่ระดับแรงดันสูงกว่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด [2]



รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิต่อเส้น โคง์คุณลักษณะกระแส-แรงดัน



รูปที่ 2.12 ผลของอุณหภูมิต่อเส้นโค้งคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน

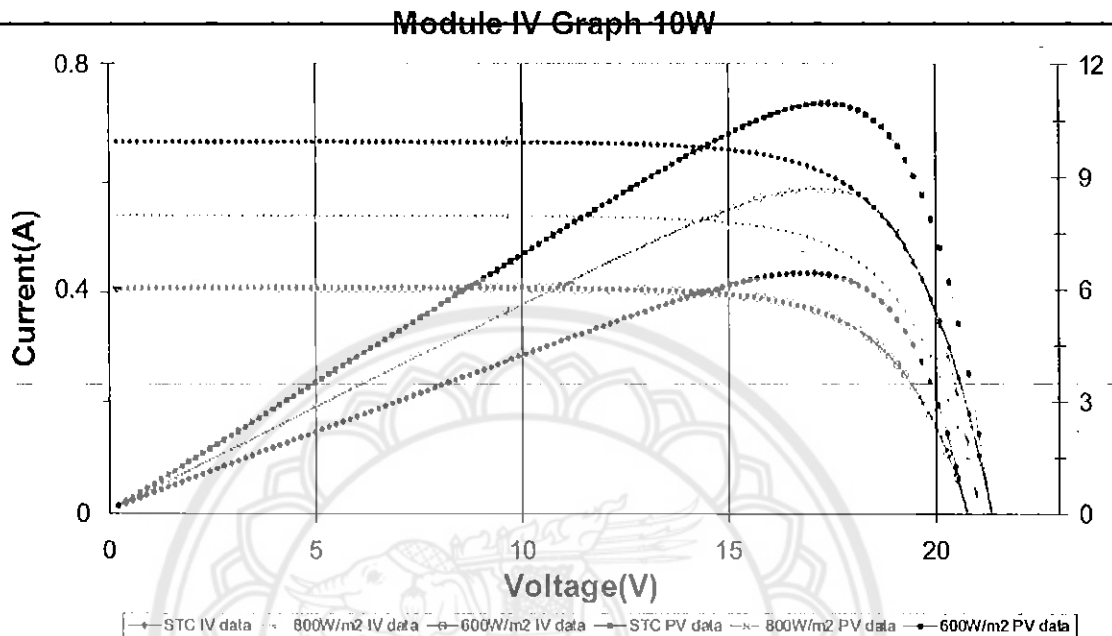
2.1.11 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

ในที่นี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของ 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

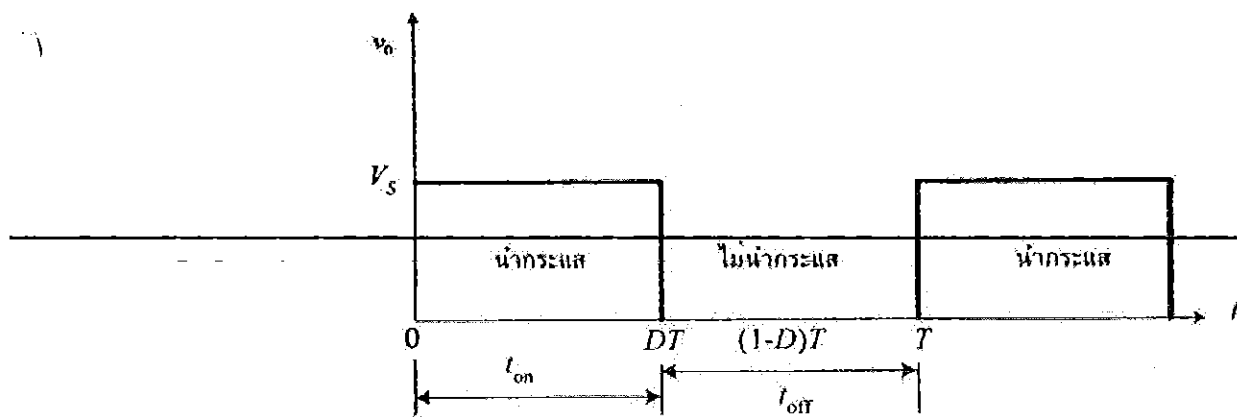
กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแส รวมทั้งกราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP010S-12/kb แสดงได้รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน

ก่อนจะเข้าถึงเนื้อหาของวงจรทอนระดับแรงดันจะพูดถึงหลักการสำคัญของการทำงาน วงจรสวิตซิง เช่น มอสเฟต หรือ ไอจีบีที ที่จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงานคือ โหมดนำกระแส และโหมดหยุดนำกระแส มีหลักการทำงานดังนี้ คือขณะที่สวิตช์นำกระแสแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแสแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์โดยที่ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะได้สัญญาณแรงดันด้านออกเป็นพัลส์ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งสามารถหาค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกได้จากสมการที่ (2.6)



รูปที่ 2.14 แรงดันด้านออกของวงจรสวิตซิงอย่างง่าย [6]

จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าตัวชี้โวลเทจ ซึ่ง D หมายถึง อัตราส่วนของเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตซิงที่มีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.7)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$t_{on} = DT \quad \text{และ} \quad t_{off} = (1-D)T$$

โดยที่ t_{on} คือ ช่วงเวลาที่นำกระแส

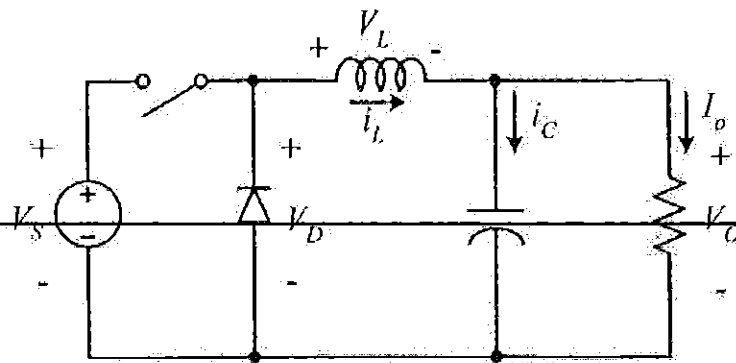
t_{off} คือ ช่วงเวลาที่ไม่นำกระแส

T คือ เวลาหนึ่งคาบ

การกำหนดค่า D นิยมบอกเป็นสองลักษณะ คือเป็นเลขเต็มหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ขณะที่บอกเป็นเลขเต็มหนึ่งค่าต่ำสุดของ D คือ 0 และค่าสูงสุดคือ 1 ขณะที่ถ้าบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าต่ำสุดคือ 0% และค่าสูงสุดคือ 100%

2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

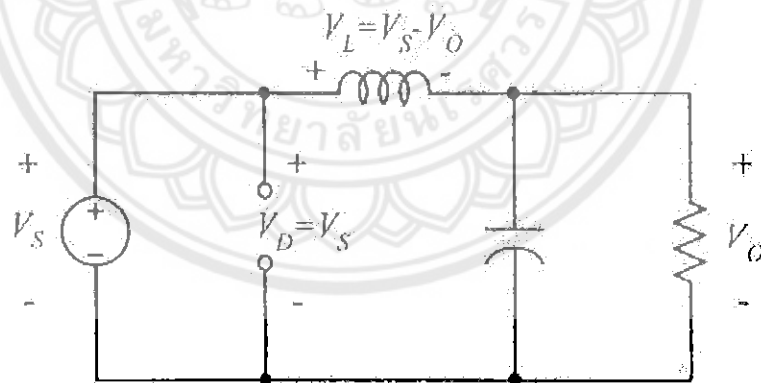
วงจรทอนระดับแรงดัน คือวงจรที่ทำให้ระดับด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า เพื่อให้แรงดันด้านออกที่มีความเป็นกระแสดรุ่มมาก ๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการผสมกับกำลังสองของความถี่ แสดงวงจรได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรทอนระดับแรงดัน [6]

หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันเพื่อจะออกแบปให้ได้แรงดันด้านออกตามที่ต้องการคือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บอยู่ที่ตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.16 จากกฎของเคอร์ชอฟสำหรับแรงดัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์นำกระแส [6]

$$\begin{aligned} -V_s + V_L + V_o &= 0 \\ V_L &= V_s - V_o \end{aligned} \quad (2.8)$$

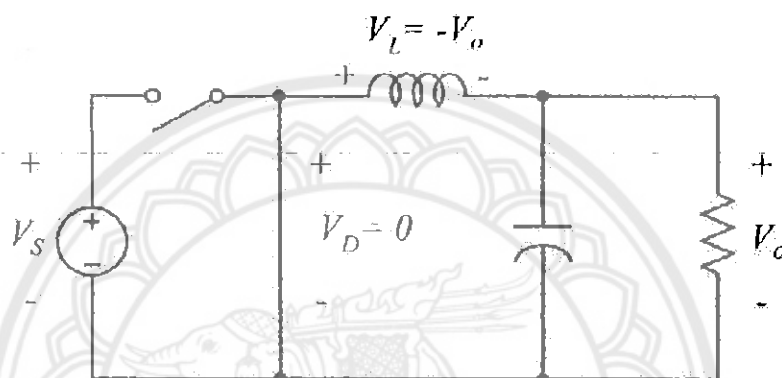
เนื่องจาก $V_L = L \frac{di_L}{dt}$ จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.9)$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.10)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบแอสไปข้างหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 2.17 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับแรงดัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส [6]

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.12)$$

ความหมายของสมการที่ (2.12) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจะค่อย ๆ ลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสของตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส คือ $dt = (1 - D)T$ ดังนั้น สมการสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.13)$$

2.2.2 การหาอัตราขยายของแรงดัน

ในสถานะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.14)$$

$$\left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT - \left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.15)$$

$$\left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT - \left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T = 0$$

$$(V_s - V_0)D - V_0(1-D) = 0$$

$$V_s D - V_0 D - V_0 + V_0 D = 0$$

$$\frac{V_0}{V_s} = D \quad (2.16)$$

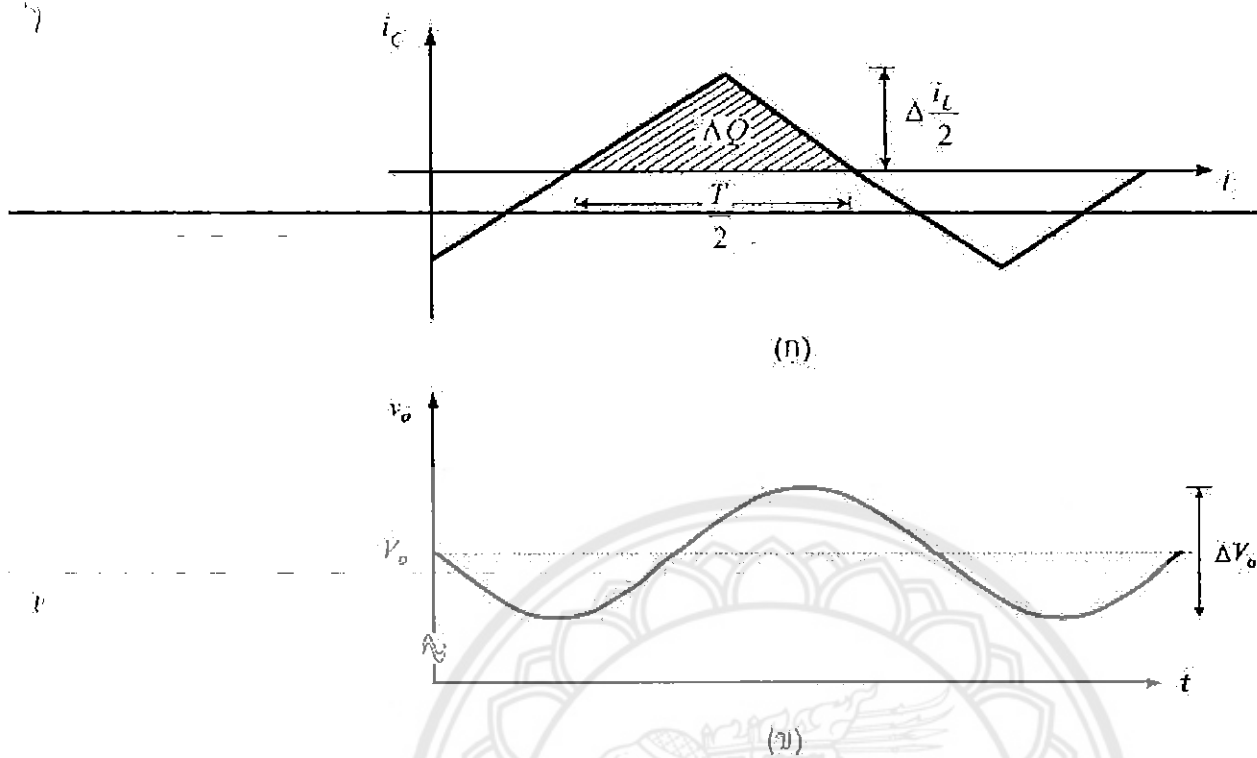
อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า D วงจรทอนระดับแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้แรงดันด้านออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า D โดยการปรับค่า D สามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง เช่น แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับ 100 V เราสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าออกได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึง 100 V แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับค่าได้ถึง 100 V เพราะเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำทำให้แรงดันด้านออกที่ได้จริงมีค่าน้อยกว่า 100V เล็กน้อย

2.2.3 ค่าความพลีวของแรงดันด้านออก

โดยปกติวงจรกรองความถี่ที่อยู่ในวงจรทอนระดับแรงดันจะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่เพื่อจะรักษาแรงดันด้านออกมีค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะเลือกขนาดได้ไม่ใหญ่มากเนื่องจากมีราคาแพง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมและให้ค่าความพลีวของแรงดันด้านออกมีค่าที่ยอมรับได้ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.18 เมื่อกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุสะสมประจุโดยคำนวณจาก

$$Q = CV_0 \quad (2.17)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_0$$



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นของกระแสและความพลีวของแรงดันตัวเก็บประจุ [6]

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.18)$$

เมื่อ ΔQ คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลง

ΔV_o คือ ค่าความพลีวของแรงดันด้านออก

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.19)$$

โดย ΔQ คือ พื้นที่สามเหลี่ยมที่เกิดจากกระแสตัวเก็บประจุคูณกับเวลา

นำสมการที่ (2.19) แทนลงในสมการที่ (2.18) จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.20)$$

แทนค่า $\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L} \right) (1-D)T$ โดยพิจารณาเฉพาะขนาดลงในสมการที่ (2.20)

$$\Delta V_0 = \frac{T}{8C} \frac{V_0}{L} (1-D)T \quad (2.21)$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{T}{8C} \frac{1}{L} (1-D)T$$

$$\Delta V_0 = \frac{T^2}{8C} \frac{1}{L} (1-D) \quad (2.22)$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8CLf^2} \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.23) เรียกว่า ค่าความพลัว มักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของความพลัวแรงดัน ด้านออกกระหว่างขอดถึงขอดกับค่าแรงดันด้านออก หากต้องการทำให้อัตราความพลัวของ แรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยลง สามารถทำได้โดยการพยายามทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง หรืออาจจะ เพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุหรือความถี่ในการสวิตชิงให้มากขึ้น

