

วงจรรชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซลาร์เซลล์  
Pulse Charger Circuit For Solar Battery Charge System



วิทวัส อริยจินดาสกุล  
Wittawat Ariyajindasakul

วีรกร เทียมหิรัณย์โสภิต  
Weerakorn Theamhirunsopit

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

วงจรรชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซลาร์เซลล์

Pulse Charger Circuit For Solar Battery Charge System

โดย

วิหวัธ อริยจินดาสกุล

วีรกร เทียมหิรัญย์โสภิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จิววัฒน์ ปานกลาง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซลาร์เซลล์

Pulse Charger Circuit For Solar Battery Charge System

ผู้จัดทำ

นายวิฑูรย์

อริยจินดาสกุล

รหัสประจำตัว 56011131

นายวีรกร

เทียมหิรัญย์โสภิต

รหัสประจำตัว 56011155

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



รศ.จิววัฒน์ ปานกลาง

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	วงจรรชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซล่าเซลล์		
นักศึกษา	นายวิทวัส อริยจินดาสกุล	รหัส	56011131
	นายวีรกร เทียมหิรัณย์โสภิต	รหัส	56011155
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง		

### บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายเกี่ยวกับการวงจรรชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซล่าเซลล์ เพื่อนำมาชาร์จแบตเตอรี่เพื่อไปไว้ใช้สำหรับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆอย่างเช่นสัญญาณไฟจราจรบนถนนที่ชาร์จพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในช่วงที่มีพลังงานแสงอาทิตย์และเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่เพื่อนำมาให้พลังงานกับสัญญาณไฟจราจรในช่วงกลางคืนโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ทางเข้าเป็นตัวจ่ายพลังงานใช้ IC เบอร์ bq24650 เป็นตัวแปลงและจ่ายพลังงานแบบพัลส์ที่ทางออกให้กับแบตเตอรี่และมีจอ LCD แสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ทางเข้าและทางออก จากการทดสอบพบว่าการประจุแบตเตอรี่ขนาด 5 Ah ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด  $V_{mp}=18.3V, I_{mp}=0.27A$  ในวันที่ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์เท่ากับ 70000 lux จะสามารถประจุแบตเตอรี่ได้เต็มภายในเวลา 7 ชั่วโมง

Thesis Title	Pulse Charger Circuit For Solar Battery Charge System		
Student	Mr. Wittawat Ariyajindasakul	Student ID 56011131	
	Mr. Weerakorn Theamhirunsopit	Student ID 56011155	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2016		
Thesis Advisor	Associate Professor Jirawath Panklang		

### ABSTRACT

This project report describes the pulse circuit battery rechargeable using small solar cell on the power source. It is able to charge batteries that can be used for electronic equipment. For example, traffic lights, etc. which charges and collects electric power from solar cells during a day time for its usage at night. We use solar cell as an entry power generator, IC number BQ24650 as a converter to generate power supply for Pulse battery. There is a LCD circuit operation monitor which displays power supply from the beginning until the end of the process. The experiment shows that to charge 5Ah of battery by solar cell with  $V_{mp} = 18.3V$ ,  $I_m = 0.27A$  when the brightness of the sun is 70000 lux, it will be able to fully charge the battery within 7 hours.

## กิตติกรรมประกาศ

หัวข้อโครงการเรื่องวงจรซาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โซลาร์เซลล์ การทำโครงการในครั้งนี้ อาจจะไม่ประสบผลสำเร็จได้ถ้าขาดคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งสิ่งที่ได้รับจากอาจารย์ที่ปรึกษานั้นเป็นประโยชน์ในการทำโครงการอย่างมากและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ ดังนั้นต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาต่อกลุ่มของข้าพเจ้าทำให้การทำงานของกลุ่มข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิทวัส อริยจินดาสกุล  
วีรกร เทียมศิริณย์โสภิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรด .....	3
2.2 IC BQ24650.....	6
2.2.1 Typical System Schematic.....	6
2.2.2 Description.....	6
2.2.3 หน้าที่ของแต่ละขา.....	7
2.3 Pulse Current Charging.....	8
2.4 Maximum Power Point Tracking.....	9
2.5 หลักการทำงานของ Maximum Power Point Tracking.....	11
2.6 หลักการเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์.....	11
2.7 LM3914.....	14
2.7.1 Typical System Schematic.....	14
2.7.2 Description.....	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 บล็อกไดอะแกรม.....	15
3.2 หลักการเบื้องต้น.....	15
3.3 ลักษณะการทำงานของวงจร.....	16

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
3.4 วงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่.....	16
3.5 วงจรชาร์จแบบพัลส์.....	18
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	20
4.1 วัดเพื่อหาค่า Maximum Power Point Tracking Solar Cell.....	20
4.2 การวัดรูปสัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่ดึงกระแสค่าต่างๆ.....	21
4.3 การวัดรูปสัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่กำลังชาร์จกับแบตเตอรี่...	23
4.4 การวัดรูปสัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1:Aขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่โดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source).....	25
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	26
บรรณานุกรม.....	27
ภาคผนวก.....	28



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระหว่างแรงดันกับกระแสของแผ่นโซลาร์เซลล์โดยวัดที่ความเข้มแสง ประมาณ 1000-1100(x100).....	21



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Charge stages of a lead acid battery.....	3
2.2 Effects of charge voltage on a small lead acid battery.....	4
2.3 Typical System Schematicของ BQ24650 .....	6
2.4 Algorithm for Pulse Current Charging.....	8
2.5 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve.....	10
2.6 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve.....	10
2.7 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ.....	12
2.8 โครงสร้างภายในของโซลาร์เซลล์.....	13
2.9 Typical System SchematicของLM3914.....	14
3.1 PCBของวงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่.....	16
3.2 Schematicของวงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่.....	17
3.3 Schematicวงจรชาร์จแบบพัลส์.....	18
3.4 PCBของวงจรชาร์จแบบพัลส์.....	19
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (V) และกระแส (I).....	20
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (V) และกำลัง (P).....	20
4.3 สัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่ตั้งกระแส = 175 mA.....	21
4.4 สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 185 mA.....	22
4.5 สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 195 mA.....	22
4.6 สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 205 mA .....	23
4.7 สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จ กับแบตเตอรี่ที่เวลา 1 $\mu$ s/cm.....	23
4.8 สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จ กับแบตเตอรี่ที่เวลา 500 ns/cm.....	24

## สารบัญรูป(ต่อ)

4.9	สัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จ กับแบตเตอรี่ที่เวลา 500 ns/cm.....	24
4.10	สัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1:Aขณะทำการชาร์จแบตโดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source)ที่เวลา 500 ns/cm.....	25
4.11	สัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1: Aขณะทำการชาร์จแบตโดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source)ที่เวลา 200 ns/cm.....	25



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

โดยทั่วไปแบตเตอรี่นั้นทำหน้าที่ ป้อนกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ต่างๆของเครื่องยนต์เพื่อให้ทำงานได้ เช่น มอเตอร์สตาร์ท ระบบจุดระเบิด ในขณะที่สตาร์ททรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้กับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกหลายๆอย่างด้วย แบตเตอรี่รถยนต์ไม่ใช่แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า แต่เป็นแหล่งเก็บไฟฟ้าสำรอง ซึ่งเอาไว้ทดแทนเมื่อการทำงานของไดร์ชาร์จไม่สามารถที่จะทำงานได้ ก็จะดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าไดร์ชาร์จสามารถที่จะทำงานได้ดี กระแสไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งาน ถูกนำไปเก็บไว้แบตเตอรี่จนเต็ม ทำหน้าที่สลับกันระหว่างไดร์ชาร์จกับแบตเตอรี่ นั่นก็หมายความว่า แบตเตอรี่จะหมดอายุการใช้งานนั้นมีเพียง 2 กรณีคือ 1.เก็บไฟไม่อยู่หรือหมดอายุการใช้งาน 2.ไม่สามารถประจุไฟเข้าไปได้เลย

จากประโยชน์ของแบตเตอรี่ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น คือมีความสามารถในการเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปให้พลังงานกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์จากแบตเตอรี่ โดยที่มีแหล่งจ่ายพลังงานให้แบตเตอรี่คือ โซลาร์เซลล์ และนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆโดยมีbq246450ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และเครื่องใช้ไฟฟ้าเช่นไฟสัญญาณจราจร โดยที่ในตอนกลางวันนั้นโซลาร์เซลล์จะทำการชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่ในขณะที่ยังมีแสงแดดอยู่เพื่อนำไปเป็นพลังงานให้ไฟสัญญาณจราจรในตอนกลางคืน

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และนำมาจัดทำ Pulse Charger Circuit For Solar Battery Charge Systemซึ่งสามารถใช้งานได้จริง

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1 เพื่อศึกษา Lead Acid Battery
- 2 เพื่อศึกษาหลักการ Charge Lead Acid Battery
- 3 เพื่อศึกษาการทำงานของ Bq246450
- 4 เพื่อศึกษาการทำงานของแผง Solar Cell
- 5 เพื่อเรียนรู้ปัญหาที่พบจากการทำงานจริงและรู้จักแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1 ศึกษาข้อมูลของ lead acid battery
- 2 ศึกษาข้อมูลวิธีการชาร์จ lead acid battery
- 3 ศึกษาการทำงานของ solar cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการทำงานของ bq24650 ที่นำพลังงานไฟฟ้าจาก Solar Cell มาแปลงเป็นการชาร์จแบบ Pulse charge เข้าไปในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยทดลองในสถานที่ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 70000 lux ในช่วงเวลากลางวัน เพื่อหาเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ได้รับความรู้เรื่องวงจร pulse charge เพิ่มขึ้น
- 2 สร้างอุปกรณ์การชาร์จแบบ pulse charge ที่สามารถใช้งานได้จริง
- 3 ได้รับความรู้เรื่อง แบตเตอรี่ตะกั่วกรด
- 4 ได้รับความรู้เรื่องแผงวงจร solar cell
- 5 ได้รับความรู้เรื่อง ตัวไอซี bq24650
- 6 สามารถนำความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง
- 7 ฝึกฝนการทำงานเป็นทีม
- 8 ฝึกให้เป็นคนรับผิดชอบต่อหน้าที่ของตน



## บทที่ 2

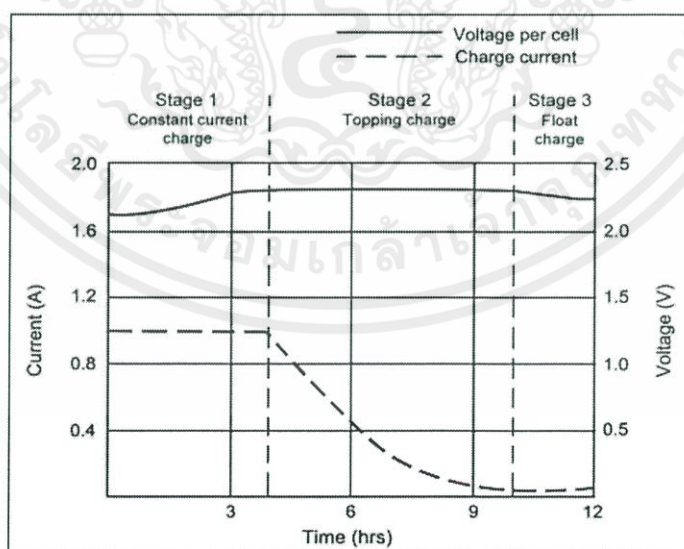
### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดนั้นใช้วิธีการแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่(CV/CC)กระแสไฟฟ้าที่ถูกควบคุมจะเพิ่มจนถึงจุดสิ้นสุดจนกระทั่งแรงดันที่ได้นั้นถึงจุดสูงสุดและจะกระแสนั้นจะตกลงเรื่อยๆที่จุดๆเดียวกันหรือเรียกว่าจุดอิ่มตัว การชาร์จนั้นจะใช้เวลา 12-16 ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 36-48 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ขนาดใหญ่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดนั้นมีขั้นตอนการชาร์จอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

- 1.Constant-Current Charge
- 2.Topping Charge
- 3.Float Charge

ระหว่างที่ชาร์จด้วยขั้นตอนConstant-Current Charge นั้น ปริมาณแบตเตอรี่จะมีประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 5-8 ชั่วโมง และในอีก 30 เปอร์เซ็นต์นั้นจะถูกชาร์จโดยขั้นตอนTopping Charge โดยใช้เวลา 7-10 ชั่วโมงTopping Charge นั้นมีส่วนสำคัญสำหรับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ไม่มีการชาร์จแบบTopping Charge แบตเตอรี่จะสูญเสียความสามารถในการรับประจุไฟฟ้าและประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากการเกิดSulfationหรือการเกิดเกลือซัลเฟตในแบตเตอรี่ ขั้นตอนFloat Charge นั้นจะเป็นการรักษาแบตเตอรี่ที่ชาร์จเต็มแล้ว



**Stage 1:** Voltage rises at constant current to V-peak.

**Stage 2:** Current drops; full charge is reached when current levels off

**Stage 3:** Voltage is lowered to float charge level

รูปที่ 2.1 Charge stages of a lead acid battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนจากขั้นตอนที่ 1 ไปยังขั้นตอนที่ 2 นั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่ถึงขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่ตั้งไว้กระแสไฟฟ้าจะเริ่มลดลง เมื่อแบตเตอรี่เริ่มเกิดการอิมตัว การชาร์จเต็มจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลง 3-5 เปอร์เซ็นต์ของอัตราAh แบตเตอรี่ที่มีการรั่วไหลสูงอาจจะชาร์จไม่ถึงกระแสจุดอิมตัวและเวลาที่สูงขึ้นในการชาร์จ

การตั้งค่าที่ถูกต้องของขีดจำกัดโวลต์ในการชาร์จนั้น คือช่วงสำคัญและมีขอบเขตจาก 2.30V ถึง 2.45V ต่อเซลล์ การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่ต้องทำอย่างรอบคอบตั้งผู้เชี่ยวชาญด้านแบตเตอรี่กล่าวว่าการเริ่มต้นร่าบยอดเคมี ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่นั้นก็ต้องการชาร์จให้เต็มได้รับความจุที่เต็มและหลีกเลี่ยงการเกิดเกลือซัลเฟตในแบตเตอรี่บนแผ่นค่าลบ ในทางกลับกันจุดอิมตัวที่มากเกินไปโดยไม่สลับไปใช้การชาร์จแบบ float charge หรือการชาร์จแบบลอยตัวก็จะกัดกร่อนตะแกรงบนแผ่นที่ค่าบวก สิ่งนี้ยังนำไปสู่การเกิดแก๊สและการสูญเสียน้ำอีกด้วย

