



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่  
โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**Design of DC-DC Converters for Battery Charger  
for Standalone Photovoltaic System**

โดย

ดร.มนทล นาวงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย

2556

ชื่อเรื่อง : การออกแบบวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
ผู้วิจัย : มณฑล นาวงษ์  
ปีที่พิมพ์ : 2558

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แนะนำเสนอการออกแบบวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W, 17.6V, 1.14A จำนวนสองแผงต่อแบบอนุกรมซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าขนาด 36V แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพิกัด 12V, 7.2Ah และวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010 เพื่อการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่ โดยการออกแบบระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ชนิดการควบคุมกระแสไฟฟ้าสูงสุด (peak current mode control) ในช่วงเริ่มต้นของการประจุแบตเตอรี่เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่และต่อเนื่องตลอดเวลาในช่วงเวลาดังกล่าวระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด วงจรควบคุมเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ชนิดการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ ในช่วงเวลาดังกล่าวระดับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงศูนย์แอมป์ ทำให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าที่เต็มอยู่ตลอดเวลาและลดการคายประจุไฟฟ้าในตัวเองก่อนการนำไปใช้งาน การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่ ทำให้มีข้อดีคือระยะเวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่น้อยลง ซึ่งผลการทดลองในช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าคงที่ที่กำหนดให้กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่ 1A และในช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่กำหนดระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ 14.4V ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่ 4 ชั่วโมง และนำแบตเตอรี่มาทำการคายประจุไฟฟ้าโดยใช้โหลดคงที่ 3A ใช้เวลาในการคายประจุ 1 ชั่วโมง 11 นาที

Title : Design of DC-DC Converters for Battery Charger for Standalone  
Photovoltaic System  
Researcher : Monthon Nawong  
Year of Publication : 2015

### **Abstract**

This research presents the design of DC-DC converter for battery charging for photovoltaic system. The system consists of a 20W, 17.6V, 1.14A PV module that can be connected electrically in series and that can convert the solar energy directly into electricity of 36V, a 12V, 7.2Ah lead-acid battery, buck converter and its digital control design with dsPIC30f1010 microcontroller to battery charger using the constant voltage-current charging method. Those methods are both a constant current based on peak current mode control and a constant voltage charge based on PID control. Battery charging starts with a constant current until a certain voltage is reached. Battery charging continues with a constant voltage until the current decreases to a value of zero current to complete and maintain the battery charge. The constant voltage-current charging method had the advantages such as higher shorter charging time. The result of battery charger is satisfactory; charging method of the battery can be completed within 4 hours by a current of 1A and a constant voltage of 1.4.4V. A battery discharging at 3A it will last for 1 hour, 11 minutes.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยธุรกิจ  
บัณฑิตย์ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการแปรสภาพพลังงานกลไฟฟ้า ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้าที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากงานวิจัยฉบับนี้หรือส่วนหนึ่งส่วนใดก็ตาม ข้าพเจ้า  
ขอมอบให้กับบิดาและมารดา ครู คณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์แก่  
ข้าพเจ้า

มนทล นางษ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	ฉ
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2</b> เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module)	5
2.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	8
2.3 แบตเตอรี่ (Battery)	12
2.4 วิธีการการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)	14
2.5 บทสรุป	17
<b>บทที่ 3</b> การออกแบบวงจร	18
3.1 พิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	18
3.2 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	21
3.3 วงจรขับเกทมอสเฟต	23
3.4 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	24
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	25
3.6 การออกแบบวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่	27
3.7 บทสรุป	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4</b> ผลการทดสอบการทำงาน	32
4.1 การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่	32
4.2 การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่ โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	39
4.3 บทสรุป	45
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วงจรที่ใช้ในการทดลอง	
ภาคผนวก ข เอกสารกำกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	
ภาคผนวก ง ประวัติผู้เขียน	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20W ทดสอบที่ ค่าความเข้มแสง ( $1\text{ kW/m}^2$ ) และอุณหภูมิ ( $25^\circ\text{C}$ )	19
3.2 ค่าคิวตี้ไซเคิล ( $D$ ) ของวงจรถักคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า ( $v_{in}$ )	21
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรถักคอนเวอร์เตอร์	23
4.1 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $V_{oc}$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลง	37
4.2 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่ เมื่อกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลง	39
4.3 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่เปรียบเทียบกับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	45

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.2 กราฟการทำงานของ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่อุณหภูมิคงที่	6
2.3 กราฟการทำงานของ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ความเข้มแสงคงที่	7
2.4 กราฟการทำงานของ P-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง	8
2.5 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	8
2.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้าออก $v_o$ กระแสไฟฟ้า $i_L$ และแรงดันไฟฟ้าขั้วเกท $V_G$	9
2.7 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์นำกระแสไฟฟ้า	9
2.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสไฟฟ้า	10
2.9 แบบเตอริ์ประเภทตะกั่ว-กรด	13
2.10 วงจรพื้นฐานของการประจุแบบเตอริ์	14
2.11 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบบเตอริ์แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่	15
2.12 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบบเตอริ์แบบกระแสไฟฟ้าคงที่	16
2.13 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบบเตอริ์ แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่	17
3.1 การประจุแบบเตอริ์จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	18
3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W	19
3.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	19
3.4 ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง	20
3.5 ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าความต้านทานคงที่ เมื่อค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง	20
3.6 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการประจุแบบเตอริ์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	23
3.7 วงจรขั้วเกทมอสเฟตด้วย TPL250	24
3.8 วงจรตรวจวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าด้วยตัวต้านทานแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	24
3.9 วงจรตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้าด้วย MAX4173T/H	25
3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010	25
3.11 การควบคุมการประจุแบบเตอริ์แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่	27
3.12 แผนภาพบล็อกการทำงานของารควบคุม PID	27
3.13 แผนภาพโบดิของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อใช้วงจรควบคุม PID	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 การทำงานของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำแบบชดเชยความชัน	29
3.15 แผนผังการทำงานของการประจุแบตเตอรี่	
แบบควบคุมแรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าให้คงที่	31
4.1 วงจรประจุแบตเตอรี่ 12V-7.2AH โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่	32
4.2 วงจรคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่	33
4.3 ผลทดลองการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่การประจุแบตเตอรี่	
แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ มีค่า 1.2A รูปสัญญาณที่ (1) แสดง $v_o$ (2V/div)	
รูปสัญญาณที่ (2) แสดง $i_L$ (1A/div) รูปสัญญาณที่ (3) แสดง $v_G$	
(สัญญาณสังการสวิทซ์, 2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)	33
4.4 ผลทดลองการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่การประจุแบตเตอรี่	
แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ มีค่า 14.4V รูปสัญญาณที่ (1) แสดง $v_o$ (2V/div)	
รูปสัญญาณที่ (2) แสดง $i_L$ (1A/div) รูปสัญญาณที่ (3) แสดง $v_G$	
(สัญญาณสังการสวิทซ์, 2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)	34
4.5 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (1.2A) –แรงดัน ไฟฟ้าคงที่ (14.4V)	34
4.6 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่ 3 A	35
4.7 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อ $V_{oc}$ มีค่าเปลี่ยนแปลง	36
4.8 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่โหลดคงที่ 3 A เมื่อ $V_{oc}$ มีค่าเปลี่ยนแปลง	36
4.9 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อ $I_{ref}$ มีค่าเปลี่ยนแปลง	38
4.10 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่โหลดคงที่ 3 A เมื่อ $I_{ref}$ มีค่าเปลี่ยนแปลง	38
4.11 วงจรประจุแบตเตอรี่ 12V โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	39
4.12 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 08.00-13.00 น.	
วันที่ 22 ธันวาคม 2557	40
4.13 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (1A) - แรงดันไฟฟ้าคงที่ (14.4V)	40
4.14 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A	41
4.15 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 08.00-13.00 น.	
วันที่ 25 ธันวาคม 2557	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (0.3A, 1A และ 1.5A) – แรงดันไฟฟ้าคงที่ (14.4V)	42
4.17 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่ไหลคงที่ 3 A	43
4.18 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น.	43
4.19 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่	44
4.20 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่ไหลคงที่ 3 A	44

## สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สัญลักษณ์	ความหมาย
$v_{pv}$	แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
$i_{pv}$	กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
$I_s$	กระแสไฟฟ้าอิ่มตัวของไดโอด (A)
$I_{cc}$	กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (A)
$k$	ค่าคงที่ของโบลมันซ์ (J/K)
$q$	ค่าประจุอิเล็กตรอน (C)
$T$	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (K)
$R_s$	ความต้านทานอนุกรม ( $\Omega$ )
$R_p$	ความต้านทานขนาน ( $\Omega$ )
$m$	Ideality factor ของไดโอด ( $1 < m < 2$ )
$I_{sc}$	กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A)
$V_{oc}$	แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V)
$G$	ค่าความเข้มแสง ( $W/m^2$ )
$T_{ref}$	อุณหภูมิอ้างอิงที่ ( $25^\circ C$ )
$G_{ref}$	ค่าความเข้มแสงอ้างอิงที่ ( $1kW/m^2$ )
$\alpha$	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส ( $A/^\circ C$ )
$\beta$	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดัน ( $V/^\circ C$ )
$V_{mp}$	แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงสุด
$I_{mp}$	กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงสุด
$P_{max}$	กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าสูงสุด
$v_{in}$	แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
$v_o$	แรงดันไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
$D$	ค่าดิวตี้ไซเคิล
$\Delta i_L$	ค่าริบเปิลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
$i_{L,max}$	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด
$i_{L,min}$	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด
$i_L$	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
$V_G$	แรงดันไฟฟ้าขั้วแกวมอสเฟต

## สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
$L$	ค่าของตัวเหนี่ยวนำ
$L_{\min}$	ค่าของตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด
$C$	ค่าของตัวเก็บประจุ
$T_s$	คาบเวลาในการทำงาน
$f_s$	ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์
$i_o$	กระแสไฟฟ้าทางค่านออก
$v_b$	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่
$i_b$	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่
$C$	ค่าความจุกระแสแบตเตอรี่
$i_{ref}$	กระแสไฟฟ้าอ้างอิง
$\bar{V}_{OC}$	แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากฟอสซิลกำลังเริ่มหมดไปนอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานจากฟอสซิลคือทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากฟอสซิล เช่น พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น พลังงานสะอาดเหล่านี้มีอยู่ทั่วไป และมีต้นทุนต่ำ พลังงานจากแสงอาทิตย์มีการนำมาใช้งานได้สองรูปแบบ รูปแบบแรกคือการใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยวิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม วิธีทางตรงคือการใช้พลังงานความร้อนมาหมุนเครื่องยนต์ความร้อน (Sterling Engine) [1] ที่ต่อกับเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และวิธีทางอ้อมคือการใช้พลังงานความร้อนมาต้มน้ำแล้วนำไอน้ำมาหมุนเจนเนอเรเตอร์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า รูปแบบที่สองคือการใช้สิ่งประดิษฐ์เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง [2] เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานโดยทั่วไปมีการผลิตแรงดันไฟฟ้าได้น้อยมาก (ประมาณ 0.7V ต่อหนึ่งเซลล์) ดังนั้นเมื่อต้องการนำมาใช้งานให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจึงต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อเชื่อมเป็นวงจรแบบโมดูล (Module) หรือแผง (Panel) เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module or PV Panel) มีการจำแนกระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 3 ระบบคือระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระประกอบด้วยการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานโดยตรง เช่นนำมาใช้งานกับโหลดประเภทหลอดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น และนำมาใช้ในการประจุแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ [3]

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมคือความเข้มแสง (Solar irradiance) และอุณหภูมิ (Temperature ) [4] ด้วยเหตุนี้วิธีการประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการจำกัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ จึงใช้งานได้เฉพาะกับระบบที่ต้องพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักและมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ใช้งานกับกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงต้องใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) [5-7] ซึ่งทำ

หน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่และเหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่โดยการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการวิธีการประจุแบตเตอรี่ [8-10] แบ่งออกเป็นการทำงานแบบวงจรควบคุมให้ทำงานในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage: CV) [11-12] และวงจรควบคุมการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current: CC) [13-15]

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานได้ทั้งสองโหมดคือการทำงานในโหมดของกระแสไฟฟ้าคงที่เพื่อควบคุมไม่ให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มแรกที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่สูงเกินไปและโหมดควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่เพื่อการสะสมพลังงานให้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประจุแบตเตอรี่ด้วยการทำงานในโหมดใดโหมดหนึ่งเท่านั้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่
- 1.2.2 ออกแบบวงจรควบคุมของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่
- 1.2.3 ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่ โดยพิจารณาที่เงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage: CV) และกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant current: CC)

## 1.3 สมมุติฐานการวิจัย

- 1.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20W สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดขณะเปิดวงจร ( $V_{OC}$ ) 21V กระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะลัดวงจร ( $I_{OC}$ ) 1.3A แรงดันไฟฟ้าที่ก้ำกั๊งไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mp}$ ) 17.6V และกระแสไฟฟ้าที่ก้ำกั๊งไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{mp}$ ) 1.14A (ความเข้มแสง 1,000  $W/m^2$  อุณหภูมิ 25°C) ค่าของความเข้มแสงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาวะอากาศในแต่ละวัน (200  $W/m^2$ -800  $W/m^2$ ) ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ (8V-20V) ดังนั้นเมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจึงต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นหรือต่อแบบอนุกรมให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามการนำไปใช้งาน

1.3.2 ออกแบบวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสะดวกในการใช้งานโดยการเขียนโปรแกรมผ่านคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงและสามารถออกแบบวงจรควบคุมได้หลากหลายรูปแบบโดยไม่ต้องเพิ่มหรือลดจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของวงจรควบคุมเหมือนวงจรควบคุมแบบอนาล็อกที่มีการใช้งานแบบทั่วไป ทำให้วงจรที่ออกแบบมีขนาดเล็ก สะดวกต่อการนำไปใช้งาน

1.3.3 การประจุแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20W โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่คงที่หรือกระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่คงที่ซึ่งมีผลทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่สูงขึ้น และทั้งสองวิธีใช้ระยะเวลาในการประจุแบตเตอรี่ประมาณ 8-12 ชั่วโมง และออกแบบให้ประจุแบตเตอรี่มีการทำงานร่วมกันระหว่างกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่เพื่อลดระยะเวลาของการประจุให้ใช้ระยะเวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมงเพื่อให้เหมาะสมกับช่วงเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดในหนึ่งวัน

#### 1.4 นิยามศัพท์

1.4.1 Photovoltaic (PV) cell หมายถึงสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.4.2 PV Module หรือ PV Panel หมายถึงลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นวงจรเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

1.4.3 DC-DC Converters หมายถึงวงจรที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านใช้งาน

1.4.4 Battery Charger หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.2 พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการประจุแบตเตอรี่

1.5.3 วิธีการประจุแบตเตอรี่ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.5.4 จำนวนของโหนดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีการใช้งาน 2 รูปแบบ [1] ได้แก่การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Solar Thermal) และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation)

1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Solar Thermal) เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรง โดยนำใช้กับเครื่องยนต์ความร้อน (Sterling Engine) ในการหมุนเจเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และวิธีการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้งานโดยทางอ้อมคือการใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาต้มน้ำแล้วนำไอน้ำไปหมุนเจเนอเรเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

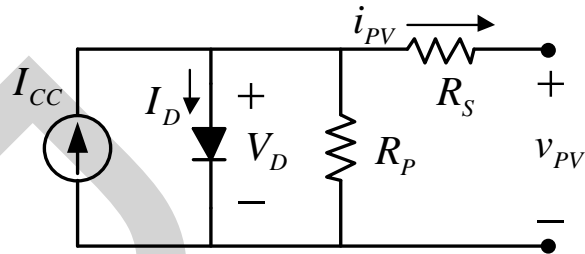
2 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Solar Radiation) เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้สิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell: PV) หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เพื่อการผลิตพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดเล็กและผลิตแรงดันไฟฟ้าได้น้อยมาก (ประมาณ 0.7 โวลต์ต่อหนึ่งเซลล์) ดังนั้นเมื่อนำไปใช้งานให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อเป็นแบบโมดูล (Module) หรือพาแนล (Panel) เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module or PV Panel) และเมื่อต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรมหาศาลเรียกว่าอาร์เรย์ (Array)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบหลักคือ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ซึ่งในงานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระเท่านั้น

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระคือระบบที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มหรือลดระดับของแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปใช้งาน และแบตเตอรี่ซึ่งมีหน้าที่สะสมพลังงานที่ได้ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์

## 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยซึ่งได้แก่อุณหภูมิ ( $T$ ) และความเข้มแสง ( $G$ ) สามารถนำเสนอโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.1 [16-18]



รูปที่ 2.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้า ( $v_{PV}$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $i_{PV}$ ) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้ตามสมการดังนี้

$$i_{PV} = I_{CC} - I_S \left( e^{\left( \frac{q(v_{PV} + R_S i_{PV})}{m k T} \right)} - 1 \right) - \frac{v_{PV} + R_S i_{PV}}{R_P} \quad (1)$$

เมื่อ

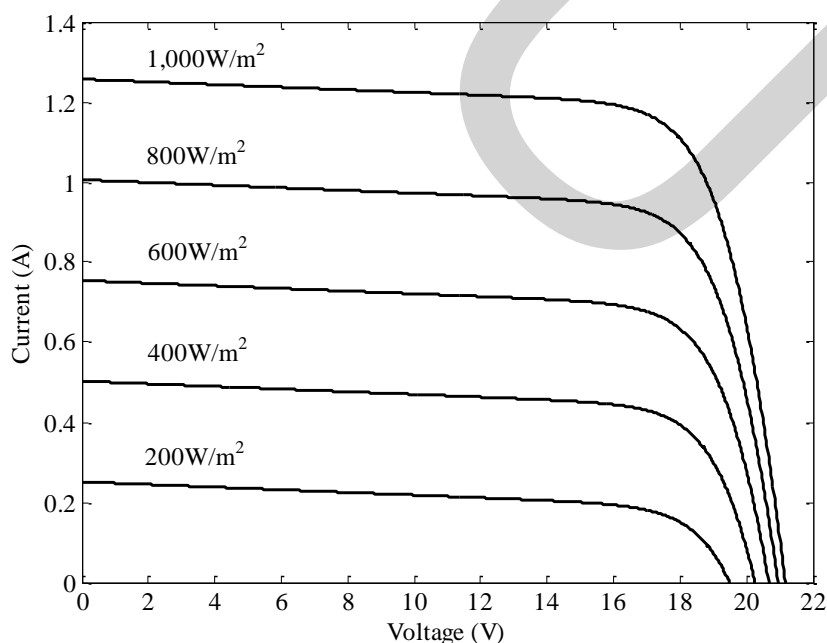
$$I_{CC}(T) = I_{SC}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} + \alpha(T - T_{ref}) \quad (2)$$

$$I_S(T_{ref}) = \frac{I_{SC}(T_{ref})}{\left( e^{\left( \frac{q V_{OC}(T_{ref})}{m k T_{ref}} \right)} - 1 \right)} \quad (3)$$

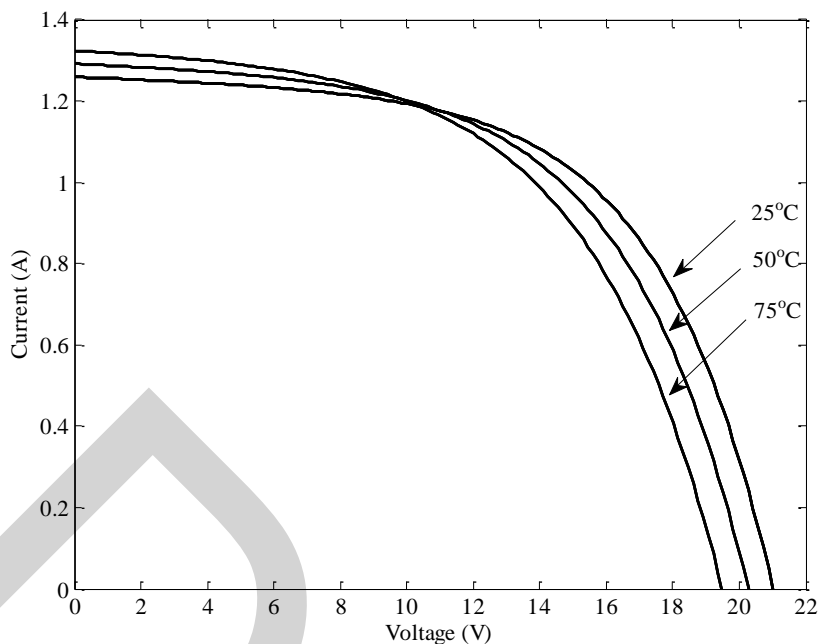
$$V_{OC}(T) = V_{OC}(T_{ref}) + \beta(T - T_{ref}) \quad (4)$$

เมื่อ	$I_s$	คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอด (A)
	$I_{CC}$	คือ กระแสที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (A)
	$k$	คือ ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (J/K)
	$q$	คือ ค่าประจุอิเล็กตรอน (C)
	$T$	คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (K)
	$R_s$	คือ ความต้านทานอนุกรม ( $\Omega$ )
	$R_p$	คือ ความต้านทานขนาน ( $\Omega$ )
	$m$	คือ Ideality factor ของไดโอด ( $1 < m < 2$ )
	$I_{SC}$	คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A)
	$V_{OC}$	คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V)
	$G$	คือ ค่าความเข้มแสง ( $W/m^2$ )
	$T_{ref}$	คือ อุณหภูมิอ้างอิงที่ ( $25^\circ C$ )
	$G_{ref}$	คือ ค่าความเข้มแสงอ้างอิงที่ ( $1kW/m^2$ )
	$\alpha$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส ( $A/^\circ C$ )
	$\beta$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดัน ( $V/^\circ C$ )

จากสมการที่ (1) ทำให้ได้ผลการจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ตามกราฟการทำงานของกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงตามรูปที่ 2.2 และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามรูปที่ 2.3



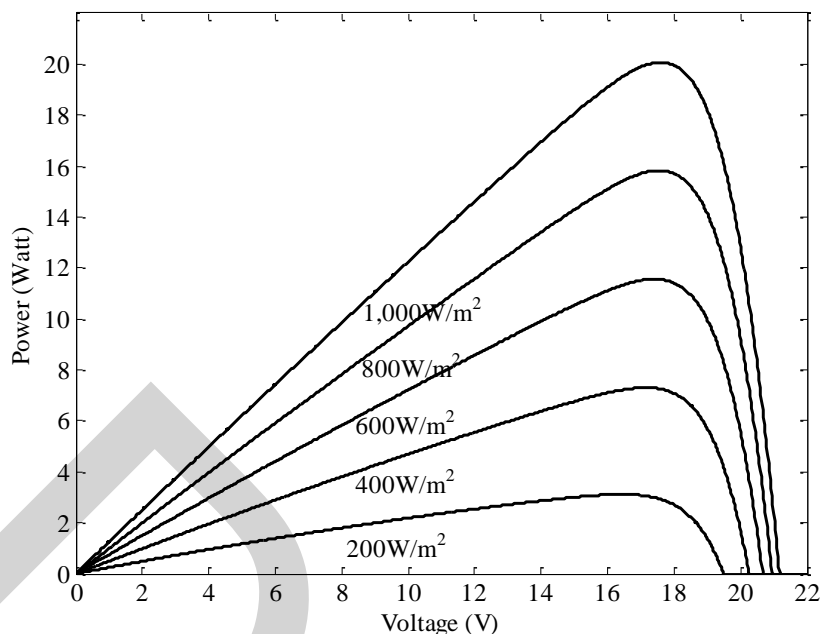
รูปที่ 2.2 กราฟการทำงานของ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่อุณหภูมิคงที่



รูปที่ 2.3 กราฟการทำงานของ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ความเข้มแสงคงที่

จากผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 2.2 เมื่อความเข้มแสงมีค่าคงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์โวลต์หรือกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร ( $I_{SC}$ ) และเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นค่าของกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงจนเป็นศูนย์แอมป์หรือแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร ( $V_{OC}$ ) และเมื่อกำหนดให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ทำให้ค่าของกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงลดลง และจากผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 2.3 กำหนดให้ค่าความเข้มแสงคงที่เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าลดลง

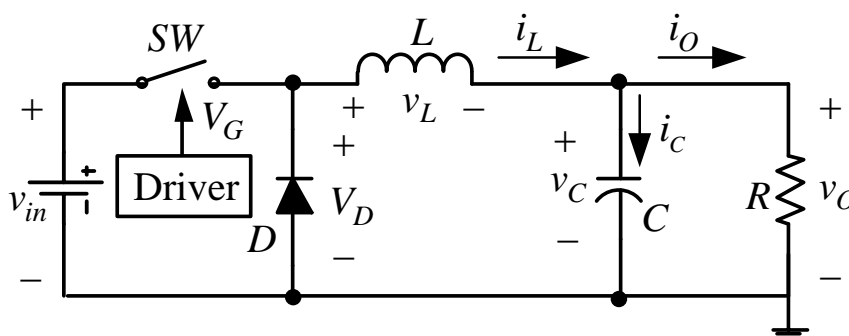
เมื่อพิจารณาค่าของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ผลที่ได้คือมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าตามความเข้มแสงรูปที่ 2.4 กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าสูงสุด ( $P_{max}$ ) ที่จุดแรงดันไฟฟ้า ( $V_{mp}$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $I_{mp}$ )



รูปที่ 2.4 กราฟการทำงานของ P-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง

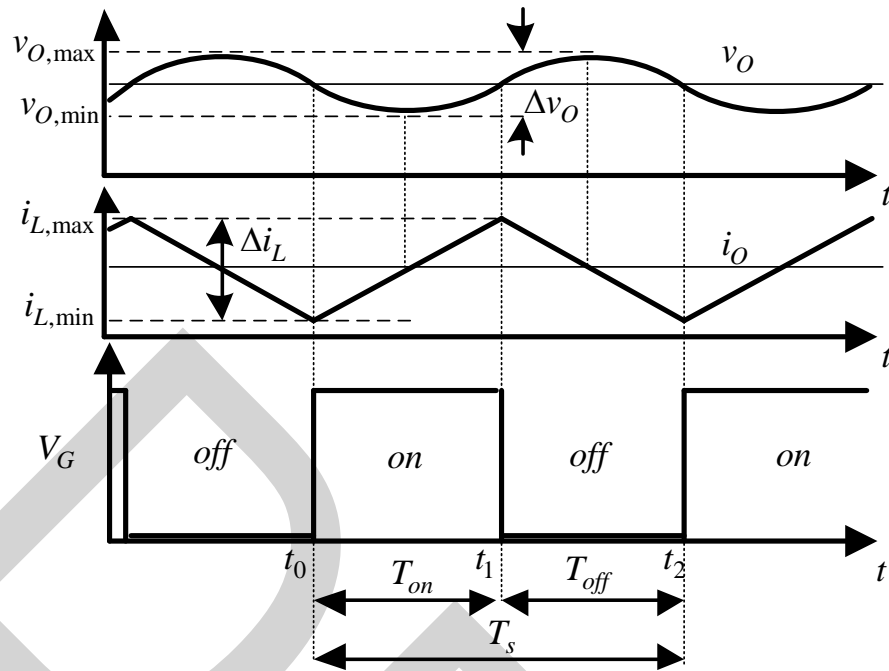
## 2.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงและสามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.5 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ (SW) ไดโอด (D) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) เมื่อพิจารณาแบ่งการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จากลักษณะการทำงานของสวิตช์เป็นแบบนำกระแสไฟฟ้าและเป็นแบบไม่นำกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการทำงานของวงจรคือ รูปแบบที่หนึ่งสวิตช์นำกระแสไฟฟ้าและไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้า รูปแบบสองสวิตช์ไม่นำกระแสไฟฟ้าและไดโอดนำกระแสไฟฟ้าและมีรูปสัญญาณของการทำงานดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

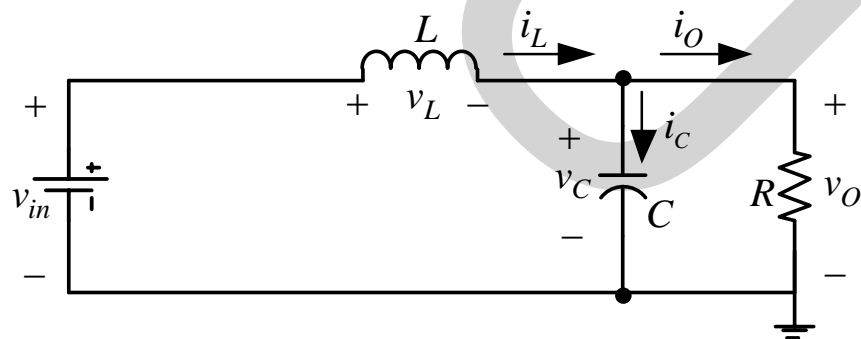




รูปที่ 2.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก  $v_O$  กระแสไฟฟ้า  $i_L$  และแรงดันไฟฟ้าขั้วเกต  $V_G$

### 2.2.1 สวิตช์นำกระแสไฟฟ้าและไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้า

สวิตช์  $SW$  นำกระแสไฟฟ้าและไดโอด  $D$  ไม่นำกระแสไฟฟ้า ( $t_0 < t < t_1$ ) ทำให้ได้รูปวงจรการทำงานดังรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาสมการของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำและสมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแสดงได้ดังนี้



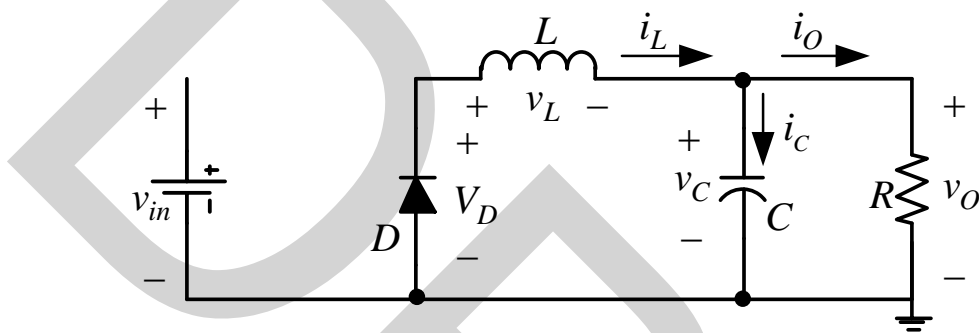
รูปที่ 2.7 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์นำกระแสไฟฟ้า

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(v_{in} - v_o) \quad (5)$$

$$\frac{dv_C}{dt} \approx \frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_o) \quad (6)$$

### 2.2.2 สวิตช์ไม่นำกระแสไฟฟ้าและไดโอดนำกระแสไฟฟ้า

สวิตช์  $SW$  หยุดนำกระแสไฟฟ้าและไดโอด  $D$  นำกระแสไฟฟ้า ( $t_1 < t < t_2$ ) ทำให้ได้รูปวงจรการทำงานดังรูปที่ 2.8 เมื่อพิจารณาสมการของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำและสมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสไฟฟ้า

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(-v_o) \quad (7)$$

$$\frac{dv_C}{dt} \approx \frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_o) \quad (8)$$

### 2.2.3 แรงดันไฟฟ้าด้านออก

เมื่อพิจารณาที่การทำงานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสไฟฟ้าและสวิตช์ไม่นำกระแสไฟฟ้าทำให้ได้ค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกดังนี้

$$di_{L,on} = \frac{1}{L}(v_{in} - v_o)DT_s \quad (9)$$

$$di_{L,off} = -\frac{1}{L}v_o(1-D)T_s \quad (10)$$

$$di_{L,on} + di_{L,off} = 0 \quad (11)$$

$$\left( \frac{1}{L}(v_{in} - v_o)DT_s \right) + \left( -\frac{1}{L}v_o(1-D)T_s \right) = 0 \quad (12)$$

$$v_o = Dv_{in} \quad (13)$$

เมื่อ  $D$  คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล

#### 2.2.4 ค่าของตัวเหนี่ยวนำ

ในการออกแบบวงจรต้องกำหนดค่าของตัวเหนี่ยวนำซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ทางออกดังนี้

$$i_L = i_o = \frac{v_o}{R} \quad (14)$$

ค่าริบเปิดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $\Delta i_L$  หาได้จาก

$$\Delta i_L = i_{L,max} - i_{L,min} \quad (15)$$

เมื่อพิจารณาสมการของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสไฟฟ้าตามสมการที่ (7)

$$\Delta i_{L,on} = i_{L,max} - i_{L,min} = \frac{1}{L}(v_{in} - v_o)DT_s \quad (16)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดเป็นไปตามสมการดังนี้

$$i_{L,max} = i_o + \frac{\Delta i_L}{2} = i_o + \frac{1}{2L}(v_{in} - v_o)DT_s \quad (17)$$

$$i_{L,min} = i_o - \frac{\Delta i_L}{2} = i_o - \frac{1}{2L}(v_{in} - v_o)DT_s \quad (18)$$

ในการออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานอยู่ในโหมดของกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง ต้องออกแบบตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$i_{L,\min} = i_o - \frac{\Delta i_L}{2} = i_o - \frac{1}{2L_{\min}}(v_{in} - v_o)DT_s = 0 \quad (19)$$

ดังนั้นค่าของตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด

$$L_{\min} = \frac{1}{2i_o}(v_{in} - v_o)DT_s \quad (20)$$

### 2.2.5 ค่าของตัวเก็บประจุ

หาค่าของตัวเก็บประจุได้จากสมการดังนี้

$$\Delta v_o = \frac{\Delta i_L \cdot T_s}{8C} \quad (21)$$

แทนค่าของ  $\Delta i_L$  ลงในสมการ (21) ทำให้ได้ค่าของตัวเก็บประจุดังนี้

$$C = \frac{T_s^2}{8L \left( \frac{\Delta v_o}{v_o} \right)} (1-D) \quad (22)$$

## 2.3 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมีที่เก็บไฟฟ้าไว้ในสภาพของสารเคมีและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ในระยะเริ่มแรกแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดตามรูปที่ 2.9 ที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type) ที่ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จนกระทั่งในช่วงกลางของทศวรรษที่ 70 (ระหว่างปี พ.ศ.2513-2523) ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดแบบแห้งให้ใช้งานได้หลังจากที่มีการจดสิทธิบัตรมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1957 (พ.ศ.2500) โดยอ็อตโต จาเช่ (Otto Jache) โดยที่แบตเตอรี่แบบแห้งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรดเรียกว่าแบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or Gel Cell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดขั้วเรียกว่าแบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่ แต่การแบ่งประเภท

ของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็น แบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ AGM มากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสียคือ เจลมักละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการโอเวอร์ชาร์จขึ้นเจลจะเปลี่ยนรูปเรียกว่า วอยด์ (Void) ไปเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุและขัดขวางการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอิเล็กโทรไลต์ และแผ่นธาตุทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ลดลง แบตเตอรี่ทั้งแบบ AGM และแบบเจลยังแบ่งย่อยออกได้เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบปิดผนึกหรือ SLA (Sealed Lead Acid) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดันหรือ VRLA (Valve Regulator Lead Acid) แบตเตอรี่แบบ VRLA นี้มีการติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (Safety Valve) เพื่อใช้ระบายแก๊สในกรณีที่ความดันภายในเซลล์สูงเกินไปเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย



รูปที่ 2.9 แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด

สำหรับการใช้งานของแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดให้มีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานสูงต้องคำนึงถึงวิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าและวิธีการประจุกระแสไฟฟ้านี้

### 2.3.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge)

ในการใช้งานแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านอุณหภูมิและระดับของความลึกในการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD) ในระหว่างการทำงานซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่ควรจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินความสามารถของแบตเตอรี่ (Over Discharge) ซึ่งควรให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสประมาณ 70%-80% ของความจุแบตเตอรี่

### 2.3.2 การประจุกระแสไฟฟ้า (charge)

เมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าแล้วต้องทำการประจุกระแสไฟฟ้าใหม่และต้องกำหนดไม่ให้กระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุสูงเกินไปเพราะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

### 2.4 วิธีการการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)

เมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge) ลดลงถึงระดับของความจุไฟฟ้าต่อเซลล์มีค่า 10% หรือประมาณ 1.8 โวลต์ ต้องทำการประจุกระแสไฟฟ้า (charge) ให้กับแบตเตอรี่ใหม่ ดังนั้นหลักการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดโดยทั่วไปมีวิธีการดังนี้

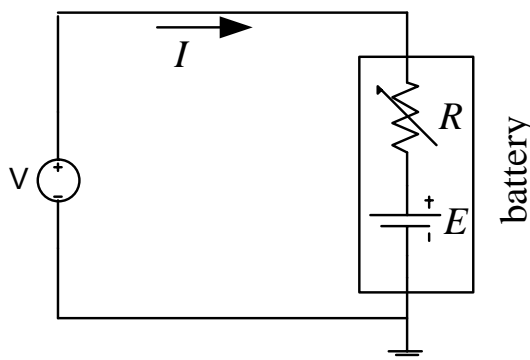
#### 2.4.1 หลักการพื้นฐานของการประจุแบตเตอรี่

วงจรพื้นฐานของการประจุแบตเตอรี่เป็นไปตามรูปที่ 2.10 เมื่อกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ ( $V$ ) มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ( $E$ ) กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่แบตเตอรี่เป็นไปตามสมการที่ (23) และสมการที่ (24)

$$V - E - IR = 0 \quad (23)$$

$$I = \frac{V - E}{R} \quad (24)$$

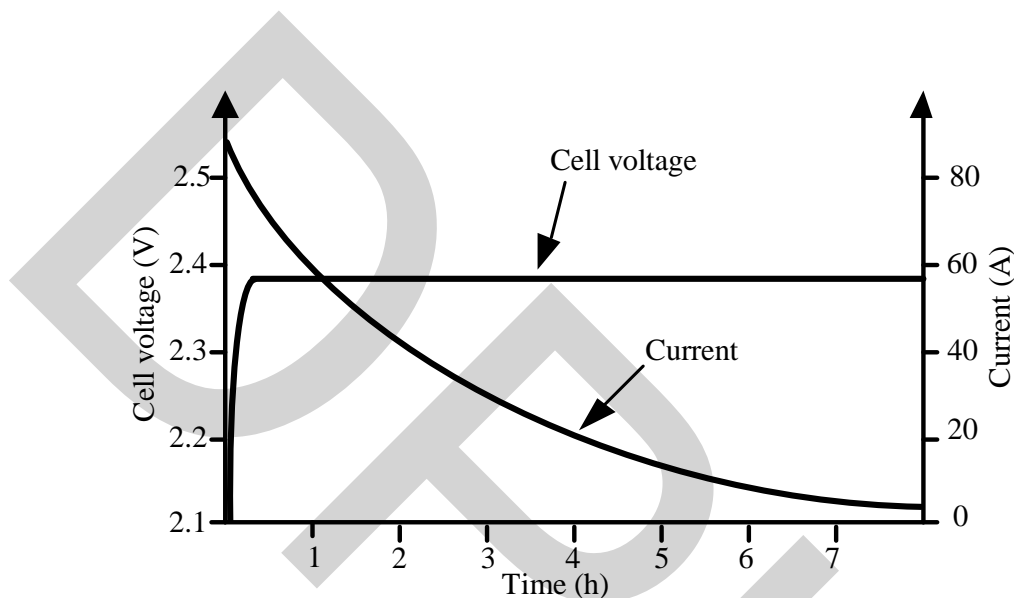
เมื่อ	$V$	คือ แรงดันไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ (V)
	$E$	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ (V)
	$I$	คือ กระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ (A)
	$R$	คือ ค่าความต้านทานภายใน ( $\Omega$ )



รูปที่ 2.10 วงจรพื้นฐานของการประจุแบตเตอรี่

### 2.4.2 การประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่

วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่คือการกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาของการประจุ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ควรมีค่ามากกว่า 10%-20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติหรือประมาณ 2.2 โวลต์ถึง 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ดังรูปที่ 2.11 ผลของการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้กระแสไฟฟ้ามักมีค่าสูงมากในช่วงเริ่มแรกและมีค่าลดลงเมื่อเวลาของการประจุแบตเตอรี่มากขึ้น

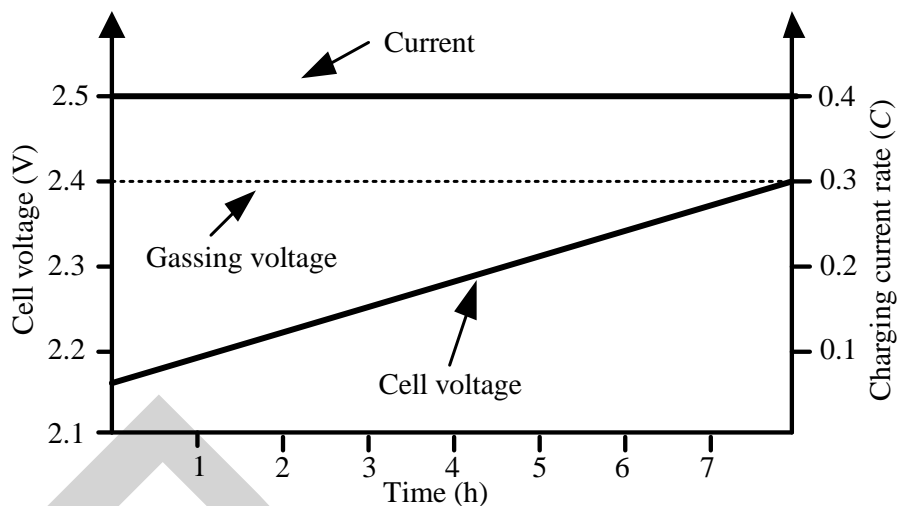


รูปที่ 2.11 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่

### 2.4.3 การประจุแบตเตอรี่แบบใช้กระแสไฟฟ้าคงที่

วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบใช้กระแสไฟฟ้าคงที่คือการกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาของการประจุ กระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมีการกำหนดให้ไม่เกิน 30% ของค่าความจุกระแสแบตเตอรี่หรือ  $0.3C$  ค่า  $C$  คือค่าความจุกระแสแบตเตอรี่ เมื่อกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่คงที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่

2.12



รูปที่ 2.12 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่

#### 2.4.4 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่

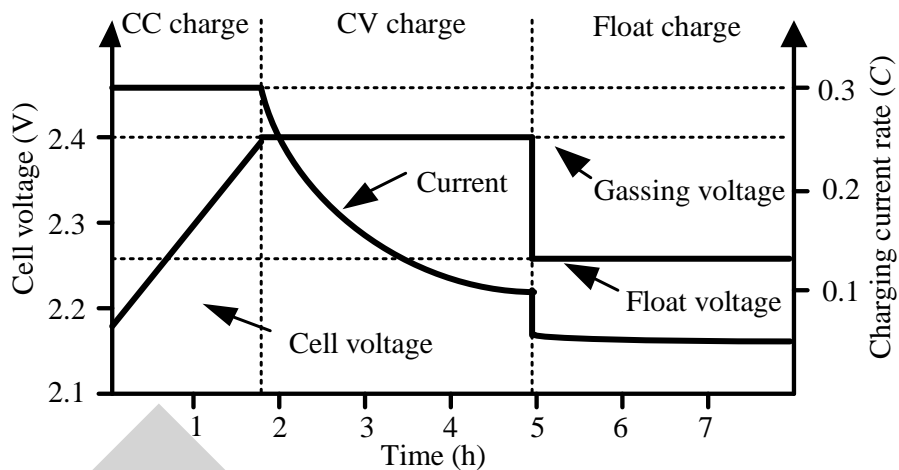
วิธีการประจุแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดคือการใช้งานร่วมกันระหว่างวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่และแบบใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ดังรูปที่ 2.13 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. โหมดการประจุแบตเตอรี่แบบใช้กระแสไฟฟ้าคงที่โดยใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 0.3C จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติหรือประมาณ 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ รอการทำงานในโหมดต่อไป

2. โหมดการประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่ที่แรงดันไฟฟ้า 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ การทำงานในโหมดนี้ทำให้กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าลดลงจนกระทั่งประมาณ 0.1C

3. การทำงานในโหมดนี้ยังคงประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่แต่ลดระดับของแรงดันไฟฟ้าลงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 10%-15% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ





รูปที่ 2.13 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่

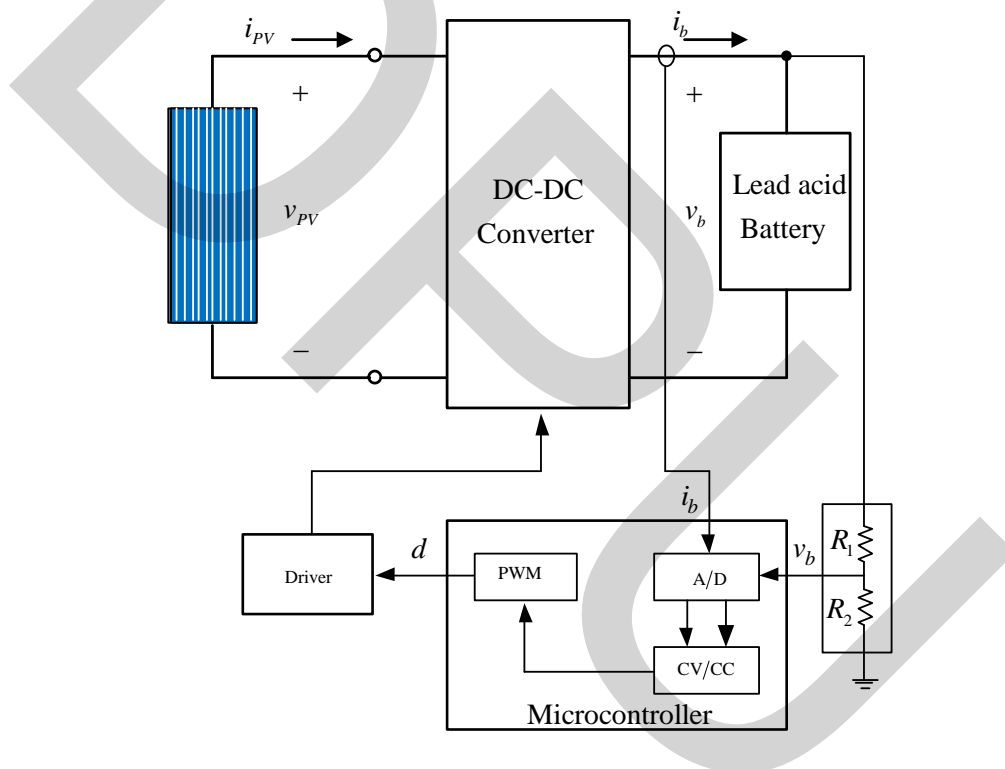
## 2.5 บทสรุป

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งออกแบบให้ทำงานตามขั้นตอนวิธีการการประจุแบตเตอรี่ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการเลือกขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์คอนเวอร์เตอร์มีการกล่าวถึงในบทต่อไป

### บทที่ 3

#### การออกแบบวงจร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบวิธีการประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ดังรูปที่ 3.1 โดยทำการออกแบบวงจรดิจิทัลซีคอนเวอร์เตอร์ให้สามารถลดและเพิ่มระดับของแรงดันไฟฟ้าจากระดับของแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขของความเข้มแสงไม่คงที่และออกแบบวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถควบคุมระดับของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อการประจุแบตเตอรี่ โดยมีวิธีการออกแบบดังนี้



รูปที่ 3.1 การประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

#### 3.1 พิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ขนาด 20W และมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 ซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mp}$ ) ขนาด 17.6 โวลต์และกระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{mp}$ ) ขนาด 1.14 แอมป์ ที่ค่าความเข้มแสง ( $1\text{kW}/\text{m}^2$ ) และอุณหภูมิ ( $25^\circ\text{C}$ )