ประเด็นที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังจะเท่ากับ กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้คือสมมติการสูญเสียเป็นศูนย์จะได้ว่า

$$P_s = P_0 \quad (2.24)$$

เมื่อ P_s คือ กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

P_0 คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลด

$$V_s I_s = V_0 I_0 \quad (2.25)$$

จากสมการที่ (2.25) จะเห็นความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสไฟฟ้าเหมือนกับกรณี หม้อแปลงไฟฟ้า จึงอาจกล่าวได้ว่า วงจรทอนระดับแรงดันมีวงจรสมมูลเปรียบได้กับหม้อแปลง ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรทอนระดับแรงดันทำงานในโหมด นำกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหาค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับ กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_0 = \frac{V_0}{R} \quad (2.26)$$

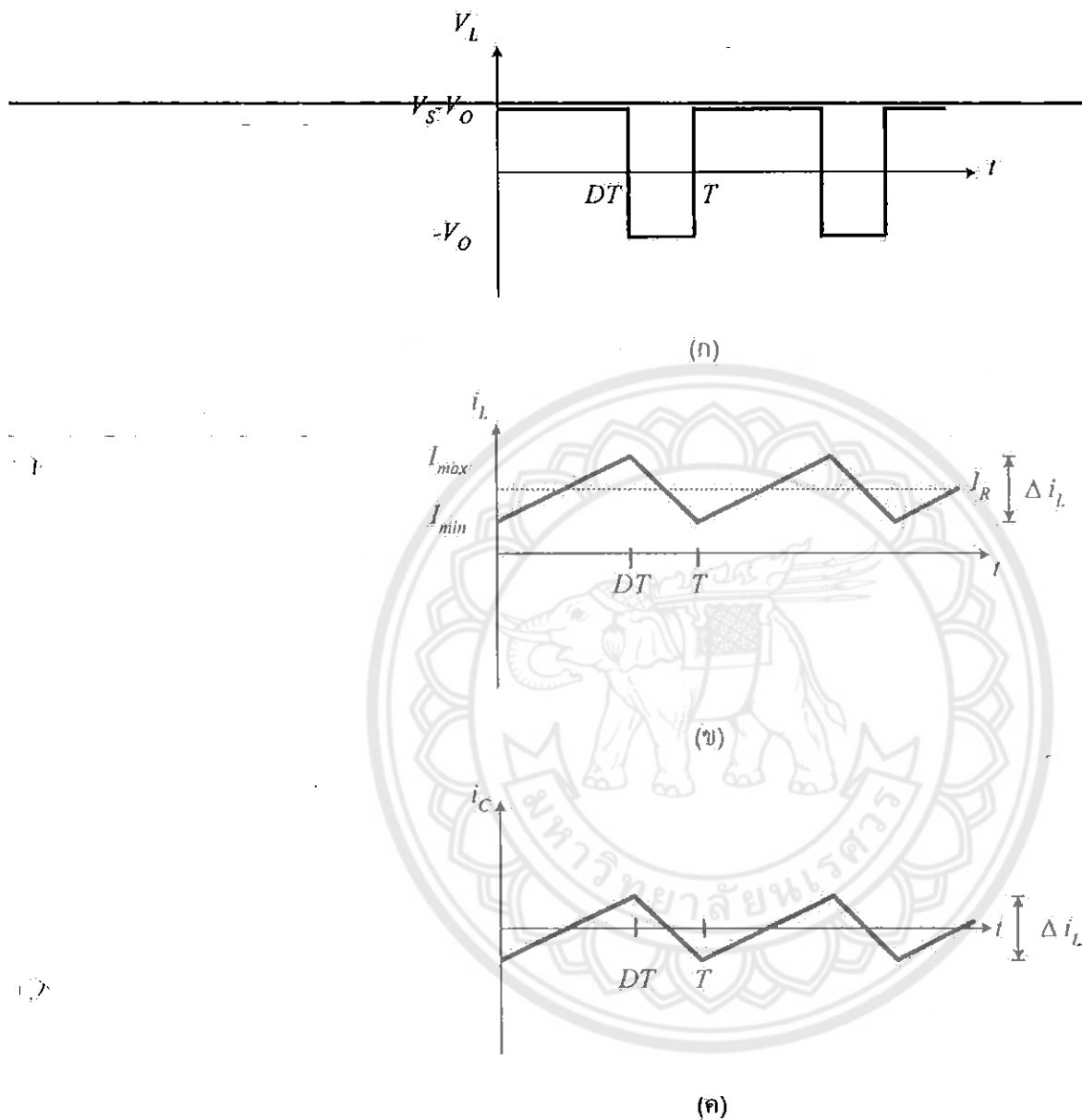
15740253

ร/ร.

ณ 339๗

๒๕๕๒

รูปคลื่นของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และกระแสของตัวเก็บประจุในวงจรทอนระดับแรงดันในสถานะอยู่ตัว (Steady state) แสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ [6]

จากรูปที่ 2.19 จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2.27}$$

หรือเขียนสมการให้ง่ายขึ้น ได้ดังนี้

$$I_{L,max} = V_0 \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.28)$$

ดังนั้นกระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดคือ

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,min} = \frac{V_0}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_0}{L} (1-D) T \right] \quad (2.29)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2} \left[\frac{(1-D) T}{L} \right]$$

$$I_{L,min} = V_0 \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.30)$$

เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ สมการที่ (2.30) สามารถนำมาใช้หาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิตซิง และหาก $I_{L,min}$ เท่ากับศูนย์พอดี คือเป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

$$I_{L,min} = V_0 \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0 \quad (2.31)$$

$$\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)}{2Lf}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2Lf} \quad (2.32)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{min}} \quad (2.33)$$

สมการที่ (2.31) ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรยังสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ซึ่งจะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ดังสมการที่ (2.32) ดังนั้นหากต้องการจะออกแบบให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดโดยที่วงจรยังทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ก็จะสามารถเลือกออกแบบได้สองแนวทางคือกรณีที่หนึ่ง การพยายามทำให้เศษในสมการที่ (2.32) มีค่าน้อยที่สุดโดยการทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้หนึ่งทำให้ไหลลด R มีค่าน้อย ๆ แต่

ผลกระทบที่เกิดขึ้น คือกระแสไหลจะมีค่าสูง ส่วนอีกกรณีหนึ่งพยายามทำให้ค่าส่วนหรือต้องการในสมการที่ (2.32) มีค่ามาก ๆ เช่น ความถี่ในการสวิตช์เพิ่มขึ้นจาก 50 kHz เป็น 100 kHz ก็จะทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบเล็กลงสองเท่าได้เช่นกัน ส่วนสมการที่ (2.33) ใช้สำหรับการพิจารณาหาความถี่ในการสวิตช์ที่เหมาะสม เมื่อตัวเหนี่ยวนำถูกกำหนดค่าความเหนี่ยวนำ [6]

2.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออน

เนื่องจากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทำให้วัสดุที่ใช้สร้างแบตเตอรี่สำหรับโทรศัพท์มือถือมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตาม ปัจจุบันในท้องตลาดแบตเตอรี่ที่นิยมใช้สำหรับโทรศัพท์มือถือเป็นชนิดลิเทียม-อออน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดีข้อเสียดังต่อไปนี้

2.3.1 ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออน

- 1) มีความหนาแน่นของพลังงานสูง หมายความว่าในปริมาตรและน้ำหนักที่เท่ากัน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออน สามารถสะสมพลังงานได้มากกว่า
- 2) แรงดันสูง แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออนให้แรงดัน 3.7 V ซึ่งมีค่าเท่ากับการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้เกิด แคดเมียมมาต่ออนุกรมกันถึงสามก้อนจึงจะได้แรงดันเท่ากัน
- 3) กระแสและแรงดันสูงมากพอที่จะใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ฮาร์ดดิส และฟลอปปีดิส ได้ด้วยแบตเตอรี่เพียงก้อนเดียว
- 4) มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถอัดประจุและคายประจุได้ยาวนาน
- 5) ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุที่สั้น ตัวอัดประจุที่มีแรงดันในการอัดประจุ 4.2 V สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออนได้เต็มในเวลาเพียง 1-2 ชั่วโมง

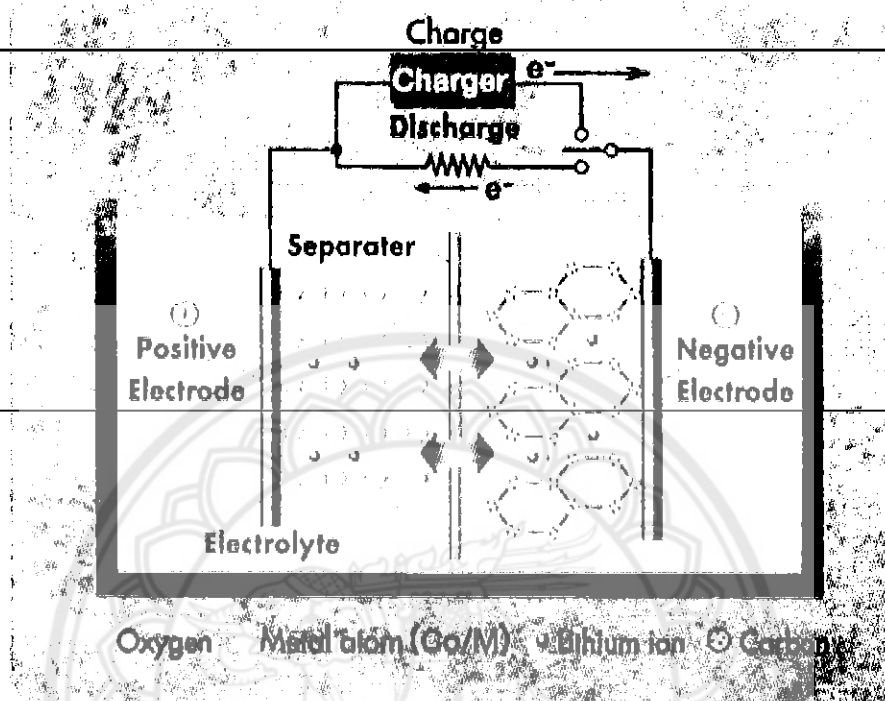
2.3.2 ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออน

หากแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ และทำลายทิ้งได้ยากก่อให้เกิดมลพิษได้

2.3.3 การทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออน

จากรูปที่ 2.20 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออนไม่ได้ใช้โลหะลิเทียมในการทำขั้วลบ แต่จะมีการใช้สารคาร์บอนที่สามารถที่จะซึมซับและคายอออนของลิเทียมได้ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมธรรมดา กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออนขึ้น นั่นคือ สิ่งที่จะเกิดขึ้นระหว่างการอัดประจุและคายประจุในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อออนจะไม่มี การ

เปลี่ยนแปลงของตัวสารเคมีที่อยู่ภายในเหมือนกับในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมธรรมดาแต่จะมีแค่การเคลื่อนที่ของไอออนไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดผ่านตัวที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้สารเคมีที่อยู่ภายในปะปนกันเท่านั้น

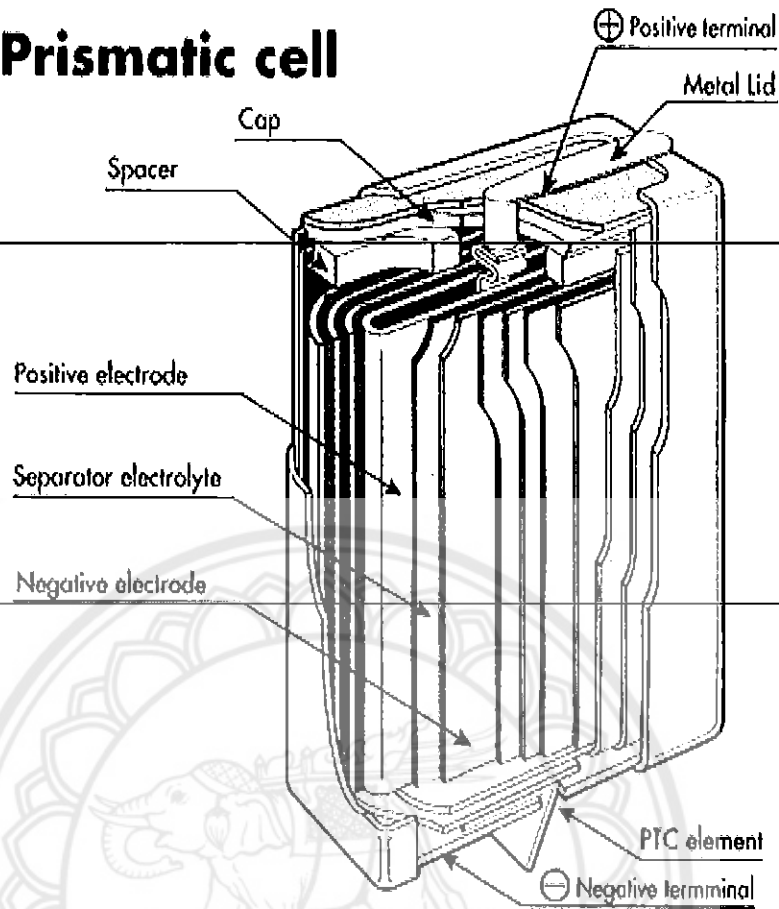


รูปที่ 2.20 การทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน [7]

2.3.4 โครงสร้างภายในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน

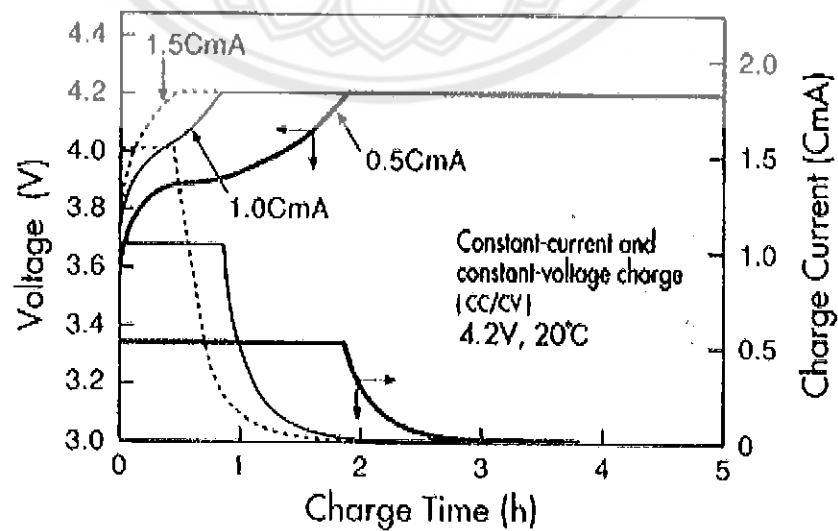
รูปที่ 2.21 แสดงส่วนประกอบภายในโครงสร้างแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน ในขณะที่รูปที่ 2.22 แสดงกราฟคุณลักษณะของการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน ซึ่งจะแบ่งเป็นสองแบบคือ กระแสคงที่ (เส้นบน) และแรงดันคงที่ (เส้นล่าง) โดยแสดงให้เห็นเวลาที่ใช้ในการอัดประจุซึ่งหากเราใช้การอัดประจุแบบกระแสคงที่ แล้วอัดประจุที่กระแสครึ่งหนึ่งของความจุแบตเตอรี่ควรจะใช้เวลาในการอัดประจุสองชั่วโมงแบตเตอรี่จึงจะเต็มที่แรงดัน 4.2 V แต่ถ้าหากใช้ระบบแรงดันคงที่ในการอัดประจุโดยอัดประจุที่ 4.2 V จะอัดประจุเต็มในเวลาสองชั่วโมงเช่นกัน โดยกระแสอัดประจุจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อใกล้จะเต็ม โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่า หลังจากเวลาผ่านไปสองชั่วโมงครึ่งกระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่มีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ วงจรอัดประจุในแบตเตอรี่จะใช้ทั้งสองแบบร่วมกัน โดยในช่วงแรกจะใช้การอัดประจุแบบกระแสคงที่เพื่อเป็นการถนอมแบตเตอรี่ไม่ให้มีกระแสไหลเข้าไปอัดประจุสูงจนเกินไป เมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้วจะเปลี่ยนไปใช้การอัดประจุแบบแรงดันคงที่เพื่อไม่ให้เกิดการอัดประจุเกิน (Overcharge)