อุณหภูมิจะเปลี่ยนตามแรงดันและสิ่งนี้ทำให้เกิดกระบวนการที่ยากมากขึ้น สภาพแวดล้อมที่อบอุ่นนั้นจะทำให้จุดเริ่มต้นของแรงดันต่ำลงอย่างเล็กน้อยและอุณหภูมิที่เย็นจะทำให้จุดเริ่มต้นของแรงดันสูงขึ้น การชาร์จจะแสดงความผันผวนของอุณหภูมิ สรุปได้ว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมินั้นจะปรับแรงดันของการชาร์จเพื่อให้ได้การชาร์จที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิในการชาร์จเซลล์ตะกั่วกรดคือ  $-3\text{mv}/^{\circ}\text{C}$  การแสดงอุณหภูมิ $25^{\circ}\text{C}$ ที่อุณหภูมิปกติ แรงดันไฟฟ้าของการชาร์จนั้นควรจะลดลง 3mvต่อเซลล์ สำหรับทุกๆระดับที่มากกว่า $25^{\circ}\text{C}$ และควรเพิ่มขึ้น 3mV ต่อเซลล์สำหรับทุกๆระดับที่ต่ำกว่า $25^{\circ}\text{C}$  เป็นไปไม่ได้เลยที่จะเลือกแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำลงเพื่อความปลอดภัย

	2.30V to 2.35V/cell	2.40V to 2.45V/cell
Advantages	Maximum service life; battery stays cool; charge temperature can exceed $30^{\circ}\text{C}$ ( $86^{\circ}\text{F}$ ).	Higher and more consistent capacity readings; less sulfation.
Limitations	Slow charge time; capacity readings may be inconsistent and declining with each cycle. Sulfation may occur without equalizing charge.	Subject to corrosion and gassing. Needs water refill. Not suitable for charging at high room temperatures, causing severe overcharge.

รูปที่ 2.2 Effects of charge voltage on a small lead acid battery

ในการชาร์จเพื่อให้ถึงจุดอิ่มตัวในแต่ละครั้ง แบตเตอรี่จะไม่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้นานเกิน 48 ชั่วโมง และจำเป็นต้องลดระดับแรงดันลง เป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะสำหรับระบบปิดผนึก เนื่องจากไม่สามารถทนต่อการชาร์จไฟเกินกว่าขีดจำกัดได้ การชาร์จไฟที่เกิดขีดจำกัดจะเปลี่ยนสภาพพลังงานที่มากเกินไปเป็นความร้อนและแบตเตอรี่จะเริ่มปล่อยก๊าซ

แรงดันไฟฟ้าลอยตัวที่ถูกแนะนำของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบลิ้นไหลที่สุดคือ 2.25V ถึง 2.27V/cell แบตเตอรี่ที่ขนาดใหญ่ ที่อุณหภูมิ 25°C (77°F) โดยปกติจะลอยอยู่ที่ 2.25V/cell โดยที่ผู้ผลิตจะแนะนำการลดการชาร์จแบบลอยตัว (Float charge) เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า 29°C (85°F)

เครื่องชาร์จบางรุ่น (เครื่องอัดไฟ) จะทำให้เห็นการชาร์จแบบลอยอย่างเห็นได้ชัดและยานพาหนะบนถนนน้อยมากนั้นก็มีเงื่อนไขแบบนี้ถ้าเครื่องอัดไฟของคุณยังคงชาร์จแบบ topping charge และไม่ลดลงต่ำกว่า 2.30v/cell ให้ถอดออกหลังจากชาร์จไป 48 ชั่วโมง และชาร์จอีกครั้งทุกๆ 6 เดือนขณะอยู่ที่สถานที่เก็บรักษา

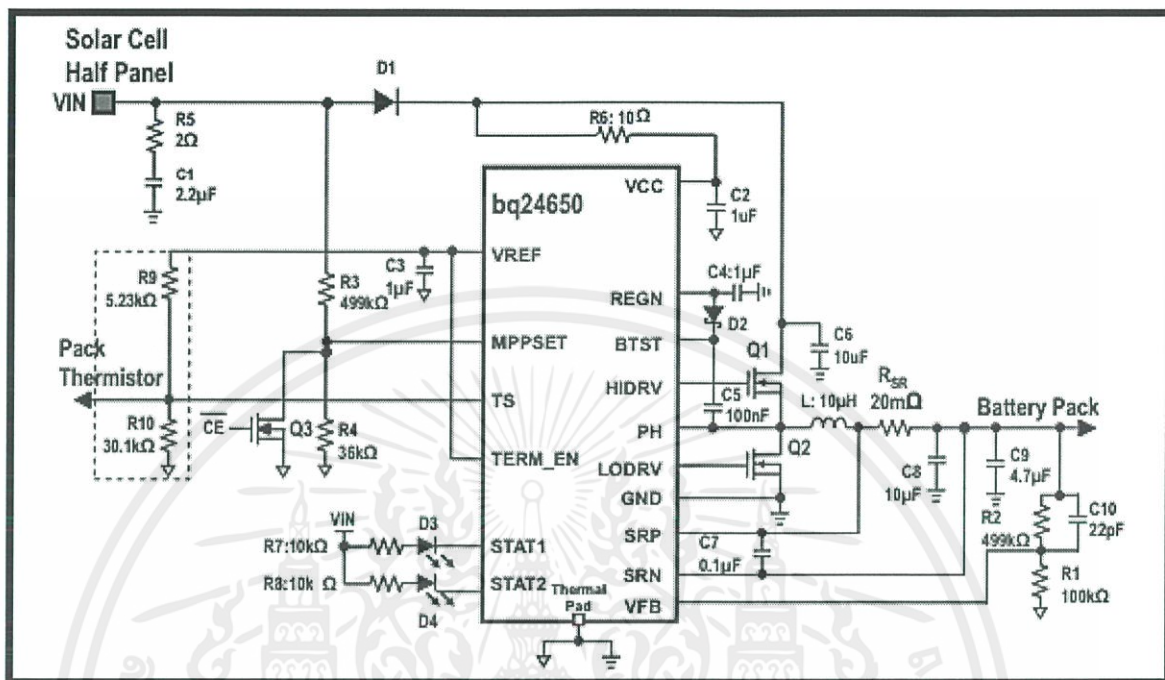
การเทน้ำ คือขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการรักษาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ลิ้นไหล ซึ่งสิ่งจำเป็นจะถูกละเอียดทั้งหมด ความบ่อยของการเทน้ำ ขึ้นอยู่กับการใช้ ,วิธีการชาร์จและ อุณหภูมิที่เกิดขึ้น การชาร์จที่มากเกินไปยังนำไปสู่การใช้น้ำให้หมดไปอีกด้วยเช่นกัน

แบตเตอรี่ใหม่จะต้องเช็คทุกๆ 2-3 สัปดาห์ เพื่อประเมินความต้องการน้ำ สิ่งนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าส่วนบนของแผ่นจะไม่แสดงให้เห็นแผ่นเปล่า จะทำให้เกิดความเสียหายที่ไม่สามารถย้อนกลับมาได้ผ่านกระบวนการ oxidation และนำไปสู่ความสามารถที่จะรับได้ลดลง และสมรรถภาพลดลง

ถ้าอิเล็กโทรไลต์ต่ำลง แบตเตอรี่จะต้องเติมน้ำกลั่นทันที เพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ น้ำประปาอาจเป็นที่ยอมรับในบางภูมิภาค ถ้าเราไม่เติมให้อยู่ในระดับที่ถูกต้องก่อนที่จะชาร์จ สิ่งนี้อาจทำให้เกิดน้ำล้นระหว่างการชาร์จได้ มักจะเติมในระดับที่ต้องการ หลังจากชาร์จห้ามเติมอิเล็กโทรไลต์จะทำให้เสียความถ่วงจำเพาะและส่งเสริมการกัดกร่อน ระบบรดน้ำกำจัดระดับอิเล็กโทรไลต์ที่ต่ำ โดยการเพิ่มปริมาณที่เหมาะสมของน้ำโดยอัตโนมัติ

## 2.2 IC BQ24650

### 2.2.1 Typical System Schematic



รูปที่ 2.3 Typical System Schematicของ BQ24650

### 2.2.2 Description

IC bq24650 เป็นคอนโทรลเลอร์ชาร์จไฟแบบสวิตช์ โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และลดการชาร์จกระแสไฟฟ้าลงเมื่อ แรงดันขาเข้านั้นลดต่ำกว่าที่เราโปรแกรมเอาไว้ เมื่อเราให้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ วงจรจะควบคุมอินพุทช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าลงเพื่อให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถให้กำลังไฟได้สูงสุด

BQ24650 มีตัวควบคุม PWM แบบซิงโครนัส ความถี่คงที่ให้ความแม่นยำสูง มีการควบคุมแรงดันภายใต้เงื่อนไขของการชาร์จจะสิ้นสุด และมีการตรวจสอบสถานะการชาร์จ

IC bq24650 นั้นชาร์จแบตเตอรี่แบบไฟ 3 เฟส มีการรักษาอุณหภูมิขณะชาร์จในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันคงที่ การชาร์จจะสิ้นสุดลงเมื่อกระแสไฟฟ้าเหลือ 1/10 ของอัตราความเร็วในการชาร์จ IC bq24650 จะทำการรีเซ็ตการชาร์จใหม่โดยอัตโนมัติหากแบตเตอรี่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เราตั้งไว้

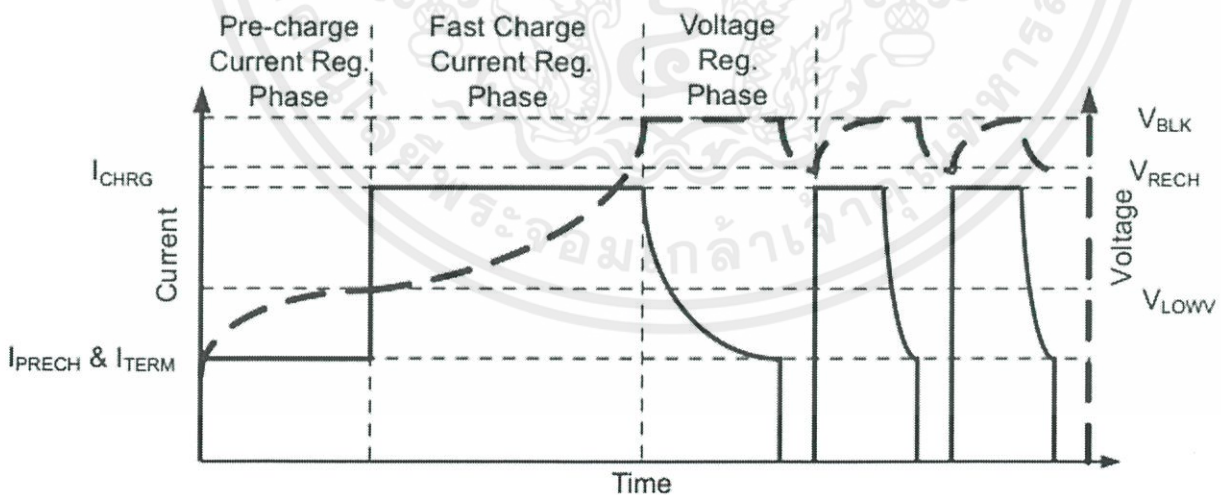
## 2.2.3 หน้าที่ของแต่ละขา

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	VCC	P	แหล่งรับไฟบวกโดยมี ตัวเก็บประจุ 1 $\mu$ Fวางอยู่ระหว่างVCCกับGND และมีตัวต้านทาน 10- $\Omega$ จากด้านอินพุทไปที่ขา VCC เพื่อกรองสัญญาณรบกวน
2	MPPSET	I	จุดรับแรงดันไฟฟ้าใช้การแบ่งแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งสัญญาณเข้าสู่GND โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าบนMPPSETเป็น 1.2 V ถ้าหยุดการชาร์จจะดึงแรงดันที่MPPSETให้ต่ำกว่า 75 mV
3	STAT1	O	แสดงสถานะการชาร์จเพื่อแสดงการทำงานของอุปกรณ์ขณะชาร์จโดยเชื่อมต่อกับด้านแคโทดของหลอดLEDกับตัวต้านทาน 10 $k\Omega$
4	TS	I	คุณสมบัติอุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุทเชื่อมต่อกับเทอร์มิสเตอร์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ
5	STAT2	O	แสดงสถานะการชาร์จเพื่อแสดงการทำงานของอุปกรณ์ขณะชาร์จโดยเชื่อมต่อกับด้านแคโทดของหลอดLEDกับตัวต้านทาน 10 $k\Omega$
6	VREF	P	แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 3.3Vแรงดันนี้สามารถใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมแรงดันไฟฟ้าบน TS และรางดึงของ STAT1 และ STAT2
7	TERM_EN	I	เปิดการใช้งานเมื่อจบการชาร์จ ดึงTERM_ENไปที่GNDเพื่อปิดการใช้งาน เมื่อจบการชาร์จ ดึงTERM_ENไปที่VREFเพื่อยกเลิกการชาร์จ
8	VFB	I	ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จโดยต่อเอาต์พุทของตัวต้านทานที่ขับเคลื่อนจากขั้วแบตเตอรี่ไปที่โหนดเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ขาออก
9	SRN	I	ชาร์จกระแสโดยผ่านsense resistorทางด้านลบของอินพุทโดยมีตัวเก็บประจุประเภทเซรามิก0.1- $\mu$ F ถูกวางระหว่างSRNกับSRPเพื่อการกรองในโหมดต่างๆและตัวเก็บประจุเซรามิกขนาด 0.1 ไมครอนบรรจุจาก SRN เป็น GND สำหรับการกรองโหมดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NO.	NAME		
10	SRP	P/I	ชาร์จกระแสโดยผ่านsense resistorทางด้านบวกของอินพุทโดยมีตัวเก็บประจุเซรามิก $0.1\text{-}\mu\text{F}$ ถูวางระหว่างSRNกับSRPเพื่อการกรองในโหมตต่างๆและตัวเก็บประจุเซรามิกขนาด 0.1 ไมครอนบรรจุจาก SRN เป็น GND สำหรับการกรองโหมตทั่วไป
11	GND	P	การต่อสายดินสำหรับวงจร
12	REGN	P	PWMทางด้านlow-sideขับเคลื่อนแรงดัน 6 Vทางด้านบวกใช้เพื่อขับเคลื่อนทางด้านlow-sideและhigh-sideและบูทช็อกที่ไดโอดจากREGN ไปที่BTST
13	LODRV	O	PWMทางด้านlow-sideในการขับเคลื่อนเอาต์พุท
14	PH	P	การสลับโหนดในการชาร์จกระแสผ่านขดลวดตัวนำ
15	HIDRV	O	PWMทางด้านhigh-sideในการขับเคลื่อนเอาต์พุท
16	BTST	P	PWMทางด้านhigh-sideในการขับเคลื่อนแรงดัน