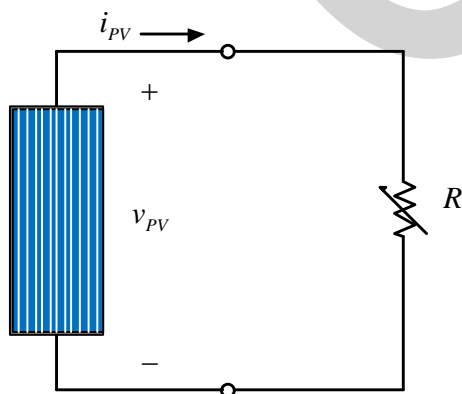


รูปที่ 3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W

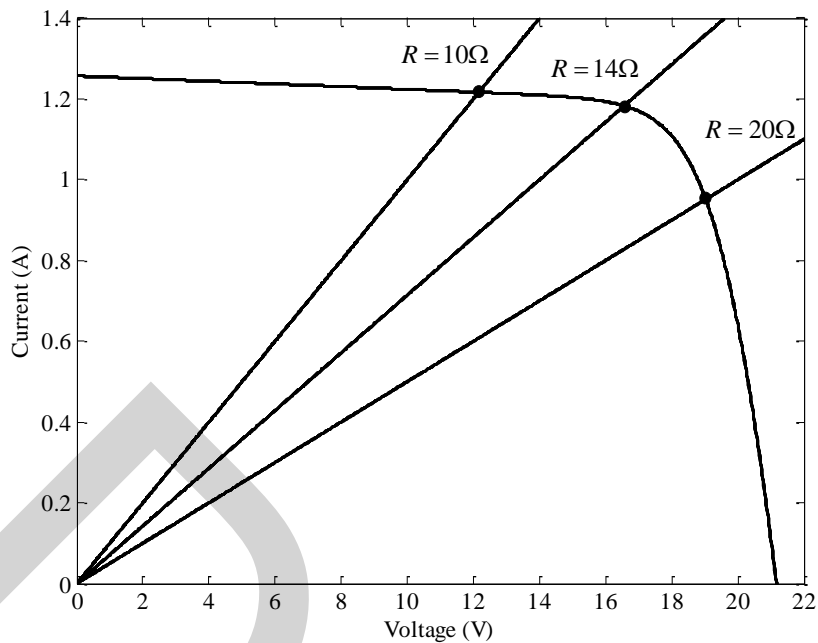
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20W ทดสอบที่ค่าความเข้มแสง ( $1\text{kW}/\text{m}^2$ ) และอุณหภูมิ ( $25^\circ\text{C}$ )

พารามิเตอร์	Rating
กำลังไฟฟ้า	20W
แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mp}$ )	17.6V
กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{mp}$ )	1.14A
แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร ( $V_{OC}$ )	21.17V
กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร ( $I_{SC}$ )	1.26A

การทดสอบคุณสมบัติการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการต่อโหลดตัวต้านทาน ชนิดปรับค่าได้ตามรูปที่ 3.3 เพื่อหาคุณสมบัติการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงได้ผลการทดสอบเมื่อค่าความเข้มแสงคงที่ตามรูปที่ 3.4 พบว่าเมื่อค่าของตัวต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $R = 10\Omega$  เป็น  $R = 14\Omega$  แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 12 โวลต์เป็น 16 โวลต์และ กระแสลดลงจาก 1.2 แอมป์เป็น 1.18 แอมป์

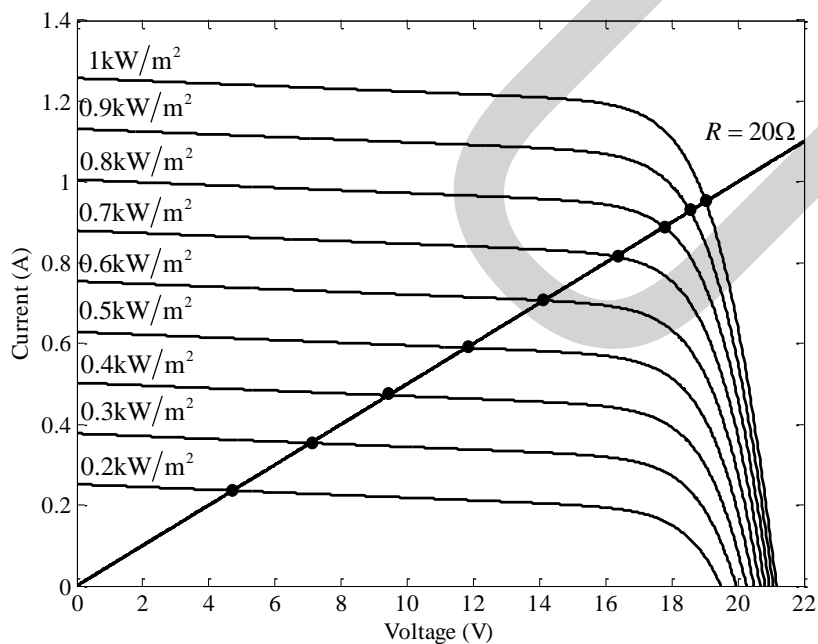


รูปที่ 3.3 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้



รูปที่ 3.4 ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง

เมื่อใช้โหลดตัวต้านทานคงที่  $R = 20\Omega$  และค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงเห็นได้ว่าจุดทำงานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไปดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าความต้านทานคงที่เมื่อค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

### 3.2 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อประยุกต์ใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนสองแผงที่ต่ออนุกรมกันให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้  $v_{in} = 20V - 40V$  และแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก  $v_o = 14.4V$  กระแสไฟฟ้าทางด้านออก  $i_o = 1A$  ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์  $f_s = 40kHz$  โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

#### 3.2.1 คำนวณหาค่าดีวีไอซีเคิล

การคำนวณหาค่าดีวีไอซีเคิลเป็นการเลือกกำหนดช่วงเวลาสำหรับสวิตช์ให้ทำงานและหยุดทำงานในหนึ่งคาบเวลาดังสมการที่ (1) และ (2)

$$D_{\max} = \frac{v_o}{v_{in(\min)}} = \frac{14.4V}{20V} = 0.72 \quad (1)$$

$$D_{\min} = \frac{v_o}{v_{in(\max)}} = \frac{14.4V}{40V} = 0.36 \quad (2)$$

ตารางที่ 3.2 ค่าดีวีไอซีเคิล ( $D$ ) ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า ( $v_{in}$ )

แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า ( $v_{in}$ )	แรงดันไฟฟ้าทางด้านออก ( $v_o$ )	ดีวีไอซีเคิล ( $D$ )
20V	14.4V	0.72
25V	14.4V	0.576
30V	14.4V	0.48
35V	14.4V	0.41
40V	14.4V	0.36

#### 3.2.2 คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ ( $L$ )

กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของตัวเหนี่ยวนำ ( $\Delta i_L$ ) มีค่าไม่เกิน 30% ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

$$\Delta i_L = i_o(0.3) = (1A)(0.3) = 0.3A \quad (3)$$

$$L = \frac{(v_{in(max)} - v_o)}{\Delta i_L} DT_s = \frac{(40V - 14.4V)}{0.3A} (0.36)(25\mu s) = 768\mu H \quad (4)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดมีค่าดังนี้

$$i_{L_{max}} = i_o + \frac{\Delta i_L}{2} = (1A) + \frac{0.3A}{2} = 1.15A \quad (5)$$

### 3.2.3 การเลือกใช้มอสเฟต

วงจรมอเตอร์ในงานวิจัยนี้ทำงานที่ความถี่สวิตช์  $f_s = 40\text{kHz}$  แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์เท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการที่ (6) และกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านสวิตช์สมการที่ (7)

$$V_{SW(max)} = V_{OC} = 42.34V \quad (6)$$

$$i_{SW(max)} = i_{L_{max}} = 1.15A \quad (7)$$

ดังนั้นเลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP460

### 3.2.4 การเลือกใช้ไดโอด

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการที่ (8)

$$V_{RD} = V_{OC} = 42.34V \quad (8)$$

ดังนั้นเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR1605

### 3.2.5 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ (C)

วงจรมอเตอร์กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าไม่เกิน 1% ดังนั้นการหาค่าตัวเก็บประจุตามสมการที่ (9)

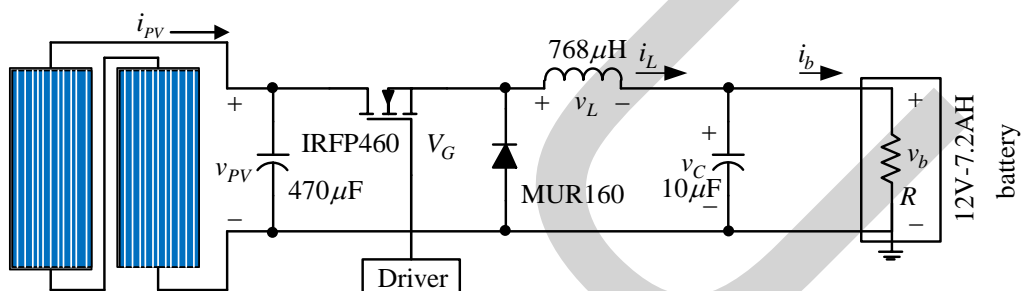
$$C = \frac{(1 - D_{\min}) T_s^2}{8L \left( \frac{\Delta v_o}{v_o} \right)} = \frac{(1 - 0.36)(25 \mu\text{s})^2}{8(768 \mu\text{H})(0.01)} = 6.5 \mu\text{F} \quad (9)$$

ดังนั้นวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เลือกใช้ค่าของตัวเก็บประจุ  $C = 10 \mu\text{F}$  และค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

ค่าพารามิเตอร์	
แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า	$v_{in} = 20\text{V} - 40\text{V}$
แรงดันไฟฟ้าทางด้านออก	$v_o = 14.4\text{V}$
ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์	$f_s = 40\text{kHz}$
ตัวเหนี่ยวนำ	$L = 768 \mu\text{H}$
ตัวเก็บประจุ	$C = 10 \mu\text{F}$

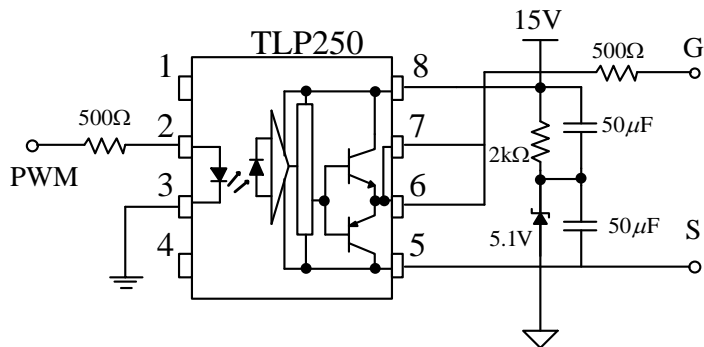
วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับการประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.3 วงจรขับเกทมอสเฟต

ในการออกแบบวงจรขับเกทมอสเฟต ( $V_G$ ) ใช้ TPL250 เพื่อแยกแยะระหว่างระดับของแรงดันไฟฟ้าควบคุมและแรงดันไฟฟ้าของวงจรดังรูปที่ 3.7



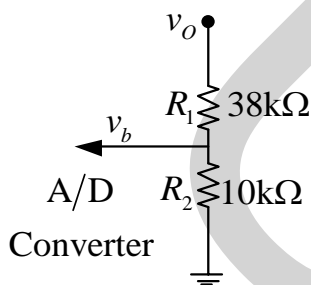
รูปที่ 3.7 วงจรจับแกมมอสเฟตด้วย TPL250

### 3.4 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

#### 3.4.1 วงจรตรวจวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า

การตรวจวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้วิธีการวัดแรงดันไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้างดังรูปที่ 3.8 และคำนวณหาค่าตามสมการที่ (20) ดังนี้

$$v_b = v_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 14.4V \frac{10k\Omega}{38k\Omega + 10k\Omega} = 3V \tag{20}$$

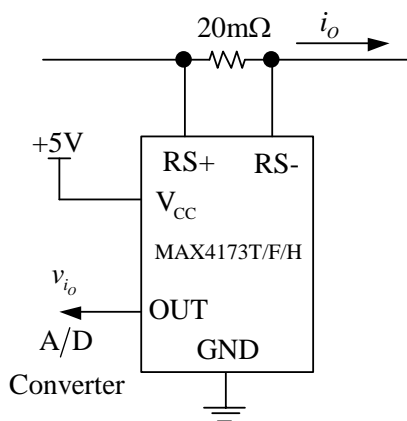


รูปที่ 3.8 วงจรตรวจวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าด้วยตัวต้านทานแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า

#### 3.4.2 วงจรตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ MAX4173T/T/H วัดแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานขนาด 20mΩ ดังรูปที่ 3.9

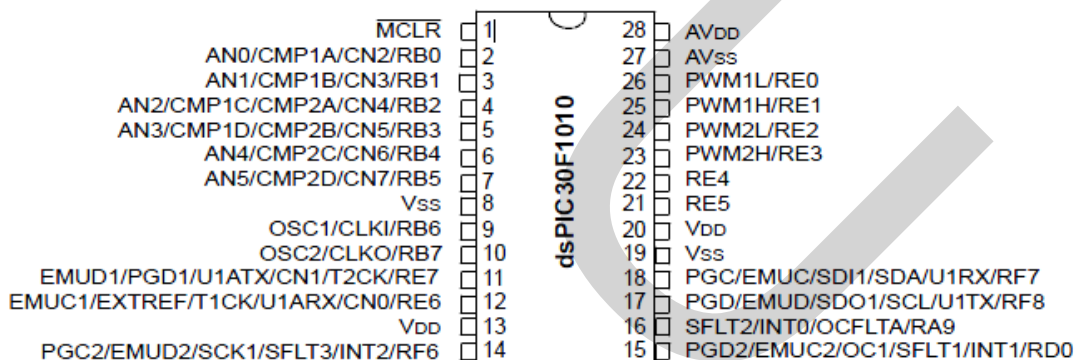




รูปที่ 3.9 วงจรตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้าด้วย MAX4173T/T/H

### 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [19-20]

ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยผ่านการควบคุมการทำงานของวงจรดิจิทัลซีพียูคอนเวอร์เตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010 ในการควบคุมการทำงานดังรูปที่ 3.10 เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้งานได้สะดวกและสามารถเปลี่ยนการทำงานได้ด้วยโปรแกรมโดยมีคุณสมบัติหลักดังนี้



รูปที่ 3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010

#### 3.5.1. คุณสมบัติของ dsPIC30F1010

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีซีพียูแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มี 84 คำสั่งมาตรฐานภาษาแอสเซมบลี รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ

- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเองโดยผ่านกระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำอีอีพรอมที่สามารถลบ และเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก รองรับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้ดี
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไทเมอร์
- มีวอตช์ดอกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- รองรับการโปรแกรมในแบบวงจรถอุนุกรม (ICSP: In-Circuit Serial Programming)
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

### 3.5.2. คุณสมบัติด้านการประมวลผล

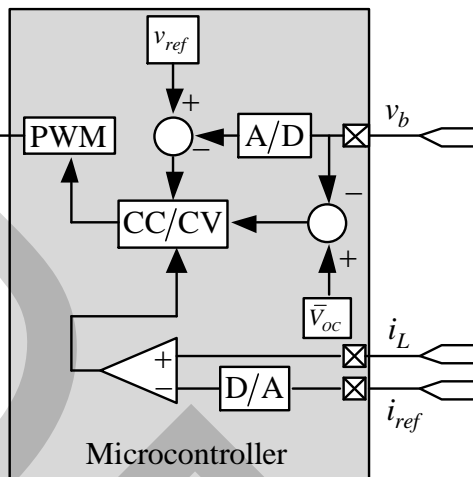
- มีแอกคิวมูลเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหารเลข 17 บิต ในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิต ได้ภายในสัญญาณนาฬิกาภายใน 1 ไชเกิล
- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนบิตมากๆ ได้อย่างรวดเร็ว
- มีวงจรเฟดข้อมูลคู่ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลทำได้อย่างรวดเร็ว

### 3.5.3. คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางพอร์ตได้ 20mA ทั้งในแบบซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์และเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว และสามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์ขนาด 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C
- มีโมดูลสื่อสารอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิตและ 12 บิต (ADC)
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ (MCPWM)

### 3.6 การออกแบบวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่

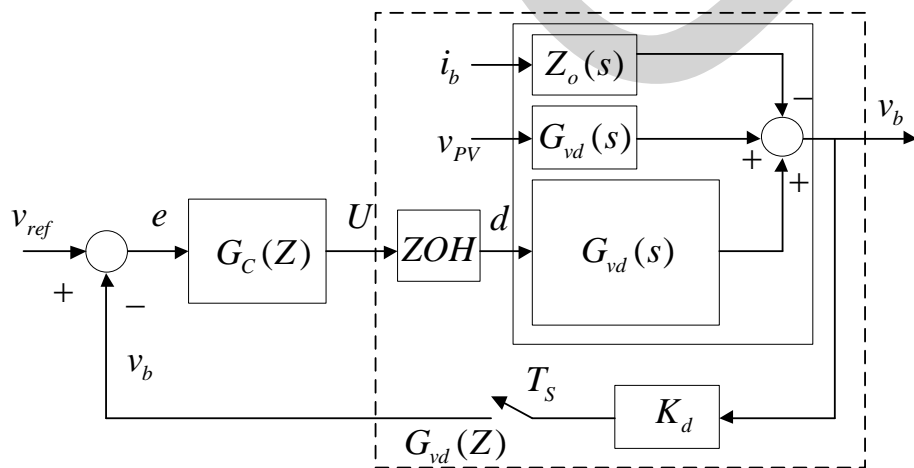
หลักการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดที่มีวิธีการดังนี้ การประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่ การประจุแบตเตอรี่แบบใช้กระแสไฟฟ้าคงที่และการประจุแบตเตอรี่แบบใช้แรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 3.11 การควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่

#### 3.6.1 โหมดการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่

การประจุแบตเตอรี่ในโหมดการทำงานนี้คือการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ประจุแบตเตอรี่แบบเตอรีให้คงที่ตลอดเวลา โดยการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้คงที่ โดยการออกแบบวงจรควบคุมแบบพีไอดีโดยมีรายละเอียดการทำงานดังรูปที่ 3.12 และมีขั้นตอนในการออกแบบสำหรับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์และวงจรเซปคคอนเวอร์เตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.12 แผนภาพบล็อกการทำงานของ การควบคุม PID

การออกแบบวงจรควบคุมโดยเริ่มจากการหาสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ ( $G_{vd}(s)$ ) ตามสมการที่ (21)

$$G_{vd}(s) = v_{PV} \frac{1}{s^2 LC + s\left(\frac{L}{R}\right) + 1} \quad (21)$$

แทนค่าพารามิเตอร์ของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ตามตารางที่ 3.3 ลงในสมการที่ (21) ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

$$G_{vd}(s) = (40V) \frac{1}{(45 \times 10^{-9})s^2 + (31.25 \times 10^{-6})s + 1} \quad (22)$$

เปลี่ยนสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์แบบแอนะล็อกในสมการที่ (22) ให้เป็นแบบดิจิทัล ( $G_{vd}(z)$ ) ตามสมการที่ (23) ดังนี้

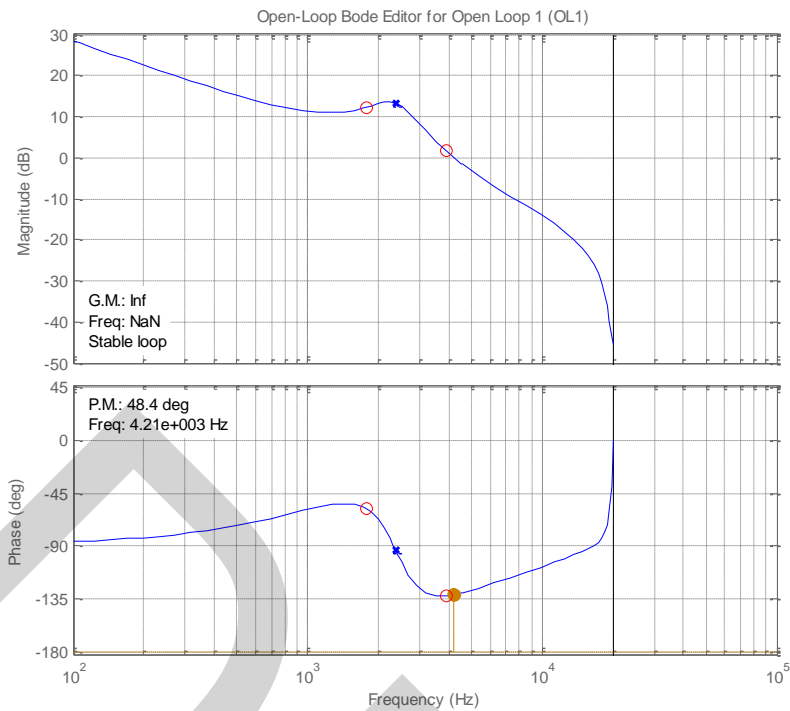
$$G_{vd}(z) = \frac{0.1874z + 0.1768}{z^2 - 1.715z + 0.8406} \quad (23)$$

จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ในสมการที่ (23) เมื่อกำหนดเงื่อนไขของระบบควบคุมจากแผนภาพโพลีโดยกำหนดค่าของ Crossover frequency ให้มีความถี่สวิดซ์ 4.21kHz และค่า Phase margin เท่ากับ 48.4 °C ดังแผนภาพโพลีดังรูปที่ 3.13 และทำให้ได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรควบคุมได้ดังนี้

$$G_c(z) = \frac{u}{e} = 1.2986 \frac{(z-0.544)(z-0.757)}{(z-1)} = \frac{1.299 - 1.689z^{-1} + 0.5348z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad (24)$$

สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรควบคุมตามสมการที่ (24) นำมาเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

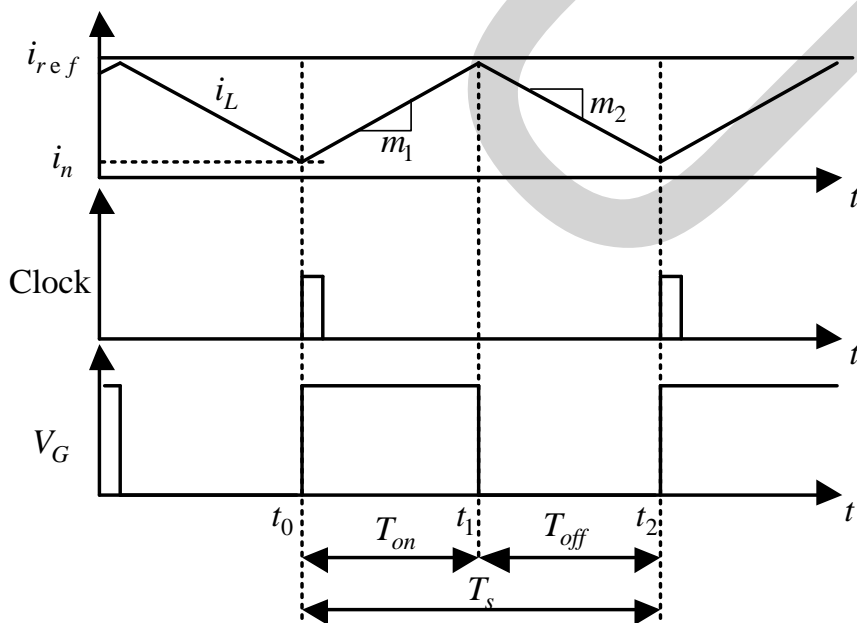
$$d(n) = U(n) = U(n-1) + 1.299E(n) - 1.689E(n-1) + 0.5348E(n-2) \quad (25)$$



รูปที่ 3.13 แผนภาพโบดีของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อใช้วงจรควบคุม PID