■ Prismatic cell



รูปที่ 2.21 โครงสร้างภายในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์ [7]

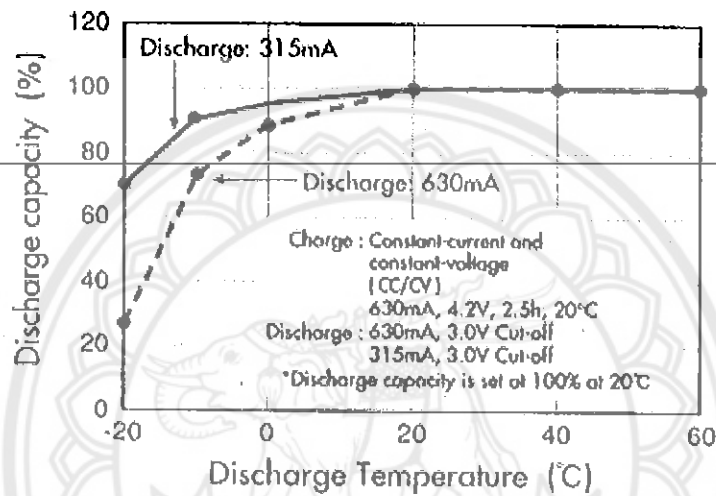
● Charge Characteristics ●



รูปที่ 2.22 กราฟคุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์ระหว่างการอัดประจุ [7]

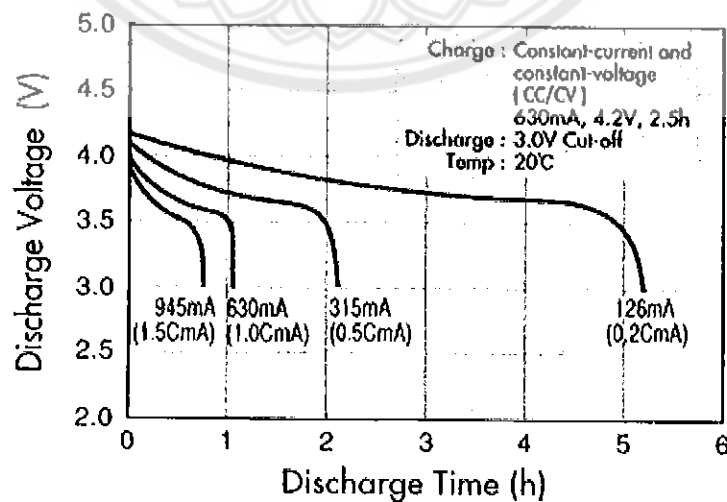
ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อ็อกไซด์ได้รับผลจากอุณหภูมิของแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2.23 จากรูปจะเห็นว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20°C ในขณะที่รูปที่ 2.24 แสดงกราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ จะเห็นว่าระยะเวลาในการใช้งานขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่คายประจุ และแรงดันจะค่อย ๆ ตกลงมาจนเกือบถึง 3.5 V แล้วจึงตกลงอย่างรวดเร็ว จึงไม่ควรใช้งานแบตเตอรี่ที่แรงดันต่ำกว่าค่านี [7]

● Discharge Temperature Characteristics ●



รูปที่ 2.23 ผลของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ต่อกระแสที่สามารถจ่ายได้ [7]

● Discharge Characteristics ●



รูปที่ 2.24 ระยะเวลาที่สามารถใช้งานได้เมื่อใช้งานที่กระแสนขนาดต่าง ๆ กัน [7]

2.3.5 ข้อแนะนำการใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อิกอนสำหรับโทรศัพท์มือถือ

- 1) ใช้กับเครื่อง โทรศัพท์มือถือที่ออกแบบเพื่อใช้กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อิกอน โดยเฉพาะ
- 2) ใช้ตัวอัดประจุที่มีประสิทธิภาพและใช้สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-อิกอนเท่านั้น
- 3) สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ทุกเมื่อ โดยไม่จำเป็นที่โทรศัพท์มือถือต้องแสดงสถานะ "Low battery" (นั่นคือ เหลือพลังงานในแบตเตอรี่เหลือ ไม่เพียงพอ) เพราะแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการจำรอบการอัดประจุที่สั้นลงของแบตเตอรี่ (Memory effect)
- 4) ควรปิดเครื่อง โทรศัพท์มือถือก่อนเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุกครั้ง

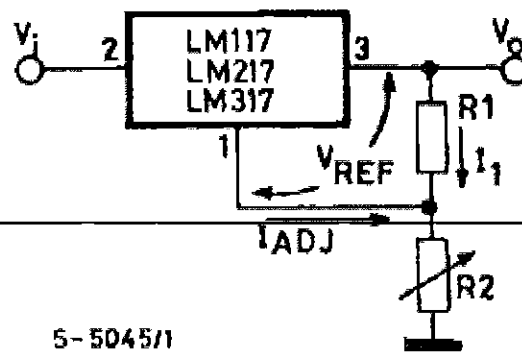
2.3.6 ข้อควรระวังในการใช้แบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือรุ่นที่เป็นแบบลิเทียม-อิกอน

- 1) ห้ามนำแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม อิกอน ไปอัดประจุกับตัวอัดประจุที่ไม่ได้มาตรฐานโดยเด็ดขาด เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสียหาย
- 2) ควรเก็บแบตเตอรี่ไว้ในที่ ๆ อุณหภูมิต่ำ หลีกเลี่ยงแสงแดด ความชื้น และฝุ่นละออง
- 3) หลีกเลี่ยงการสัมผัสระหว่างโลหะบนแบตเตอรี่
- 4) ไม่ควรตัดแปลงหรือแก้ไขแบตเตอรี่เอง โดยไม่ได้รับคำแนะนำจากผู้ชำนาญงาน

2.4 วงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของ โทรศัพท์มือถือยี่ห้อและรุ่นต่าง ๆ ที่มีทั่วไปในท้องตลาด พบว่าส่วนใหญ่มีการกำหนดค่าแรงดันอัดประจุไว้ที่ 5 V และค่ากระแสอัดประจุสูงสุดไว้ที่ 0.5 A และมีบางรุ่นบางยี่ห้อที่กำหนดไว้ที่ 0.7 และ 0.8 A ในโครงการนี้แรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันจะถูกรักษาให้คงที่ที่ 5 V ด้วยไอซีวงจรคุมค่าแรงดัน หมายเลข LM317T ซึ่งสามารถจำกัดกระแสด้านออกไม่ให้เกิน 1.0 A

อย่างไรก็ตามระดับแรงดันที่ LM317T สามารถรักษาให้คงที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.2-37 V โดยต่อวงจรตามรูปที่ 2.25 ในที่นี้การเลือกค่าแรงดันด้านออกของวงจรที่จะรักษาให้คงที่สามารถทำได้โดยปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ R2 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ก) [8]



รูปที่ 2.25 วงจรใช้งานเบื้องต้นของไอซี LM317T [8]

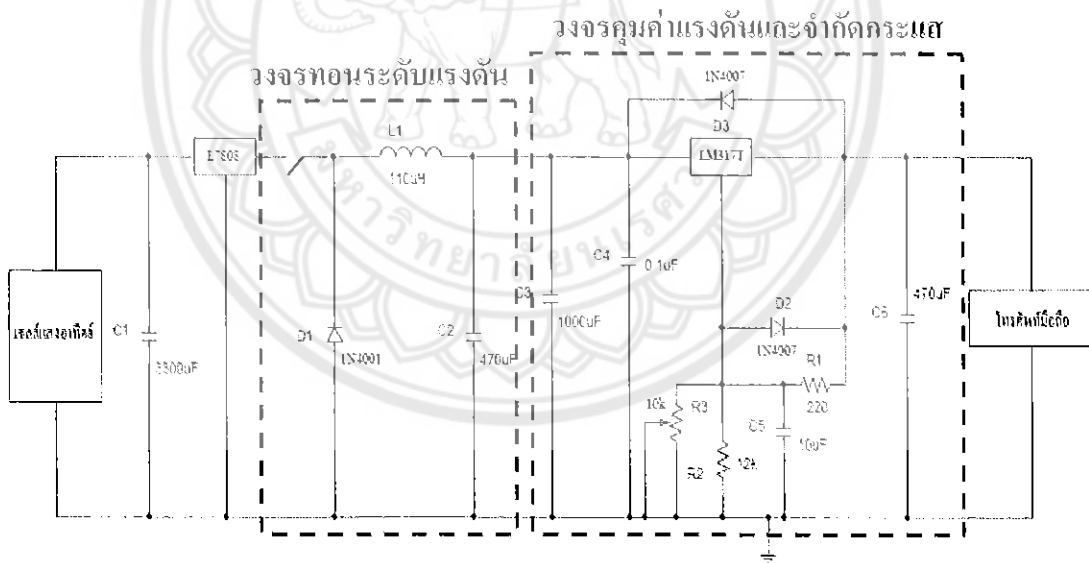


บทที่ 3

การสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ

3.1 การออกแบบวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ

ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นโครงงานนี้ถูกออกแบบให้รับไฟกระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้แรงดันด้านออกตั้งแต่ 8 V ขึ้นไป วงจรภายในตัวควบคุมฯปรับลดระดับแรงดันให้ต่ำลงและมีค่าคงที่ที่ 8 V ด้วยไอซีหมายเลข L7808 แรงดันที่ได้นี้จะถูกปรับลดด้วยวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งออกแบบจ่ายแรงดันด้านออกคงที่เท่ากับ 6 V แต่วงจรทอนระดับแรงดันจะทำให้กระแสด้านออกมีค่าสูงกว่ากระแสด้านเข้า เนื่องจากเราต้องการจำกัดกระแสอัดประจุ จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนที่ใช้จำกัดกระแสเข้าไปถัดจากวงจรทอนระดับแรงดันดังรูปที่ 3.1 ในที่นี้เลือกใช้ไอซีหมายเลข LM317T มาสร้างวงจรคุมค่าแรงดัน โดยสามารถปรับเลือกค่าแรงดันที่ต้องการรักษาให้คงที่ได้ในช่วง 0-6 V และ LM317T สามารถจำกัดกระแสด้านออกไว้ที่ 1 A



รูปที่ 3.1 แผนภาพวงจรในตัวควบคุมการอัดประจุ

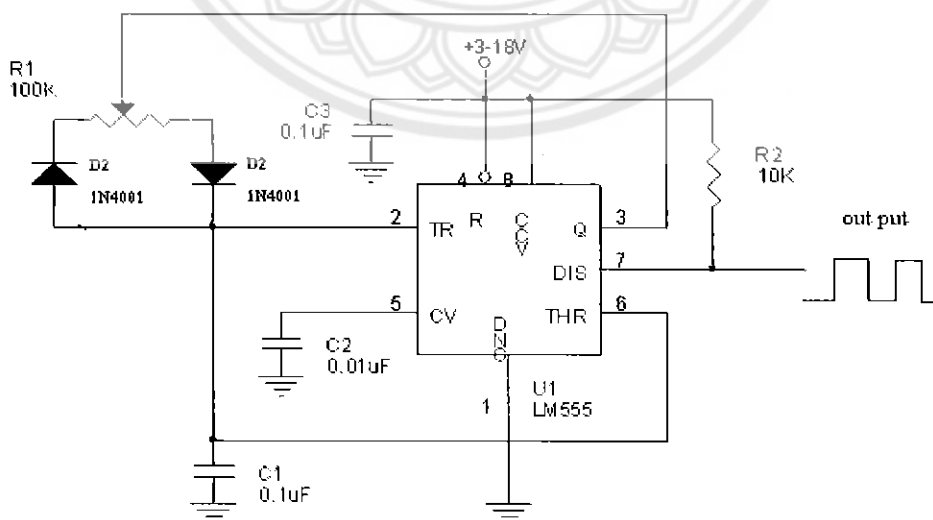
3.2 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน

- ก) เลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core) ซึ่งเหมาะสมจะใช้งานที่ความถี่สูง โดยพิจารณาจากค่าความถี่สวิทชิง ค่ากระแสเฉลี่ย (Average current) ในที่นี้ใช้ตัวเหนี่ยวนำ 110 μH

- ข) การเลือกตัวเก็บประจุจะพิจารณาจากค่าพิกัดแรงดัน ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic capacitor) มีค่าความจุไฟฟ้า 470 μF และมีพิกัดแรงดัน 25 V
- ค) ใช้ไดโอด 1N4001 จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถทนแรงดันย้อนกลับในวงจรได้
- ง) เลือกใช้มอสเฟตกำลังหมายเลข IRF9540N เป็นชนิด p-channel ซึ่งทนกระแสและแรงดันได้สูงและมีกำลังสูญเสียภายในต่ำ พิกัดกระแส 23 A พิกัดแรงดัน 100 V และค่าความต้านทานขณะนำกระแส 117 $\text{m}\Omega$
- จ) เลือกใช้แผ่นระบายความร้อนแบบฉีดเป็นเส้น (Extrude heat sink) เพื่อระบายความร้อนให้มอสเฟตกำลัง IRF9540N

3.3 การสร้างวงจรควบคุมสวิตช์

ในโครงการนี้ วงจรทอนระดับแรงดันใช้มอสเฟต IRF9540N ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยเราควบคุมการทำงานของมอสเฟตด้วยสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มซึ่งสร้างจากไอซีหมายเลข NE555 ค่าดีวตีไซเคิลของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยต่อ NE555 กับวงจรดังรูปที่ 3.2 การปรับค่า R1 ในวงจรสามารถทำให้ค่าดีวตีไซเคิลเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการตั้งแต่ 0% ถึง 100%



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

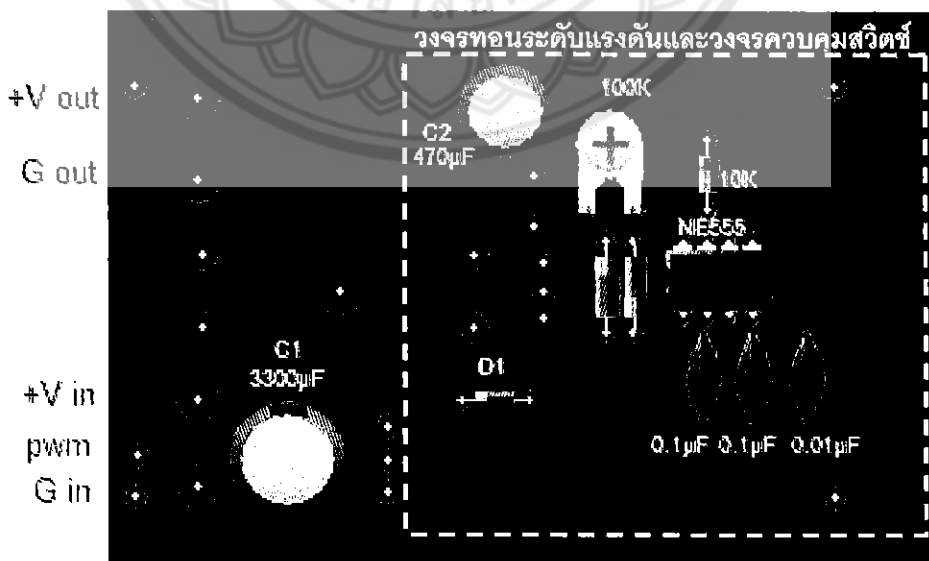
3.4 การสร้างวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส

วงจรคุมค่าแรงดันในโครงการนี้มีหน้าที่รักษาระดับแรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯ ให้มีค่าคงที่ โดยสามารถเลือกค่าระดับแรงดันได้ในช่วง 1.2-6 V ในที่นี้เลือกปรับตั้งไว้ที่ 5 V นอกจากนี้วงจรยังสามารถจำกัดกระแสไว้ไม่เกิน 1 A เพื่อใช้อัดประจุให้กับโทรศัพท์มือถือที่ต้องการ

จากรูปที่ 3.1 เราเลือกใช้ไอซีวงจรคุมค่าแรงดันหมายเลข LM317T เพื่อจำกัดกระแสด้านออกไว้ไม่เกิน 1 A และเมื่อนำไอซีนี้มาต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก ได้แก่ ตัวต้านทานค่าคงที่และตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังที่ได้อธิบายหลักการไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ทำให้สามารถปรับค่าแรงดันด้านออกได้ในช่วง 1.2-6 V ในโครงการนี้เราจะปรับค่าแรงดันด้านออกไว้ที่ 5 V นอกจากนี้ยังใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 kΩ ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งค่าแรงดันด้านออกของ LM317T (ดูรูปที่ 2.25 ประกอบ) และใช้ไดโอด 1N4007 เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ

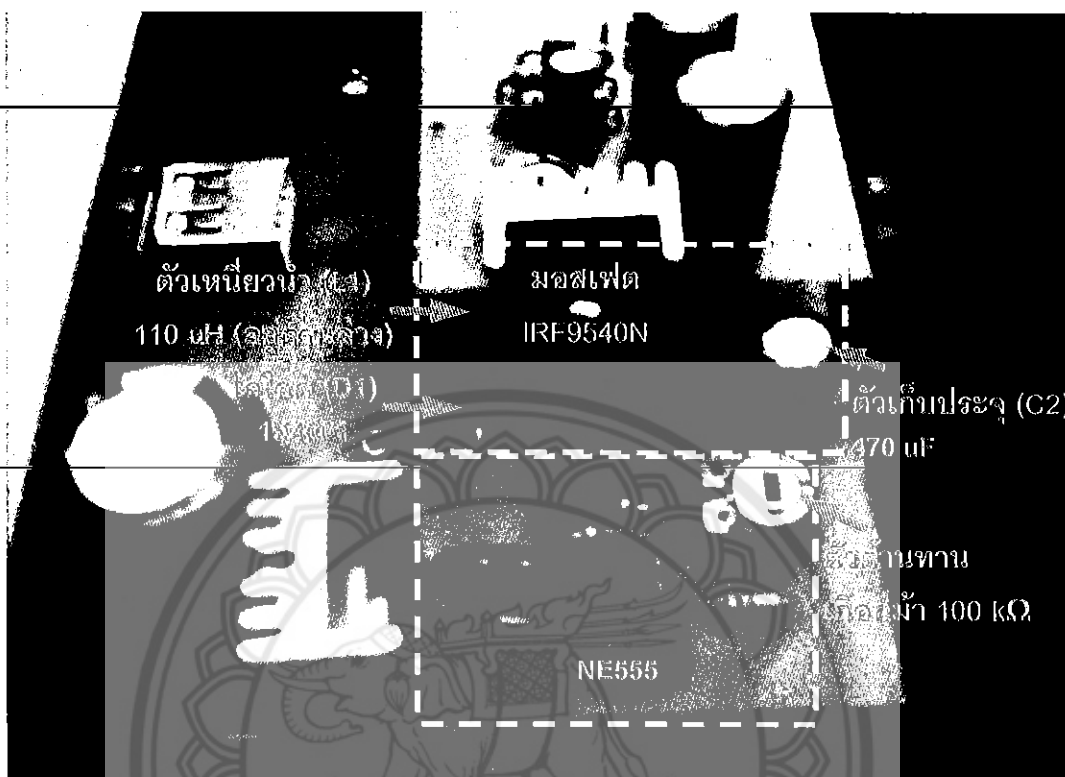
3.5 การประกอบตัวควบคุมการอัดประจุ

หลังจากต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทดลองการทำงานของวงจรต่าง ๆ บนโปรโตบอร์ด (Protoboard) แล้วจึงทำการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม PCB Wizard สำหรับติดตั้งวงจรทั้งหมดของตัวควบคุมการอัดประจุลงบนแผง PCB ได้ดังรูปที่ 3.3

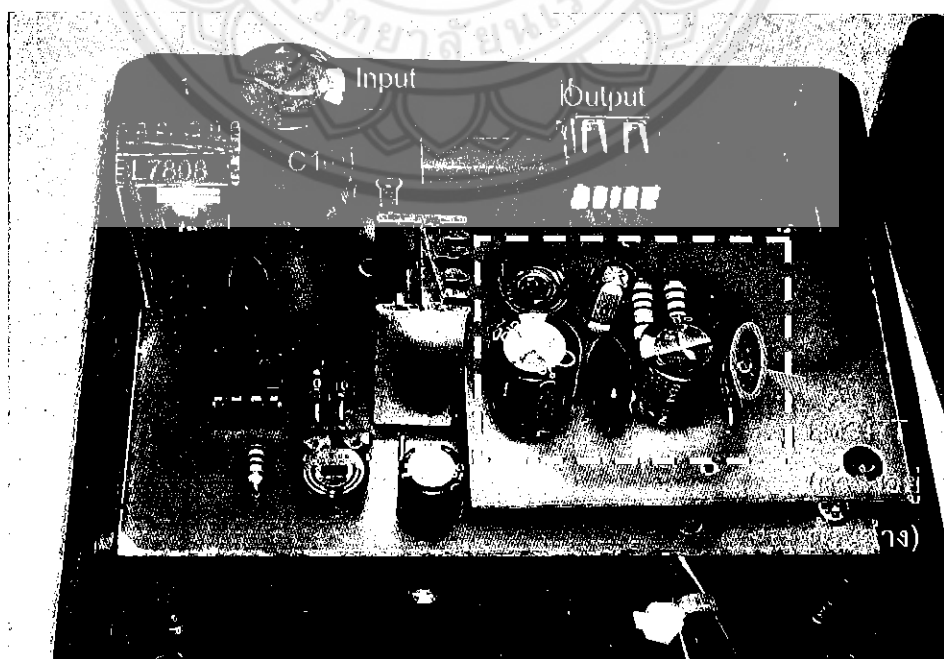


รูปที่ 3.3 ลายวงจรของชุดวงจรของตัวควบคุมการอัดประจุ

ซ) ติดตั้งอุปกรณ์ตามลายวงจรที่ออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การติดตั้งวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรควบคุมสวิทช์



รูปที่ 3.5 การติดตั้งวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส

เพื่อความเรียบร้อยของชิ้นงาน ชุดวงจรของตัวควบคุมฯที่ติดตั้งบนแผง PCB ถูกประกอบอยู่ในกล่องอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้ แรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯถูกวัดค่าและแสดงผลบนหน้าจอของมาตรวัดแรงดัน (Voltmeter) ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของกล่องดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

หลังจากการศึกษาการทำงานของวงจรถอนระดับแรงดัน และวงจรมุมค่าแรงดันในบทที่ 2 และการสร้างตัวควบคุมการอัดประจุโทรศัพท์มือถือในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการทดสอบการทำงานของตัวควบคุมที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดสอบการคุมค่าแรงดันของ L7808

ส่วนที่ 2 การทดสอบการทำงานของวงจรถอนระดับแรงดัน

ส่วนที่ 3 การวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะอัดประจุ

ส่วนที่ 4 การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ

4.1 การทดสอบการคุมค่าแรงดันของ L7808

หน้าที่ของไอซี L7808 ในโครงการนี้คือจ่ายแรงดันด้านออกของไอซีมีค่าคงที่เท่ากับ 8 V โดยไม่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันด้านเข้า ซึ่งในที่นี้คือแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาพอากาศ การทดสอบการคุมค่าแรงดันของ L7808 ทำโดยจ่ายแรงดันที่มีค่าเปลี่ยนแปลงได้จากแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงให้กับ L7808 ในการทดลองได้ปรับค่าแรงดันของแหล่งกำเนิดและบันทึกค่าแรงดันด้านออกของ L7808 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการคุมค่าแรงดันที่ 8 V ของ L7808

แรงดันด้านเข้า (V)	แรงดันด้านออก (V)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
9	8.0	0.00
10	8.4	5.00
11	8.2	2.50
12	8.0	0.00
13	8.1	1.25
14	8.1	1.25
15	8.4	5.00

จากตารางที่ 4.1 ตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านเข้า 9-15 V ไอซี L7808 สามารถรักษาระดับแรงดันได้ค่อนข้างคงที่ที่ 8 V โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 5%

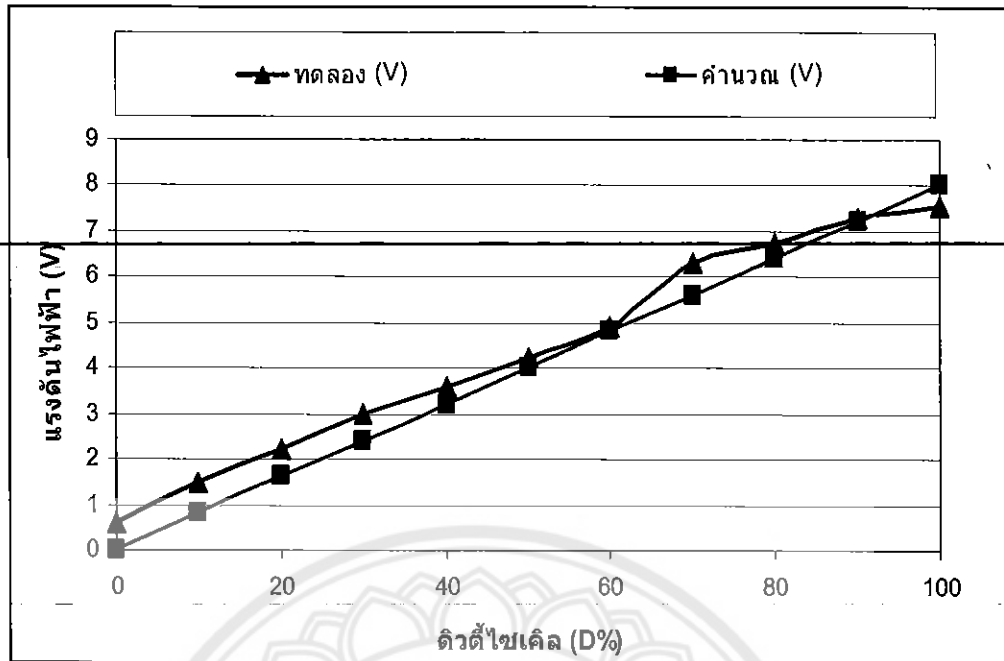
4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

เนื่องจากภายในตัวควบคุมฯ วงจรทอนระดับแรงดันจะรับแรงดันด้านเข้ามาจากไอซี L7808 ในการทดสอบนี้จึงจ่ายแรงดัน 8 V ให้วงจรทอนระดับแรงดัน จากนั้นปรับค่าดิวิตซ์ไคเกิลตั้งแต่ 0-100% แล้ววัดค่าแรงดันด้านออกของวงจรได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การปรับค่าดิวิตซ์ไคเกิลโดยที่ปรับแรงดันด้านเข้าคงที่

ดิวิตซ์ไคเกิล (%)	V_{out} (V)		
	จากการทดลอง	จากการคำนวณ	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
0	0.6	0	-
10	1.48	0.80	85.0
20	2.23	1.60	39.4
30	2.98	2.40	24.2
40	3.57	3.2	11.6
50	4.22	4.0	5.5
60	4.92	4.80	2.5
70	6.27	5.60	12
80	6.72	6.40	5.0
90	7.31	7.20	1.5
100	7.53	8.00	-5.9

เมื่อนำค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการคำนวณไปวาดกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.1 จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณมีค่ามากในช่วงที่ค่าดิวิตซ์ไคเกิลช่วงต่ำกว่า 50% ทั้งนี้เป็นเพราะการปรับค่าดิวิตซ์ไคเกิลทำโดยการปรับค่าของตัวต้านทานเก็อกมาในวงจรซึ่งมีความละเอียดต่ำ จึงก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อต้องการปรับตั้งที่ค่าดิวิตซ์ไคเกิลต่ำ ซึ่งสังเกตได้ในระหว่างการทดลอง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดัน

อย่างไรก็ตาม จากการออกแบบการทำงานของวงจรถอนในโครงงานนี้ได้ปรับตั้งค่าดิวตี้ไซเคิลด้วยการปรับค่าความต้านทานของ R1 จนได้แรงดันด้านออกของวงจรถอนระดับแรงดันมีค่าเท่ากับ 6 V นั่นคือปรับตั้งให้ค่าดิวตี้ไซเคิลไว้ที่ 75% (ตามทฤษฎี) เพื่อป้อนให้กับวงจรถอนระดับแรงดันและจำกัดกระแสต่อไป

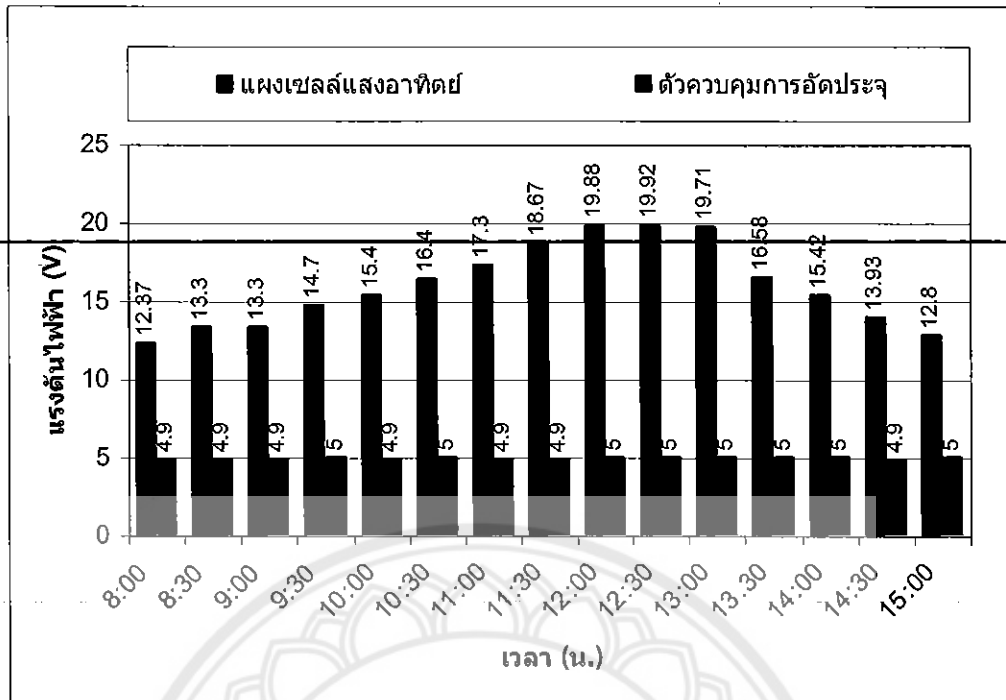
4.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะอัดประจุ

การทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันและกระแสด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งแสดงค่าแรงดันด้านออกของตัวควบคุมการอัดประจุที่ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยในที่นี้ได้ทำการวัดกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อตัวต้านทานค่าน้อย ๆ อนุกรมเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้ววัดค่าแรงดันตกคร่อม จากนั้นคำนวณหาค่ากระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยใช้กฎของโอห์ม โดยตัวต้านทานที่เลือกใช้ในที่นี้เป็นตัวต้านทานกำลัง (Power resistor) ที่มีค่า 0.1 Ω (30 W) การบันทึกค่าได้ดำเนินการทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 8:00 น. ถึง 15:00 น. ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าต่าง ๆ ที่ต้องการในขณะอัดประจุโทรศัพท์มือถือ (ในที่นี้เลือกทดลองกับ โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ G-Net รุ่น G709) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

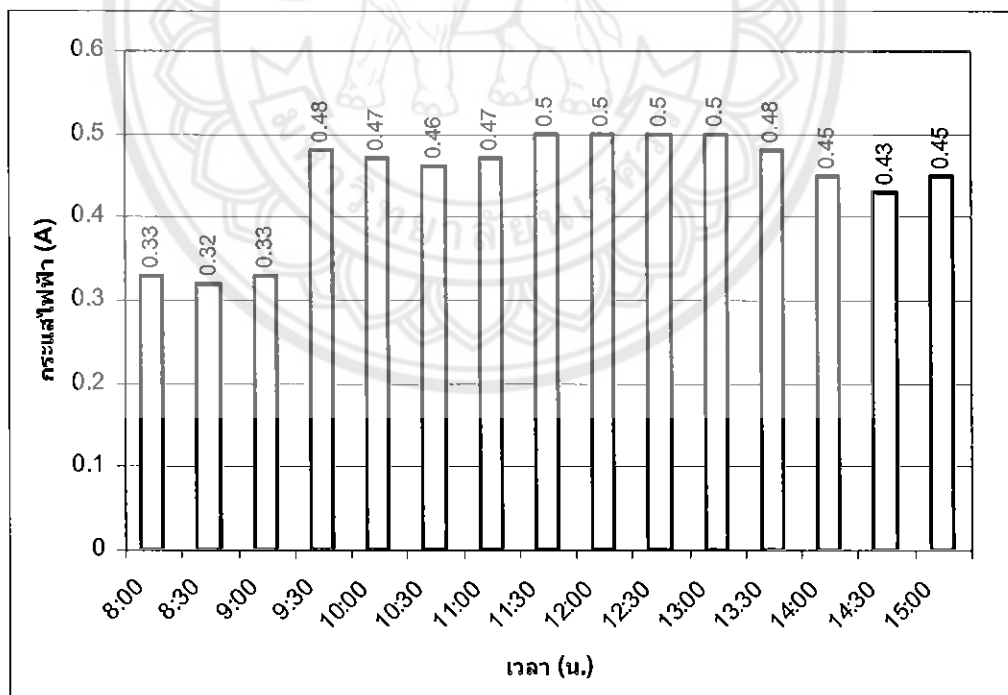
ตารางที่ 4.3 แรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะอัดประจุ

เวลา (น.)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์		แรงดันของตัวควบคุมฯ (V)
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	
08.00	12.37	0.33	4.9
08.30	13.30	0.32	4.9
09.00	13.30	0.33	4.9
09.30	14.70	0.48	5.0
10.00	15.40	0.47	4.9
10.30	16.40	0.46	5.0
11.00	17.30	0.47	4.9
11.30	18.67	0.50	4.9
12.00	19.88	0.50	5.0
12.30	19.92	0.50	5.0
13.00	19.71	0.50	5.0
13.30	16.58	0.48	5.0
14.00	15.42	0.45	5.0
14.30	13.93	0.43	4.9
15.00	12.8	0.45	5.0

เมื่อนำผลการทดลองมาวาดกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 โดยจะเห็นว่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ (โดยเฉพาะความเข้มแสง) ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ในของวันที่ทำการทดลองนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการจ่ายแรงดันและกระแสได้สูงสุดในเวลากลางวัน (ในที่นี้คือที่ 12:30 น.) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ความเข้มแสงมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม ถึงแม้แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดทั้งวัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฯยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันที่ใช้อัดประจุให้คงที่ที่ 5 V โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2%



รูปที่ 4.2 แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และตัวควบคุมฯ ที่ช่วงเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.3 กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ช่วงเวลาต่างๆ

4.4 การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ

การทดสอบส่วนสุดท้ายในโครงการนี้คือการหาระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ โทรศัพท์มือถือ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้น โดยทำการทดสอบ 4 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งได้ดำเนินการในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยเริ่มอัดประจุเมื่อโทรศัพท์ แสดงสถานะของแบตเตอรี่เป็น “Low Battery” (ในที่นี้ได้ทดสอบกับ โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ G-Net รุ่น G709) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุโทรศัพท์มือถือ

ครั้งที่	เวลาเริ่มต้น (น.)	ระยะเวลา (นาที)
1	08.00	150
2	11.00	100
3	13.00	90
4	15.00	140

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการอัดประจุใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด (90 นาที) เมื่อเริ่มอัดประจุที่ 13:00 น. นั้นหมายความว่า การอัดประจุในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากกว่า ย่อมได้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า ส่งผลให้แบตเตอรี่เต็มไวกว่า

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินโครงการและพร้อมให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้มีการศึกษาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรทอนระดับแรงดันแบบเตอริลเทียม-อิลอน และวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส เพื่อออกแบบและสร้างตัวควบคุมการอัดประจุ โทรศัพท์มือถือโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ตัวควบคุมฯถูกออกแบบสำหรับรับแรงดันด้านเข้าสูงกว่า 8 V จึงทำให้สามารถใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปได้ แรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯถูกรักษาไว้ที่ 5 V เพื่อจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ

จากผลการทดสอบในบทที่ 4 จะเห็นว่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ (โดยเฉพาะความเข้มแสง) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน อย่างไรก็ตามในตัวควบคุมฯจะมีตัวเก็บประจุ 3300 μF ต่อขนานกับขั้วด้านเข้าเพื่อลดความพลัวของแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้น ไอซี L7808 จะปรับระดับแรงดันและรักษาให้คงที่ที่ 8 V ก่อนป้อนให้กับวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งจะลดระดับแรงดันลงเหลือ 6 V จากนั้นวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแสจะควบคุมให้แรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯมีค่าคงที่ที่ 5 V และจำกัดกระแสด้านออกของตัวควบคุมฯไม่ให้เกิน 1 A เพื่อให้เหมาะสมกับการอัดประจุ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) สัญญาณพีคบนเบิลยูเอ็มที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ของวงจรทอนระดับแรงดันถูกกำหนดค่าผิดพลาดทำให้เกิดด้วยการปรับค่าของตัวต้านทานเก็กมัว ทำให้ไม่สามารถปรับค่าได้อย่างละเอียด ส่งผลให้ค่าแรงดันด้านออกของวงจรมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีมาก โดยเฉพาะที่ค่าผิดพลาดเกิดต่ำ แนวทางแก้ไขคือเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีความละเอียดสูงขึ้น หรือเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพีคบนเบิลยูเอ็ม

- 2) ไดโอดที่ใช้ในวงจรทอนระดับแรงดันในโครงการไม่สามารถตอบสนองต่อการสวิตชิงที่ความถี่สูงได้อย่างเหมาะสม ทำให้กำลังสูญเสียในการสวิตชิงมีค่ามาก แนวทางแก้ไขคือเปลี่ยนไปใช้ไดโอดชนิด (Fast-recovery diode)

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ตัวควบคุมการอัดประจุที่สร้างขึ้นจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อแรงดันด้านเข้ามีค่าไม่น้อยกว่า 8 V ถ้าหากแรงดันมีค่าน้อยกว่านี้จะทำแรงดันด้านออกของตัวควบคุมฯมีค่าต่ำกว่า 5 V ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการอัดประจุ แนวทางการแก้ไข คือเปลี่ยนใช้วงจรทอน-ทบระดับแรงดัน (Step-up/step-down converter หรือ Buck-boost converter) เพื่อให้ตัวควบคุมฯสามารถรองรับช่วงของแรงดันด้านเข้าได้กว้างขึ้น

นอกจากนี้ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของชิ้นงานที่สร้างขึ้นคือใช้งานได้ช่วงเวลากลางวัน ทำให้ไม่สามารถอัดประจุได้ในเวลากลางคืนหรือช่วงเวลาที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม ดังนั้นเราอาจเพิ่มอุปกรณ์สำรองไฟ (เช่น แบตเตอรี่) ที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก แต่สามารถสะสมพลังงานได้เพียงพอไว้เพื่ออัดประจุโทรศัพท์มือถือในช่วงเวลาที่ความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ซึ่งจะเอื้อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานโทรศัพท์มือถือโดยเฉพาะในขณะที่เดินทางหรืออยู่ในสถานที่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ

เอกสารอ้างอิง

- [1] BP p.l.c, “BP Statistical Review of World Energy June 2009”, London, 2009.
-
- [2] 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.
- [3] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2000”, Paris, 2001.
- [4] Energy Information Administration, “Annual Energy Outlook 2001”, Washington, December 2000.
-
- [5] สมชาย กฤตพลวิวัฒน์, “เทคนิคและการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์”, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร: 2548.
- [6] วีระเชษฐ ชันเงิน และวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์ “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินต์ติ้ง, กรุงเทพฯ, 2547
- [7] <http://www.gadgetrepair.org/index.php/2010-02-13-06-30-43/2010-03-04-16-24-44/48--lithium-ion?showall=1> สืบค้นเมื่อเดือนพฤษภาคม 2553
- [8] นภัทร วัฒนเทพินทร์ “วงจร ไอซีและการประยุกต์ใช้งาน”, บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547.



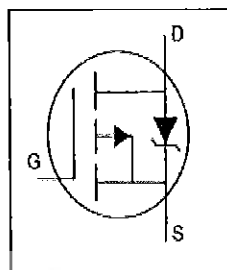
International
IR Rectifier

PD-91437B

IRF9540N

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = -100V$$

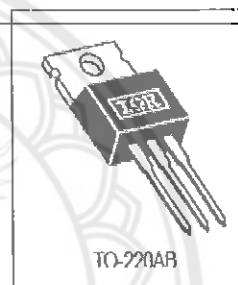
$$R_{DS(on)} = 0.117\Omega$$

$$I_D = -23A$$

Description

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

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



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-23	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-16	
I_{DM}	Pulsed Drain Current Ⓞ	-76	
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	140	W
	Linear Derating Factor	0.91	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy Ⓞ	430	mJ
I_{AR}	Avalanche Current Ⓞ	-11	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy Ⓞ	14	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Ⓞ	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

IRF9540N



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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-100	—	—	V	$V_{GS} = 0\text{V}$, $I_D = -250\mu\text{A}$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.11	—	$\text{V}/^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D = -1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.117	Ω	$V_{GS} = -10\text{V}$, $I_D = -11\text{A}$ @
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = -250\mu\text{A}$
g_{fs}	Forward Transconductance	5.3	—	—	S	$V_{DS} = -50\text{V}$, $I_D = -11\text{A}$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	μA	$V_{DS} = -100\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$
		—	—	-250		$V_{DS} = -80\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20\text{V}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20\text{V}$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	97	nC	$I_D = -11\text{A}$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	15		$V_{DS} = -80\text{V}$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	51		$V_{GS} = -10\text{V}$, See Fig. 6 and 13 @
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	$V_{DD} = -50\text{V}$
t_r	Rise Time	—	67	—		$I_D = -11\text{A}$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	51	—		$R_G = 5.1\Omega$
t_f	Fall Time	—	51	—		$R_D = 4.2\Omega$, See Fig. 10 @
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1300	—	pF	$V_{GS} = 0\text{V}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	400	—		$V_{DS} = -25\text{V}$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	240	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-23	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-76		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = -11\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ @
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	150	220	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_F = -11\text{A}$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	830	1200	nC	$di/dt = -100\text{A}/\mu\text{s}$ @
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

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

② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 7.1\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = -11\text{A}$. (See Figure 12)

③ $I_{SD} \leq -11\text{A}$, $di/dt \leq -470\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$,
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$