### 2.3 Pulse Current Charging



รูปที่ 2.4 Algorithm for Pulse Current Charging

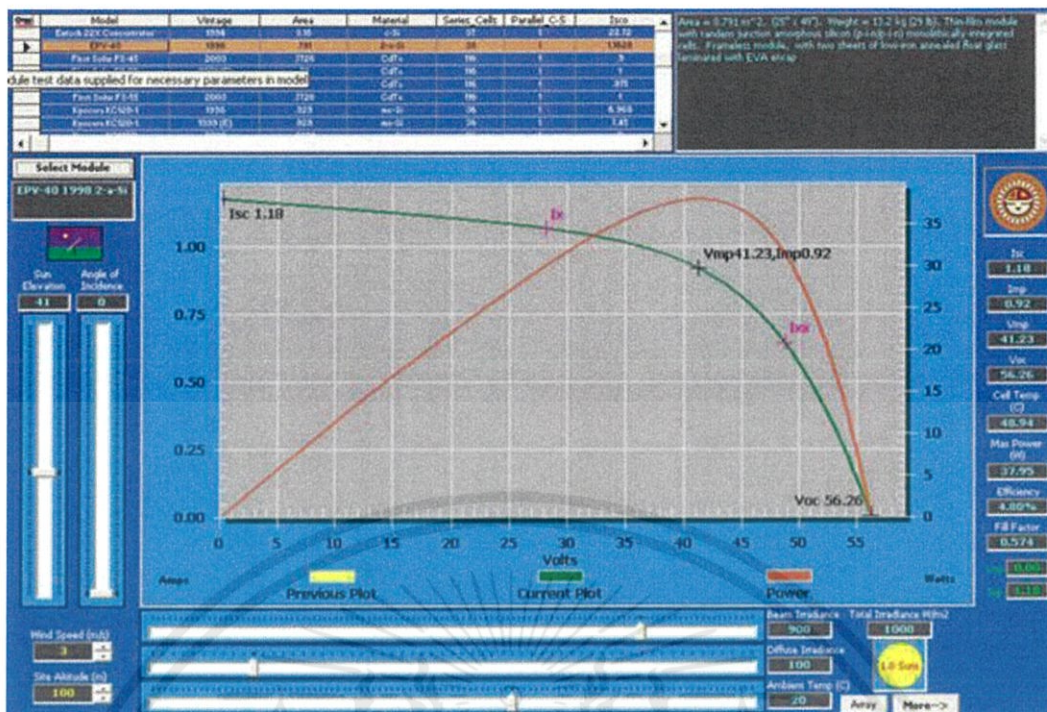
ถูกใช้สำหรับการชาร์จแบบเร็วของ lead acid cells ซึ่งรองรับ low-antimony และ lead-calcium-tin grids เพื่อเปรียบเทียบเซลล์เหล่านี้จะต้องมีการทำงานเป็นรอบตามความจุสารองที่เกิดซ้ำภายใต้กระแสพัลส์หรือแบบเดิม ชาร์จกระแสคงที่ ถึงแม้ว่าการชาร์จครั้งหลังจะถูกแนะนำโดยผู้ผลิตตะกั่วในแบตเตอรี่นั้น แต่มันทำให้เสียความสามารถในการเก็บประจุก่อนกำหนดเมื่อรวมกับการปลดปล่อยในอัตราที่สูงของความจุสารอง ประโยชน์ที่สำคัญสองประการในการใช้เทคนิคกระแสพัลส์คือ ลดเวลาในการชาร์จประจุไฟฟ้าตามระดับของขนาด (เช่น from  $\sim 10$  to  $\sim 1$  h) และ เพิ่มอายุการใช้งานของวงจร 3-4 เท่า อุณหภูมิมีบทบาทเพียงเล็กน้อยในการยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะการชาร์จไฟแบบพัลส์ ความสามารถในการกู้คืนความสามารถของเซลล์ที่มีวงจร

อย่างที่คาดไว้ การเสียความสามารถในการเก็บประจุก่อนกำหนด เกิดขึ้นได้ทั้งเซลล์ Pb, Sb และ Pb, Ca, Sn ภายใต้การชาร์จกระแสคงที่ ปรากฏการณ์นี้รุนแรงขึ้นในเซลล์ Pb, Ca การลดลงของความจุเซลล์ Pb, Sb เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในลักษณะของสารออกฤทธิ์ที่เป็นบวกเช่น จากผลึกต่ำในสารตั้งต้นเพื่อให้ผลึกชั้นที่กำหนดไว้ในมวลที่หมุนวน พฤติกรรมนี้จะลดทั้งพื้นที่ผิวที่มีอยู่และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของสารที่ใช้งานได้ด้วยกรดแบตเตอรี่ ตรงกันข้าม การสูญเสียการเก็บประจุในเซลล์ Pb, Ca, Sn เกี่ยวข้องกับทั้งการเพิ่มขึ้นของการตกผลึกของวัสดุที่ทำปฏิกิริยาระหว่างรอบ (เช่น development of small crystals) และการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของชั้น PbO 'ด้านทานตรงกับส่วนประกอบตะกั่ว ปรากฏการณ์หลังเป็นที่โดดเด่นมากขึ้น การชาร์จกระแสพัลส์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการชะลอการตกผลึกในวัสดุที่ทำปฏิกิริยา เช่นเดียวกับการลดชั้นของ 'PbO' ระหว่างรอบ

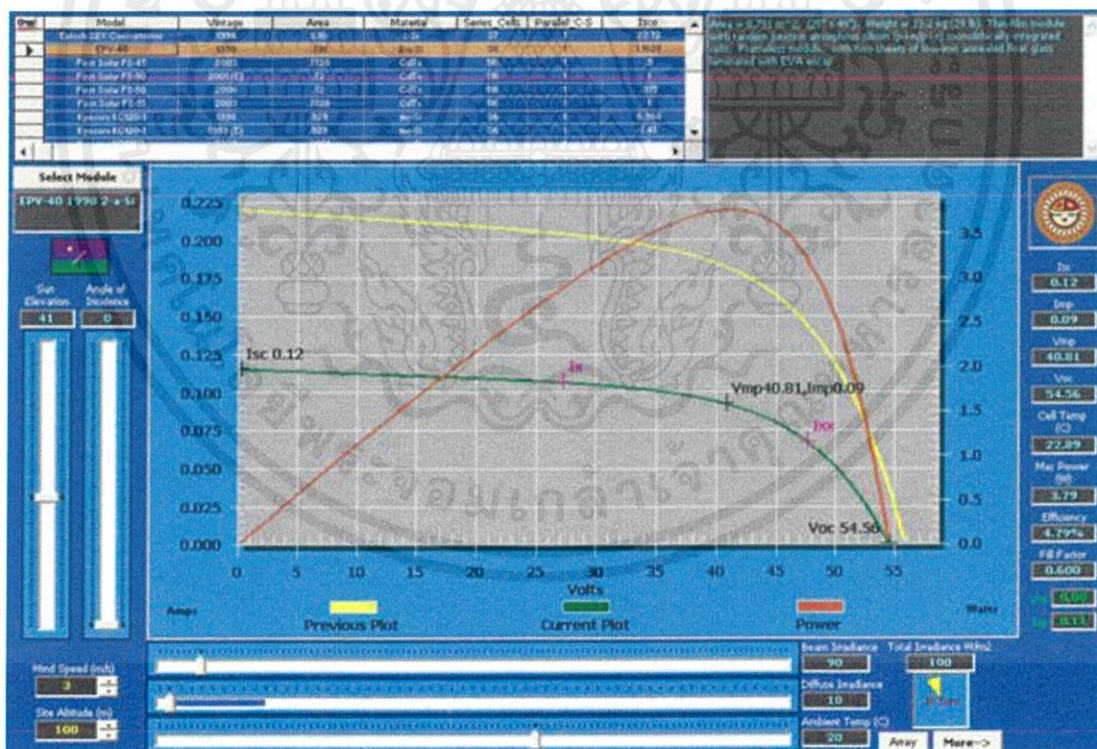
ดังนั้น การชาร์จแบบพัลส์ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของ Pb, Sb และที่สำคัญกว่านั้น สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเซลล์ Pb, Ca, Sn โดยเฉพาะกับการชาร์จไฟแบบเร็ว

## 2.4 Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT หมายถึง ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบ MPPT ได้รับการออกแบบให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีของ MPPT ที่จะทำได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกสูงกว่า จะย้ายจุดควบคุมไปยังแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น



รูปที่ 2.5 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve



รูปที่ 2.6 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 1 และ 2 จะพบว่า ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์แตกต่างกัน แอมพลิจูดของแสงอาทิตย์ จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปด้วย ได้แก่

- (1) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power;  $P_m$ )
- (2) แรงดันไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power voltage;  $V_{pm}$ )
- (3) แรงดันไฟฟ้าวงจรถวาย (Open circuit voltage;  $V_{oc}$ )
- (4) กระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power current;  $I_{pm}$ )
- (5) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current;  $I_{sc}$ )

## 2.5 หลักการทำงานของ Maximum Power Point Tracking

หลักการสำคัญของระบบ MPPT คือ ดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดกล่าวคือ MPPT ทำงานโดยการตรวจสอบที่เอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุลงในแบตเตอรี่และทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่นอกจากนี้ ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC load) ที่ต่อโดยตรงกับแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

ระบบ MPPT มีประสิทธิภาพสูงหากทำงานภายใต้สภาวะเหล่านี้

1. สภาวะอากาศเย็นหรือฤดูหนาว โดยปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำถึงแม้ในช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศเย็น จะมีช่วงเวลาการตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Sun hours) น้อย หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยระบบ MPPT จะทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากยิ่งขึ้นไปอีก แต่จะมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก
2. สภาวะที่มีการประจุแบตเตอรี่ต่ำ เนื่องจากยังมีอัตราการประจุแบตเตอรี่ต่ำ จะทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ MPPT มากขึ้น

## 2.6 หลักการเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงาน ไฟฟ้าได้โดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทาง electronic ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำโซลาร์เซลล์ ได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์ และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิตโซลาร์เซลล์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตโซลาร์เซลล์ได้ เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ CIS และ แคดเมียมเทลลูไรด์ แต่ยังมีราคาสูง และบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้ยาวนาน

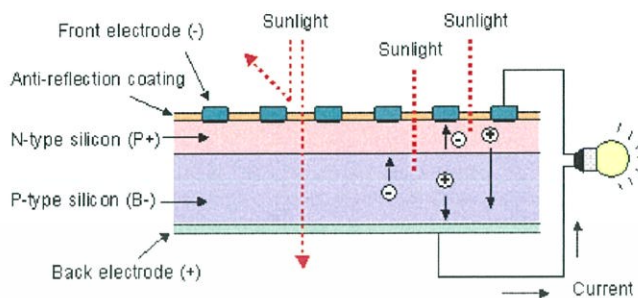


รูปที่ 2.7 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ

การทำงานของโซลาร์เซลล์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้

n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น “ โซลาร์เซลล์ “ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอน

ปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในของโซลาร์เซลล์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

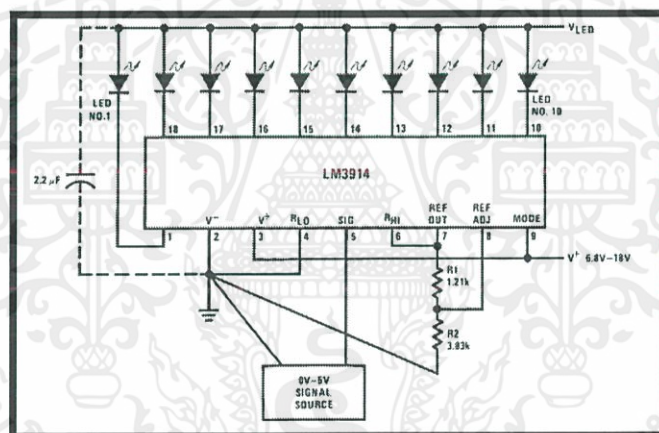
ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละ พื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงต้องใช้ในแต่ละ พื้นที่ คือความเข้มของแสง และอุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากโซลาร์เซลล์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่วัดได้เป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงโซลาร์เซลล์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ( $21\text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V ( $21\text{V} - 0.525\text{V}$ ) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง

## 2.7 LM3914

### 2.7.1 Typical System Schematic



รูปที่ 2.9 Typical System SchematicของLM3914

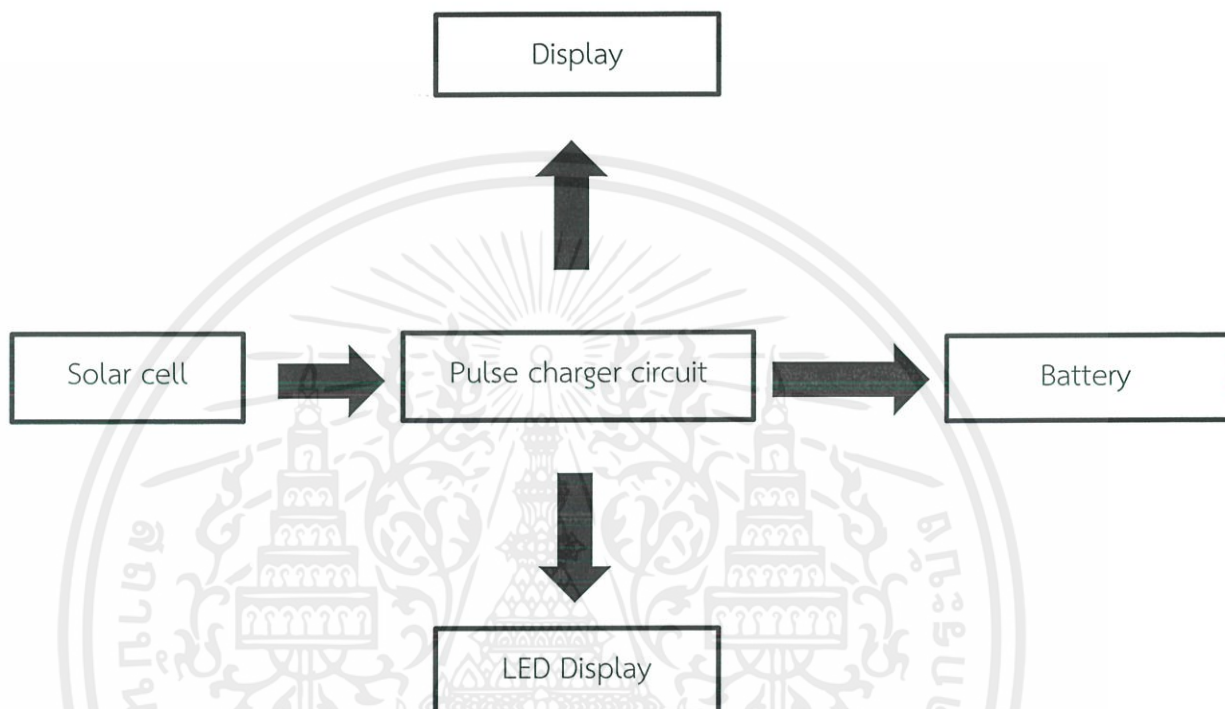
### 2.7.2 Description

LM3914 จะใช้เป็นวงจรซีกระดับของแรงดันและขับหลอด LED 10 ดวงโดยให้จอแสดงผลแบบ อนาล็อก(Analog) เชิงเส้นโดยจะมีการเปลี่ยนการแสดงผลที่ละขาจากจุดเคลื่อนที่ไปแบบกราฟแท่ง กระแสที่ขับไปหลอด LED จะมีการควบคุมและโปรแกรมได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทาน คุณลักษณะนี้เป็นคุณสมบัติที่ช่วยให้การทำงานของระบบทำงานได้น้อยกว่า 3V วงจรมีตัวอ้างอิงที่ปรับได้และตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบ 10 ระดับ การไบอัสกระแสต่ำเข้าอินพุทจะมีวงจรบัฟเฟอร์รับสัญญาณต่ำไปยัง GND

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บล็อกไดอะแกรม



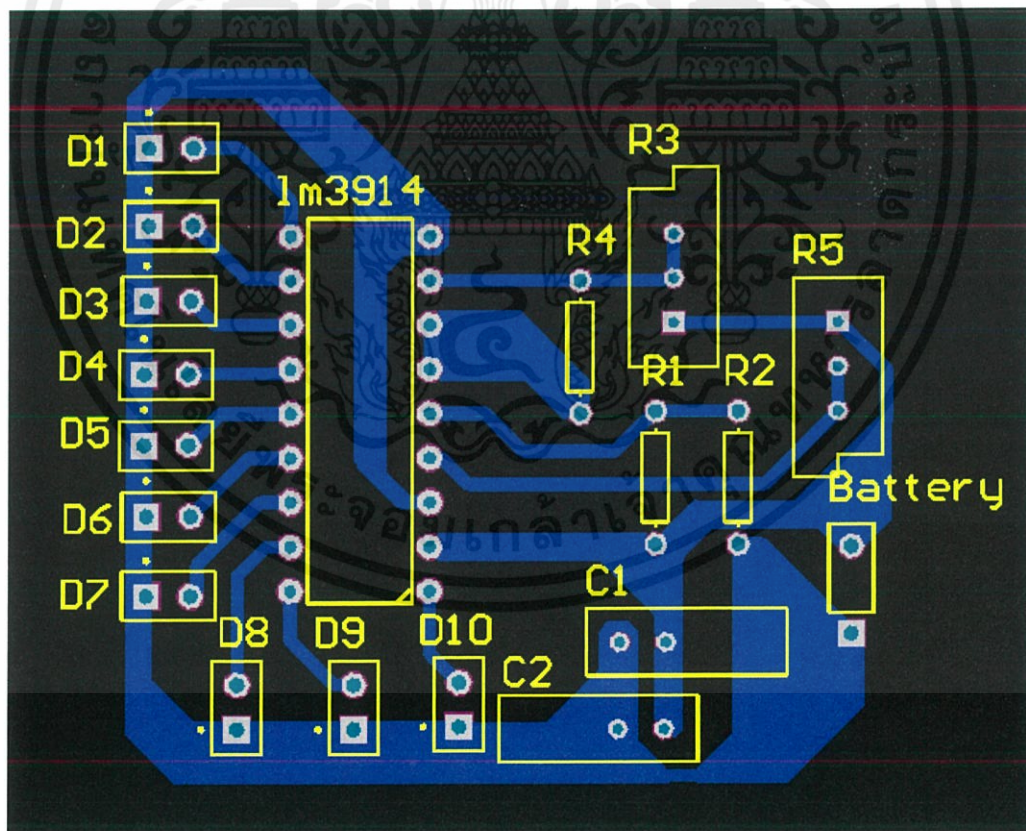
#### 3.2 หลักการเบื้องต้น

จากบล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นวงจรเริ่มต้นการทำงานด้วยการรับพลังงานมาจากแสงอาทิตย์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านโซลาร์เซลล์เพื่อป้อนแรงดันไฟดีซี(DC) เข้าสู่วงจรพัลส์ชาร์จเซอร์กิต (Pulse charger circuit) เพื่อนำมาชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยมีไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่ว่าแบตเตอรี่เต็ม,แบตเตอรี่น้อย,กำลังชาร์จและมีDisplayแสดงค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่กำลังชาร์จแบตเตอรี่

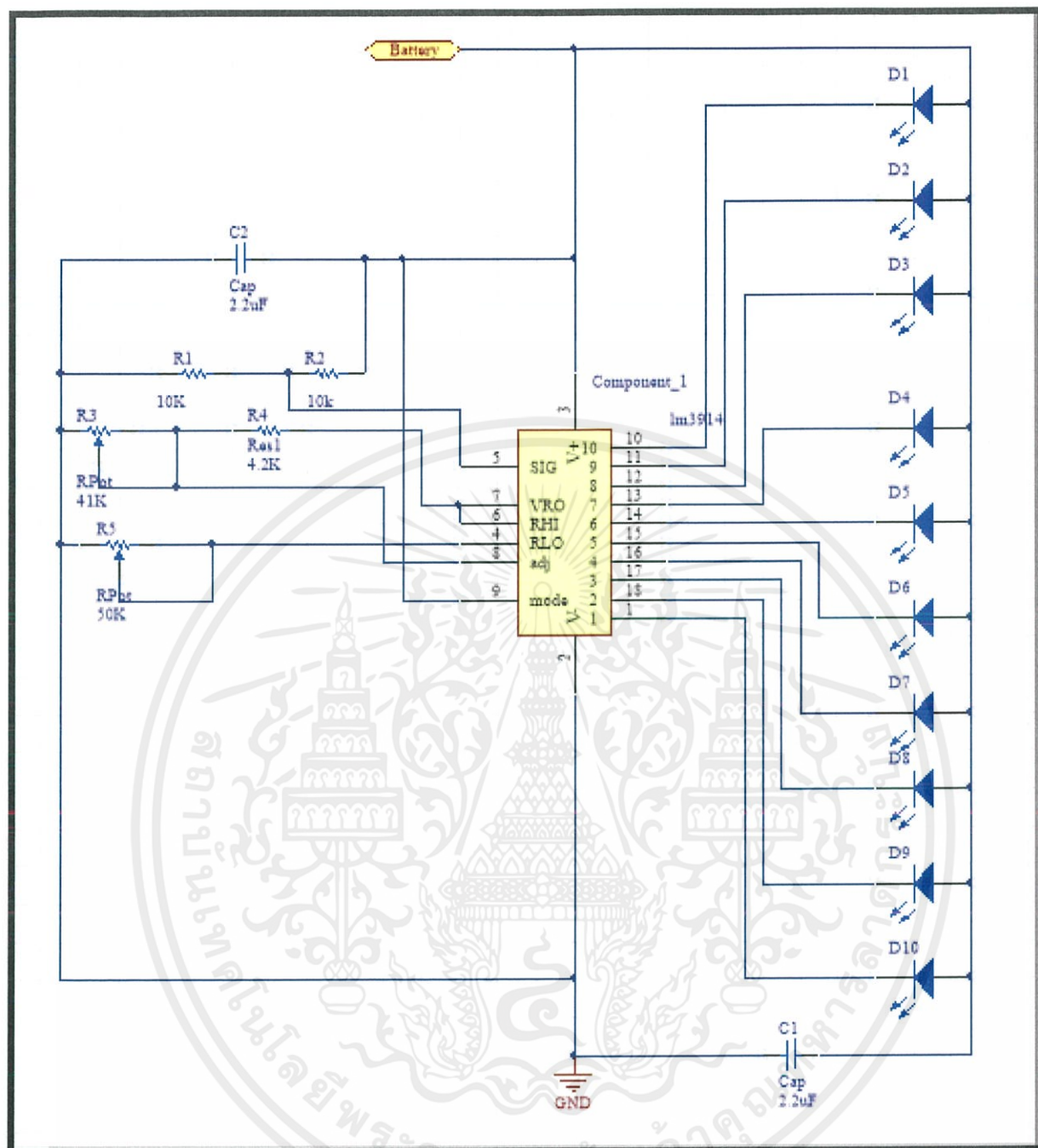
### 3.3 ลักษณะการทำงานของวงจร

การชาร์จนั้นเริ่มต้นในโหมด Constant Current (CC Mode) และสวิตช์ไป Constant Voltage (CV Mode) จากวงจรนั้นใช้ขา STAT2 ที่เพื่อดึงแรงดันสูงสุดขณะที่แบตเตอรี่ทำการชาร์จ และเปิดการทำงานของ Q3 เพื่อเพิ่มการชาร์จในโหมด Constant Voltage จนกระทั่งถึงจุดที่ชาร์จนั้น จับได้ว่ากระแสที่ลดลง ในปกตินั้นขา STAT2 จะทำหน้าที่ดึงกระแสมาจาก  $V_{in}$  แต่ถูกป้องกันด้วยขา เกจของ Q3 และ R23 โดยแบ่งแรงดันมาจากขา STAT2 เมื่อกระแสที่ตกลงไปอยู่ที่ต่ำกว่าค่า current threshold ทำให้ขา STAT2 นั้นมีค่าความต้านทานต่ำ Q3 นั้นจะทำการปิดตัว ดังนั้นจะทำการชาร์จใหม่ โดยการลด threshold voltage เมื่อ  $V_{BAT}$  ตกลงไปถึง  $V_{RECH}$  ระบบจะทำการชาร์จใหม่โดยกลับไป ที่ Constant Current (CC Mode) และส่งพัลส์ของกระแสไปชาร์จแบตเตอรี่จากนั้นวงจรจะเริ่มต้นใหม่

### 3.4 วงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่



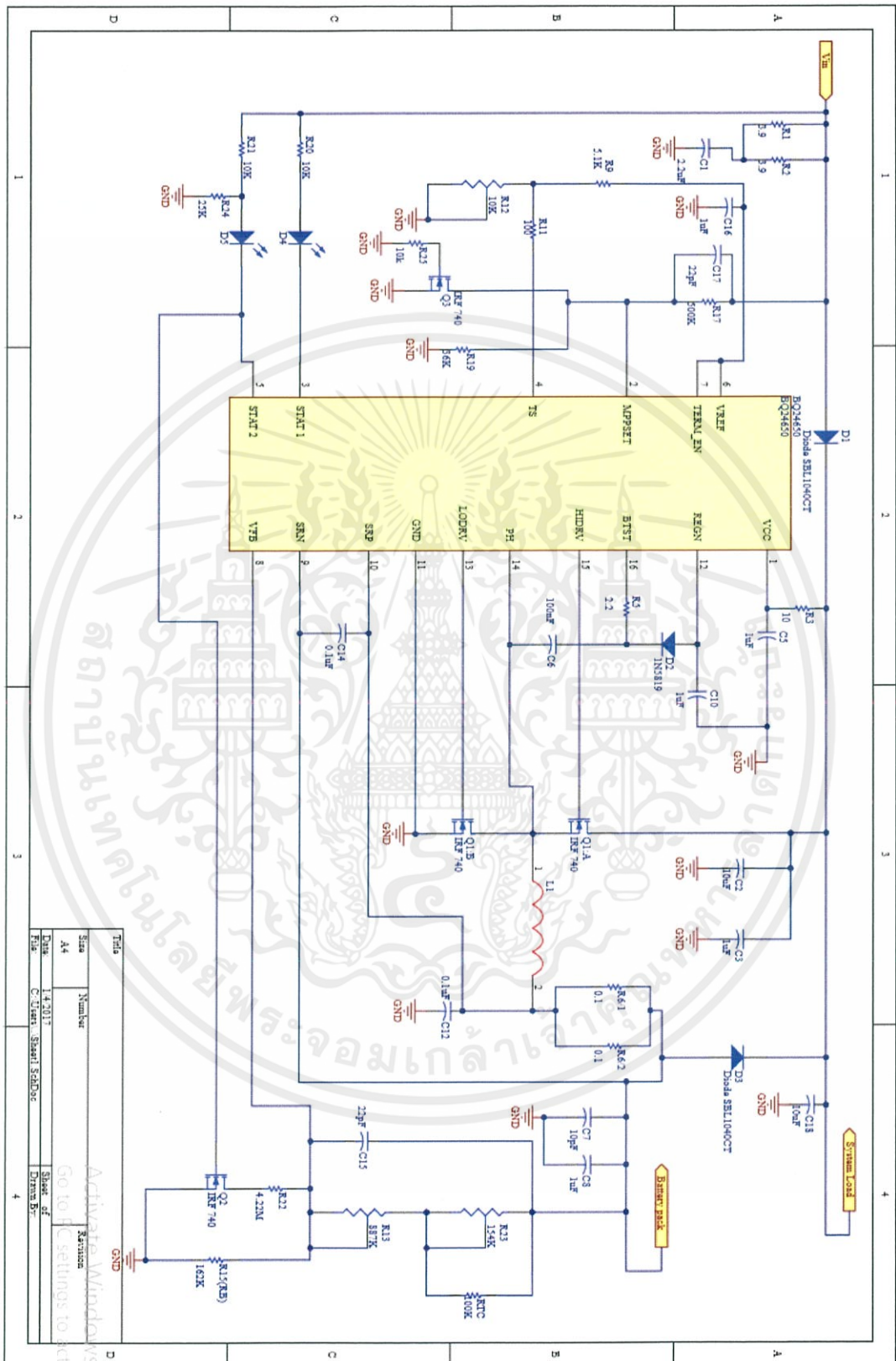
รูปที่ 3.1 PCB ของวงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่