### 3.6.2 โหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่

การประจุแบตเตอรี่ในโหมดการทำงานนี้คือการควบคุมกระแสไฟฟ้าในขณะที่ประจุแบตเตอรี่แบตเตอรี่ให้คงที่โดยวิธีการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3.14 การทำงานของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำแบบชดเชยความชัน

การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์โดยพิจารณาความชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นไปตามสมการ (31) และสมการ (32) ดังนี้

$$m_1 = \frac{V_{pv} - V_b}{L} \quad (31)$$

$$m_2 = -\frac{V_b}{L} \quad (32)$$

จากสมการ (31) ดังนั้นได้สมการของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดคือ

$$i_{L,max} = i_n + m_1 DT_s \quad (33)$$

หรือค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดเมื่อมีการชดเชยความชันดังนี้

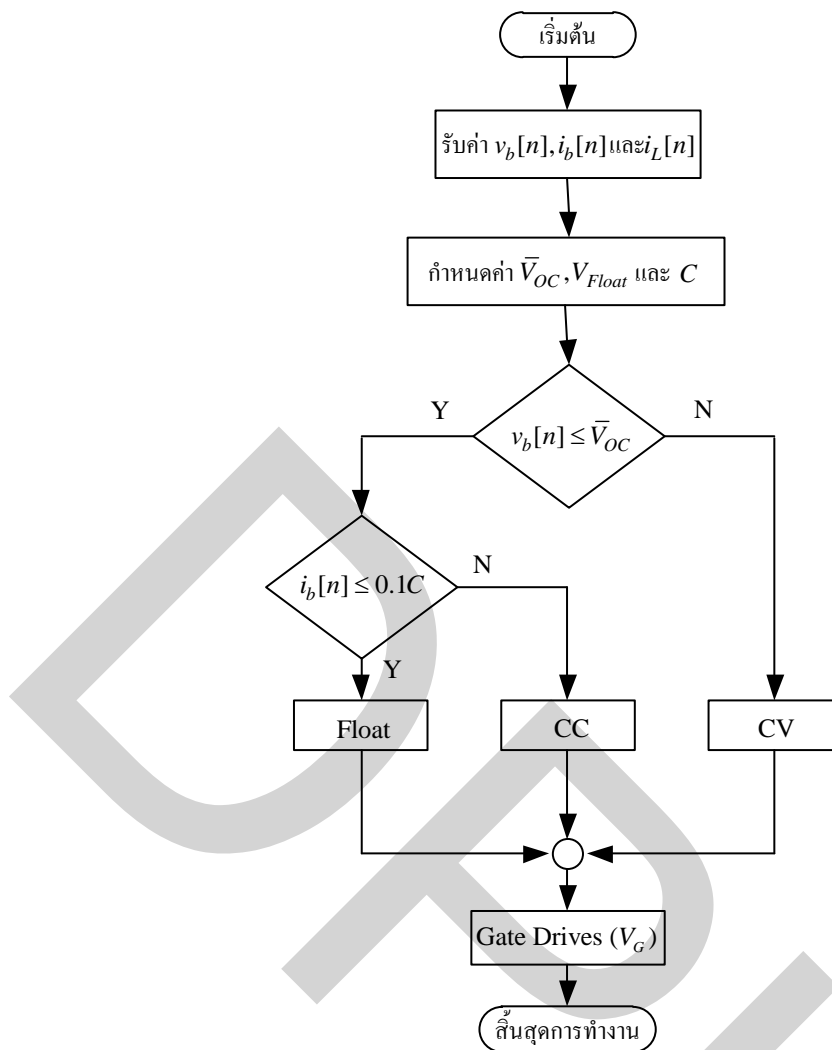
$$i_{L,max} = i_{ref} - m_{sc} DT_s \quad (34)$$

ดังนั้นจากสมการ (34) นำมาเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

$$d(n) = \frac{i_{ref} - i_n}{m_1 T_s} \quad (35)$$

### 3.6.3 โหมดการควบคุมแรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าให้คงที่

การออกแบบวิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ร่วมกับวิธีการรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าให้คงที่มีวิธีการทำงานดังในบทที่ผ่านมาโดยสามารถอธิบายการทำงานดังนี้ ช่วงเวลาเริ่มต้นทำงานกำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบกระแสไฟฟ้าคงที่โดยกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานไม่เกิน 30% ของค่าความจุแบตเตอรี่หรือ  $0.3C$  ค่า  $C$  คือค่าความจุกระแสแบตเตอรี่ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ( $V_b$ ) มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง  $\bar{V}_{oc}$  คือที่ 20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ กำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่จนกระทั่งกระแสไฟฟ้า ( $i_b$ ) มีค่าลดต่ำลงเท่ากับ  $0.1C$  ต้องลดระดับของแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงมาที่ 10% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ ( $V_{float}$ ) โดยสามารถอธิบายตามแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของการประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมแรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าให้คงที่

### 3.7 บทสรุป

ในการออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อประจุแบตเตอรี่มีการออกแบบใช้งานสองวงจรคือ วงจรรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเมื่อแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดมากกว่าแรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และวงจรรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเมื่อแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดมากกว่าหรือน้อยแรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ซึ่งได้สร้างและทดสอบการทำงานของทั้งสองวงจรในบทต่อไป

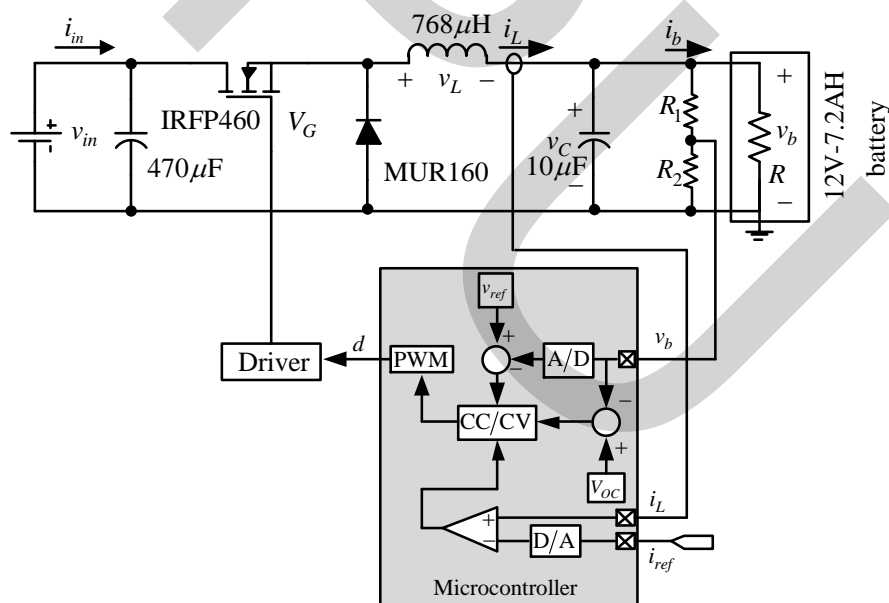
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบการทำงาน

บทนี้นำเสนอผลการทดลองวงจรดิจิทัลที่ขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยการทดสอบการทำงานแบ่งออกเป็น การทดสอบการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ และใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการทดสอบระยะเวลาการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ดังนี้

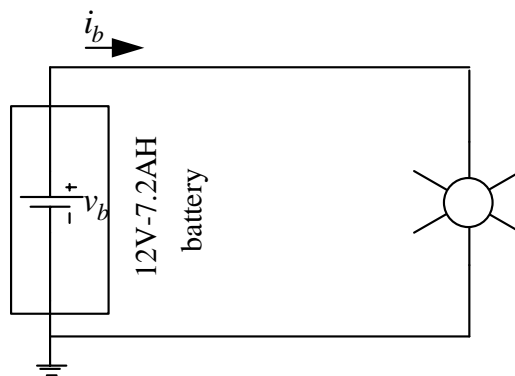
#### 4.1 การทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่

การทดสอบการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในการประจุแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น การทดสอบการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.1 และทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าของโหลดคงที่ โดยใช้โหลดไฟแอลอีดีขนาด 3A ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 วงจรประจุแบตเตอรี่ 12V-7.2AH โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่

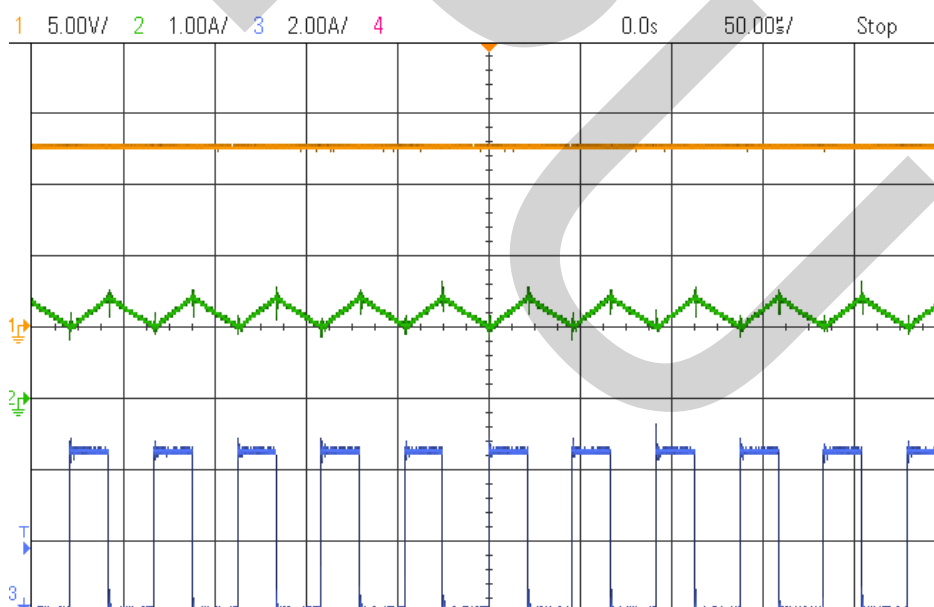




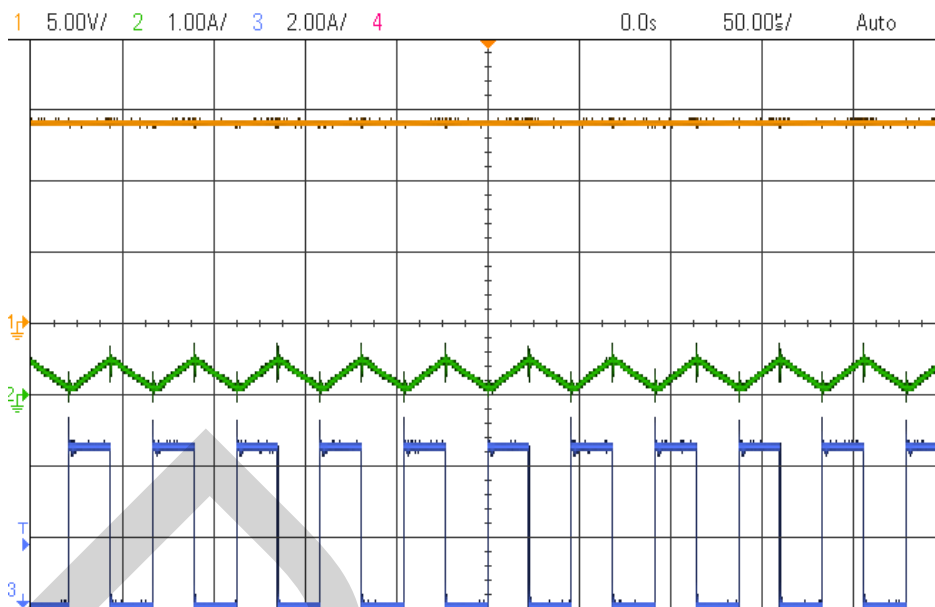
รูปที่ 4.2 วงจรกายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

#### 4.1.1 การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การทดสอบการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดสอบการประจุไฟฟ้าเป็นประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ขนาด 30V วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 4.3 และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่



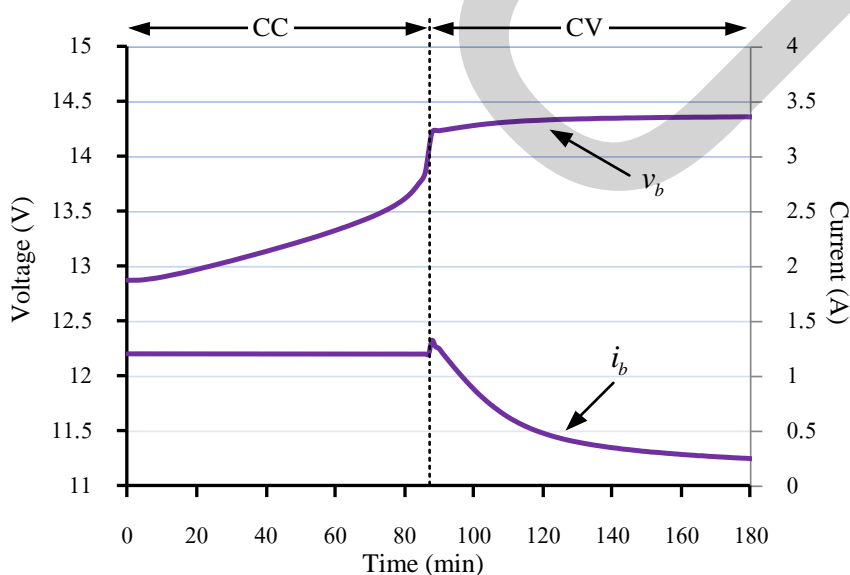
รูปที่ 4.3 ผลทดลองการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ มีค่า 1.2A รูปสัญญาณที่ (1) แสดง  $v_o$  (2V/div) รูปสัญญาณที่ (2) แสดง  $i_L$  (1A/div) รูปสัญญาณที่ (3) แสดง  $v_c$  (สัญญาณสั่งการสวิตช์, 2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)



รูปที่ 4.4 ผลทดลองการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่มีค่า 14.4V รูปสัญญาณที่ (1) แสดง  $v_o$  (2V/div) รูปสัญญาณที่ (2) แสดง  $i_L$  (1A/div) รูปสัญญาณที่ (3) แสดง  $v_G$  (สัญญาณสั่งการสวิตช์, 2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)

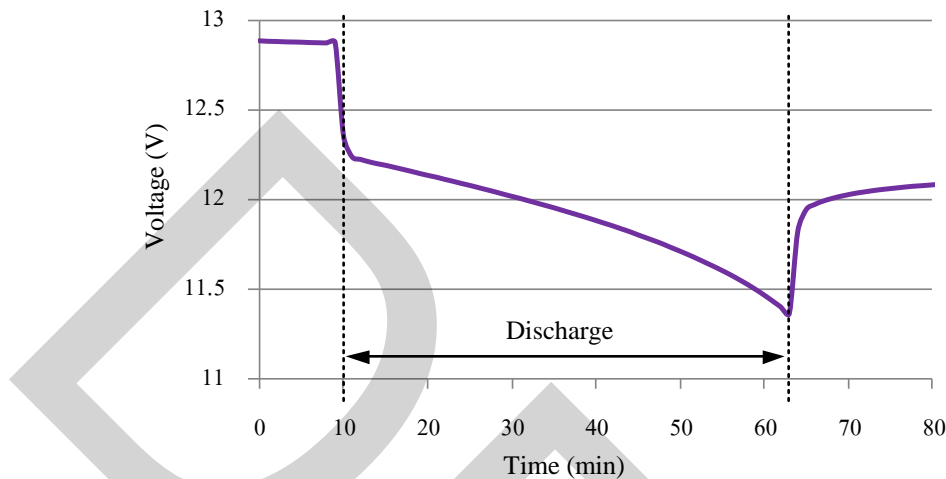
#### 4.1.2 ผลการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่

การทดสอบประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดสอบการประจุไฟฟ้าเป็นประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ และใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (1.2A) –แรงดันไฟฟ้าคงที่ (14.4V)

การทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้โหลดไฟแอลอีดีขนาดพิกัดของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3 A ทดสอบการคายประจุในระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 11.4 V โดยใช้เวลาในการคายประจุทั้งหมด 53 นาที ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.6

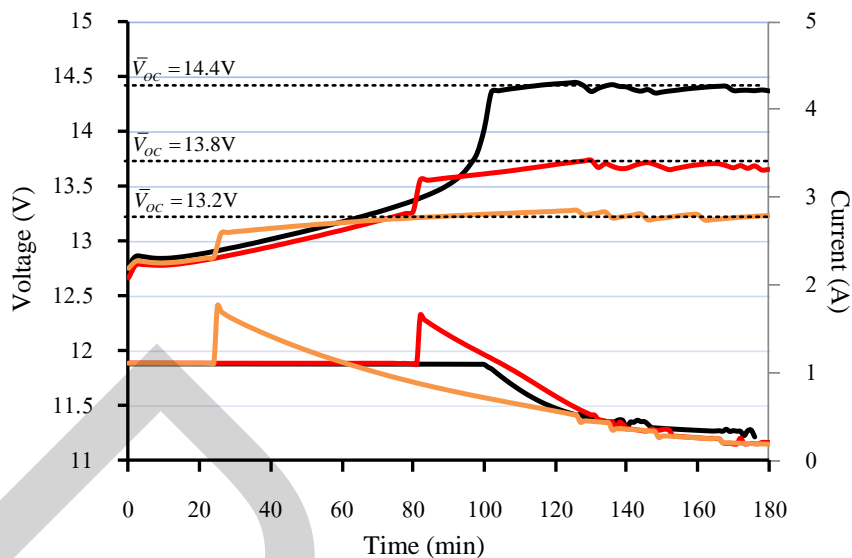


รูปที่ 4.6 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่ 3 A

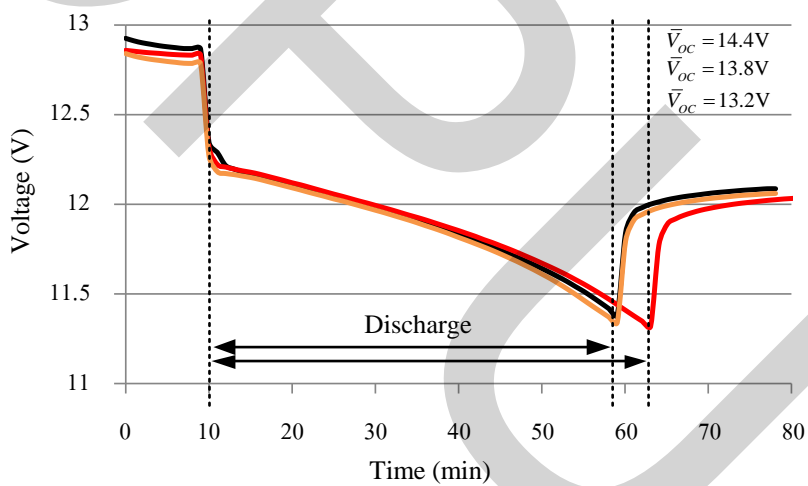
#### 4.1.2.1 ทดสอบการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ )

การทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) ที่มีค่าแตกต่างกันคือ 13.2V, 13.8V และ 14.4V โดยใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง ได้ผลของการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.7 ที่แรงดันไฟฟ้า 13.2V (เส้นสีส้ม) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 26 นาที หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่แรงดันไฟฟ้า 13.8V (เส้นสีแดง) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 78 นาที หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ และที่แรงดันไฟฟ้า 14.4V (เส้นสีดำ) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 101 นาที หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ได้ผลการทดสอบดังในตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดมีค่าคงที่ เท่ากับ 3 A ดังรูปที่ 4.8 ที่แรงดันไฟฟ้า 13.2V (เส้นสีส้ม) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 49 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 13.8V (เส้นสีแดง) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 53 นาที และที่แรงดันไฟฟ้า 14.4V (เส้นสีดำ) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 49 นาที ได้ผลการทดสอบดังในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.7 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อ  $V_{oc}$  มีค่าเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.8 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่โหลดคงที่ 3 A เมื่อ  $V_{oc}$  มีค่าเปลี่ยนแปลง

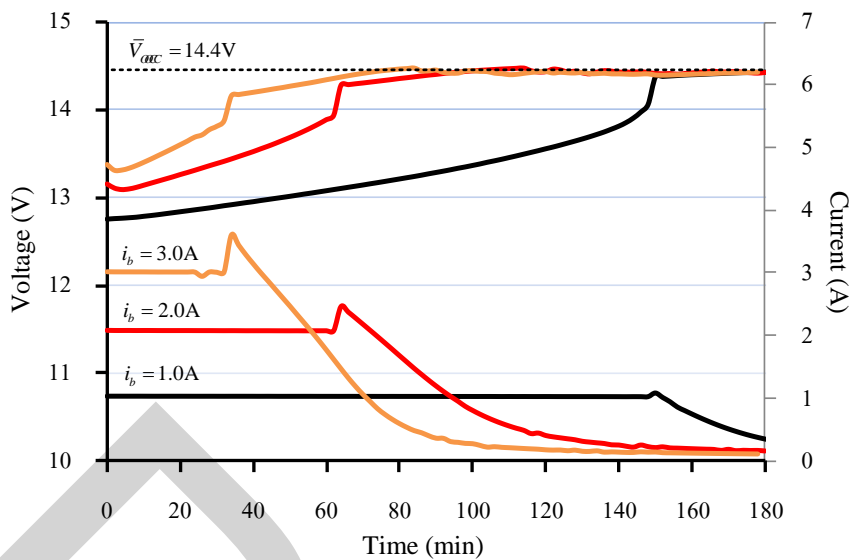
ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่เมื่อแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลง

แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ )	เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ (นาทีก)		เวลาที่ใช้ในการคายประจุ แบตเตอรี่ (นาทีก)
	กระแสไฟฟ้าคงที่	แรงดันไฟฟ้าคงที่	
13.2 V	26	154	49
13.8 V	78	102	53
14.4V	101	79	49

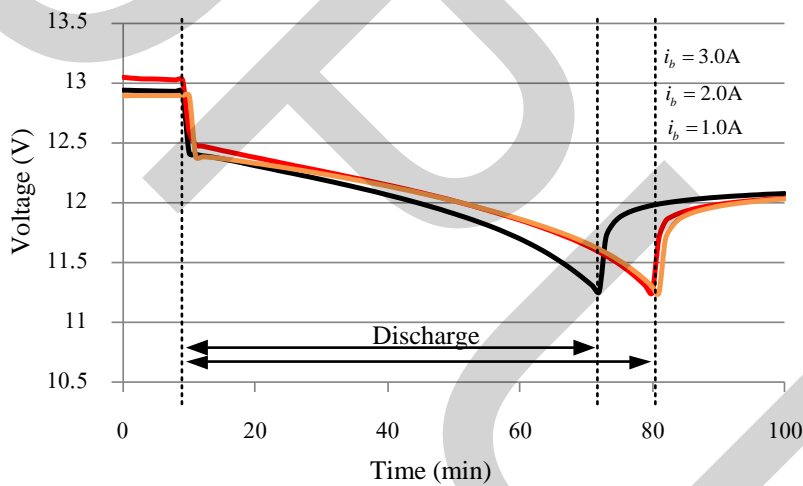
#### 4.1.2.2 ทดสอบการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ )

การทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) ที่มีค่าแตกต่างกันคือ 1A, 2A และ 3A และกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) ที่มีค่า 14.4V โดยใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมงได้ผลของการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.9 ที่กระแสไฟฟ้า 1A (เส้นสีดำ) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 148 นาทีหลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่กระแสไฟฟ้า 2A (เส้นสีแดง) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 58 นาที หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ และที่กระแสไฟฟ้า 3A (เส้นสีส้ม) ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 30 นาที หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ได้ผลการทดสอบดังในตารางที่ 4.2

ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดมีค่าคงที่ เท่ากับ 3 A ดังรูปที่ 4.10 ที่กระแสไฟฟ้า 1A (เส้นสีดำ) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 61 นาที ที่กระแสไฟฟ้า 2A (เส้นสีแดง) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 70 นาที และที่กระแสไฟฟ้า 3A (เส้นสีส้ม) ใช้เวลาในการคายประจุไฟฟ้า 71 นาที ได้ผลการทดสอบดังในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.9 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อ  $I_{ref}$  มีค่าเปลี่ยนแปลง