IRF9540N

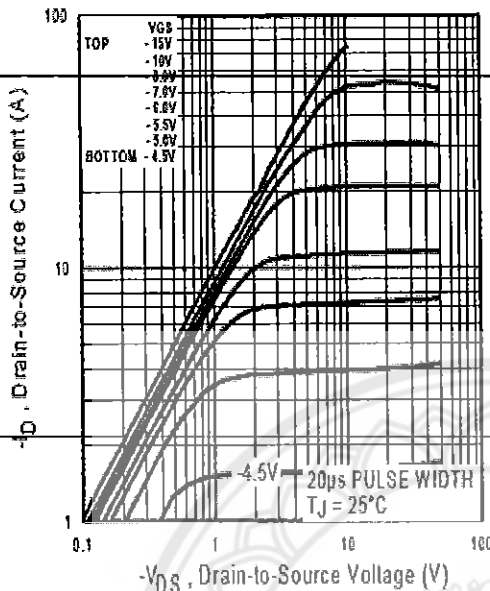


Fig 1. Typical Output Characteristics

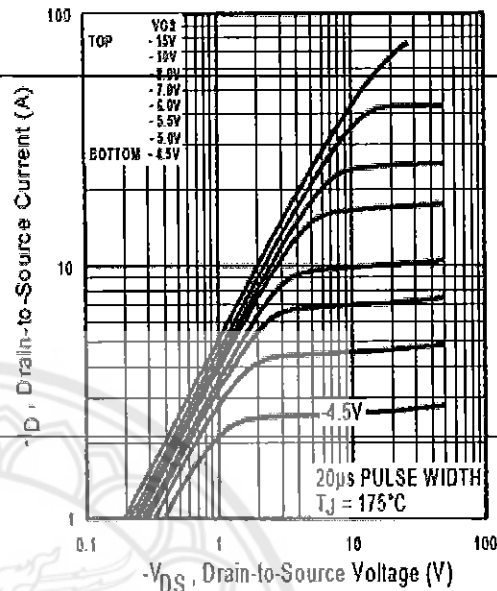


Fig 2. Typical Output Characteristics

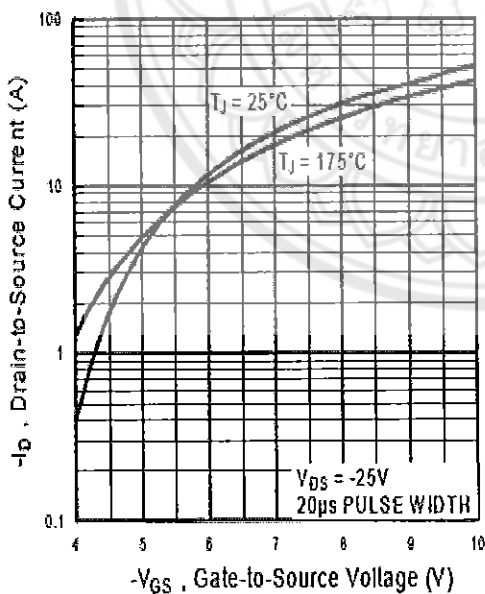


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

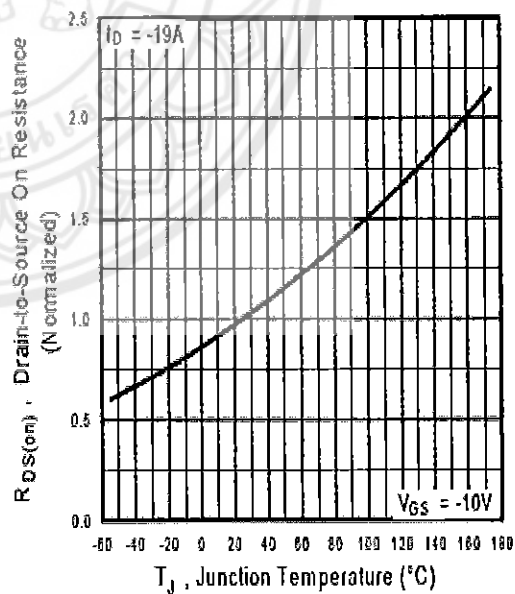


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRF9540N

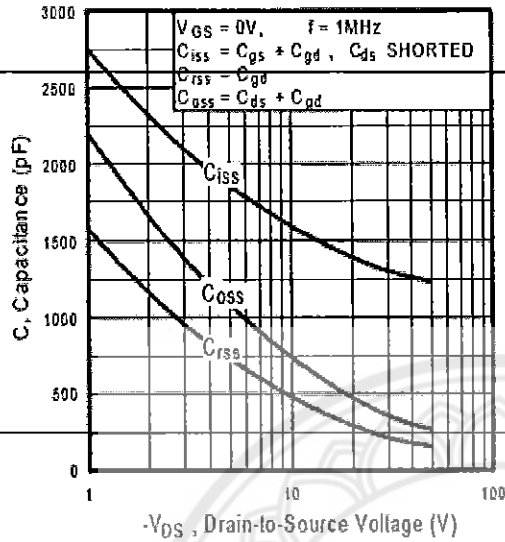


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

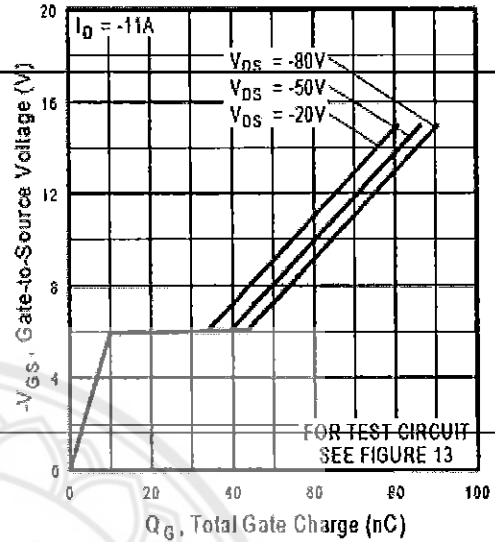


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

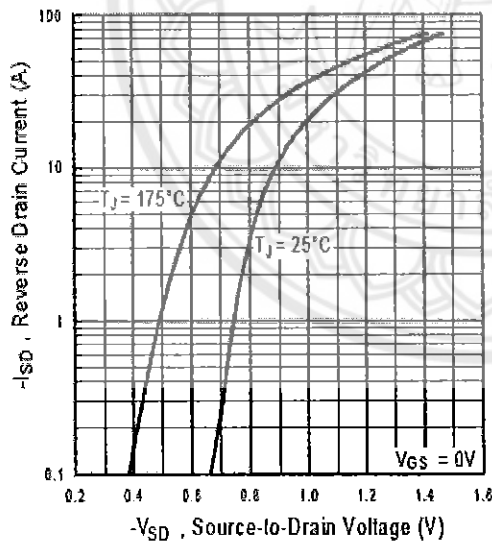


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

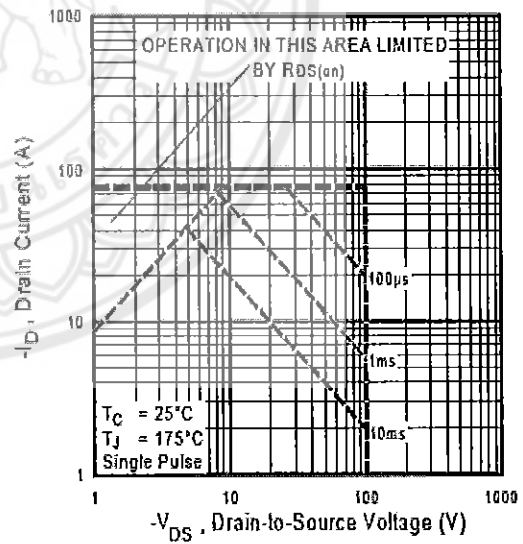


Fig 8. Maximum Safe Operating Area



IRF9540N

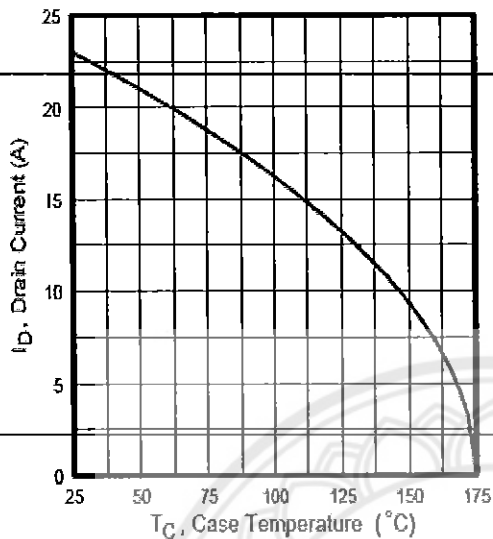


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

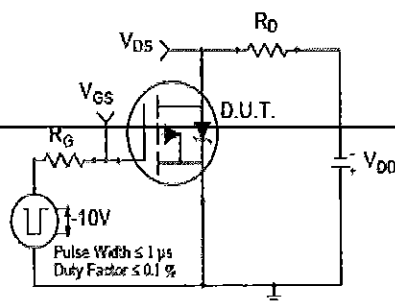


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

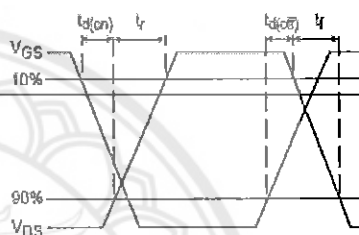


Fig 10b. Switching Time Waveforms

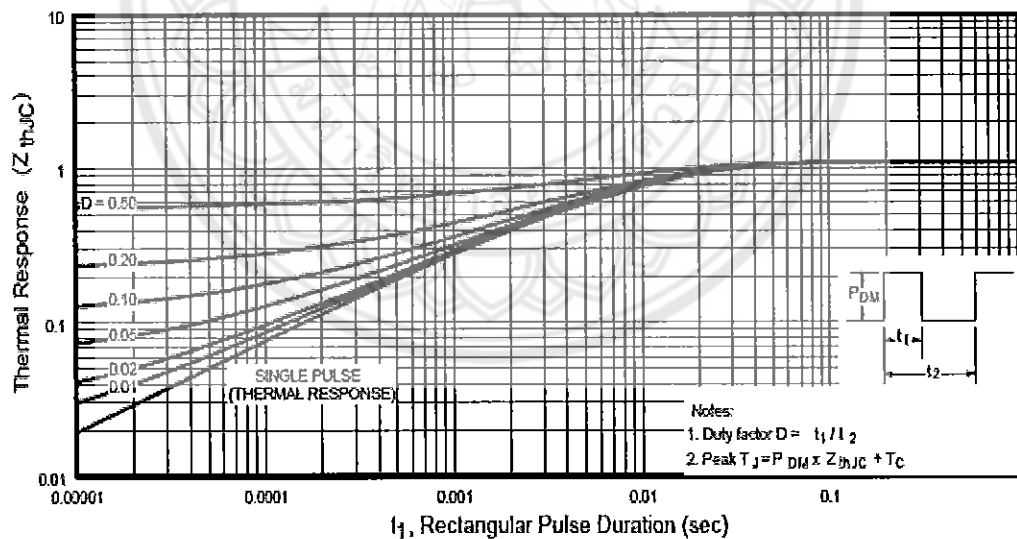


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRF9540N

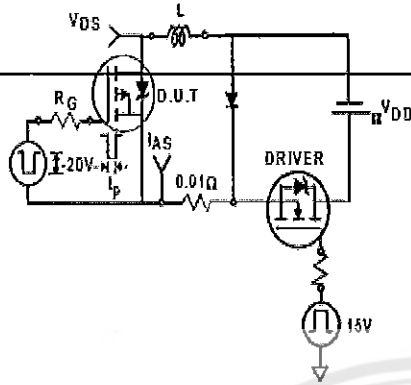


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

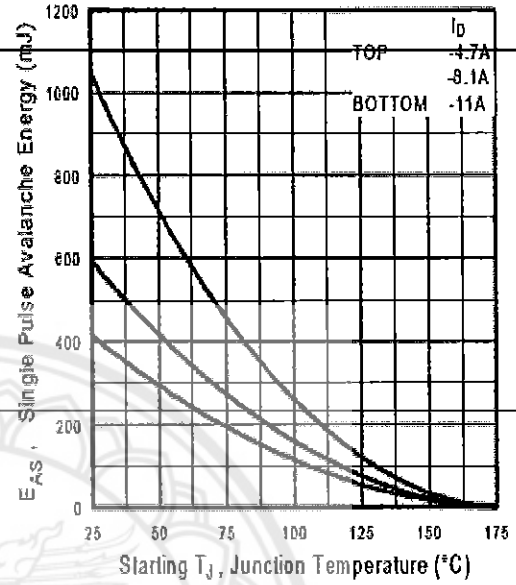


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

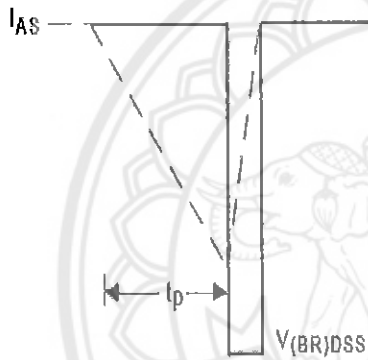


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

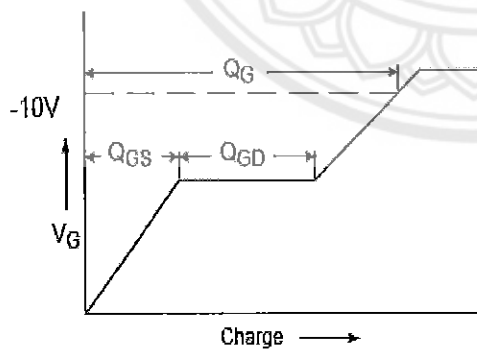


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

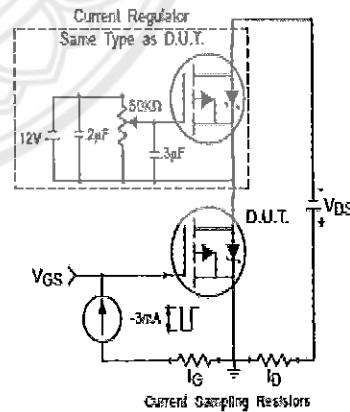
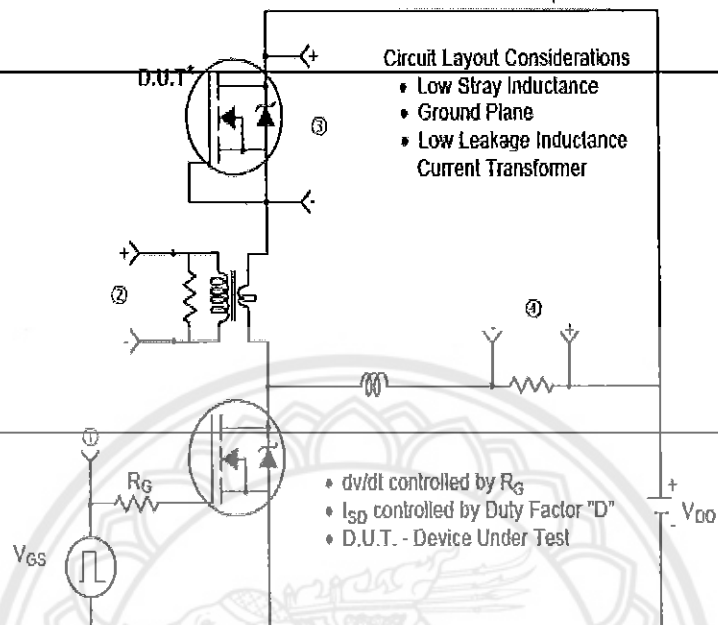


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

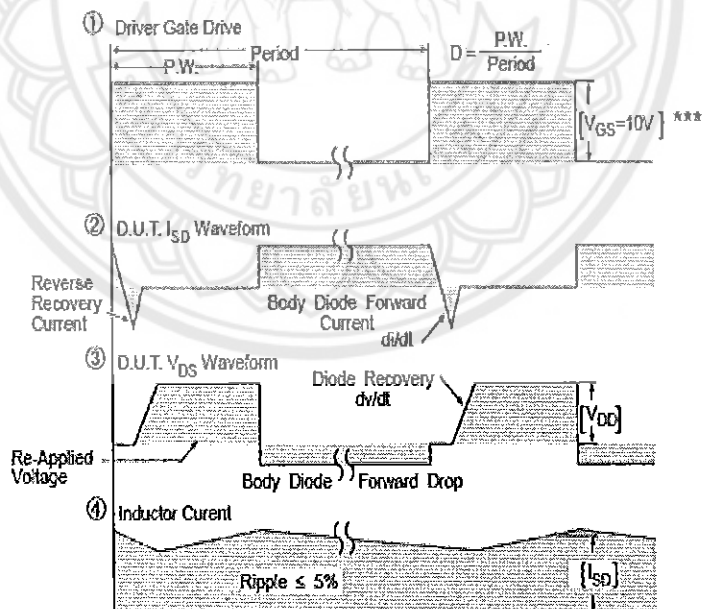


IRF9540N

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



² Reverse Polarity of D.U.T. for P-Channel



*** $V_{GS} = 5.0V$ for Logic Level and 3V Drive Devices

Fig 14. For P-Channel HEXFETS

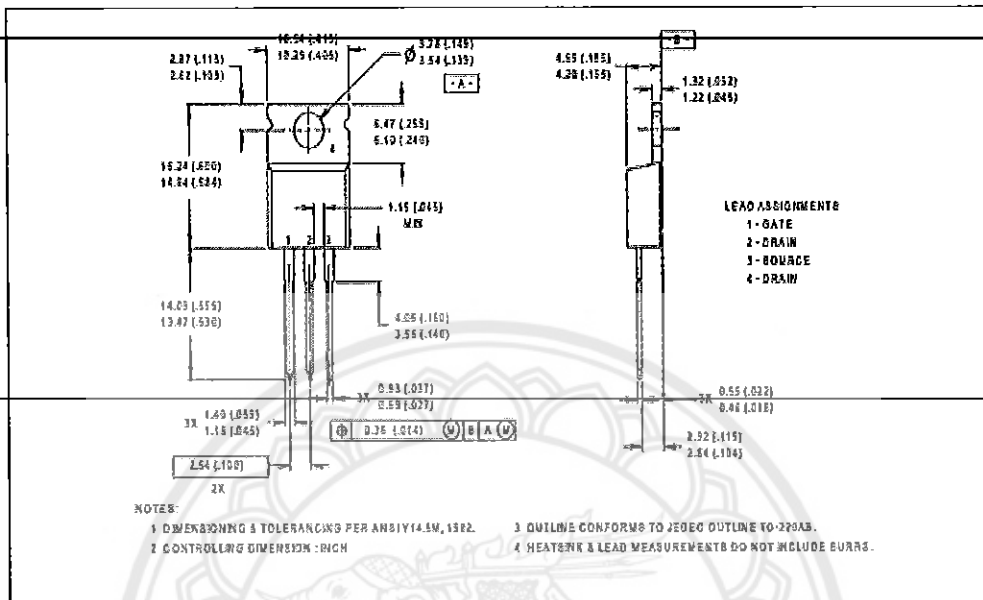
IRF9540N



Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-220AB

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

INTERNATIONAL
 RECTIFIER
 LOGO
 ASSEMBLY
 LOT CODE



PART NUMBER

DATE CODE
 (YYWW)
 YY = YEAR
 WW = WEEK

International
IR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331
 EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020
 IR CANADA: 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897
 IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590
 IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111
 IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086
 IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371
<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 5/98





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.