รูปที่ 3.2 Schematicของวงจรแสดงสถานะของแบตเตอรี่

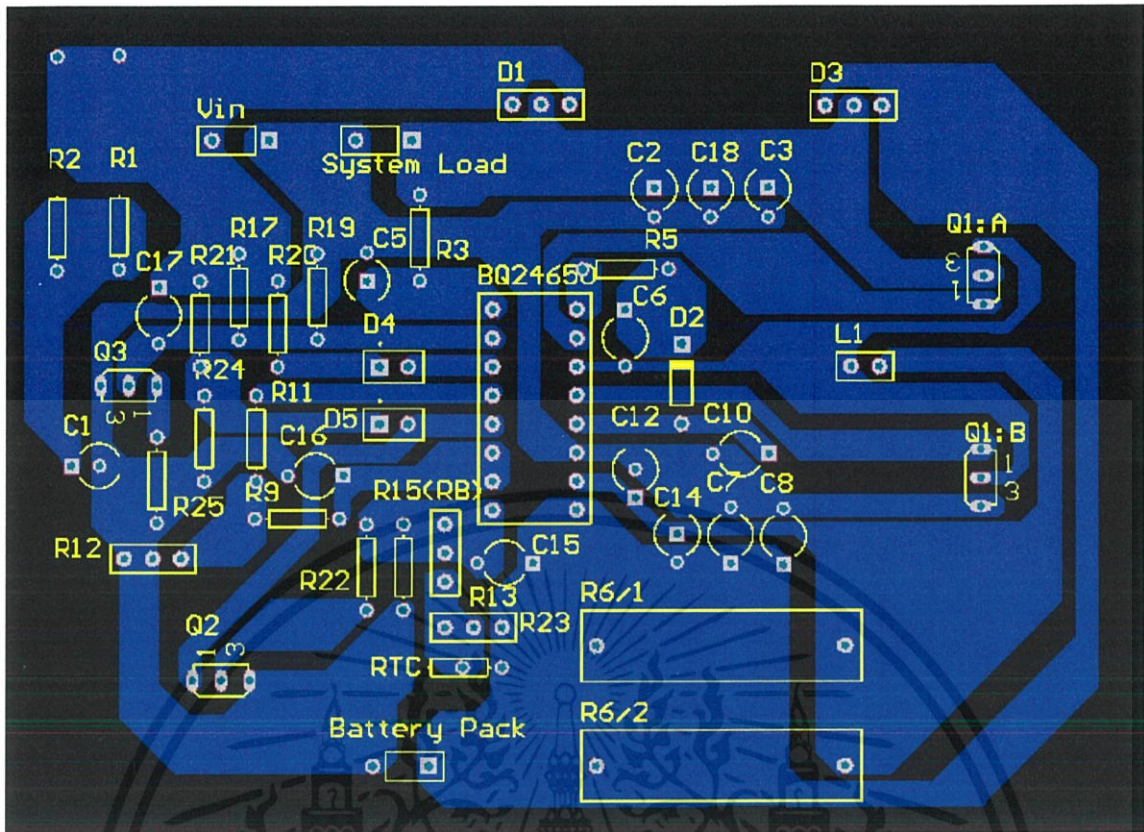
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วงจรชาร์จแบบพัลส์



รูปที่ 3.3 Schematicวงจรชาร์จแบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 PCBของวงจรชาร์จแบบพัลส์

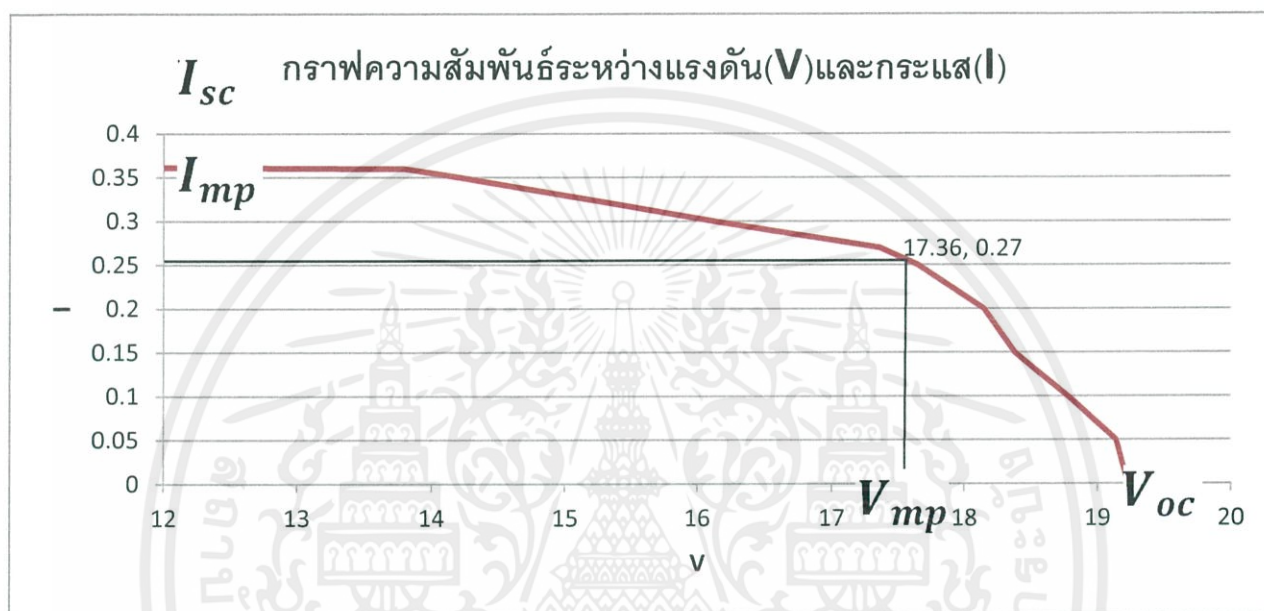
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

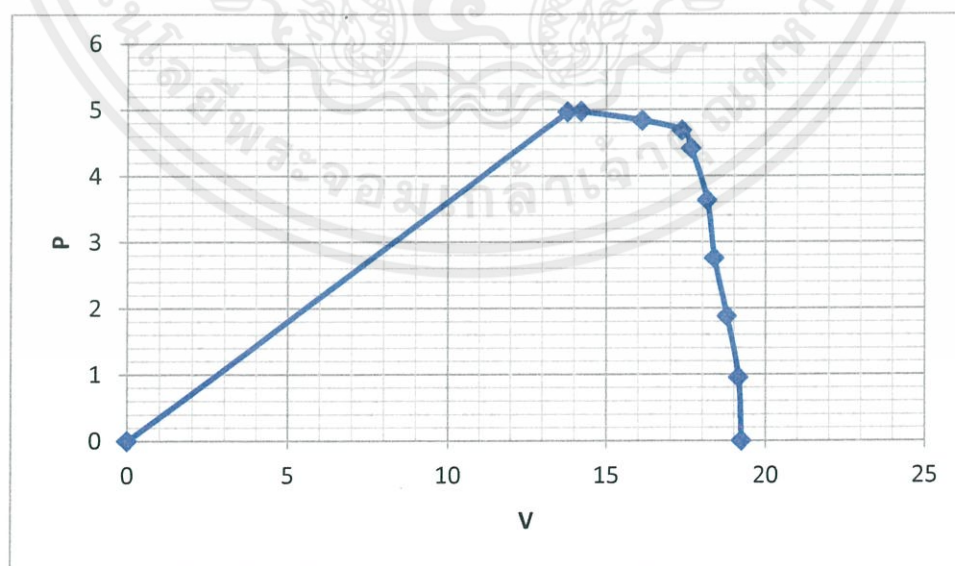
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 วัดเพื่อหาค่า Maximum Power Point Tracking Solar Cell

ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผ่น Solar cell (ซึ่งทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานให้แก่อุปกรณ์ได้กราฟดังนี้ (ทำการวัดที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 1000-1100 (x100))



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (V) และกระแส (I)



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (V) และกำลัง (P)

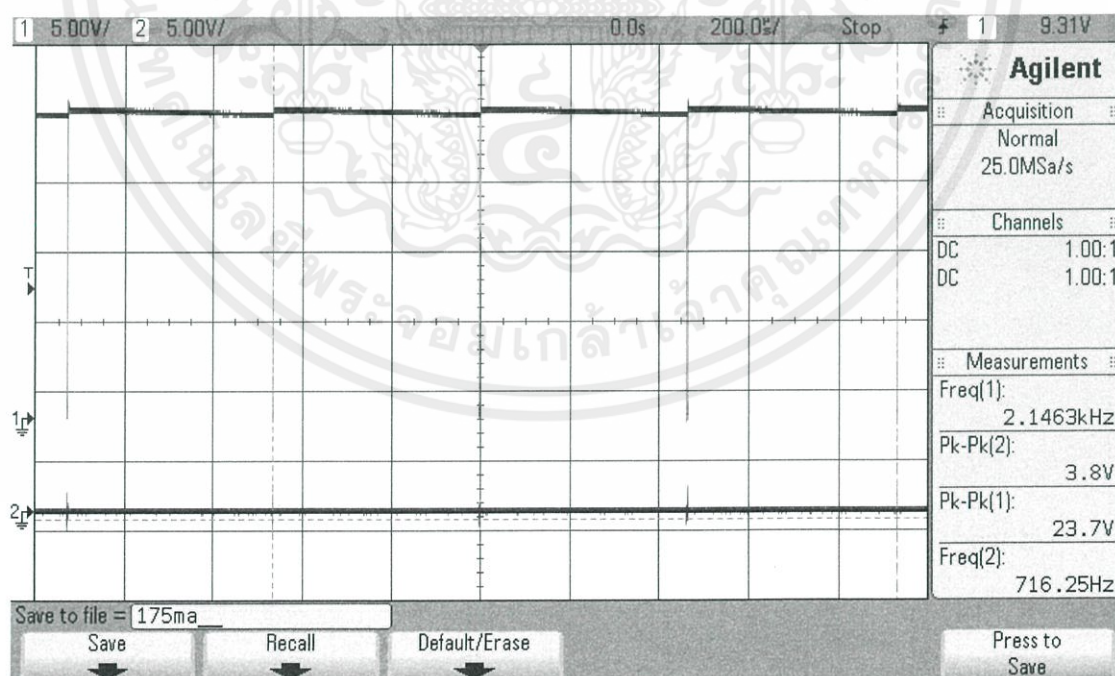
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่าระหว่างแรงดันกับกระแสของแผ่นโซลาร์เซลล์โดยวัดที่ความเข้มแสงประมาณ 1000-1100(x100)

กระแส (I)	แรงดัน (V)	กำลัง (P)
0.36	13.8	4.968
0.35	14.22	4.977
0.3	16.13	4.839
0.27	17.36	4.6872
0.25	17.65	4.4125
0.2	18.15	3.63
0.15	18.38	2.757
0.1	18.78	1.878
0.05	19.14	0.957