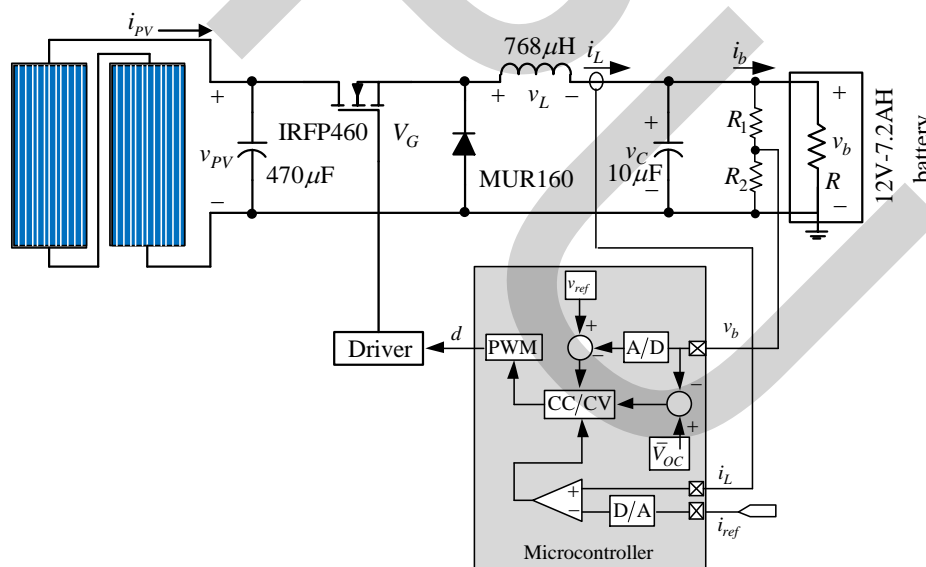
รูปที่ 4.10 การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ที่โหลดคงที่ 3 A เมื่อ  $I_{ref}$  มีค่าเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่เมื่อกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลง

กระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ )	เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ (นาทีก)		เวลาที่ใช้ในการคายประจุ แบตเตอรี่ (นาทีก)
	กระแสไฟฟ้าคงที่	แรงดันไฟฟ้าคงที่	
1.0 A	148	32	61
2.0 A	58	122	70
3.0 A	30	150	71

#### 4.2 การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

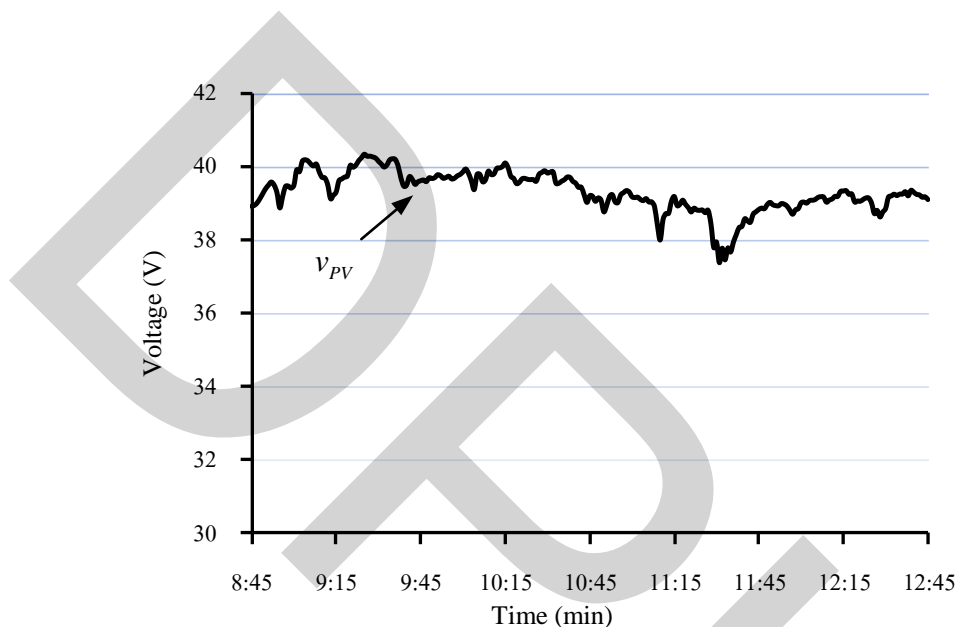
การทดสอบประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบตเตอรี่ที่นำมาใช้เป็นประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH ใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 20W จำนวนสองแผงต่ออนุกรมกันซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า 35.2V และกระแสไฟฟ้า 1.14A วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานซึ่งมีผลการทำงานของวงจรขณะประจุแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 4.11



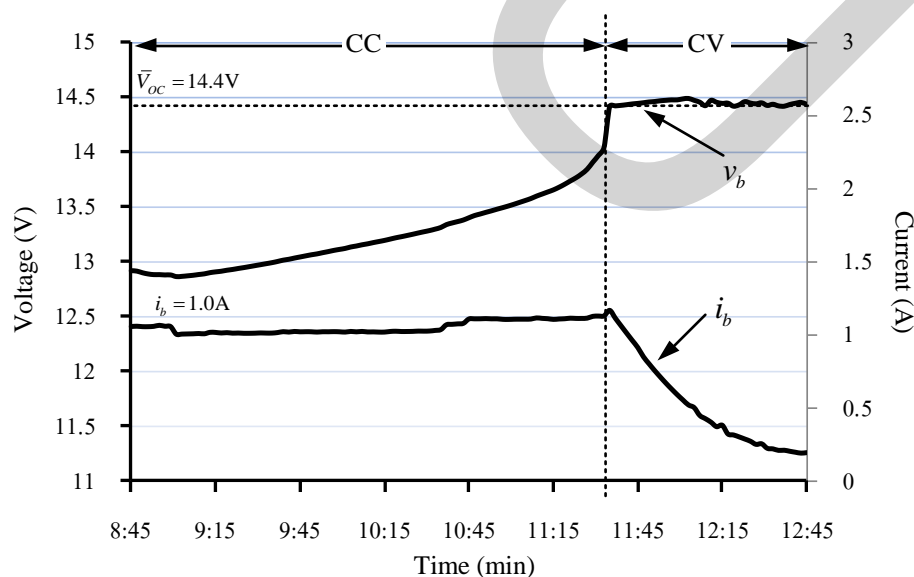
รูปที่ 4.11 วงจรประจุแบตเตอรี่ 12V โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 4.2.1 การประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) มีค่าคงที่ 1A และเมื่อแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) ที่มีค่า 14.4V การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 4 ชั่วโมง คือช่วงเวลา 08.45-12.45 น. ของวันที่ 22 ธันวาคม 2557 ณ ตำบลบางลูกเสือ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงดังรูปที่ 4.12 และผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.13



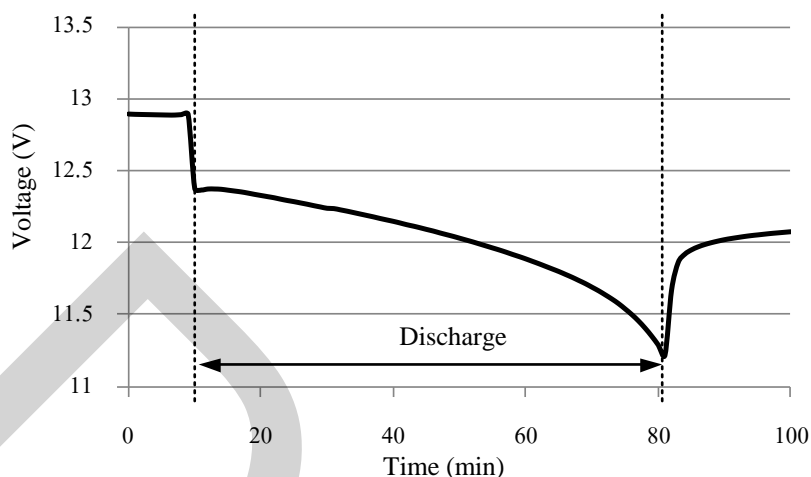
รูปที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 08.00-13.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม 2557



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (1A) - แรงดันไฟฟ้าคงที่ (14.4V)



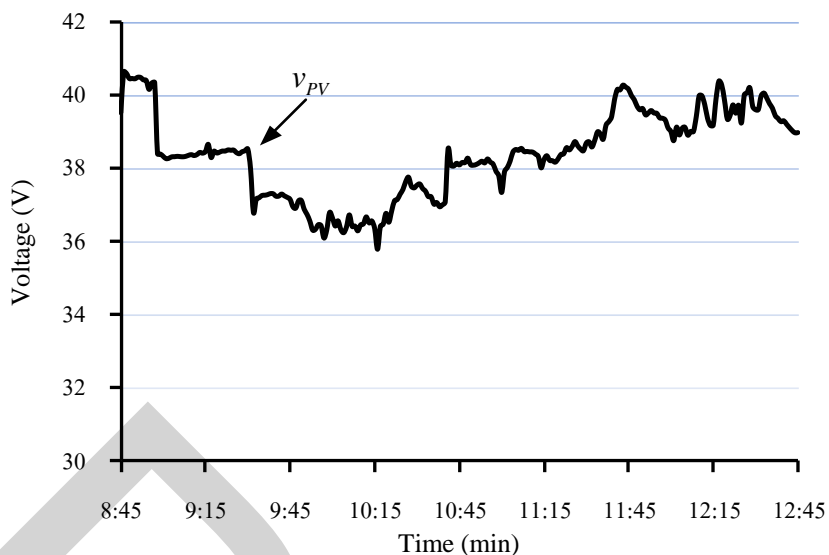
ในรูปที่ 4.14 นำแบตเตอรี่ที่ได้ประจุไฟฟ้ามาทดลองคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A ใช้เวลาในการคายประจุ 71 นาที



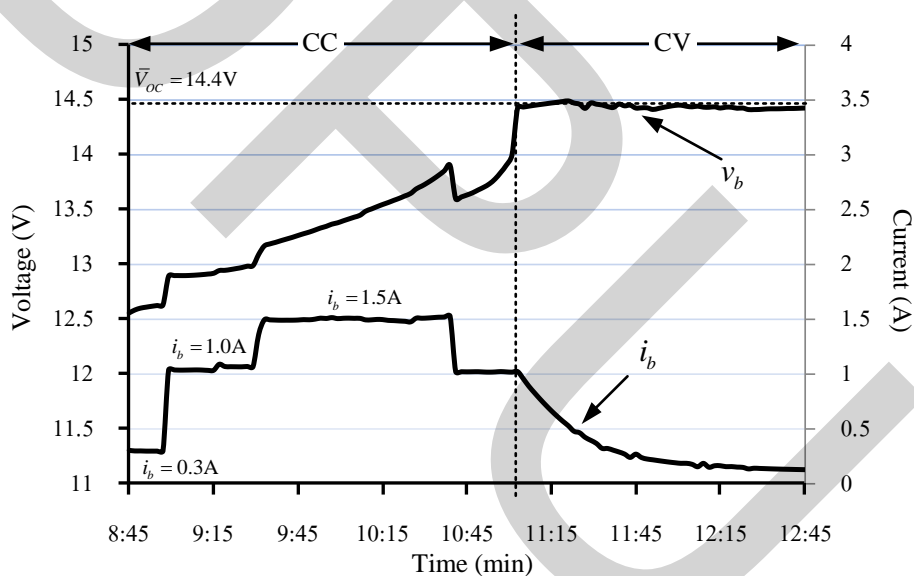
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A

#### 4.2.2 การประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ )

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) ในช่วงเริ่มต้นให้มีค่าคงที่ 0.3A หลังจากนั้นกำหนดให้กระแสไฟฟ้าอ้างอิงมีค่าคงที่ 1A, 1.5A และ 1.0A ตามลำดับ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{v}_{oc}$ ) ที่มีค่า 14.4V การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 4 ชั่วโมง คือช่วงเวลา 08.40-12.45 น. ของวันที่ 25 ธันวาคม 2557 ณ ตำบลบางลูกเสือ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงดังรูปที่ 4.15 และผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.16

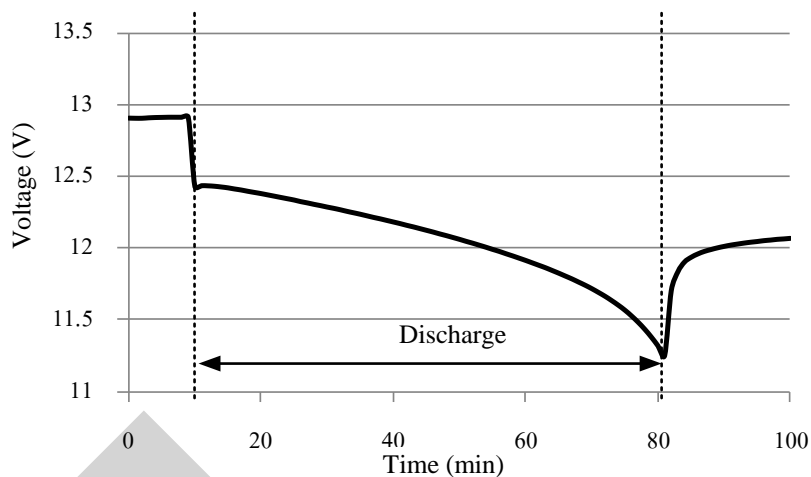


รูปที่ 4.15 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 08.00-13.00 น. วันที่ 25 ธันวาคม 2557



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (0.3A, 1A และ 1.5A) - แรงดันไฟฟ้าคงที่ (14.4V)

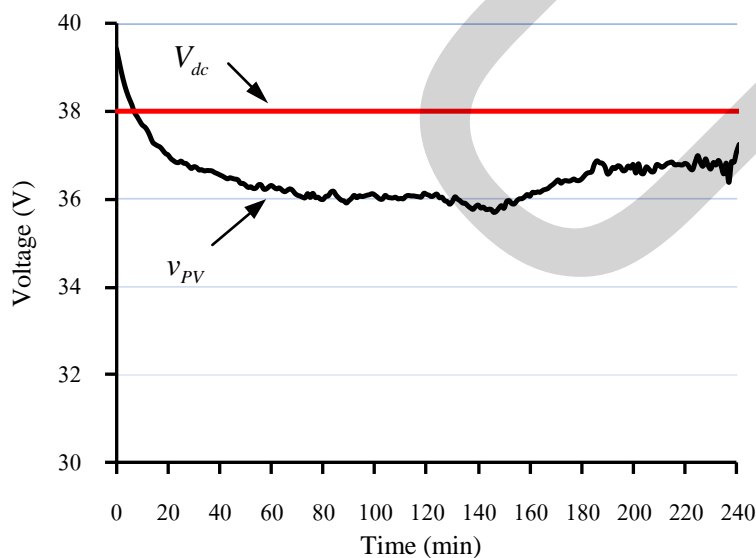
ในรูปที่ 4.17 นำแบตเตอรี่ที่ได้ประจุไฟฟ้ามาทดลองคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A ใช้เวลาในการคายประจุ 71 นาที



รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A

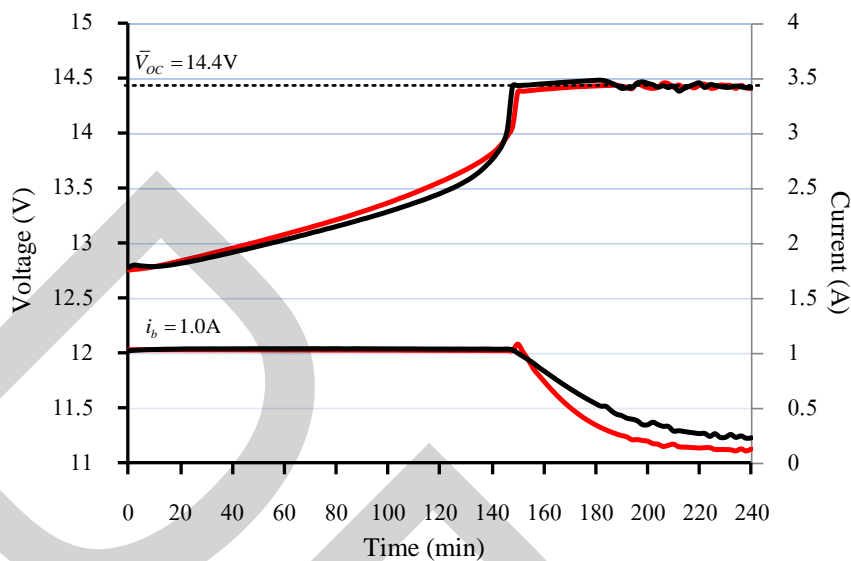
#### 4.2.3 เปรียบเทียบการทำงานในการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่

เมื่อทำการทดสอบการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ เมื่อทดสอบแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. ได้แรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่ ( $v_{PV}$ ) และแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ 38 V ( $V_{DC}$ ) ดังรูปที่ 4.18



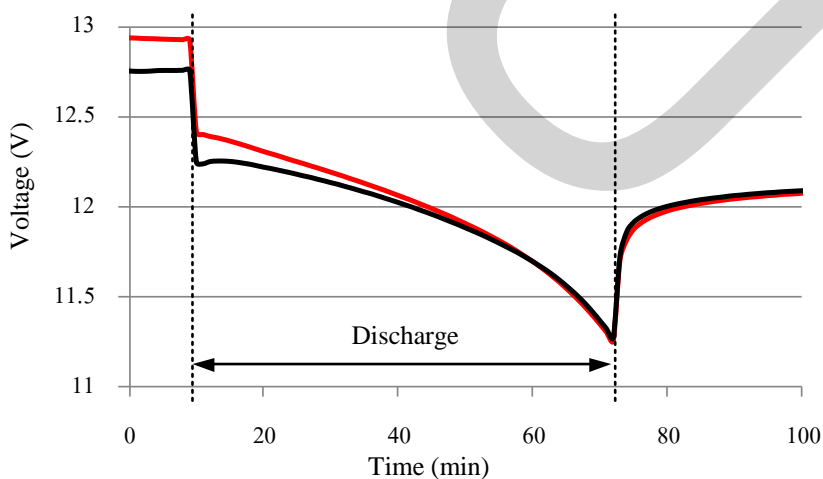
รูปที่ 4.18 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น.

การทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าอ้างอิง ( $I_{ref}$ ) มีค่าคงที่ 1A และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) ที่มีค่า 14.4V ได้ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่

ในรูปที่ 4.20 นำแบตเตอรี่ที่ได้ประจุไฟฟ้ามาทดลองคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A ใช้เวลาในการคายประจุ 61 นาที ได้ผลการทดสอบทั้งหมดดังในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองการคายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าที่โหลดคงที่ 3 A

ตารางที่ 4.3 เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง  
 คงที่เปรียบเทียบกับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แหล่งพลังงาน	เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ (นาทีก)		เวลาที่ใช้ในการคายประจุ แบตเตอรี่ (นาทีก)
	กระแสไฟฟ้าคงที่	แรงดันไฟฟ้าคงที่	
แรงดันไฟฟ้าคงที่	148	32	61
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	146	34	62

#### 4.3 บทสรุป

ผลการทดสอบการทำงานการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว กรดพิกัด-12V-7.2AH ด้วยวิธีการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการที่นำเสนอโดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ และใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มต้นกำหนดให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ให้มีข้อดีคือสามารถกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ประจุให้มีความต่อเนื่องและไม่สูงเกินไป ในช่วงเวลาของการประจุนี้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เวลาที่ใช้ในการประจุนั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุ ( $I_{rep}$ ) โดยในการทดลองนี้กำหนดกระแสไฟฟ้า 1A, 2A และ 3A และการกำหนดระดับของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $\bar{V}_{oc}$ ) โดยมีการกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ 13.2V หรือที่ 10% แรงดันไฟฟ้าที่ 13.8V หรือที่ 15% และแรงดันไฟฟ้าที่ 14.4V หรือที่ 20% เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าถึงระดับที่กำหนดไว้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ในช่วงเวลาของการประจุนี้แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอดเวลา ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าที่เต็มอยู่ตลอดเวลา และลดการคายประจุไฟฟ้าในตัวเองก่อนการนำไปใช้งาน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่มีการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานแบบการควบคุมด้วยโหมคของกระแสไฟฟ้าซึ่งใช้วิธีการควบคุมแบบการควบคุมกระแสไฟฟ้าสูงสุด (peak current mode control) และการควบคุมด้วยโหมคของแรงดันไฟฟ้าซึ่งใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) โดยทั้งสองวิธีใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน เพื่อนำมาใช้ในการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH ด้วยวิธีของการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W (17.6V และ 1.14A) พบว่าการในการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีดังกล่าว เริ่มต้นกำหนดให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานแบบการควบคุมด้วยโหมคของกระแสไฟฟ้า ทำให้มีการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลาทำให้มีข้อดีคือสามารถกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ประจุให้มีความต่อเนื่องและไม่สูงเกินไปแม้ว่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าม่งที่ก็ตาม ในช่วงเวลาของการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ( $v_b$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ โดยในการทดลองกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ 14.4V หรือ 20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ และกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่คงที่ที่ 1A, 2A และ 3A จากผลการทดลองพบว่าเมื่อกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ 3A เวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่น้อยกว่าเมื่อกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ 2A และ 1A ตามลำดับ แต่เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นส่งผลให้แบตเตอรี่ในขณะที่ประจุไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงตามไปด้วยและต้องใช้นขนาดพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น

เมื่อประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ( $v_b$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนโหมคการประจุเป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ในช่วงเวลาของการประจุแบตเตอรี่ด้วยโหมคดังกล่าวนี้ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ( $i_b$ ) มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในการทดลองกำหนดแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 13.2V หรือ 10% แรงดันไฟฟ้าที่ 13.8V หรือ 15% และแรงดันไฟฟ้าที่ 14.4V หรือ 20% จากการทดลองพบว่าการกำหนดระดับของแรงดันไฟฟ้านี้ส่งผลให้เวลาในช่วงของการทำงานของการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่มีค่าแตกต่างกัน ในช่วงเวลาของการประจุนี้แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอดเวลาส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าที่เต็มอยู่ตลอดเวลาและลดการคายประจุไฟฟ้าในตัวเองก่อนการนำไปใช้งาน

การประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ ทำให้สามารถกำหนดระยะเวลาในการประจุแบตเตอรี่ได้ โดยการกำหนดขนาดของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ แม้ว่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าม่งที่ก็ตาม และการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีดังกล่าวยังสามารถเลือกใช้งานตามขนาดพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับขนาดพิกัดความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