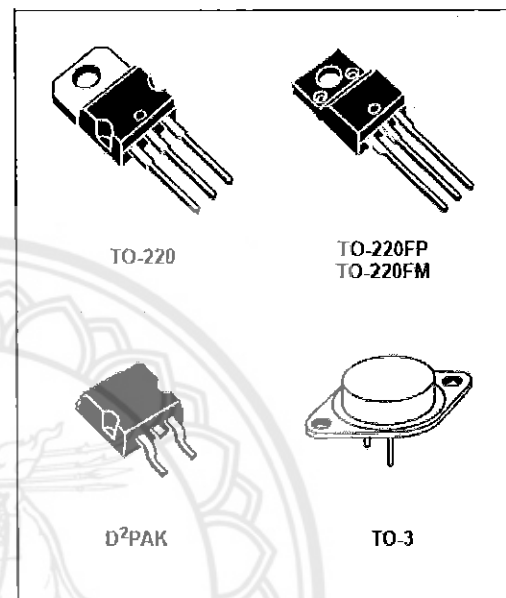
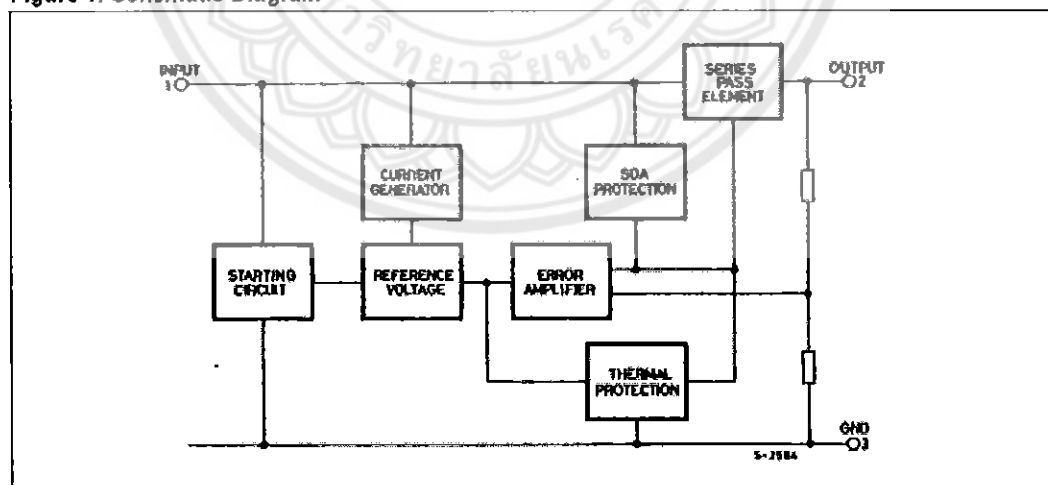


Figure 1: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

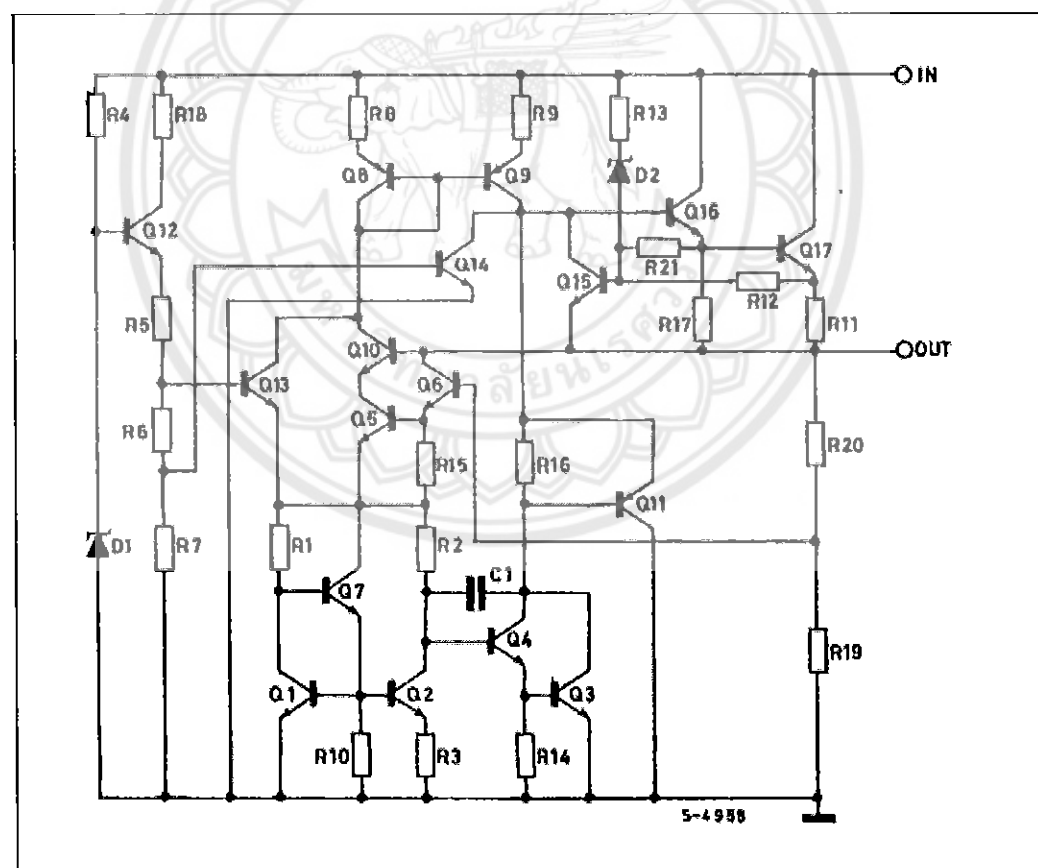
Symbol	Parameter	Value	Unit
V _I	DC Input Voltage	for V _O = 5 to 18V	35
		for V _O = 20, 24V	40
I _O	Output Current	Internally Limited	
P _{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C
T _{op}	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150
		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 _{thj-case}	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	5	4	°C/W
R _{thj-amb}	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)

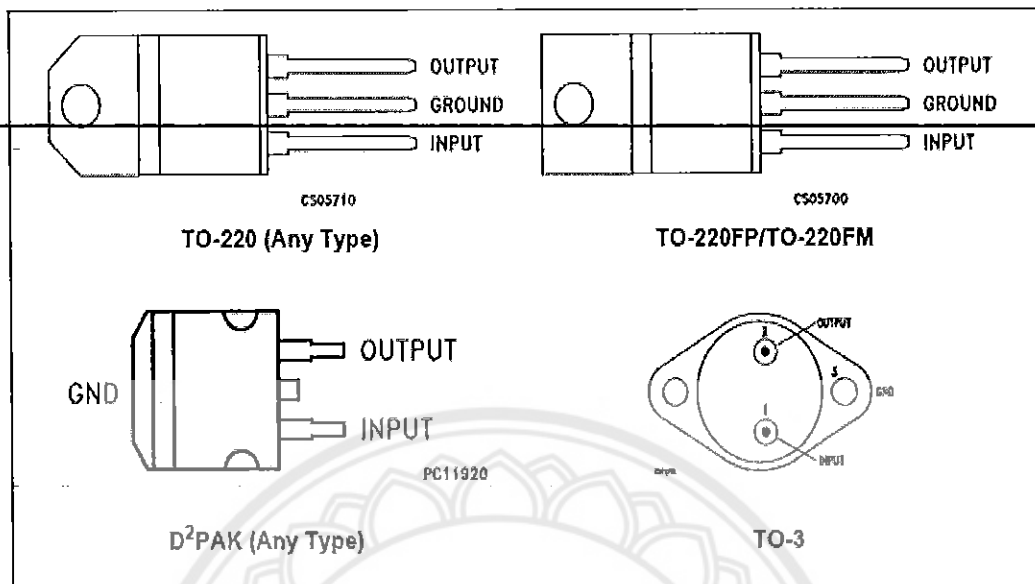
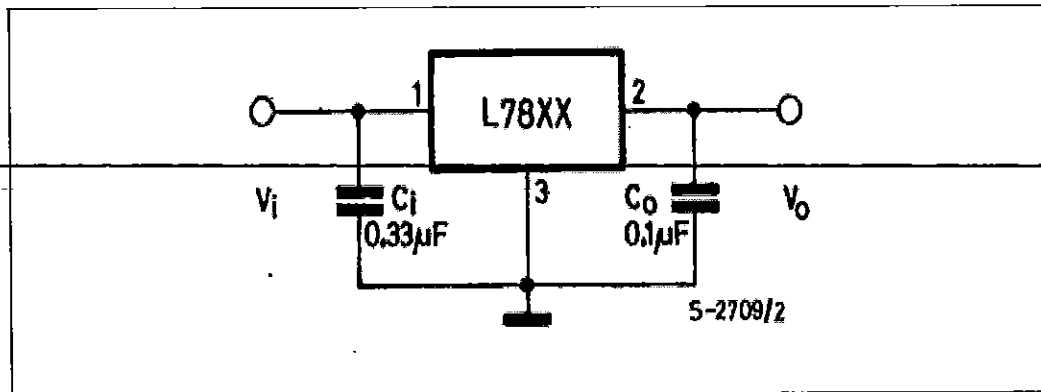


Table 3: Order Codes

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*.

Figure 4: Application Circuits



TEST CIRCUITS

Figure 5: DC Parameter

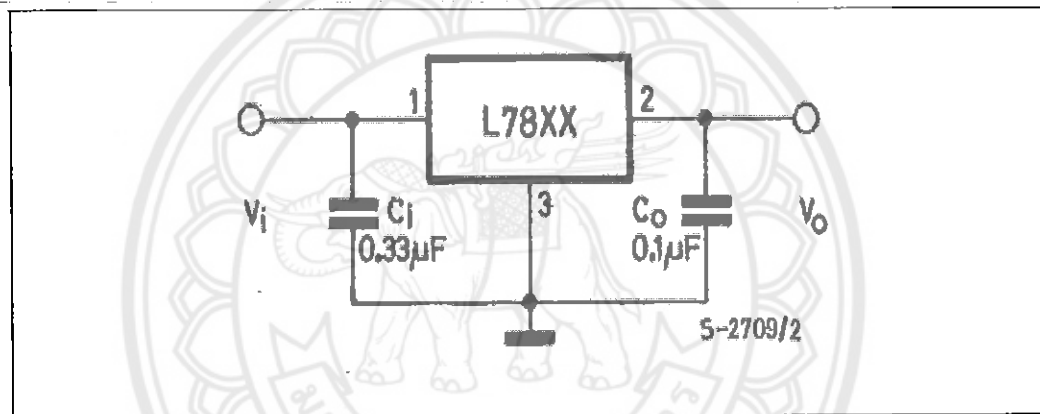


Figure 6: Load Regulation

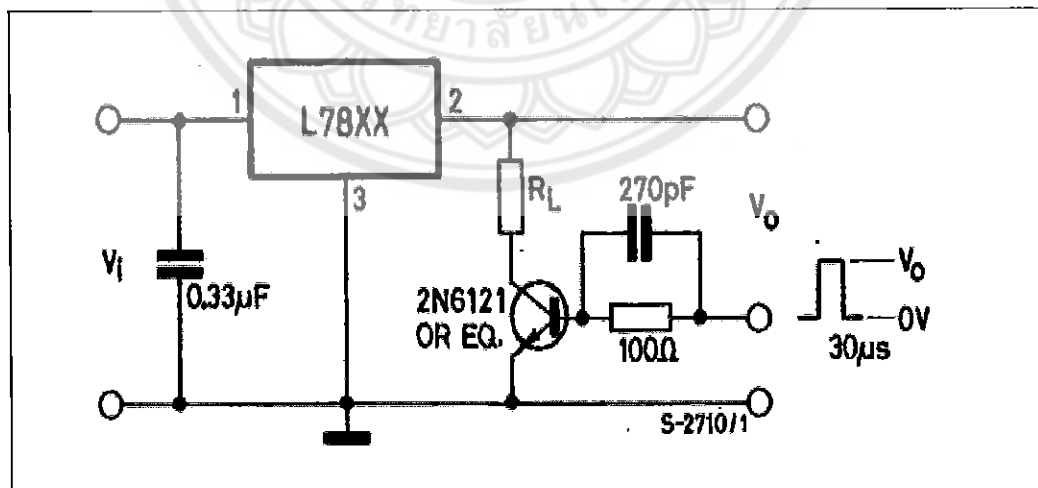


Table 6: Electrical Characteristics Of L7808 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 14\text{V}$, $I_O = 500$ mA, $C_I = 0.33$ μF , $C_O = 0.1$ μF unless otherwise specified).

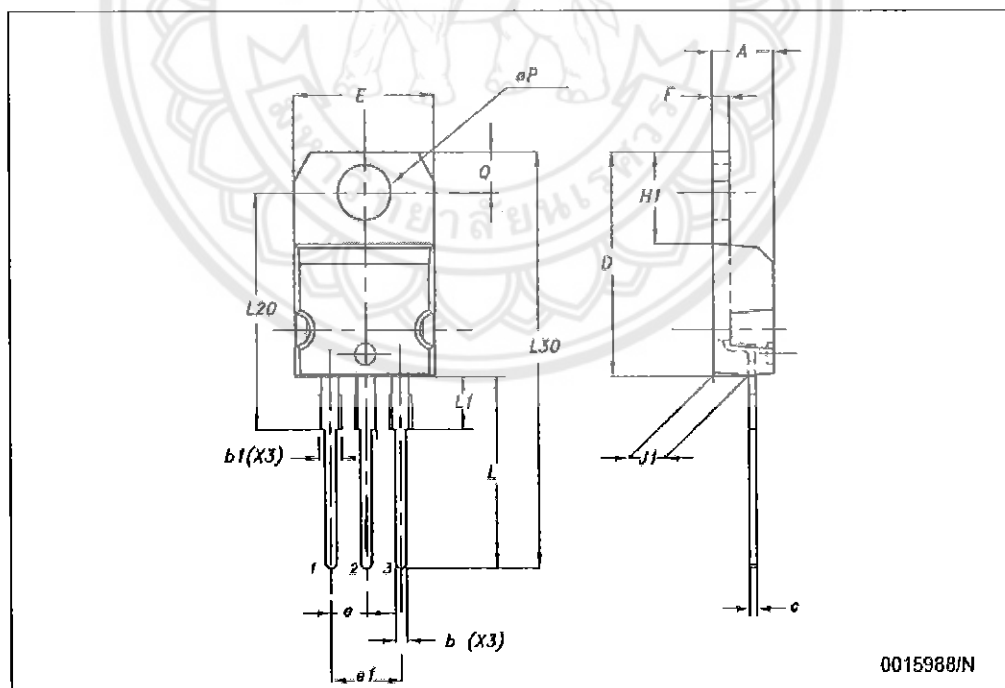
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5$ to 23 V	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O(\%)$	Line Regulation	$V_I = 10.5$ to 25 V $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	mV
		$V_I = 11$ to 17 V $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
$\Delta V_O(\%)$	Load Regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
I_d	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_O = 5$ mA to 1 A			0.5	mA
		$V_I = 11.5$ to 25 V			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5$ mA		1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz}$ to 100KHz $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	μVV_O
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 11.5$ to 21.5 V $f = 120\text{Hz}$	62			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1$ A $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1$ KHz		16		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35$ 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.