## 4.2 การวัดรูปสัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่ตั้งกระแสค่าต่างๆ

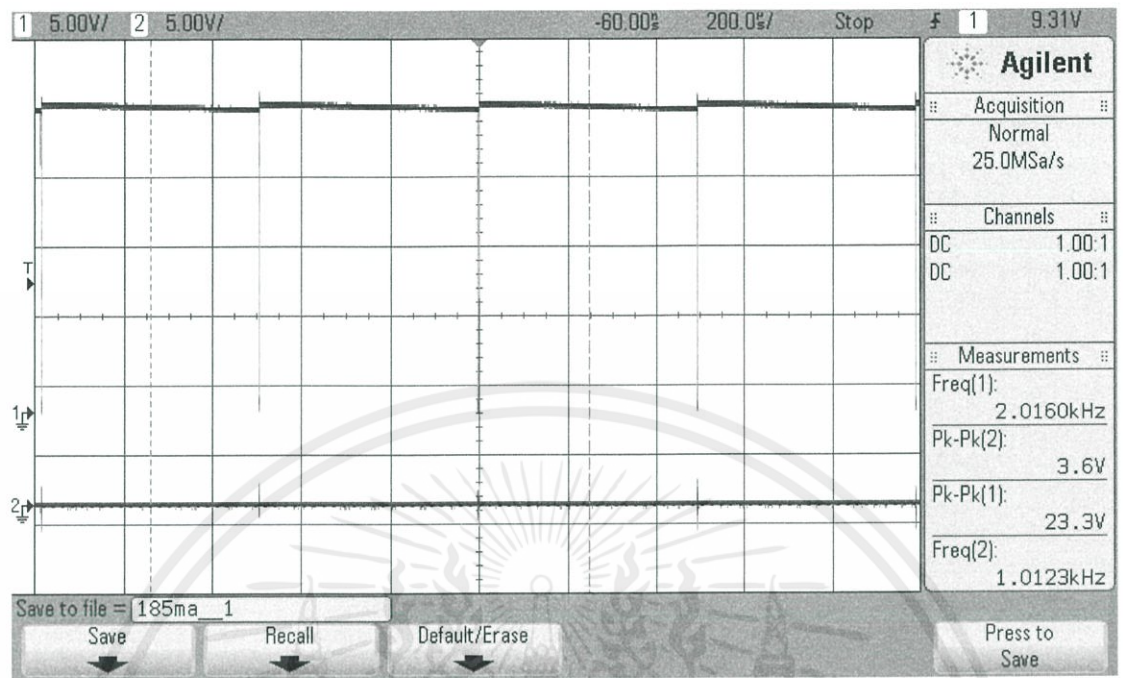
### 4.2.1 ที่กระแส = 175 mA



**รูปที่ 4.3** รูปสัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่ตั้งกระแส = 175 mA

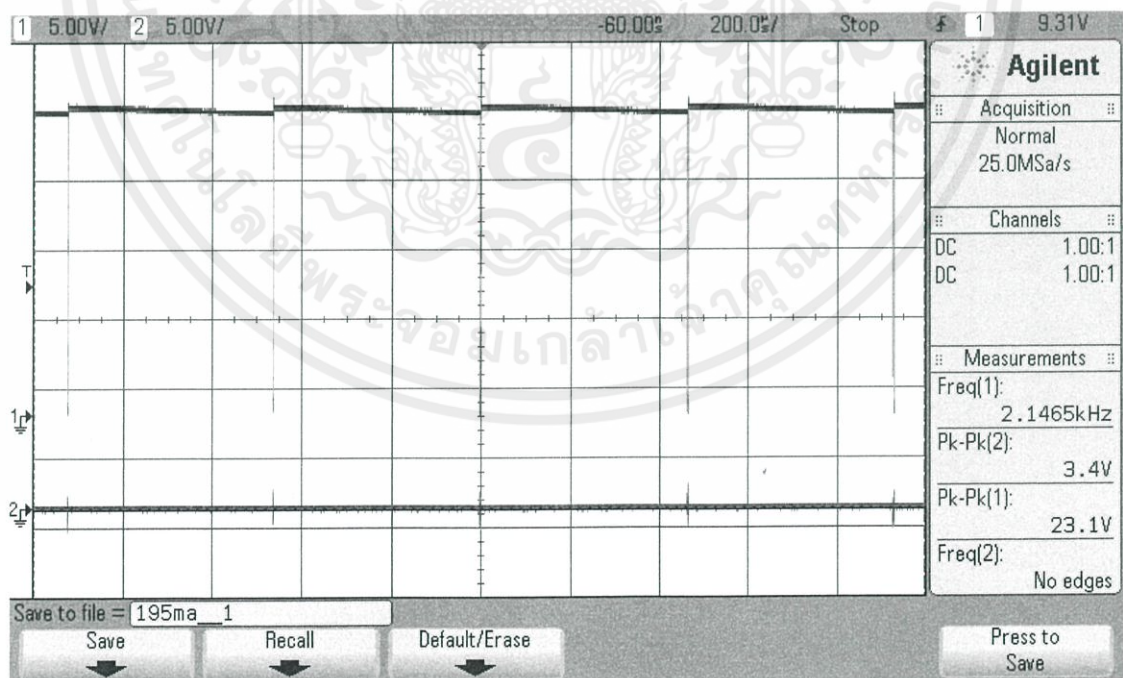
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.2 ที่กระแส = 185 mA



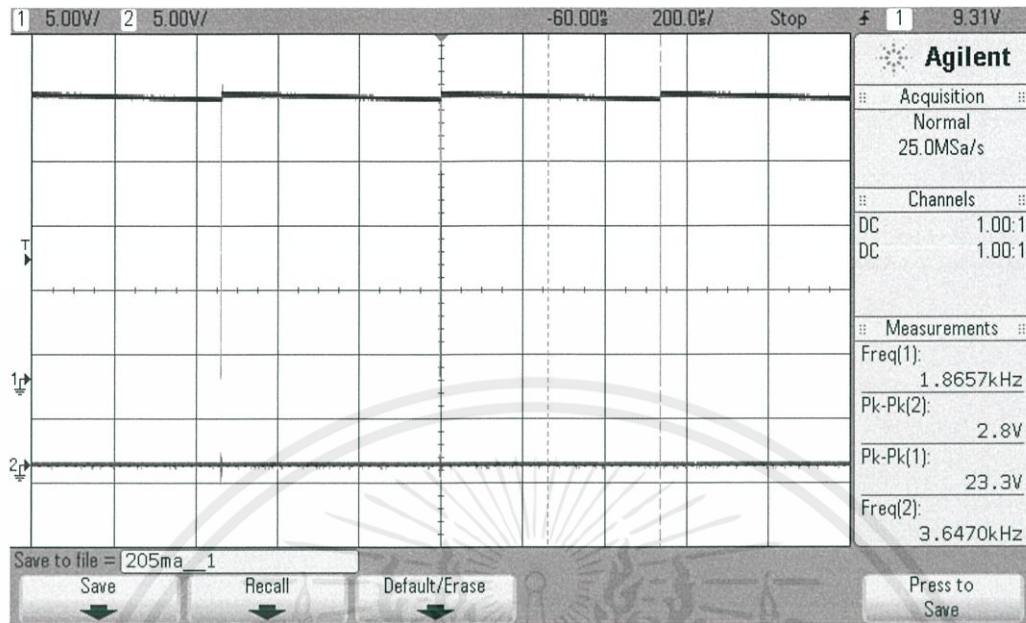
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 185 mA

### 4.2.3 ที่กระแส = 195 mA



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 195 mA

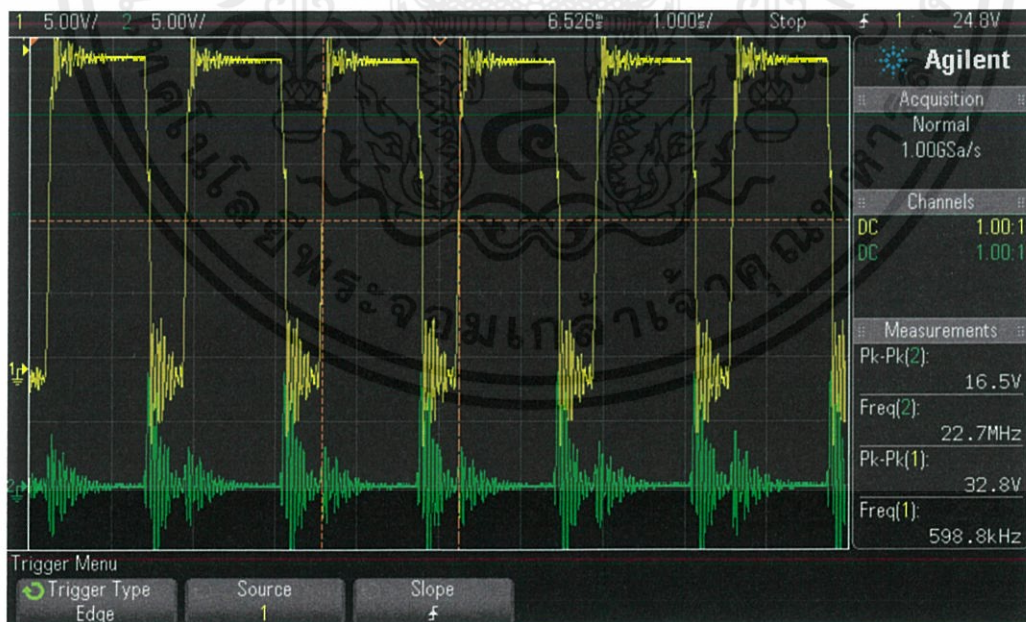
#### 4.2.4 ที่กระแส = 205 mA



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟด้านบน)เทียบกับขาLODRV(กราฟด้านล่าง) ขณะที่ตั้งกระแส = 205 mA

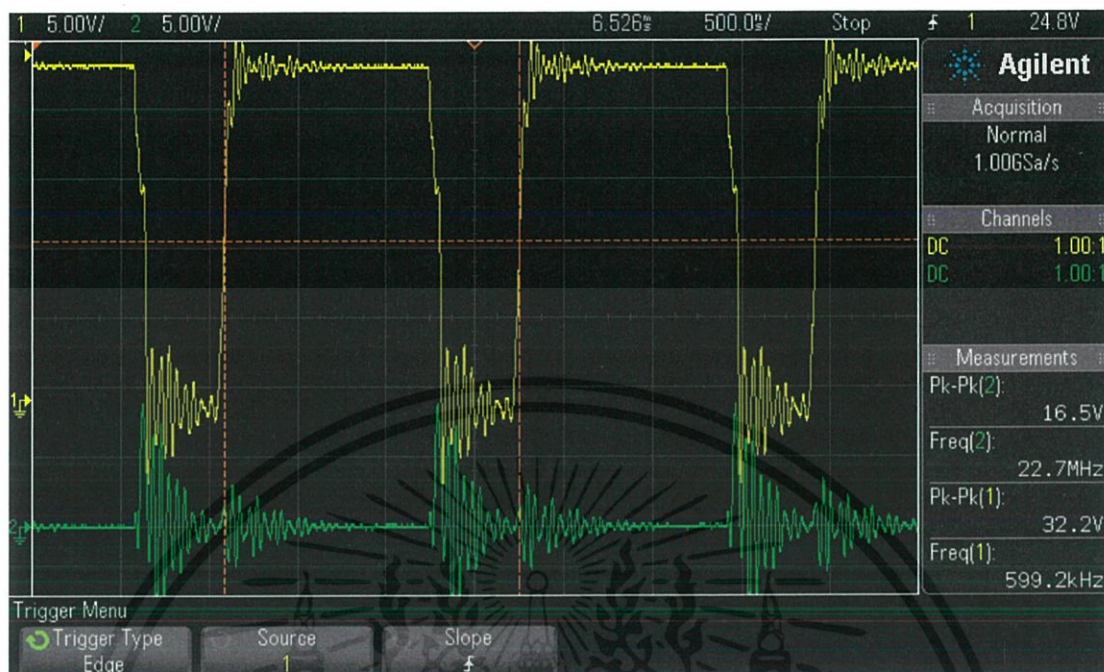
### 4.3 การวัดรูปสัญญาณที่ขาHIDRVเทียบกับขาLODRVขณะที่กำลังชาร์จกับแบตเตอรี่

#### 4.3.1 ที่เวลา 1 $\mu$ s/cm



รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จกับแบตเตอรี่ที่เวลา 1  $\mu$ s/cm

### 4.3.2 ที่เวลา 500 ns/cm



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จกับแบตเตอรี่ที่เวลา 500 ns/cm

### 4.3.3 ที่เวลา 200 ns/cm



รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณที่ขาHIDRV(กราฟสีเหลือง)เทียบกับขาLODRV(กราฟสีเขียว)ขณะที่กำลังชาร์จกับแบตเตอรี่ที่เวลา 500 ns/cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

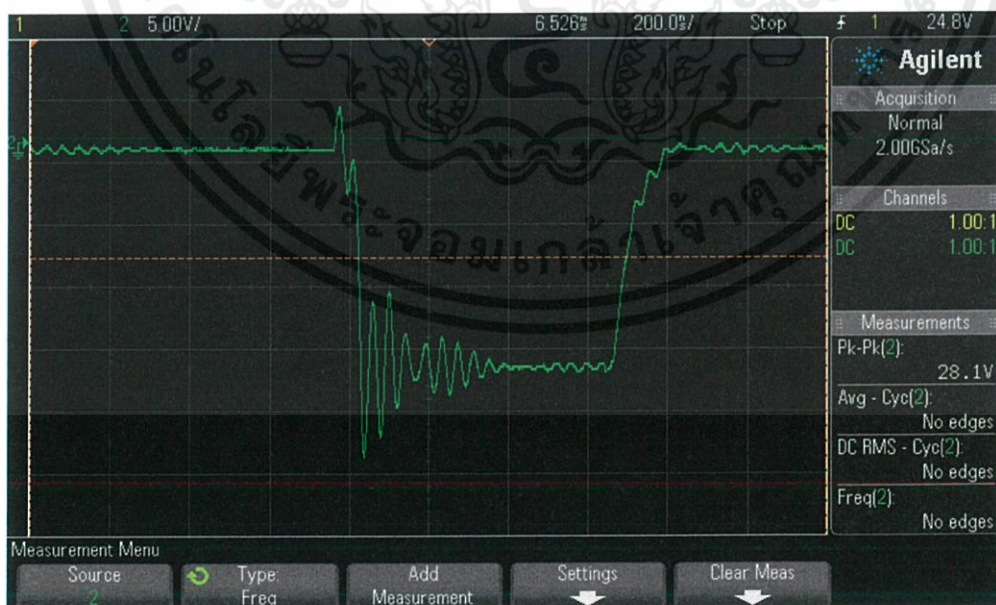
#### 4.4 การวัดรูปสัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1:ขณะทำการชาร์จแบตโดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source)

##### 4.4.1 ที่เวลา 500 ns/cm



รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1:ขณะทำการชาร์จแบตโดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source)ที่เวลา 500 ns/cm

##### 4.4.2 ที่เวลา 200 ns/cm



รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณของมอสเฟต(MOSFET)Q1:ขณะทำการชาร์จแบตโดยวัดระหว่างขาเดรน(Drain)และซอส(Source)ที่เวลา 200 ns/cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำอุปกรณ์ไปในที่ที่มีแสงแดดที่เพียงพอสามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายในเวลาประมาณ 7 ชั่วโมงและเวลาชาร์จอาจจะยาวนานขึ้นถ้าเกิดแสงแดดนั้นมีปริมาณน้อยลง โครงการนี้มีข้อจำกัดตรงที่ถ้าสถานที่ที่เราทำการติดตั้งอุปกรณ์นั้นมีแสงแดดในปริมาณที่ไม่เพียงพออาจทำให้การกักเก็บพลังงานไฟฟ้านั้นอาจจะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ



## เอกสารอ้างอิง

[1] Charging Lead Acid

<http://www.batteryuniversity.com/>

[2] Using the bq24650 to Charge a Sealed, Lead-Acid Battery

<http://www.ti.com/lit/an/slva437a/slva437a.pdf>

[3] Synchronous Switch-Mode Battery Charge Controller for Solar Power With Maximum Power Point Tracking