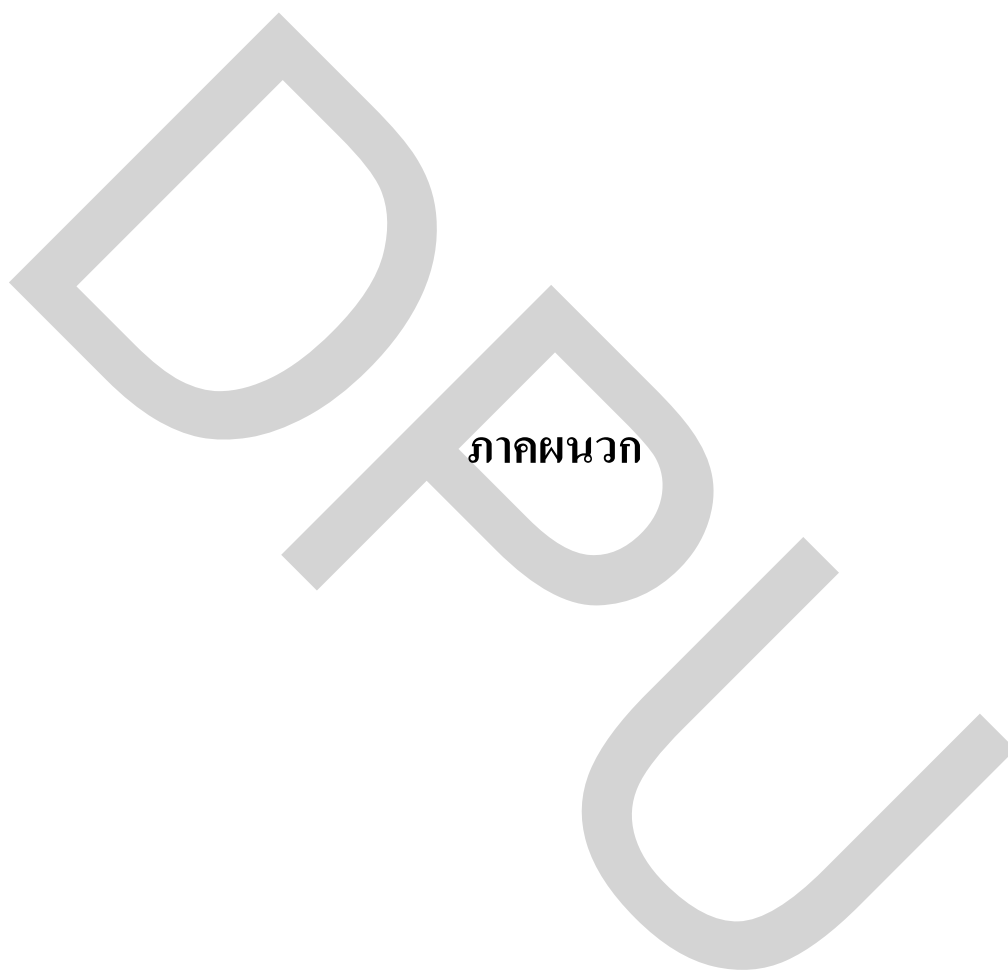
การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่มีวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ มีข้อที่ต้องพัฒนาต่อคือในช่วงของการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่มีการใช้วิธีการควบคุมด้วยวิธีอื่นเช่น แบบการควบคุมกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (average current mode control) และแบบวิธีการควบคุมด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power point tracking :MPPT) เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- [1] Senft, J. R., "An Introduction to Stirling Engines", River Falls, Wisconsin, 1995.
- [2] นาย ชีวะเกตุ และชานันท์ บัวเขียว "การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์" สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 49 กรกฎาคม-กันยายน 2543.
- [3] Diary R. Sulaiman, Hilmi F. Amin, and Ismail K. Said, "Design of High Efficiency DC-DC Converter for Photovoltaic Solar Home Applications", Journal of Energy & Power Engineering, Vol. 4 Issue 11, pp. 43-51, Nov 2010.
- [4] อนุก ทอนสูงเนิน และสมชัย หิรัญวโรดม "การวิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณความเข้มแสงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37 (EECON-37) 19-21 พฤศจิกายน 2557 มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [5] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, Fundamentals of power electronics (Kluwer Academic Publishers, 2004).
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2447
- [7] จักรพงษ์ จารุมิศรี, "การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง", เอสพีเอส พรินติ้ง, 2454
- [8] S. Armstrong, M.E. Glavin and W.G. Hurley, "Comparison of Battery Charging Algorithms for Stand Alone Photovoltaic Systems", IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC2008, pp. 1469-1475, June 2008.
- [9] Ankur Bhattacharjee, " Design and Comparative Study of Three Photovoltaic Battery Charge Control Algorithms in MATLAB/SIMULINK Environment", International Journal of Advanced Computer Research, Vol. 2, No.3, Issue 5, pp. 129-135, Sep 2012.
- [10] S. Abinaya, A. Sivaranjani and S. Suja, "Methods of Battery Charging with Buck Converter Using Soft-Switching Techniques" Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits, Vol. 1, Special Issue, December 2011.
- [11] T. Grote, F. Schafmeister, H. Figge, N. Fröhleke, P. Ide, J. Böcker, "Adaptive Digital Slope Compensation for Peak Current Mode Control", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. 20-24 Sept. 2009, pp. 3523-3529.
- [12] Suryanarayana K, L.V. Prabhu, Anantha S, Vishwas K, "Analysis and Modeling of Digital Peak Current Mode Control",



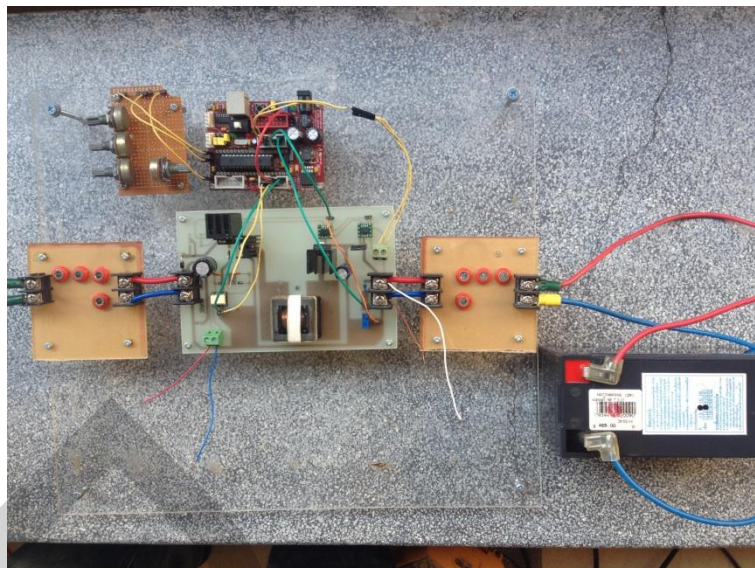
- [13] Liping Guo, "Implementation of Digital PID Controllers for DC-DC Converters using Digital Signal Processors", IEEE Power Electronics Specialists Conference, IEEE EIT 2007 Proceedings , 17-20 May 2007 , pp. 306-311.
- [14] R. R. Boudreaux, R. M. Nelms, and John Y. Hung, "Simulation and Modeling of a DC-DC Converter Controlled by an 8-bit Microcontroller", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1997. APEC '97 Conference Proceedings 1997, Twelfth Annual (Volume: 2), 23-27 Feb 1997, pp. 963-969.
- [15] Neethu Mohan and Mukti Barai, "Digital Control of Zero Voltage Switching Buck Converter Using PIC Microcontroller", 2012 IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE), 6-8 Dec. 2012, pp. 1-4.
- [16] Jaouad Tanouti, Mohammed Setti, Abdelhak Aziz and El Mamoun Aziz, "Design and Implementation of a Digitally Controlled Photovoltaic System Using Series Connected Buck Converters", Journal of Environmental Science and Engineering, pp. 456 - 464.
- [17] นกคณ ชวนไชยะกุล และสุรัชย์ ไชยทัศน์ีย์ "แบบจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองไดโอดและการเปรียบเทียบกับการวัดจริง" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON-35) จ.นครนายก.
- [18] ปกครองวงศ์คุณ และพิสิษฐ์ ลิ่วธนกุล "การสร้างแบบจำลองอะเรย์เซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะเงาบังโดยใช้ Embedded MATLAB Function" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON-35) จ.นครนายก.
- [19] ประจัน พลังสันติกุล. การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F ด้วยคอมไพเลอร์ MPLAB C. กรุงเทพฯ : แอปซอพท์เทค, 2551.
- [20] อาทิตย์ แซ่สู, วิริยะธณ เตชะวะรุตะธัมโม. "ชุดพัฒนาบอร์ดสำหรับทดลอง dsPIC30F4011." ปรินูญานิพนธ์ปรินูญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554





**ภาคผนวก ก.**

**วงจรที่ใช้ในการทดลอง**



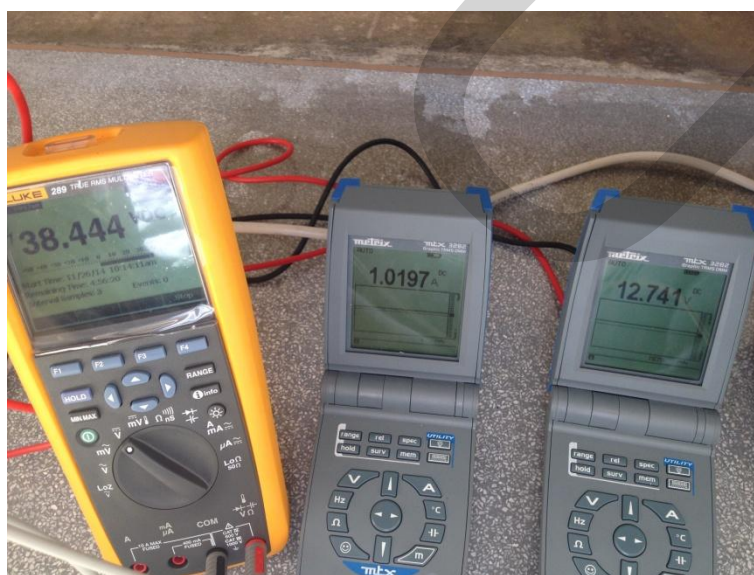
รูปที่ ก.1 วงจรที่ใช้ในการการประจุแบตเตอรี่



รูปที่ ก.2 แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH

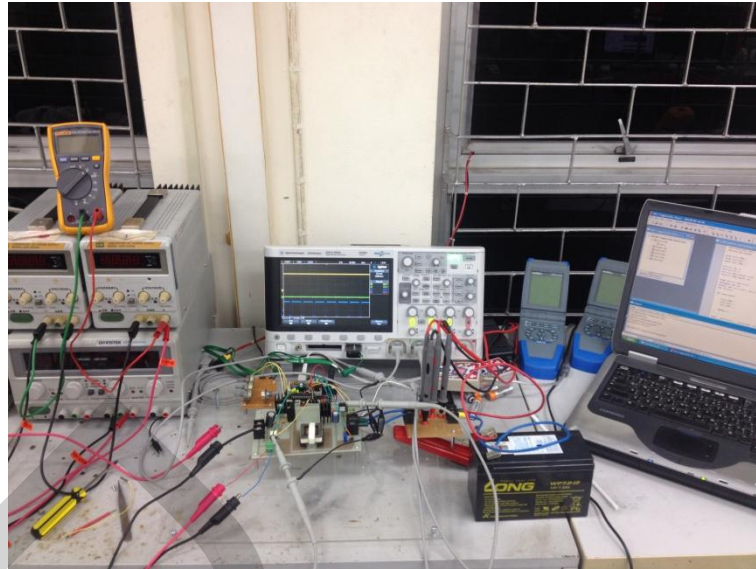


รูปที่ ก.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W, 17.6V, 1.14A



รูปที่ ก.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง





รูปที่ ก.5 การทดลองการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่



รูปที่ ก.6 การทดลองการกัวยประจุไฟฟ้าโดยใช้หลอดไฟแอลอีดี



**ภาคผนวก ข.**

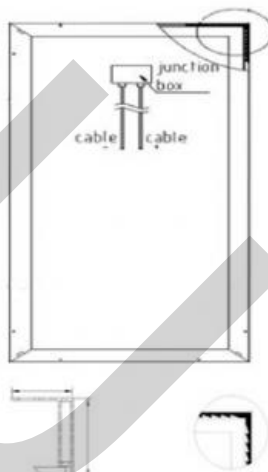
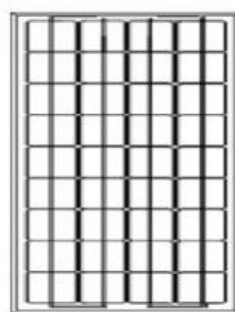
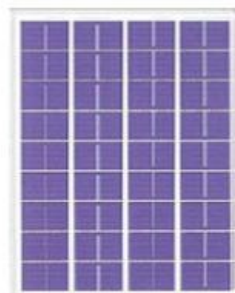
**เอกสารกำกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**

## EPC INTERNATIONAL CO.,LTD

**Our Solar Panel Features:**

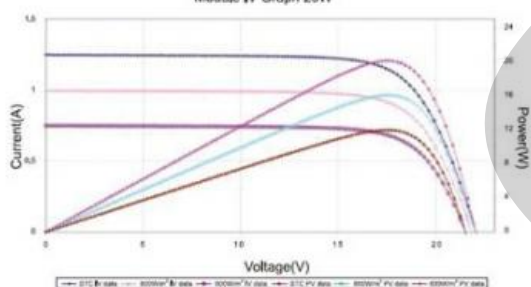
- A-grade solar cells ensure high efficiency, esthetic appearance and good low-light performances;
- Nominal 12V DC for standard output;
- High transparent low-iron and tempered glass;
- Withstand high wind-pressure and snow load;
- Easy installation
- 25 year power output warranty

<b>Type:</b>	<b>PVE20P36</b>
Open-circuit voltage (Voc)	21.7 V
Optimum operating voltage (Vmp)	17.6 V
Short-circuit current (Isc)	1.26 A
Optimum operating current (Imp)	1.14 A
Maximum power at STC (Pmax)	20 Wp
Operating temperature	-40°C to + 85°C
Maximum system voltage	715V DC
Cell:	multi-crystal solar cells
Quantity of solar cells and connections:	36 (4x9)
Dimension of module:	355*530*30 (mm)
Weight:	2.8 Kg
<b>Temperature Coefficients</b>	
NOCT:	45°C+/-2°C
Short-Circuit current temperature coefficient	(0.055+/-0.01)%/K
Open-circuit voltage temperature coefficient	-(78+/-10) mV/K
Peak Power temperature coefficient	-(0.48+/-0.05)%/K
Power Tolerance	+10%
NOCT: Nominal Operating Cell Temperature (The data is only for reference)	



### Characteristics

Module IV Graph 20W







**dsPIC30F1010/202X**  
**Data Sheet**

28/44-Pin High-Performance  
Switch Mode Power Supply  
Digital Signal Controllers



# dsPIC30F1010/202X

## 28/44-pin dsPIC30F1010/202X Enhanced Flash SMPS 16-bit Digital Signal Controller

**Note:** This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual" (DS70157).

### High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- 83 base instructions with flexible addressing modes
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 12 Kbytes on-chip Flash program space
- 512 bytes on-chip data RAM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPS operation:
  - Dual Internal RC 9.7 and 14.55 MHz ( $\pm 1\%$ )
  - 32X PLL with 480 MHz VCO
  - PLL inputs  $\pm 3\%$
  - External EC clock 9.7 and 14.55 MHz
  - HS Crystal mode 9.7 and 14.55 MHz
- 32 interrupt sources
- Three external interrupt sources
- 8 user-selectable priority levels for each interrupt
- 4 processor exceptions and software traps

### DSP Engine Features:

- Modulo and Bit-Reversed modes
- Two 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single-cycle hardware fractional/integer multiplier
- Single-cycle Multiply-Accumulate (MAC) operation
- 40-stage Barrel Shifter
- Dual data fetch

### Peripheral Features:

- High-current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Three 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Four 16-bit Capture input functions
- Two 16-bit Compare/PWM output functions
  - Dual Compare mode available
- 3-wire SPI modules (supports 4 Frame modes)
- I<sup>2</sup>C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- UART Module:
  - Supports RS-232, RS-485 and LIN 1.2
  - Supports IrDA® with on-chip hardware endec
  - Auto wake-up on Start bit
  - Auto-Baud Detect
  - 4-level FIFO buffer

### SMPS PWM Module Features:

- Four PWM generators with 8 outputs
- Each PWM generator has independent time base and duty cycle
- Duty cycle resolution of 1.1 ns at 30 MIPS
- Individual dead time for each PWM generator:
  - Dead-time resolution 4.2 ns at 30 MIPS
  - Dead time for rising and falling edges
- Phase-shift resolution of 4.2 ns @ 30 MIPS
- Frequency resolution of 8.4 ns @ 30 MIPS
- PWM modes supported:
  - Complementary
  - Push-Pull
  - Multi-Phase
  - Variable Phase
  - Current Reset
  - Current-Limit
- Independent Current-Limit and Fault Inputs
- Output Override Control
- Special Event Trigger
- PWM generated ADC Trigger

# dsPIC30F1010/202X

## Analog Features:

### ADC

- 10-bit resolution
- 2000 Ksps conversion rate
- Up to 12 input channels
- “Conversion pairing” allows simultaneous conversion of two inputs (i.e., current and voltage) with a single trigger
- PWM control loop:
  - Up to six conversion pairs available
  - Each conversion pair has up to four PWM and seven other selectable trigger sources
- Interrupt hardware supports up to 1M interrupts per second

### COMPARATOR

- Four Analog Comparators:
  - 20 ns response time
  - 10-bit DAC reference generator
  - Programmable output polarity
  - Selectable input source
  - ADC sample and convert capable
- PWM module interface
  - PWM Duty Cycle Control
  - PWM Period Control
  - PWM Fault Detect
- Special Event Trigger
- PWM-generated ADC Trigger

## Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
  - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100k (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation
- Detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
  - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

## CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash technology
- 3.0V and 5.0V operation (±10%)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

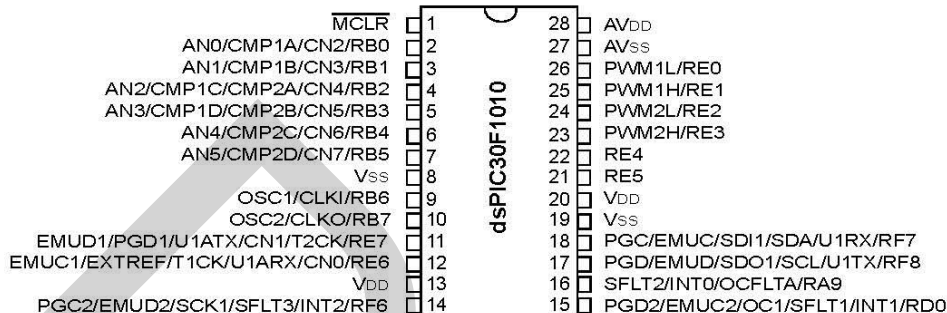
## dsPIC30F SWITCH MODE POWER SUPPLY FAMILY:

Product	Pins	Packaging	Program Memory (Bytes)	Data SRAM (Bytes)	Timers	Capture	Compare	UART	SPI	I <sup>2</sup> C™	PWM	ADCs	S & H	A/D Inputs	Analog Comparators
dsPIC30F1010	28	SDIP	6K	256	2	0	1	1	1	1	2x2	1	2	6 ch	2
dsPIC30F1010	28	SOIC	6K	256	2	0	1	1	1	1	2x2	1	2	6 ch	2
dsPIC30F1010	28	QFN	6K	256	2	0	1	1	1	1	2x2	1	2	6 ch	2
dsPIC30F2020	28	SDIP	12K	512	3	1	2	1	1	1	4x2	1	4	8 ch	4
dsPIC30F2020	28	SOIC	12K	512	3	1	2	1	1	1	4x2	1	4	8 ch	4
dsPIC30F2020	28	QFN	12K	512	3	1	2	1	1	1	4x2	1	4	8 ch	4
dsPIC30F2023	44	QFN	12K	512	3	1	2	1	1	1	4x2	1	4	12 ch	4
dsPIC30F2023	44	TQFP	12K	512	3	1	2	1	1	1	4x2	1	4	12 ch	4

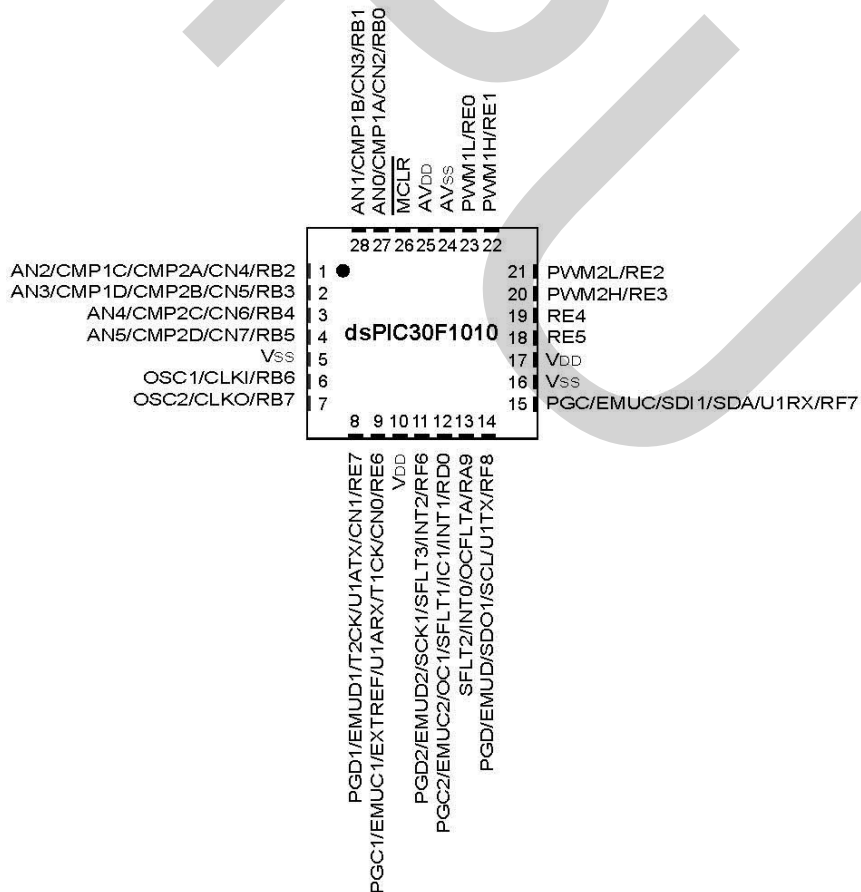
# dsPIC30F1010/202X

## Pin Diagrams

### 28-Pin SDIP and SOIC



### 28-Pin QFN



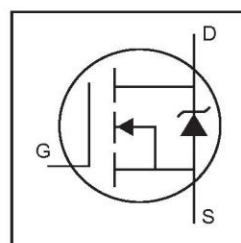
International  
**IR** Rectifier

PD - 94053

# IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = 55V$$

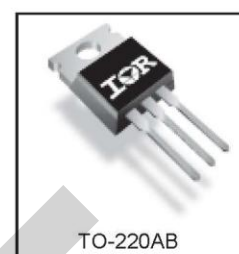
$$R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$$

$$I_D = 49A$$

### Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs 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.



TO-220AB

### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	25	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	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	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

01/03/01

# IRFZ44N

International  
IR Rectifier

## 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	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	60	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—		$R_G = 12\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	45	—		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	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	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	360	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	88	—		$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	530 ⑤	150 ⑥		mJ

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	160		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	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  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 0.48\text{mH}$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 25A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 25A$ ,  $di/dt \leq 230A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .





## MAX4173

### Low-Cost, SOT23, Voltage-Output, High-Side Current-Sense Amplifier

#### General Description

The MAX4173 low-cost, precision, high-side current-sense amplifier is available in a tiny SOT23-6 package. It features a voltage output that eliminates the need for gain-setting resistors and it is ideal for today's notebook computers, cell phones, and other systems where current monitoring is critical. High-side current monitoring is especially useful in battery-powered systems, since it does not interfere with the ground path of the battery charger. The input common-mode range of 0 to +28V is independent of the supply voltage and ensures that the current-sense feedback remains viable even when connected to a battery in deep discharge. The MAX4173's wide 1.7MHz bandwidth makes it suitable for use inside battery charger control loops.

The combination of three gain versions and a user-selectable external sense resistor sets the full-scale current reading. This feature offers a high level of integration, resulting in a simple and compact current-sense solution.

The MAX4173 operates from a single +3V to +28V supply, typically draws only 420 $\mu$ A of supply current over the extended operating temperature range (-40°C to +85°C), and is offered in the space-saving SOT23 package.