L7800 SERIES

TO-220 (A TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
b	0.61		0.88	0.024		0.034
b1	1.15		1.70	0.045		0.067
c	0.49		0.70	0.019		0.027
D	15.25		15.75	0.600		0.620
E	10.0		10.40	0.393		0.409
e	2.4		2.7	0.094		0.106
e1	4.95		5.15	0.194		0.203
F	1.23		1.32	0.048		0.051
H1	6.2		6.6	0.244		0.260
J1	2.40		2.72	0.094		0.107
L	13.0		14.0	0.511		0.551
L1	3.5		3.93	0.137		0.154
L20		16.4			0.645	
L30		28.9			1.138	
ϕP	3.75		3.85	0.147		0.151
Q	2.65		2.95	0.104		0.116







LM117/217
LM317

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

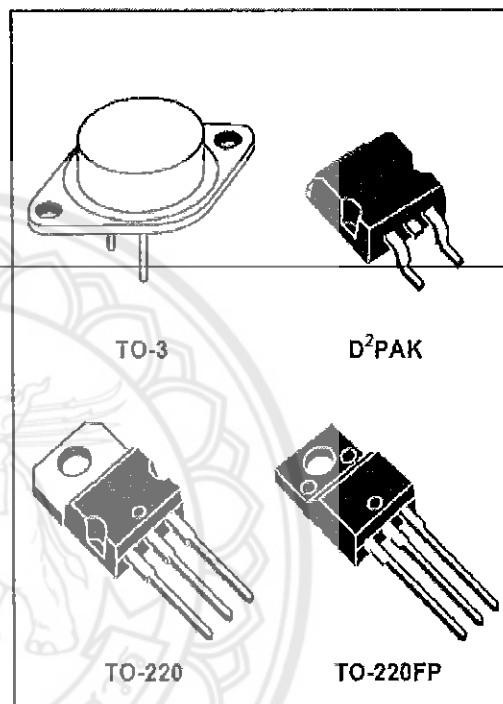
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS :
CURRENT LIMITING, THERMAL
SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, TO-220FP, 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

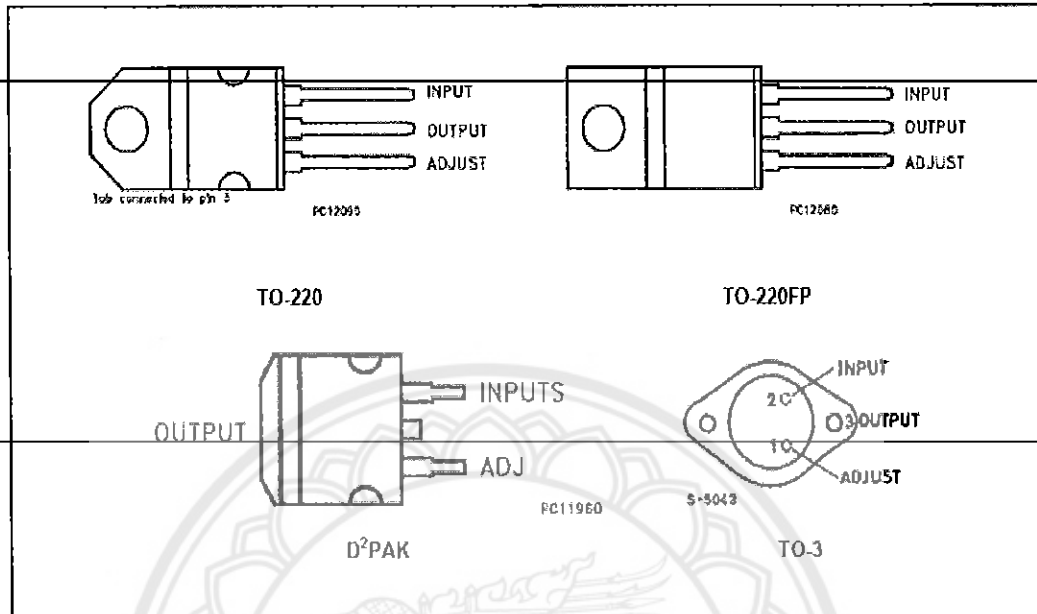
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{i-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I_o	Output Current	Internally Limited	
T_{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C °C °C
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 150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

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	TO-3	TO-220	TO-220FP	D ² PAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	4	3	5	3	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	35	50	60	62.5	°C/W

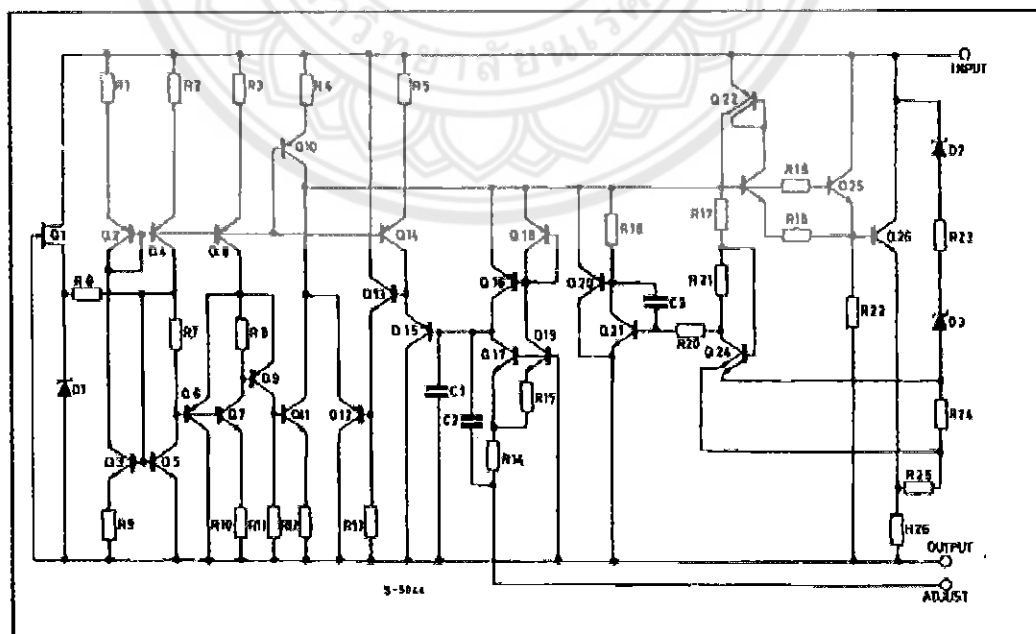
LM117/217/317

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)



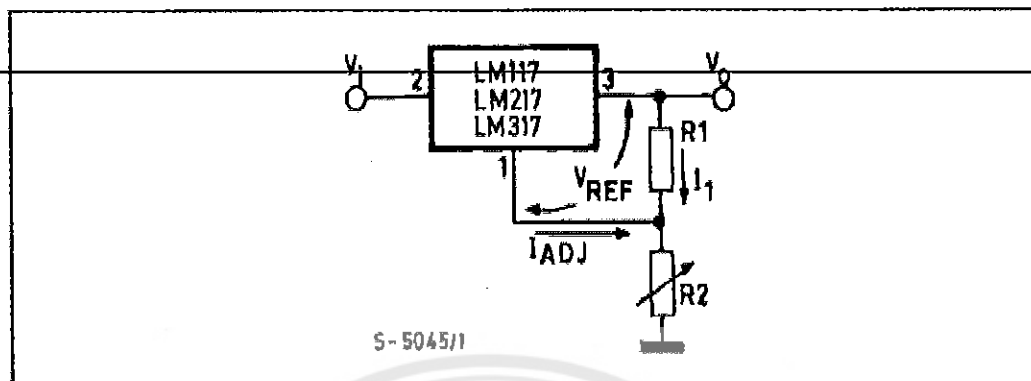
Type	TO-3	TO-220	TO-220FP	D ² PAK
LM117	LM117K			
LM217	LM217K	LM217T		LM217D2T
LM317	LM317K	LM317T	LM317P	LM317D2T

SCHEMATIC DIAGRAM



LM117/217/317

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	$V_i - V_o = 3\text{ to }40\text{ V}$ $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.01	0.02	0.01	0.04	%/V	
				0.02	0.05	0.02	0.07	%/V	
ΔV_o	Load Regulation	$V_o \leq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$		5	15	5	25	mV	
				20	50	20	70	mV	
		$V_o \geq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$		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		%	
$I_o(\text{min})$	Minimum Load Current	$V_i - V_o = 40\text{ V}$		3.5	5	3.5	10	mA	
$I_o(\text{max})$	Maximum Load Current	$V_i - V_o \leq 15\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		1.5	2.2	A	
		$V_i - V_o = 40\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$ $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.4		0.4		A	
e_N	Output Noise Voltage (percentage of V_o)	$B = 10\text{ Hz to }10\text{ kHz}$ $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.003		0.003		%	
SVR	Supply Voltage Rejection (*)	$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$		65		65		dB
			$C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	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 $T_j = -55\text{ to }150\text{ }^\circ\text{C}$; LM 217 $T_j = -25\text{ to }150\text{ }^\circ\text{C}$; LM 317 $T_j = 0\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$.

LM117/217/317

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

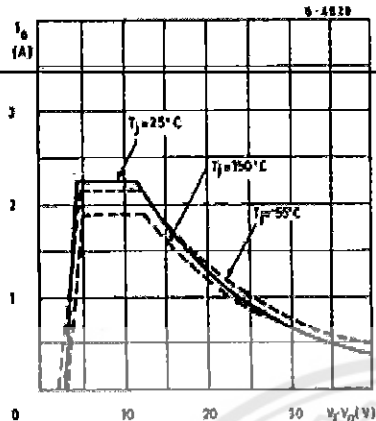


Figure 2 : Dropout Voltage vs. Junction Temperature.

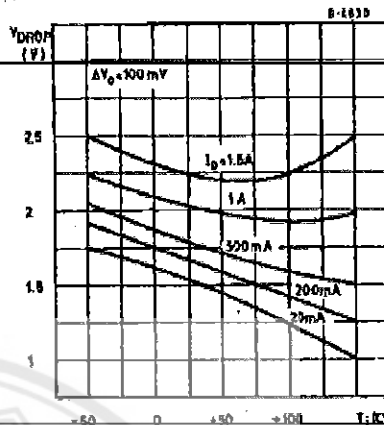


Figure 3 : Reference Voltage vs. Junction

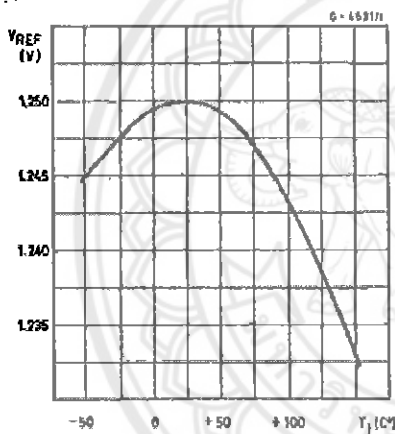
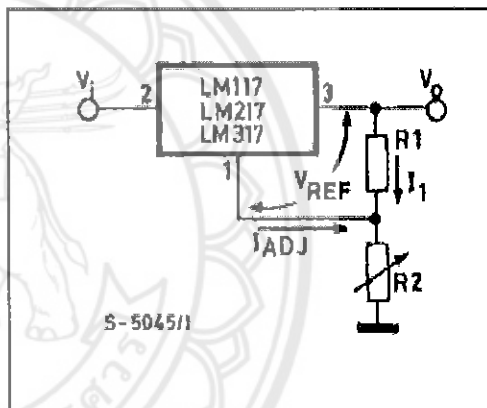


Figure 4 : Basic Adjustable Regulator.



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:

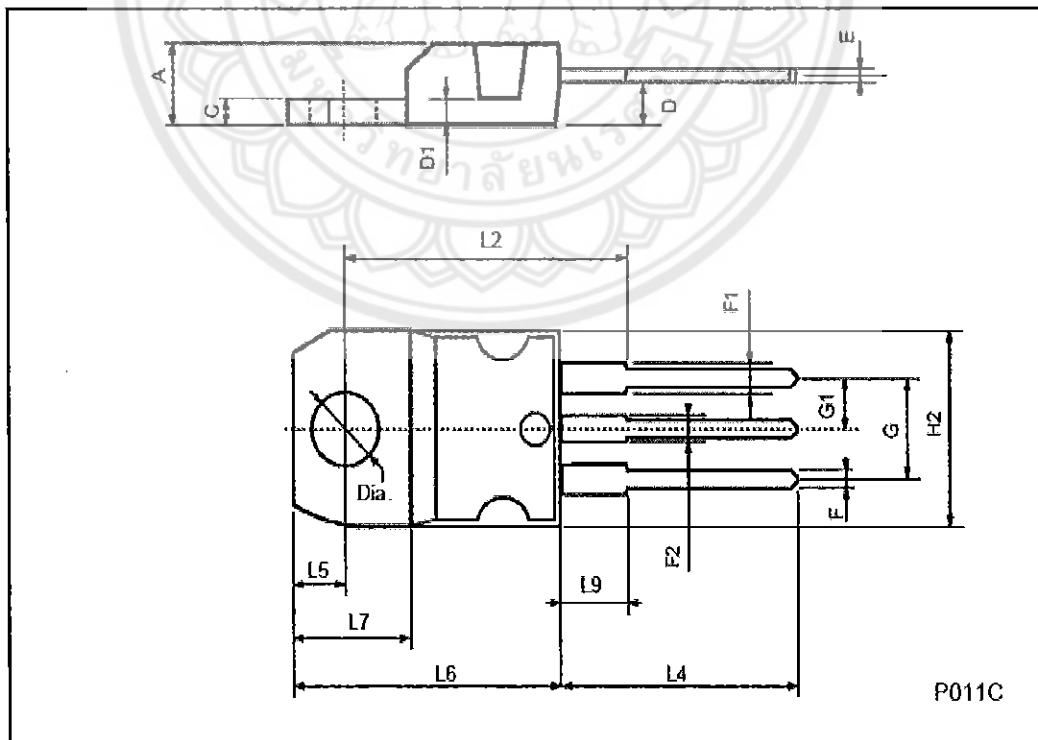
An input bypass capacitor of 0.1 μ F

An adjustment terminal to ground 10 μ F capacitor

LM117/217/317

TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายณัฐพงษ์ อินตะเสนา
 ภูมิลำเนา 273 หมู่ 10 ต. เวียง อ. เชียงคำ จ. พะเยา
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม
 จ. พะเยา
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 Email: electrical_tum@live.com



ชื่อ นายสุเมธี อินคำเชื้อ
 ภูมิลำเนา 36 หมู่ 16 ต. บ่อแฮ้ว อ. เมือง จ. ลำปาง
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
 จ. ลำปาง
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 Email: happy_032_25@hotmail.com