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/444828/TI/BQ24650.html>

[4] Maximum Power Point Tracking

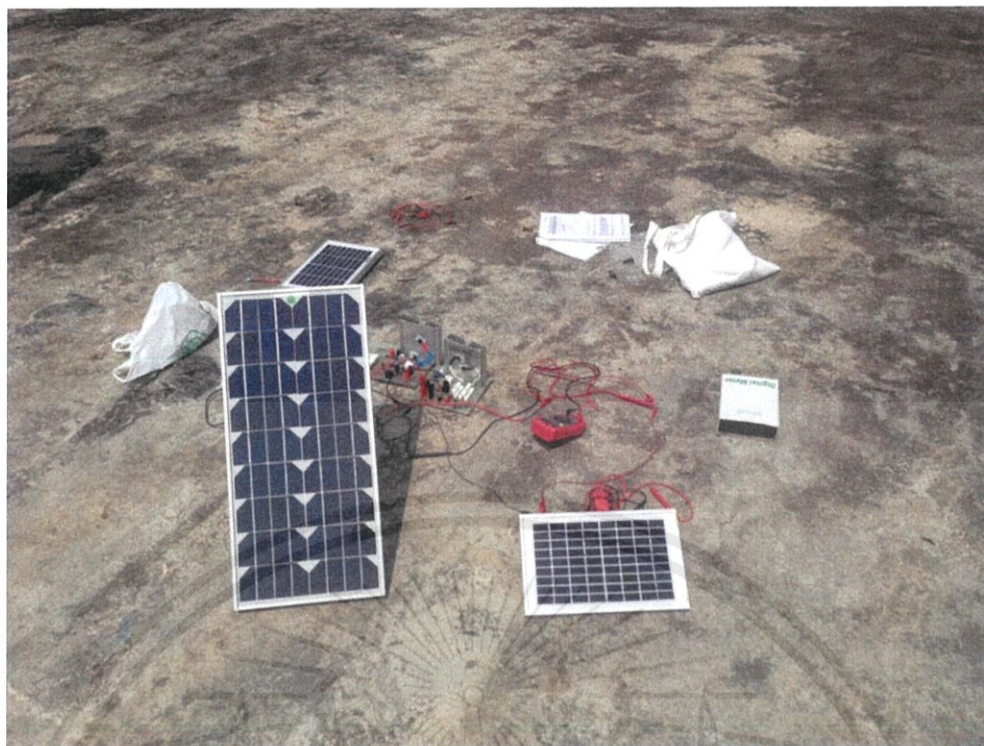
[http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt\\_basics01.php#meaning](http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt_basics01.php#meaning)

[5] LM3914 Dot/Bar Display Driver





<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3914.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

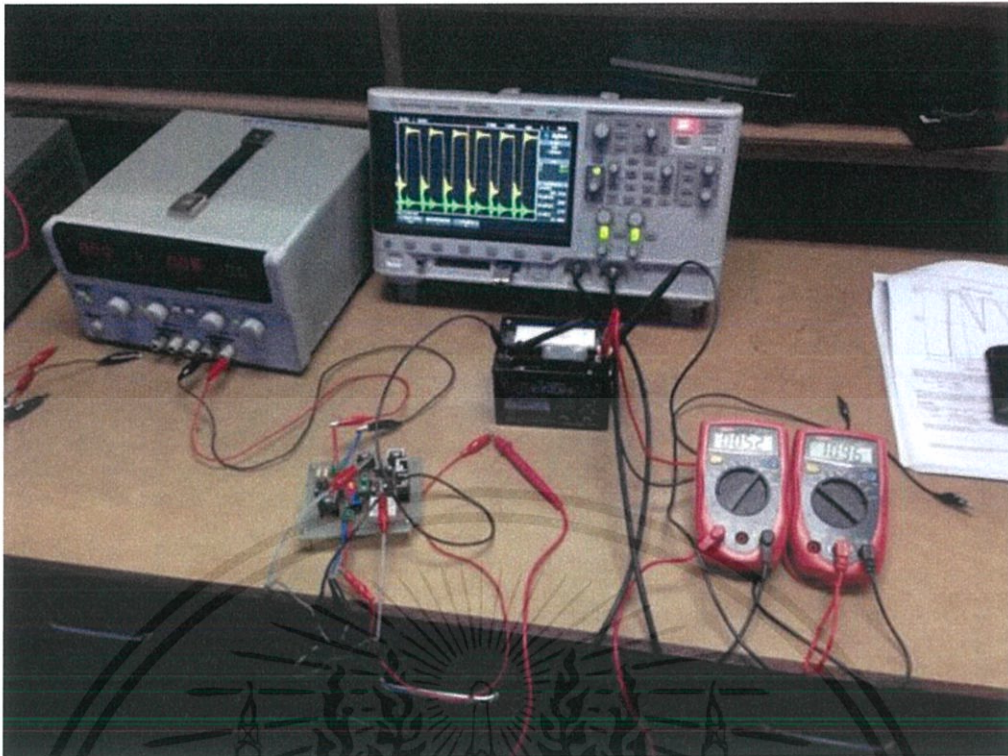


รูปที่ 1 รูปขณะทำการวัด Maximum Power Point Tracking

 EPC International <a href="http://epcinter.co.th">http://epcinter.co.th</a>   	Mono-Crystal Silicon Solar Panel	
	Type: NBJ-005M	
	Pm: 5 W	
	Voc: 22.32 V	
	Isc: 0.29 A	
	Vmp: 18.30 V	
	Imp: 0.27 A	
	Operating Temperature: 45°C - +85°C	
	Maximum System Voltage: 30V DC	Power Tolerance: +/- 3%
	Maximum Series Fuse Rating: 5 A	Nominal Voltage: 12 V
All the data are tesetd under STC: Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM-1.5		

รูปที่ 2 ข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

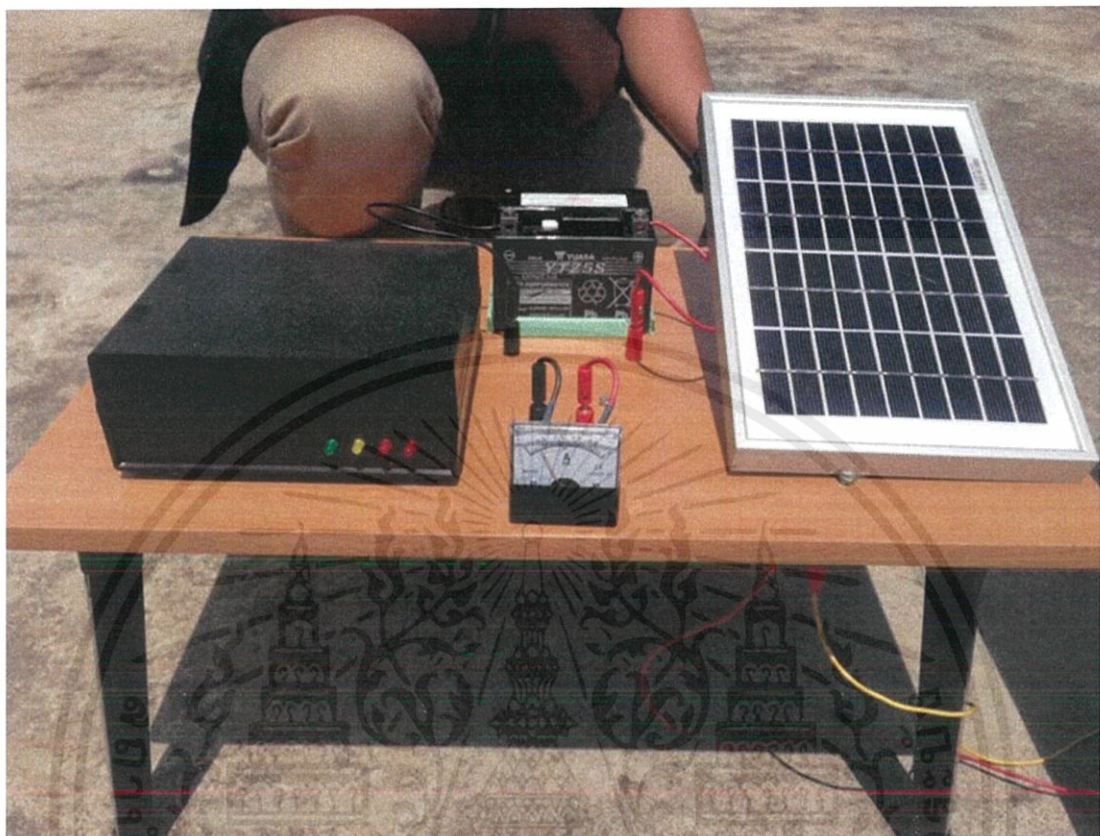


รูปที่ 3 รูปขณะทำการวัดรูปสัญญาณต่างๆ



รูปที่ 4 รูปขณะทำการทดสอบเครื่องแบบรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 รูปขณะทำการทดสอบกระแสรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Using the bq24650 to Charge a Sealed, Lead-Acid Battery

Jeff Falin, Charles Mauney, Stephen Nortman

PWR - BMS Battery Charge

### ABSTRACT

This application report shows how to modify the bq24650 to charge a sealed, lead-acid battery from a solar panel. The circuit uses constant current (CC) charging to reach the bulk battery voltage and then switches to constant voltage (CV) charging until the termination current is reached. The modifications necessary to change the regulated voltage, recharge voltage and regulated current are discussed. The datasheet explains how to configure the MPPSET components, the switching converter active and passive components and other components for the specific application.

### Contents

1	Pulse Current Charging .....	2
2	Circuit to Implement Temperature Compensation .....	4
3	Design Example.....	5
4	Test Results .....	5
5	Circuit to Disable Precharge.....	6
6	Conclusion .....	6
7	References .....	6

### List of Figures

1	Algorithm for Pulse Current Charging .....	2
2	Schematic for Pulse Charging .....	3
3	Battery Voltage vs Temperature for a 6-cell, Sealed, Lead-Acid Battery .....	4
4	Measured Results With Circuit Charging a 6-Cell, 2.4-Ahr Battery .....	6

### List of Tables

1	Measured Results using a Source Meter to Simulate a Lead-Acid Battery .....	6
---	---	---

## 1 Pulse Current Charging

With some simple modifications, the bq24650 charger, designed specifically for charging Li-ion batteries, can charge lead-acid batteries.

Figure 1 shows the pulse current charging algorithm that is used to charge the sealed lead-acid battery.

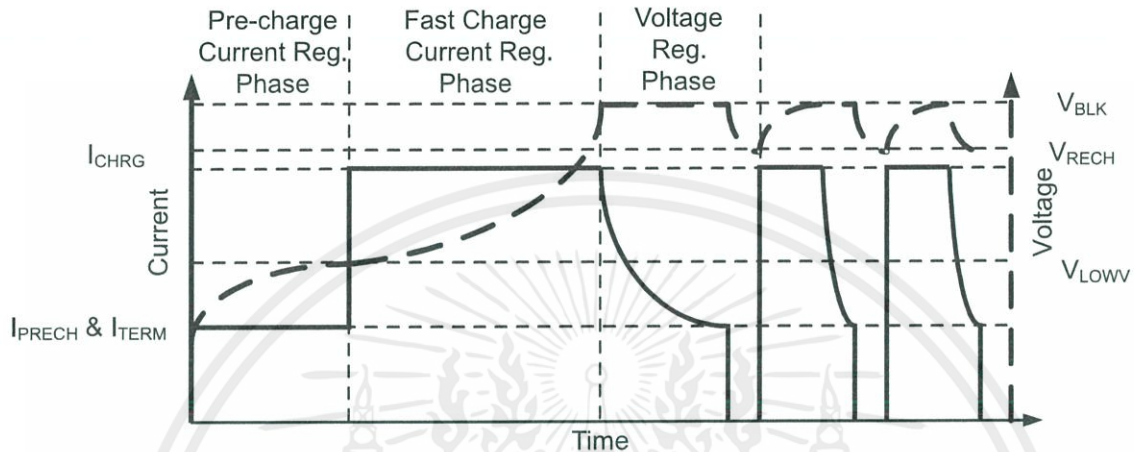


Figure 1. Algorithm for Pulse Current Charging

$V_{BLK}$  is the bulk battery voltage and is the maximum voltage at which the charger regulates. The remaining terms are explained in the bq24650 data sheet ([SLVSA75](#)).

Figure 2 shows the schematic used to implement the algorithm in Figure 1. Five additional components are needed in addition to the typical evaluation module (EVM) circuit. These components, along with the components whose values changed from the EVM circuit, are shown in bold in Figure 2.

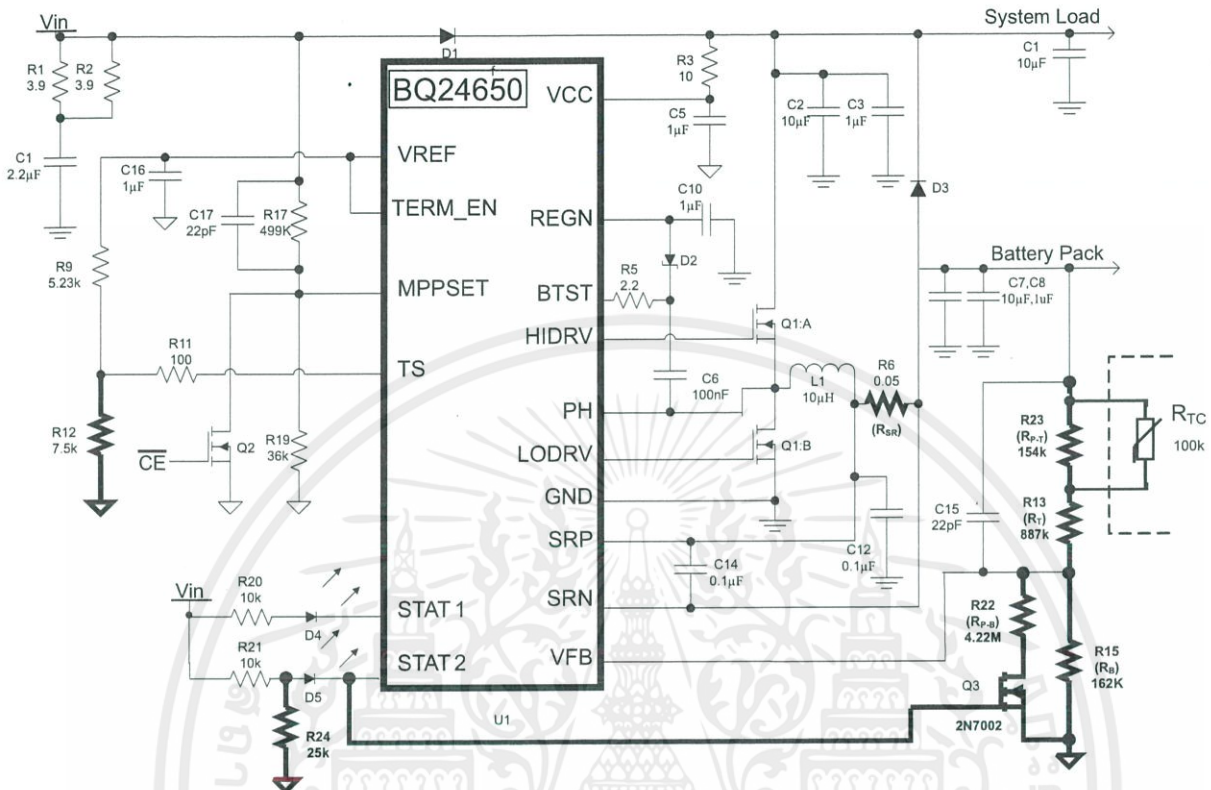


Figure 2. Schematic for Pulse Charging

The charger begins in CC mode and then switches to CV mode. The circuit uses the STAT2 pin, which is pulled high while the battery is charging, to turn on Q3 and increase the charger's CV regulation point to the battery's bulk voltage until the charger senses that the current has tapered off. Normally STAT2 is pulled up to  $V_{IN}$ , but to protect the gate of FET Q3, resistor R23 divides down the voltage at STAT2. Once the charging current falls below the termination current threshold, STAT2 goes to low impedance. This causes Q3 to turn off, thus lowering the recharge threshold voltage,  $V_{RECH}$ , to the battery's float voltage. When  $V_{BAT}$  drops to  $V_{RECH}$ , the charger returns to CC charging and sends a pulse of current to recharge the battery to the bulk voltage and the cycle repeats. Equation 1 gives the  $V_{BULK}$  regulation voltage:

$$V_{BULK} = V_{REF} \times \left( 1 + \frac{R_T + R_{P-T} \parallel R_{TC}}{R_B \parallel R_{P-B}} \right) \quad (1)$$