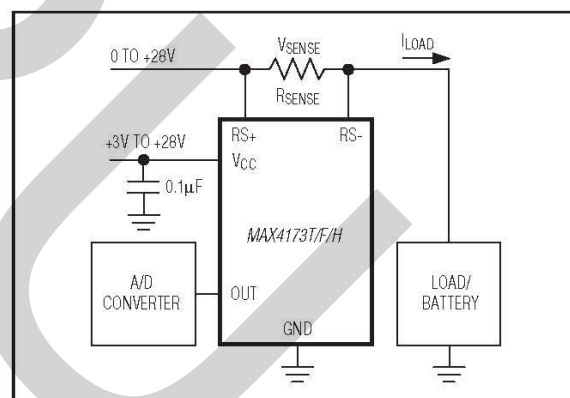
#### Applications

- Notebook Computers
- Portable/Battery-Powered Systems
- Smart Battery Packs/Chargers
- Cell Phones
- Power-Management Systems
- General System/Board-Level Current Monitoring
- PA Bias Control
- Precision Current Sources

#### Features

- ◆ Low-Cost, Compact Current-Sense Solution
- ◆ High Accuracy +2V to +28V Common-Mode Range, Functional Down to 0V, Independent of Supply Voltage
- ◆ Three Gain Versions Available
  - +20V/V (MAX4173T)
  - +50V/V (MAX4173F)
  - +100V/V (MAX4173H)
- ◆  $\pm 0.5\%$  Full-Scale Accuracy
- ◆  $\pm 3\text{mV}$  Input Offset Voltage (MAX4173T)
- ◆ Wide 1.7MHz Bandwidth (MAX4173T)
- ◆ 420 $\mu$ A Supply Current
- ◆ Available in Space-Saving SOT23 Package

#### Typical Operating Circuit



#### Ordering Information

PART	GAIN (V/V)	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	SOT TOP MARK
MAX4173TEUT+T	20	-40°C to +85°C	6 SOT23	AABN
MAX4173TESA+	20	-40°C to +85°C	8 SO	—
MAX4173FEUT+T	50	-40°C to +85°C	6 SOT23	AABO
MAX4173FESA+	50	-40°C to +85°C	8 SO	—
MAX4173HEUT+T	100	-40°C to +85°C	6 SOT23	AABP
MAX4173HESA+	100	-40°C to +85°C	8 SO	—

+ Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package.  
T = Tape and reel.

Pin Configurations appear at end of data sheet.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

# MAX4173

## Low-Cost, SOT23, Voltage-Output, High-Side Current-Sense Amplifier

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V<sub>CC</sub>, RS+, RS- to GND ..... -0.3V to +30V  
 OUT to GND ..... -0.3V to (V<sub>CC</sub> + 0.3V)  
 Output Short-Circuit to V<sub>CC</sub> or GND ..... Continuous  
 Differential Input Voltage (V<sub>RS+</sub> - V<sub>RS-</sub>) ..... ±0.3V  
 Current into Any Pin ..... ±20mA

Continuous Power Dissipation (T<sub>A</sub> = +70°C)  
 8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) ..... 471mW  
 SOT23-6 (derate 8.7mW/°C above +70°C) ..... 696mW  
 Operating Temperature Range ..... -40°C to +85°C  
 Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +300°C  
 Soldering Temperature (reflow) ..... +260°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>RS+</sub> = 0 to +28V, V<sub>CC</sub> = +3V to +28V, V<sub>SENSE</sub> = 0V, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, R<sub>LOAD</sub> = ∞ unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Voltage Range	V <sub>CC</sub>	Guaranteed by PSR test	3		28	V
Common-Mode Input Range	V <sub>CMR</sub>	(Note 2)	0		28	V
Common-Mode Rejection	CMR	V <sub>RS+</sub> > +2.0V		90		dB
Supply Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>RS+</sub> > +2.0V, V <sub>CC</sub> > 12V		0.42	1.0	mA
Leakage Current	I <sub>RS+</sub> , I <sub>RS-</sub>	V <sub>CC</sub> = 0V, V <sub>RS+</sub> = 28V		0.3	3	μA
Input Bias Current	I <sub>RS+</sub>	V <sub>RS+</sub> > +2.0V	0		50	μA
		V <sub>RS+</sub> ≤ +2.0V	-350		50	
	I <sub>RS-</sub>	V <sub>RS+</sub> > +2.0V	0		100	
		V <sub>RS+</sub> ≤ +2.0V	-700		100	
Full-Scale Sense Voltage	V <sub>SENSE</sub>	V <sub>SENSE</sub> = V <sub>RS+</sub> - V <sub>RS-</sub>		150		mV
Total OUT Voltage Error (Note 3)		V <sub>SENSE</sub> = +100mV, V <sub>CC</sub> = +12V, V <sub>RS+</sub> = +12V		±0.5	5.75	%
		V <sub>SENSE</sub> = +100mV, V <sub>CC</sub> = +12V, V <sub>RS+</sub> = +12V, T <sub>A</sub> = +25°C		0.5	3.25	
		V <sub>SENSE</sub> = +100mV, V <sub>CC</sub> = +28V, V <sub>RS+</sub> = +28V		0.5	5.75	
		V <sub>SENSE</sub> = +100mV, V <sub>CC</sub> = +12V, V <sub>RS+</sub> = +0.1V		-9	±24	
		V <sub>CC</sub> = +12V, V <sub>RS+</sub> = +12V, V <sub>SENSE</sub> = +6.25mV (Note 4)		±7.5		
Out High Voltage (Note 5)	(V <sub>CC</sub> - V <sub>OH</sub> )	MAX4173T, V <sub>CC</sub> = +3.0V, V <sub>RS+</sub> = 28V, V <sub>SENSE</sub> = 250mV		0.8	1.2	V
		MAX4173F, V <sub>CC</sub> = +7.5V, V <sub>RS+</sub> = 28V, V <sub>SENSE</sub> = 250mV		0.8	1.2	
		MAX4173H, V <sub>CC</sub> = +15V, V <sub>RS+</sub> = 28V, V <sub>SENSE</sub> = 250mV		0.8	1.2	
OUT Low Voltage	V <sub>OL</sub>	MAX4173TEUT, V <sub>CC</sub> = +5V, V <sub>RS+</sub> = 0.89V, V <sub>SENSE</sub> = 0mV	T <sub>A</sub> = +25°C	1.2	5	mV
			T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C		40	



# MAX4173

## Low-Cost, SOT23, Voltage-Output, High-Side Current-Sense Amplifier

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{RS+} = 0$  to  $+28V$ ,  $V_{CC} = +3V$  to  $+28V$ ,  $V_{SENSE} = 0V$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ,  $R_{LOAD} = \infty$  unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Bandwidth	BW	$V_{RS+} = +12V$ , $V_{CC} = +12V$ , $C_{LOAD} = 5pF$	MAX4173T, $V_{SENSE} = +100mV$		1.7		MHz
			MAX4173F, $V_{SENSE} = +100mV$		1.4		
			MAX4173H, $V_{SENSE} = +100mV$		1.2		
			$V_{SENSE} = +6.25mV$ (Note 4)		0.6		
Gain	$A_v$	MAX4173T			20		V/V
		MAX4173F			50		
		MAX4173H			100		
Gain Accuracy	$\Delta A_v$	MAX4173T/F $V_{SENSE} = +10mV$ to $+150mV$ , $V_{CC} = V_{RS+} = 12V$	$T_A = +25^\circ C$		0.5	$\pm 2.5$	%
			$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$			4.0	
	$\Delta A_v$	MAX4173H $V_{SENSE} = +10mV$ to $+100mV$ , $V_{CC} = V_{RS+} = 12V$	$T_A = +25^\circ C$		0.5	$\pm 2.5$	
			$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$			4.0	
Input Offset Voltage (Note 6)	$V_{OS}$	MAX4173TEUT, $V_{RS+} = 12V$	$T_A = +25^\circ C$		0.3	$\pm 3$	mV
			$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$			$\pm 5$	
OUT Settling Time to 1% of Final Value		$V_{CC} = +12V$ , $V_{RS+} = 12V$ , $C_{LOAD} = 5pF$	$V_{SENSE} = +6.25mV$ to $+100mV$		400		ns
			$V_{SENSE} = +100mV$ to $+6.25mV$		800		
OUT Output Resistance	$R_{OUT}$				12		k $\Omega$
Power-Supply Rejection	PSR	MAX4173T, $V_{SENSE} = 80mV$ , $V_{RS+} \geq +2V$		60	84		dB
		MAX4173F, $V_{SENSE} = 32mV$ , $V_{RS+} \geq +2V$		60	91		
		MAX4173H, $V_{SENSE} = 16mV$ , $V_{RS+} \geq +2V$		60	95		
Power-Up Time to 1% of Final Value		$V_{SENSE} = +100mV$ , $C_{LOAD} = 5pF$			10		$\mu s$
Saturation Recovery Time		$V_{CC} = +12V$ , $V_{RS+} = 12V$ (Note 7)			10		$\mu s$

**Note 1:** All devices are 100% production tested at  $T_A = +25^\circ C$ . All temperature limits are guaranteed by design.

**Note 2:** Guaranteed by Total Output Voltage Error Test.

**Note 3:** Total OUT Voltage Error is the sum of gain and offset voltage errors.

**Note 4:**  $+6.25mV = 1/16$  of  $+100mV$  full-scale voltage.

**Note 5:**  $V_{SENSE}$  such that output stage is in saturation.

**Note 6:**  $V_{OS}$  is extrapolated from the Gain Accuracy tests.

**Note 7:** The device does not experience phase reversal when overdriven.

## MUR1605 thru MUR1660



Pb Free Plating Product

## MUR1605 thru MUR1660



## 16.0 Amp. Glass Passivated Ultra Fast Recovery Rectifiers

## Features

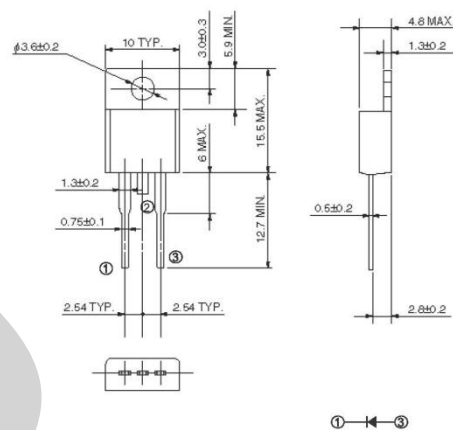
- \* Fast switching for high efficiency
- \* Low forward voltage drop
- \* High current capability
- \* Low reverse leakage current
- \* High surge current capability

## Mechanical Data

- \* Case: Molded TO-220AC
- \* Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- \* Terminals: Solderable per MIL-STD-202 method 208
- \* Polarity: Color band denotes cathode
- \* Mounting position: Any
- \* Weight: 2.03 grams

TO-220AC

Unit : inch (mm)



## MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%

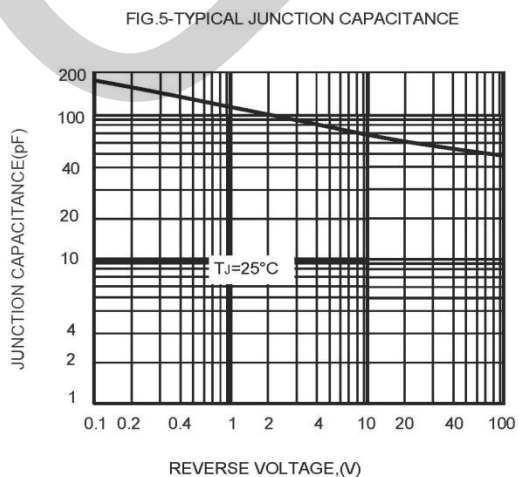
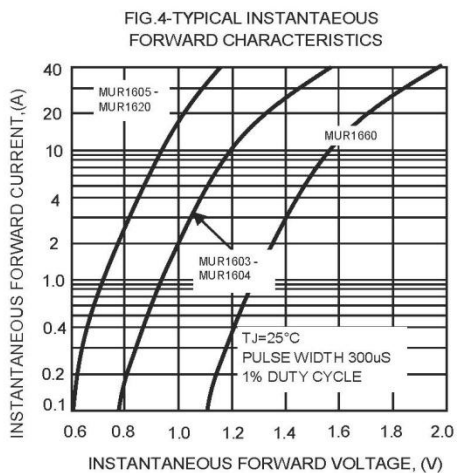
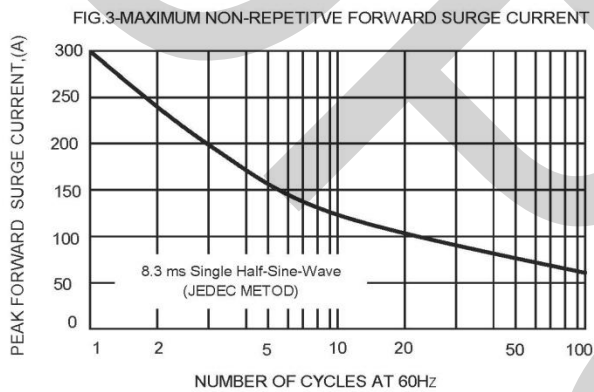
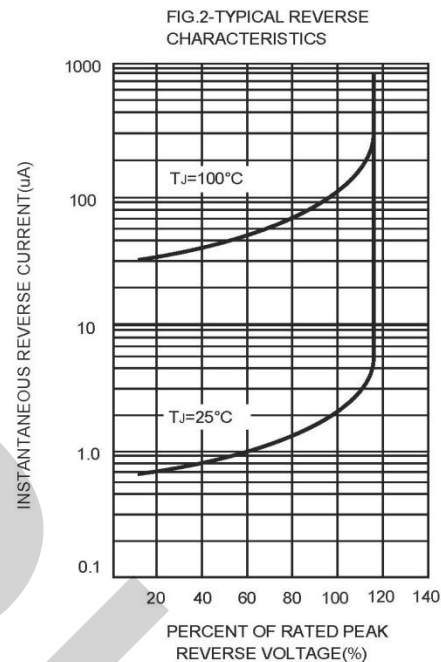
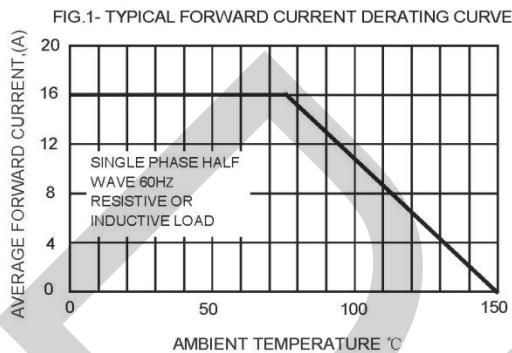
CHARACTERISTICS	SYMBOL	MUR 1605	MUR 1610	MUR 1615	MUR 1620	MUR 1630	MUR 1640	MUR 1660	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>	50	100	150	200	300	400	600	V
Maximum RMS Voltage	V <sub>RMS</sub>	35	70	105	140	210	280	420	V
Maximum DC Blocking Voltage	V <sub>DC</sub>	50	100	150	200	300	400	600	V
Maximum Average Forward Rectified Current @T <sub>A</sub> = 75 °C	I(AV)	16.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half Sine-Wave Super Imposed on Rated Load(JEDEC Method)	I <sub>FSM</sub>	300							A
Peak Forward Voltage at 16.0A DC	V <sub>F</sub>	0.95			1.3		1.7		V
Maximum DC Reverse Current @T <sub>J</sub> =25°C at Rated DC Blocking Voltage @T <sub>J</sub> =100°C	I <sub>R</sub>	10			150				μA
Maximum Reverse Recovery Time(Note1)	T <sub>RR</sub>	35							nS
Typical Junction Capacitance (Note2)	C <sub>J</sub>	80							pF
Typical Thermal Resistance (Note3)	R <sub>θJA</sub>	2.5							°C/W
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> ,T <sub>STG</sub>	-55 to + 150							°C

NOTES:1.Measured with I<sub>F</sub>=0.5A,I<sub>R</sub>=1A,I<sub>RR</sub>=0.25A

2.Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0VDC.

3.Thermal resistance junction to ambient

**RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (MUR1605 thru MUR1660)**



ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ ดังนี้

- [1] มณฑล นาวงษ์ “การออกแบบวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 11 วันที่ 19-20 มิถุนายน 2558, ณ โรงแรมดวงจิตต์ รีสอร์ท แอนด์ สปา หาดป่าตอง จ.ภูเก็ต.
- [2] มณฑล นาวงษ์ “วิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37 (EECON-37) วันที่ 19-21 พฤศจิกายน พ.ศ.2557 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ณ โรงแรมพูลแมน จ.ขอนแก่น.



# PEC-11



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

19-20 มิถุนายน 2558

ณ โรงแรมดวงจิตต์ รีสอร์ท แอนด์ สปา หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต



## การออกแบบวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

### The Design of Constant Current-Voltage Battery Charging Method for Photovoltaic Module

มนทล นาวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาจันทบุรี กรุงเทพมหานคร

\*อีเมลผู้แต่งหลัก: monthon.naw@dpu.ac.th

Monthon Nawong

Department of Electrical, Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University Bangkok, Thailand

\*Email of corresponding author: monthon.naw@dpu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W, 17.6V, 1.14A จำนวนสองแผงต่อแบบอนุกรมทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพิกัด 12V, 7.2Ah และวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่ การทำงานของวงจรเริ่มจากการออกแบบระบบควบคุมเป็นชนิดกระแสไฟฟ้าคงที่แบบโหมดการควบคุมกระแสไฟฟ้าสูงสุด ในช่วงเวลาดังกล่าวระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด วงจรควบคุมเปลี่ยนเป็นชนิดการควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่แบบโหมดการควบคุมพีไอดี ในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้ระดับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงศูนย์ ผลการทดลองใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่ 4 ชั่วโมงเริ่มจากกำหนดให้กระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่มีค่าคงที่ 0.3A, 1A และ 1.5A และในช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่กำหนดระดับของแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ 14.4V

คำหลัก บั๊กคอนเวอร์เตอร์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่, การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่

#### Abstract

This paper presents the design of constant current-voltage battery charging method for photovoltaic module. The system consists of a 20W, 17.6V, 1.14A PV module that can be connected electrically in series that can convert the solar energy directly into electricity, a 12V, 7.2Ah lead-acid battery,

buck converter and its control with microcontroller to battery charger using the constant voltage-current charging method. Those methods are both a constant current based on peak current mode control and a constant voltage charge based on PID control. Battery charging starts with a constant current until a certain voltage is reached. The charging continues at the constant voltage level until the current decreases to a value of zero current. The result of battery charger is satisfactory; charging method of the battery can be completed within 4 hours by a constant current of 0.3A, 1A and 1.5A and a constant voltage of 14.4V.

**Keywords:** Buck Converter, Photovoltaic Module, Constant Voltage Charging Method, Constant Current Charging Method

#### 1. บทนำ

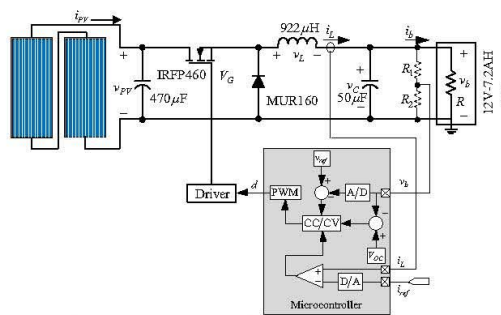
ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากฟอสซิลกำลังเริ่มหมดไปนอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานจากฟอสซิลคือทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากฟอสซิล เช่น พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น พลังงานจากแสงอาทิตย์ใช้สิ่งประดิษฐ์เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และเมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อกันเป็นวงจรแบบโมดูล (Module) หรือแผง (Panel) เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module or PV Panel) โดยมีการจำแนกระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 2 ระบบคือระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) และระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า

ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระประกอบด้วยการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานโดยตรง เช่น นำมาใช้ในการประจุแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เป็นต้น [1] การเพิ่มประสิทธิภาพในการประจุแบตเตอรี่จึงเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมคือความเข้มแสง (Solar irradiance) และอุณหภูมิ (Temperature) [2] ดังนั้นการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงต้องใช้วงจรซีซีดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC Converter) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ [3-4]

ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยบัตคอนเวอร์เตอร์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของบัตคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ (Constant Current: CC) ในช่วงเริ่มต้นของการประจุแบตเตอรี่และควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage: CV) ในช่วงต่อไปเพื่อให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าที่เต็มอยู่ตลอดเวลา และลดการคายประจุไฟฟ้าในตัวเองก่อนการนำไปใช้งาน

2. หลักการทำงาน

วิธีประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง วงจรบัตคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ลดระดับของแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปใช้งาน และแบตเตอรี่ซึ่งมีหน้าที่สะสมพลังงานที่ได้ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์

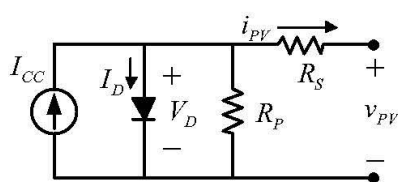


รูปที่ 1 วงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยซึ่งได้แก่อุณหภูมิ (T) และความเข้มแสง (G) สามารถนำเสนอโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2 [5]



รูปที่ 2 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้า (i<sub>pv</sub>) และกระแสไฟฟ้า (v<sub>pv</sub>) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถดังนี้

$$i_{pv} = I_{CC} - I_S \left( e^{\frac{q(v_{pv} + R_S i_{pv})}{m k T}} - 1 \right) - \frac{v_{pv} + R_S i_{pv}}{R_p} \quad (1)$$

$$I_{CC}(T) = I_{SC}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} + \alpha(T - T_{ref}) \quad (2)$$

$$I_S(T_{ref}) = \frac{I_{SC}(T_{ref})}{e^{\frac{qV_{OC}(T_{ref})}{m k T_{ref}}} - 1} \quad (3)$$

$$V_{OC}(T) = V_{OC}(T_{ref}) + \beta(T - T_{ref}) \quad (4)$$

เมื่อ  $I_S$  คือกระแสอิ่มตัวของไดโอด (A),  $I_{CC}$  คือกระแสที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (A),  $k$  คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (J/K),  $q$  คือค่าประจุอิเล็กตรอน (C),  $T$  คืออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (C),  $R_S$  คือความต้านทานอนุกรม ( $\Omega$ ),  $R_p$  คือความต้านทานขนาน ( $\Omega$ ),  $m$  คือ Ideality factor ของไดโอด ( $1 < m < 2$ ),  $I_{SC}$  คือกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A),  $V_{OC}(T)$  คือแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V),  $G$  คือค่าความเข้มแสง ( $W/m^2$ ),  $T_{ref}$  คืออุณหภูมิอ้างอิงที่ (25 C),  $G_{ref}$  คือค่าความเข้มแสงอ้างอิงที่ ( $1kW/m^2$ ),  $\alpha$  คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส (A/C) และ  $\beta$  คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้า (V/C)

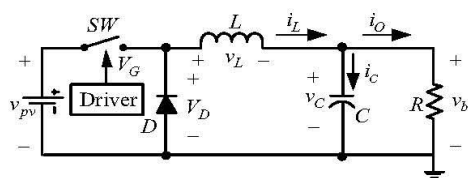
จากสมการที่ (1-4) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ

2.2 วงจรบัตคอนเวอร์เตอร์

วงจบบัตคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงและสามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ (SW) ไดโอด (D) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3

การออกแบบวงจบบัตคอนเวอร์เตอร์เพื่อประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้  $v_{pv}$  มีค่า 20V ถึง 40V และแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก  $v_b$  มีค่า 14.4V กระแสไฟฟ้าทางด้าน





รูปที่ 3 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

ออก  $i_b$  มีค่า 1A ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์  $f_s$  มีค่า 20 kHz ค่าตัวตีไซเคิล (D) เป็นไปตามสมการดังนี้

$$D = \frac{v_b}{v_{pv}} \tag{5}$$

กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของตัวเหนี่ยวนำ ( $\Delta i_L$ ) มีค่าเท่ากับ 0.5 A ดังนั้นค่าของตัวเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้ตามสมการ (6) ดังนี้

$$L = \frac{(v_{pv(max)} - v_b)}{\Delta i_L} DT_s \tag{6}$$

$$= \frac{(40V - 14.4V)}{0.5A} (0.36)(50\mu s) = 922\mu H$$

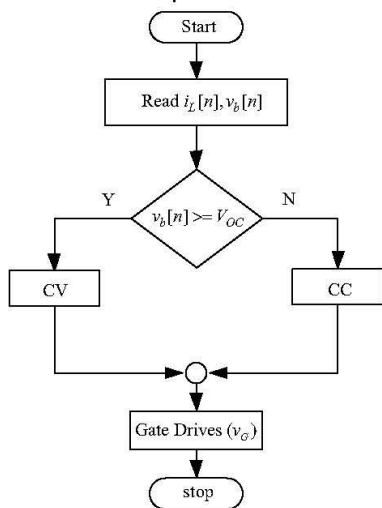
ดังนั้นเลือกใช้ค่าของตัวเหนี่ยวนำ  $L = 922\mu H$  กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าไม่เกิน 1% ดังนั้นการคำนวณค่าตัวเก็บประจุตามสมการที่ (7)

$$C = \frac{(1 - D_{min}) T_s^2}{8L(\Delta v_b/v_b)} \tag{7}$$

$$= \frac{(1 - 0.36)(50\mu s)^2}{8(922\mu H)(0.01)} = 21.69\mu F$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ  $C = 50\mu F$

3. การออกแบบวิธีประจุแบตเตอรี่

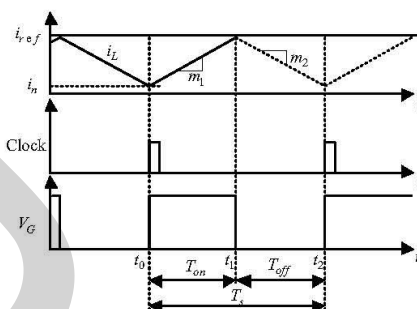


รูปที่ 4 แผนผังการทำงานของวิธีการประจุแบตเตอรี่

จากวงจรในรูปที่ 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการทำงานให้วิธีประจุแบตเตอรี่ให้ทำงานแบบกระแสไฟฟ้างที่หรือทำงานแบบแรงดันไฟฟ้าฟ้างที่ มีการทำงานดังนี้ ช่วงเวลาเริ่มต้นทำงานกำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบกระแสไฟฟ้างที่ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ( $v_b$ ) มีค่า 20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ ( $V_{OC}$ ) กำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าฟ้างที่ โดยสามารถอธิบายตามแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 4

3.1 กระแสไฟฟ้างที่

การออกแบบวงจรควบคุมแบบกระแสไฟฟ้างที่คือการควบคุมกระแสไฟฟ้าในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ให้คงที่โดยวิธีการควบคุมแบบควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของวิธีการประจุแบตเตอรี่

การออกแบบวงจรควบคุมโดยพิจารณาความชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นไปตามสมการ (8) และสมการ (9) ดังนี้

$$m_1 = \frac{v_{pv} - v_b}{L} \tag{8}$$

$$m_2 = -\frac{v_b}{L} \tag{9}$$

จากสมการของกระแสไฟฟ้างที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดคือ  $i_{L,max} = i_{ref} = i_n + m_1 DT_s$  (10)

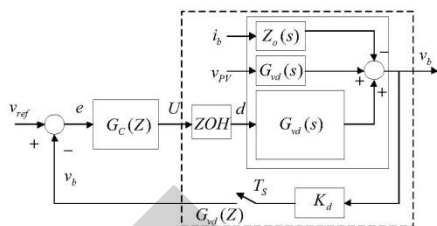
เมื่อนำสมการ (8) แทนค่าลงในสมการ (10) และนำมาเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

$$d(n) = \frac{i_{ref} - i_n}{m_1 T_s} \tag{11}$$

3.2 แรงดันไฟฟ้าฟ้างที่

การประจุแบตเตอรี่ในโหมดการทำงานนี้คือการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ตลอดเวลา โดยการออกแบบวงจรควบคุมให้สามารถรักษาระดับของ

แรงดันไฟฟ้าทางต้านออกให้คงที่ โดยการออกแบบวงจรควบคุมแบบพีไอดีดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพบล็อกการทำงานของวงจรควบคุม PID

การออกแบบวงจรควบคุมแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยเริ่มจากการคำนวณหาสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ ( $G_{vt}(s)$ ) ดังนี้

$$G_{vt}(s) = (40V) \frac{1}{(45 \times 10^{-9})s^2 + (31.25 \times 10^{-6})s + 1} \quad (12)$$

เปลี่ยนสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์แบบแอนะล็อกในสมการที่ (12) ให้เป็นแบบดิซริตอล ( $G_{vt}(z)$ ) ตามสมการที่ (13) ดังนี้

$$G_{vt}(z) = \frac{0.1874z + 0.1768}{z^2 - 1.715z + 0.8406} \quad (13)$$

จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ในสมการที่ (13) ทำให้ได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรถูกควบคุมได้ดังนี้

$$G_c(z) = \frac{u}{e} = \frac{1.299 - 1.689z^{-1} + 0.5348z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad (14)$$

สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรถูกควบคุมตามสมการที่ (14) นำมาเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

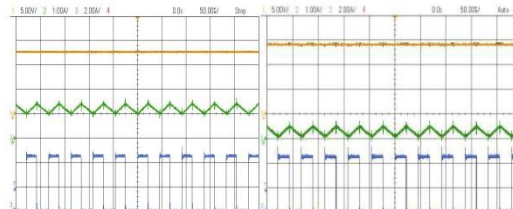
$$d(n) = U(n) = U(n-1) + 1.299E(n) - 1.689E(n-1) + 0.5348E(n-2) \quad (15)$$

**4. ผลการทดลองการทำงาน**

การทดสอบประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ที่นำมาใช้เป็นประเภทตะกั่ว-กรดพิกัด 12V-7.2AH ใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 20W จำนวนสองแผงต่ออนุกรมกันซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานประมาณ 38V และกระแสไฟฟ้า 1.14A วงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์มีทำงานขณะประจุแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 7

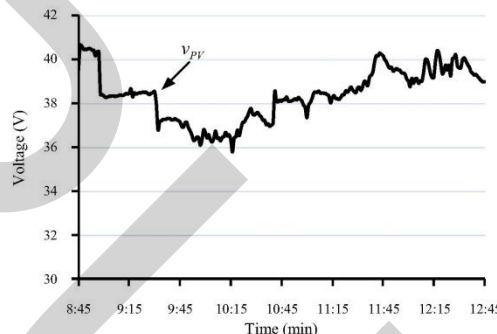
ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยใช้เวลาในการทดสอบ 4 ชั่วโมงคือช่วงเวลา 08.45-12.45 น. แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา

ดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงดังรูปที่ 8 และได้ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 9 เริ่มจากการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ระดับ 0.3 A หลังจากนั้นเพิ่มระดับของกระแสไฟฟ้าเป็น 1A และ 1.5A ตามระดับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้เวลารวมทั้งหมด 150 นาทีจนระดับของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 14.4 V จึงปรับเปลี่ยนเป็นการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ 90 นาที

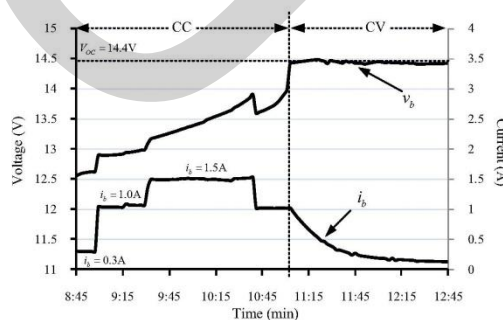


ก) กระแสไฟฟ้าคงที่ 1 A ข) แรงดันไฟฟ้าคงที่ 14.4 V

รูปที่ 7 ผลการทำงานของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ (CH1) แสดง  $v_o$  (2V/div), (CH 2) แสดง  $i_L$  (1A/div), (CH 3) แสดง  $v_g$  (2V/div) และแกนของเวลา (50us/Div)



รูปที่ 8 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 08.45-12.45 น.



รูปที่ 9 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่

## 5. สรุป

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าวงจรสามารถประจุไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่ต่อเนื่องก็ตามและวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่-แรงดันไฟฟ้าคงที่มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาเริ่มต้นการประจุให้ไม่สูงเกินไป และในช่วงเวลาของการควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่ตลอดเวลาและป้องกันการคายประจุในตัวเอง (Self-Discharge) ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีการศึกษา 2556

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Diary R. Sulaiman, Hilmi F. Amin, and Ismail K. Said, "Design of High Efficiency DC-DC Converter for Photovoltaic Solar Home Applications", Journal of Energy & Power Engineering, Vol. 4 Issue 11, Nov 2010 : 43-51.
- [2] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, Fundamentals of power electronics (Kluwer Academic Publishers, 2004).
- [3] S. Abinaya, A. Sivaranjani and S. Suja, "Methods of Battery Charging with Buck Converter Using Soft-Switching Techniques" Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits, Vol. 1, Special Issue, December 2011.
- [4] S. Armstrong, M.E. Glavin and W.G. Hurley, "Comparison of Battery Charging Algorithms for Stand Alone Photovoltaic Systems", IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC2008:1465-1479.
- [5] Jaouad Tanouti, Mohammed Setti, Abdelhak Aziz and El Mamoun Aziz, "Design and Implementation of a Digitally Controlled Photovoltaic System Using Series Connected Buck Converters", Journal of Environmental Science and Engineering : 456 - 464.

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37

## The 37<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.1  
PW, PE



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
KHON KAEN UNIVERSITY





### วิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### Methods of Battery Charging with Buck Converter for Photovoltaic Module

มนทล นาวมย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์ 0-2954-7300 ต่อ 585 e-mail: monthon.naw@dpu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 20W, 17.6V, 1.14A ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพิกัด 6V, 5Ah และวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่ด้วยการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ในช่วงเริ่มต้นของการประจุแบตเตอรี่และควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ในช่วงต่อไป ซึ่งผลการทดลองใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่ 5 ชั่วโมงโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ 0.7A และแรงดันไฟฟ้าคงที่ 7.2V

#### Abstract

This paper presents the battery charging method using buck converter for photovoltaic (PV) module. The system consists of a PV module converting solar energy into electricity directly with rating 20W, 17.6V, 1.14A, a lead-acid battery with rating 6V, 5Ah, buck converter and control circuit. The battery charging circuit is controlled by a microcontroller at constant voltage and current. The current is controlled to be constant at the initial state, the constant voltage is then controlled. The experiment results showed that a battery could be charged completely within 5 hours at the constant current 0.7A and constant voltage 7.2V.

**Keywords:** Buck Converter, Battery Charger, Constant Voltage Charging Method, Constant Current Charging Method

#### 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากฟอสซิลกำลังเริ่มหมดไปนอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานจากฟอสซิลก็ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากฟอสซิล เช่น พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น พลังงานจากแสงอาทิตย์ใช้สิ่งประดิษฐ์เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็น

พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และเมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อเป็นวงจรแบบโมดูล (Module) หรือพาแนล (Panel) เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module or PV Panel) โดยมีการจำแนกระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 3 ระบบคือระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระประกอบด้วยการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานโดยตรง เช่นนำมาใช้งานกับโหลดประเภทหลอดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้น และนำมาใช้ในการประจุแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ [1]

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมคือความเข้มแสง (Solar irradiance) และอุณหภูมิ (Temperature °C) ด้วยเหตุนี้วิธีการประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการจำกัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ จึงใช้งานได้เฉพาะกับระบบที่ต้องผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักและมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ใช้งานกับกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงต้องใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) [2-3] ซึ่งทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถรักษา ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่และเหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่โดยการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการวิธีการประจุแบตเตอรี่มีวิธีการคือการออกแบบให้วงจรทำงานในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage: CV) และวงจรทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current: CC) [4]

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ในช่วงเริ่มต้นของการประจุแบตเตอรี่และควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ในช่วงต่อไปเพื่อการประจุแบตเตอรี่ให้มีความต่อเนื่องและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สูงขึ้น

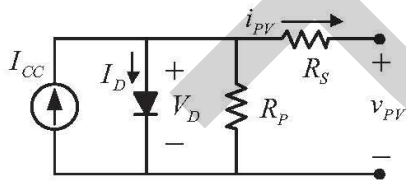
PE025

**2. หลักการทำงาน**

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์คือระบบที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ลดระดับของแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปใช้งาน และเบตเตอร์ซึ่งมีหน้าที่สะสมพลังงานที่ได้ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์

**2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์**

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยซึ่งได้แก่อุณหภูมิ ( $T$ ) และความเข้มแสง ( $G$ ) สามารถนำเสนอโดยใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 1 [5]



รูปที่ 1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้า ( $i_{PV}$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $v_{PV}$ ) ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการดังนี้

$$i_{PV} = I_{CC} - I_S \left( e^{\left( \frac{q(v_{PV} + R_S i_{PV})}{m k T} \right)} - 1 \right) - \frac{v_{PV} + R_S i_{PV}}{R_P} \quad (1)$$

เมื่อ  $I_{CC}(T) = I_{SC}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} + \alpha(T - T_{ref})$  (2)

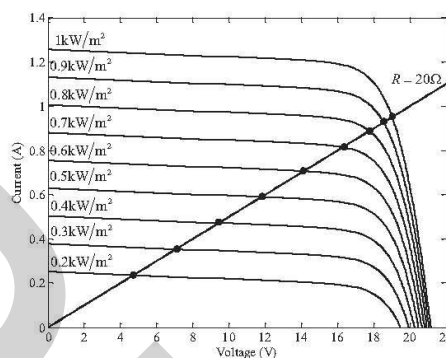
$$I_S(T_{ref}) = \frac{I_{SC}(T_{ref})}{e^{\left( \frac{qV_{OC}(T_{ref})}{m k T_{ref}} \right)} - 1} \quad (3)$$

$$V_{OC}(T) = V_{OC}(T_{ref}) + \beta(T - T_{ref}) \quad (4)$$

เมื่อ  $I_S$  คือกระแสอิ่มตัวของไดโอด (A),  $I_{CC}$  คือกระแสที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (A),  $k$  คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (JK),  $q$  คือค่าประจุอิเล็กตรอน (C),  $T$  คืออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ ),  $R_S$  คือความต้านทานอนุกรม ( $\Omega$ ),  $R_P$  คือความต้านทานขนาน ( $\Omega$ ),  $m$  คือ

Ideality factor ของไดโอด ( $1 < m < 2$ ),  $I_{SC}$  คือกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A),  $V_{OC}$  คือแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V),  $G$  คือค่าความเข้มแสง ( $W/m^2$ ),  $T_{ref}$  คืออุณหภูมิอ้างอิงที่ ( $25^{\circ}C$ ),  $G_{ref}$  คือค่าความเข้มแสงอ้างอิงที่ ( $1kW/m^2$ ),  $\alpha$  คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส ( $A/^{\circ}C$ ) และ  $\beta$  คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดัน ( $V/^{\circ}C$ )

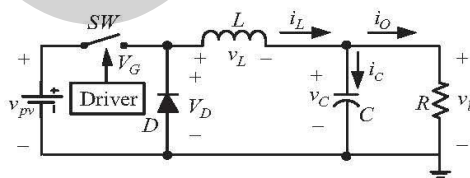
จากสมการที่ (1-4) ทำให้ได้ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกราฟการทำงานของกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟการทำงานของกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

**2.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์**

วงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงและสามารถรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าที่พ่วงออกให้คงที่ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3 ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ (SW) ไดโอด (D) ตัวเหนี่ยวนำ ( $L$ ) และตัวเก็บประจุ ( $C$ ) เมื่อพิจารณาแบ่งการทำงานของวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์จากลักษณะการทำงานของสวิตช์เป็นแบบนำกระแสไฟฟ้าและเป็นแบบไม่นำกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการทำงานดังนี้



รูปที่ 3 วงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์

เงื่อนไขที่ 1 สวิตช์นำกระแสไฟฟ้าและไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้า

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(v_{pv} - v_b) \quad (5)$$

$$\frac{dv_b}{dt} \approx \frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_b) \quad (6)$$

เงื่อนไขที่ 2 สวิตช์ไม่นำกระแสไฟและไดโอดนำกระแสไฟ

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L}v_b \tag{7}$$

$$\frac{dv_b}{dt} \approx \frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_b) \tag{8}$$

การออกแบบวงจรบัลคอนเวอร์เตอร์เพื่อประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้  $v_{pv} = 12V - 20V$  และแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก  $v_b = 7.2V$  กระแสไฟฟ้าทางด้านออก  $i_b = 1A$  ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์  $f_s = 40kHz$  โดยมีขั้นตอนในการออกแบบตัวตัวใช้เคล็ด ( $D$ ) ดังนี้

$$D = \frac{v_b}{v_{pv}} \tag{9}$$

กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของตัวเหนี่ยวนำ ( $\Delta i_L$ ) มีค่าไม่เกิน 40% ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$\Delta i_L = i_o(0.4) = (1A)(0.4) = 0.4A \tag{10}$$

ดังนั้นค่าของตัวเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้ตามสมการ (11) ดังนี้

$$\begin{aligned} L &= \frac{(v_{pv(max)} - v_b)}{\Delta i_L} D_{max} T_s \\ &= \frac{(20V - 7.2V)}{0.4A} (0.6)(25\mu s) \\ &= 480\mu H \end{aligned} \tag{11}$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่าของตัวเหนี่ยวนำ  $L = 500\mu H$  และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดมีค่าดังนี้

$$i_{Lmax} = i_o + \frac{\Delta i_L}{2} = (1A) + \frac{0.4A}{2} = 1.2A \tag{12}$$

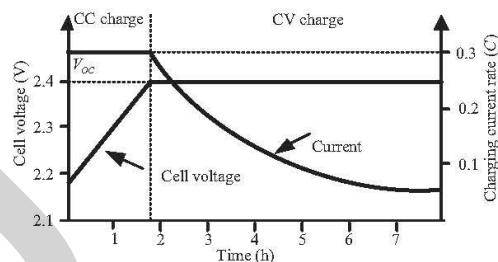
กำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าไม่เกิน 1% ดังนั้นการคำนวณค่าตัวเก็บประจุตามสมการที่ (13)

$$C = \frac{(1 - D_{min})T_s^2}{8L(\Delta v_b/v_b)} = \frac{(1 - 0.6)(25\mu s)^2}{8(500\mu H)(0.01)} = 6.25\mu F \tag{13}$$

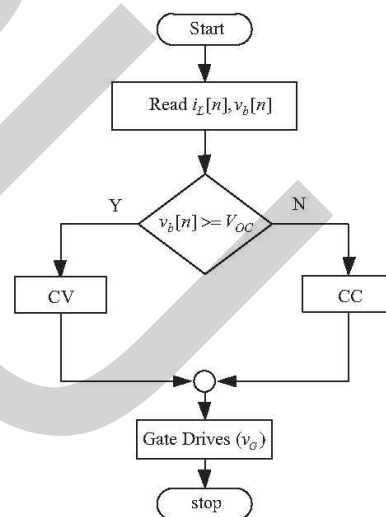
ดังนั้นเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ  $C = 10\mu F$

### 3. วิธีประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่

การออกแบบวิธีประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ร่วมกับวิธีการรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าให้คงที่มีวิธีการทำงานดังรูปที่ 4 มีการทำงานดังนี้ ช่วงเวลาเริ่มต้นทำงาน กำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบกระแสไฟฟ้าคงที่โดยกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานไม่เกิน 30% ของค่าความจุแบตเตอรี่หรือ  $0.3C$  ค่า  $C$  คือค่าความจุกระแสแบตเตอรี่ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ( $v_b$ ) มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ 20% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ ( $V_{OC}$ ) กำหนดให้การประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยสามารถอธิบายตามแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่



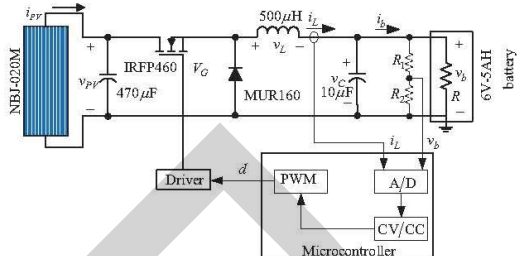
รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของวิธีการประจุแบตเตอรี่

### 4. ผลการทดลองการทำงาน

แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดสอบการประจุไฟฟ้าเป็นประเภทตะกั่ว-กรดชนิด 6V-5AH ซึ่งงานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด 20W ซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร ( $V_{OC}$ ) ขนาด 21.17V และกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร ( $I_{SC}$ ) ขนาด 1.26A และค่าพารามิเตอร์ของ

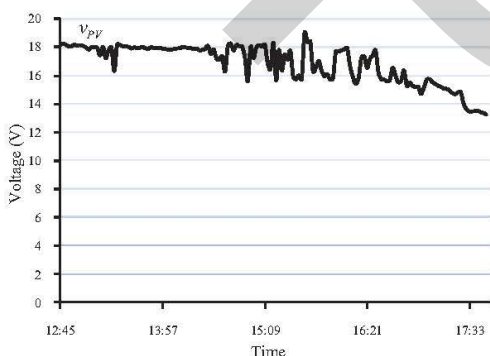


วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 6 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน

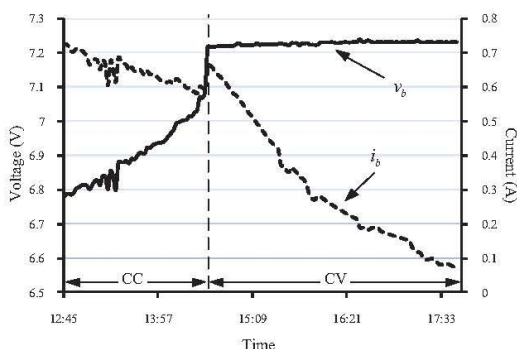


รูปที่ 6 วงจรประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ใช้เวลาในการทดสอบ 5 ชั่วโมงคือช่วงเวลา 12.45-17.45 น. แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าดังรูปที่ 7 และผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 8 โดยใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ประมาณ 3 ชั่วโมงจนได้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 7.2 V หลังจากนั้นใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่จนกระแสไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0.1 A จึงหยุดการประจุไฟฟ้าและนำแบตเตอรี่ไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 7 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 12.45-17.45 น.



รูปที่ 8 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่

### 5. บทสรุป

ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า วงจรสามารถประจุไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่ต่อเนื่องก็ตามและวิธีการประจุแบตเตอรี่แบบแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่-กระแสไฟฟ้าคงที่มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาเริ่มต้นการประจุให้ไม่สูงเกินไป และในช่วงเวลาของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ ใช้กระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ต่อเนื่องและมีค่าต่ำ ทำแบตเตอรี่เต็มมากขึ้นก่อนนำไปใช้งานหรือคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ต่อไป

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ที่สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีการศึกษา 2556

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Diary R. Sulaiman, Hilmi F. Amin, and Ismail K. Said, "Design of High Efficiency DC-DC Converter for Photovoltaic Solar Home Applications", Journal of Energy & Power Engineering, Vol. 4 Issue 11, pp. 43-51, Nov 2010.
- [2] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, Fundamentals of power electronics (Kluwer Academic Publishers, 2004).
- [3] S. Abinaya, A. Sivaranjani and S. Suja, "Methods of Battery Charging with Buck Converter Using Soft-Switching Techniques" Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits, Vol. 1, Special Issue, December 2011.
- [4] S. Armstrong, M.E. Glavin and W.G. Hurley, "Comparison of Battery Charging Algorithms for Stand Alone Photovoltaic Systems", IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC2008, pp. 1465-1479, June 2008.
- [5] Jaouad Tanouti, Mohammed Setti, Abdelhak Aziz and El Mamoun Aziz, "Design and Implementation of a Digitally Controlled Photovoltaic System Using Series Connected Buck Converters", Journal of Environmental Science and Engineering, pp. 456 - 464.



মনতল নাবন্ন জবকার শিক্ষা ব.স.ম. বিস্বকরমর ববকুব কক সড বনন তেকনোলী পের জম গেীা জেকু তথর লক কের বঙ্গ পী জুব নন পের অজরী পের জা গাক বিস্বা বিস্বকরম পী পী ক কের বিস্বকরম সাসত্রী ম হাবী তথালী বুর গী জ বনন কী



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ดร.มนทล นาวงษ์

วัน เดือน ปีเกิด 1 มกราคม 2519

ที่อยู่ 29/1 หมู่ 11 ตำบลบางลูกเสือ อำเภอองครักษ์  
จังหวัดนครนายก 26120

### ประวัติการศึกษา

- 2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- 2546 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2557 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประวัติการทำงาน

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

งานวิจัยที่สนใจ ทางดานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และระบบควบคุมอัตโนมัติ