Equation 2 gives the  $V_{RECH}$  threshold voltage.

$$(V_{REF} - 50mV) = V_{RECH} \times \left( \frac{R_B}{R_B + R_T + R_{TC} \parallel R_{P-T}} \right) \quad (2)$$

Because lead-acid batteries do not typically have built-in thermistors, the charger's over/under temperature regulation features are not used. By changing EVM resistor R12 to 7.5 k $\Omega$ , the TS input senses a fixed voltage that is within the normal operating range and does not change any of the regulation parameters with temperature.

## 2 Circuit to Implement Temperature Compensation

The life span of a lead-acid battery is longer if the charging voltage is adjusted with temperature. For applications where the temperature changes only slightly around 25°C, using a linear negative temperature charging coefficient of approximately  $-2.5$  mV/C per cell is adequate. However, the recommended charging profile over a wider temperature range is not linear. Although not required, for applications where the battery is exposed to a range of ambient temperatures, the regulated bulk and recharge voltages must be adjusted with temperature to maximize battery life. The pink curve in Figure 3 shows the recommended bulk voltage charging profile over temperature, using a 6-cell, lead-acid battery with a bulk voltage of 2.6 V/cell at 25°C. The blue curve is the  $V_{\text{BULK}}$  regulation value, including the thermistor's resistance variation with temperature, as designed in the following example.

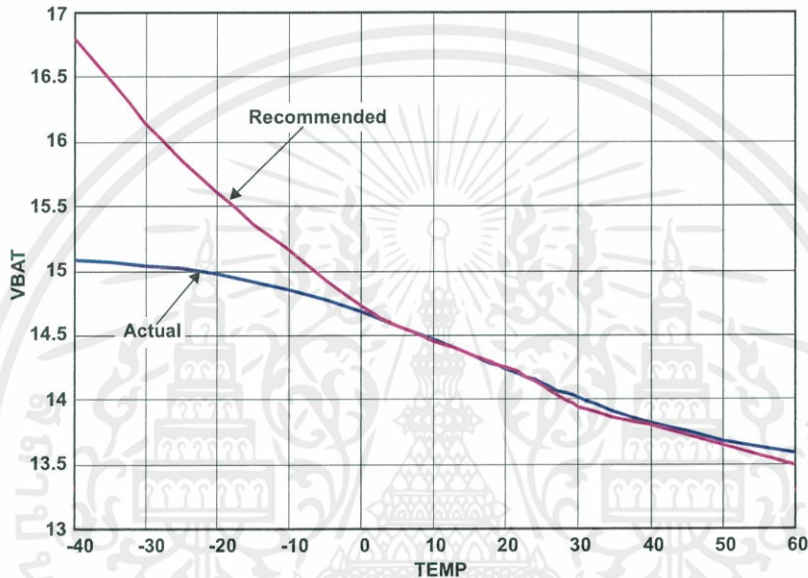


Figure 3. Battery Voltage vs Temperature for a 6-cell, Sealed, Lead-Acid Battery

From Figure 2 and Equation 1, the additional, series feedback resistor ( $R_{\text{P-T}}$ ) in parallel with thermistor  $R_{\text{TC}}$ , placed close to the battery, alters the charger's bulk regulation and recharge (i.e., float) threshold voltages as the temperature changes. Sizing the resistors to achieve the appropriate negative temperature coefficient and regulation point is a trial and error process. One method for finding the best-fit resistor values is as follows:

1. From the selected thermistor's data sheet, select at least three temperature (e.g., maximum, nominal, and minimum) and corresponding resistance values to compute/plot in a spreadsheet.
2. Initially choose ( $R_{\text{B}}||R_{\text{P-B}}$ ) and  $R_{\text{P-T}}$  equal to 1-2 times the thermistor's 25°C value, weighting closer to 2 times as the temperature range goes below zero. Use Equation 3 to estimate  $R_{\text{T}}$  to give the appropriate bulk battery voltage at nominal temperature.

$$R_{\text{T}} = \left( \frac{V_{\text{BULK@T(NOM)}}}{V_{\text{REF}}} - 1 \right) \times R_{\text{B}}||R_{\text{P-B}} - \frac{R_{\text{P-T}} \times R_{\text{TC@T(NOM)}}}{R_{\text{P-T}} + R_{\text{TC@T(NOM)}}} \quad (3)$$

3. Adjust  $R_{\text{P-T}}$  up or down to change the slope of the regulated voltage curve. Increasing  $R_{\text{P-T}}$  significantly increases the regulated voltage at low temperatures.
4. Adjust  $R_{\text{T}}$  up or down to shift the entire curve up or down.

Note that the resistors can only be configured to provide regulation and recharge voltages that match the desired values over a limited temperature range.

### 3 Design Example

The following design example illustrates how to modify the bq24650EVM so that it can recharge a lead-acid battery. For the 6-cell, 2.4-Ahr sealed lead-acid battery used in this example, the bulk (maximum) battery voltage at 25°C is 14.85 V, and the float voltage, used as the recharge voltage, is 14.1 V. The ambient temperature range is 0°C to 55°C.

Step 1. Compute the sense resistor,  $R_{SR}$ , to provide the maximum charge current ( $I_{CHARGE}$ ), which also sets the precharge and termination current to one-tenth of the maximum charge current. It is generally recommended to charge lead-acid cells between 0.1-0.3 times the batteries maximum current rating during CC charging. For this example,  $I_{CHARGE} = 2.4 \text{ A} \times 0.3 = 0.72 \text{ A}$  rounded up to 0.8 A

$$R_{SR} = \frac{40 \text{ mV}}{I_{CHARGE}} = \frac{40 \text{ mV}}{800 \text{ mA}} = 0.05 \Omega \quad (4)$$

The inductor, L1 and FETS Q1A and Q1B must be sized per the data sheet to accommodate this current.

Step 2. Select temperature compensation resistors. With a 100-k $\Omega$  thermistor having  $R_{TC \text{ at } 25^\circ\text{C}} = 100 \text{ k}\Omega$ , selecting  $R_B || R_{P-B} = 156 \text{ k}\Omega$  and  $R_{P-T} = 154 \text{ k}\Omega$  and use Equation 1 to estimate the top feedback resistor,  $R_T$ .

$$R_T = \left( \frac{V_{BULK@T(NOM)}}{V_{REF}} - 1 \right) \times (R_B || R_{P-B}) - \frac{R_{P-T} \times R_{TC@T(NOM)}}{R_{P-T} + R_{TC@T(NOM)}} = \left( \frac{14.85\text{V}}{2.1\text{V}} - 1 \right) \times 156\text{k}\Omega - \frac{154\text{k}\Omega \times 100\text{k}\Omega}{154\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega} = 947\text{k}\Omega \quad (5)$$

Lowering  $R_T$  to 887-k $\Omega$  standard value gives the best fit as shown by the gold curve in Figure 3.

Step 3. Compute the value for  $R_B$ , the bottom feedback resistor that sets  $V_{RECH}$ , the recharge voltage threshold. In this example,  $V_{RECH}$  at 25°C is 14.1 V.

$$R_B = \frac{R_{P-T} || R_{TC} + R_T}{\frac{V_{RECH}}{V_{REF}} - 1} = \frac{100\text{k}\Omega || 154\text{k}\Omega + 887\text{k}\Omega}{\frac{14.1\text{V}}{2.05\text{V}} - 1} = 161\text{k}\Omega \rightarrow 162\text{k}\Omega \text{ standard value} \quad (6)$$

Note that the temperature compensation circuit shifts  $V_{RECH}$  in the same manner that it shifts  $V_{BULK}$ .

Step 4. Compute the value for  $R_{P-B}$ , the switched-in resistor that sets  $R_B || R_{P-B} = 156 \text{ k}\Omega$ .

$$R_B = R_{P-B} = \frac{(R_B || R_{P-B}) \times R_B}{R_B - R_B || R_{P-B}} = \frac{156\text{k}\Omega \times 162\text{k}\Omega}{162\text{k}\Omega - 156\text{k}\Omega} = 4.21\text{M}\Omega \rightarrow 4.22\text{M}\Omega \text{ standard value} \quad (7)$$

Step 5. NMOS FET Q3 in series with the resistor  $R_{P-B}$  can be any low-cost FET. However, few FETs have wider than a  $\pm 20\text{-V}$  maximum  $V_{GS}$  rating. The 2N7002, with  $\pm 20\text{-V}$  maximum  $V_{GS}$  rating, was selected. Therefore, a resistor divider, formed by STAT2's pullup resistor, R21, and an additional resistor, R23, to ground is needed to protect the FET from overvoltage if  $V_{IN}$  exceeds 20 V. Resistor R23 must be large enough to protect the FET but not too large that it lowers the FET's gate voltage below at least 2 V above its 2.5-V maximum threshold voltage. Equation 8 computes R23 assuming the maximum input voltage is 22 V.

$$R23 > \frac{V_{GS(MAX)} - R21}{V_{IN(MAX)} - V_{GS(MAX)}} = \frac{20 \text{ V} \times 10\text{k}\Omega}{22 \text{ V} - 20 \text{ V}} = 10 \text{ k}\Omega \quad (8)$$

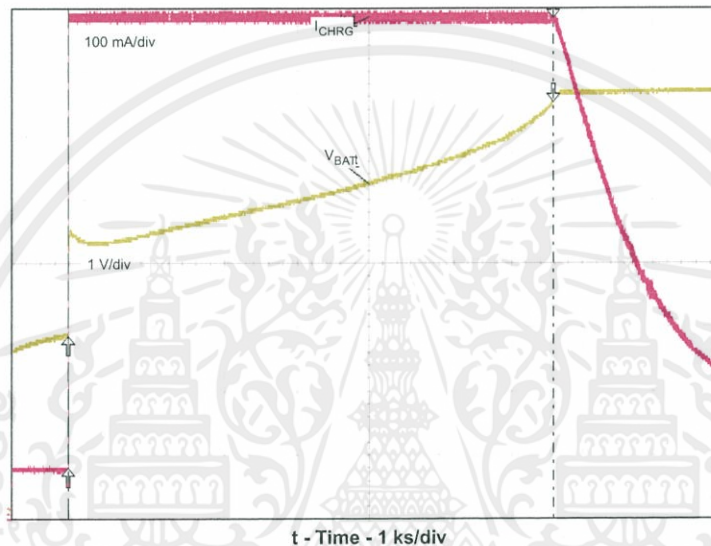
R23 was selected to be 25 k $\Omega$ .

### 4 Test Results

Table 1 shows measured results from using a source meter to simulate the battery compared to minimum and maximum expected results, including resistor and voltage tolerances. Figure 4 shows a scope shot of the circuit as the battery charger moves from precharge mode to CC mode to CV mode and then toward termination.

**Table 1. Measured Results using a Source Meter to Simulate a Lead-Acid Battery**

	0°C			25°C			55°C		
	Computed Minimum (V)	Measured (V)	Computed Maximum (V)	Computed Minimum (V)	Measured (V)	Computed Maximum (V)	Computed Minimum (V)	Measured (V)	Computed Maximum (V)
V <sub>LOWV</sub>	11.2	11.4	11.8	10.7	10.9	11.2	10.3	10.6	10.8
V <sub>BULK</sub>	15.2	15.5	15.9	14.5	14.8	15.2	14.0	14.4	14.6
V <sub>RECH</sub>	14.7	14.6	15.1	14.1	14.1	14.5	13.5	13.5	13.9



**Figure 4. Measured Results With Circuit Charging a 6-Cell, 2.4-Ahr Battery**

### 5 Circuit to Disable Precharge

For an explanation of a circuit to disable Precharge, see the application report *Reducing Precharge Phase Region for bq24650* (SLVA473).

### 6 Conclusion

The bq24650 battery charger can be modified to charge a lead-acid battery simply by changing the charger's regulation and recharge voltage set points. The circuit modifications also cause the charger's set points to vary with temperature by placing a thermistor and parallel resistor in series with the top, external feedback resistor. In addition, the modifications cause the charger to "exercise" the battery with pulsing currents during the constant voltage phase of the charge profile. For most lead acid batteries, this charging profile prolongs battery life. However, the user should follow their battery manufacturer's recommended charging profile in order to maximize battery life.

### 7 References

1. bq24650, Synchronous Switch-Mode Battery Charge Controller for Solar Power With Maximum Power Point Tracking data sheet (SLUSA75)

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

### TI E2E Community

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated