

การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับ  
แบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ANALYSIS AND DESIGN OF SMART CHARGER CONTROLLER  
UNIT FOR PV BATTERY

ยุทธพงษ์ ทองช่วง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับ  
แบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ยุทธพงษ์ ทองช่วง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

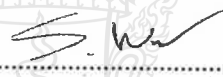
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับ  
แบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์  
ชื่อ – นามสกุล นายยุทธพงษ์ ทองช่วง  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.  
ปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

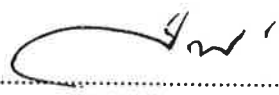
  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์คง, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศาสคร วุฒิพัฒน์พันธุ์, วศ.ด.)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 2 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
ชื่อ – นามสกุล	นายยุทธพงษ์ ทองช่วง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ปกติแล้วการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ จะใช้แบตเตอรี่ ซึ่งจะต้องทราบระดับกำลังของแบตเตอรี่ (State of Charge, SOC) และผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น การคายประจุ (Deep of Discharge, DOD) การเกิด Gassing และรวมทั้งผลของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องควบคุมการประจุที่เหมาะสมหรือ Smart Charge Controller เพื่อควบคุมการทำงาน

การดำเนินการเริ่มจากการออกแบบและจำลองระบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และสร้างชุดควบคุมการทำงานโดยใช้หลักการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่จนเต็มพิกัด โดยคำนึงถึงเรื่อง Overcharging และ Deep of Discharge และทำการประจุแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ ตามรูปแบบต่างๆ เพื่อรักษาระดับของแบตเตอรี่พร้อมแสดงผลข้อมูลต่างๆ (Monitoring) ผ่านจอ LCD

ผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยนำไปประจุกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีขนาด 12 โวลต์ 12 แอมป์/ชั่วโมง กระแสการประจุสูงสุดไม่เกิน 2 แอมแปร์ พบว่าเมื่อถึงค่าพิกัด SOC= 80% ชุดควบคุมการประจุจะปรับแรงดันขาออกคงที่ 14.4 โวลต์ กระแสประจุจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่ง SOC=90% จะทำการปรับแรงดันขาออกลดลง 13.4 โวลต์ และหยุดการประจุเมื่อแบตเตอรี่เต็ม จากนั้นจะทำการเชื่อมต่อโพลดจนแรงดันแบตเตอรี่เหลือ 11.7 โวลต์ ชุดควบคุมจะหยุดการเชื่อมต่อโพลดซึ่งเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ หลักการชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตนี้จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุยาวนานขึ้น จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วพบว่าผลสอดคล้องไปในทางเดียวกัน

**คำสำคัญ:** ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่

<b>Thesis Title</b>	Analysis and Design of the Smart Charger Controller Unit for PV Batteries
<b>Name-Surname</b>	Mr. Yuttapong Tongchuang
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Associate professor Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
<b>Academic Year</b>	2016

## ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze and design a smart charge controller for PV batteries. Most of solar power storage uses a battery as the electric energy storage. The working process of the battery has to be fully monitored in order to determine the state of charge (SOC) and other effects such as Deep of Discharge (DOD), Gassing, and the temperature that affects the battery performance and its lifetime. These issues could be addressed by using a suitable charge controller.

This research aimed at designing and simulating the system of charge control for batteries in the solar charge controller by using the program called Matlab/Simulink. A control unit based on the principle was devised, and the battery had to be fully charged by taking into account the overcharging and the DOD value. It was charged automatically in various forms to maintain the level of power which was monitored and displayed on the LCD monitor. By using the unit, a number of batteries were charged according to their SOC values in the data collection process.

To test the charge controller, the device was connected to a 12 volts 12 Ah lead-acid battery while being charged with the charge current of no more than 2 Amps. When the SOC value increased and was close to 80%, the charge controller would set the output voltage to 14.4 volts. Then, the charging current would start decreasing slowly until the SOC value was 90%, the output voltage would be set to 13.4 volts, and the charging process stopped when the battery was full. The battery would be connected to load until its voltage was 11.7 volts and the charge controller would stop charging. This process was in accordance with what had been designed and it would extend the battery lifetime. The test results were consistent with the ones derived from the mathematical model.

**Keywords:** PV system, lead-acid battery, charge control unit

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเป็นอย่างดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาแนะนำมาโดยตลอด รวมทั้งชี้แนะแนวทาง วางกรอบ ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้คำชี้แนะ แนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ต่อการทำงานวิจัย พี่ๆน้องๆปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยงานวิจัยและให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณบริษัทและห้างร้านต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ เพื่อนๆ และอาจารย์สำหรับคำปรึกษาในครั้งนี้คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขออน้อมนุชานานบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความเข้าใจดีสำหรับเวลาที่ข้าพเจ้าต้องใช้สำหรับการศึกษาเพื่ออนาคตในครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ และทีมงานวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ร่วมแรง ร่วมใจ อยู่ด้วยกันปฏิบัติงานตลอดมา

ยุทธพงษ์ ทองช่วง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	4
กิตติกรรมประกาศ.....	5
สารบัญ.....	6
สารบัญตาราง.....	9
สารบัญรูป.....	10
บทที่ 1 บทนำ.....	17
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	17
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	18
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	19
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	19
1.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	19
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.....	28
2.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC/DC converters).....	37
2.4 ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด Maximum Power Point Tracker (MPPT).....	47
2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	54
2.6 แบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	64
2.7 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับเซลล์แสงอาทิตย์.....	67
2.8 วิธีการใช้ MATLAB/Simulink.....	70
2.9 บอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY).....	76
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	77

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	79
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	79
3.2 หลักการและแนวคิด.....	81
3.3 เซลล์แสงอาทิตย์.....	82
3.3.1 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Simple PV Model.....	82
3.4 การออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	86
3.4.1 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter).....	86
3.4.2 การเลือกใช้ไอจีบีที.....	88
3.4.3 การเลือกใช้ไดโอดกำลัง.....	89
3.4.4 การออกแบบวงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีที.....	89
3.4.5 การเลือกบัลลิสต์ไดโอด.....	90
3.4.6 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่.....	91
3.4.7 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกระแสประจุของ แบตเตอรี่.....	95
3.4.8 ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY).....	98
3.5 การจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	99
3.5.1 การจำลองวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter).....	99
3.5.2 การจำลองการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	101
3.5.3 การจำลองการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและ แรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด.....	105
3.5.4 การออกแบบวงจรตัดต่อโหลด.....	112
3.6 การสร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	114
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	117



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	117
4.2 การทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	117
4.2.1 กราฟแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาลำดับกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	118
4.3 การทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด.....	119
4.4 การทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะใช้งานจริง.....	123
4.4.1 การทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าในส่วนการตัดต่อการประจุแบตเตอรี่.....	125
4.4.2 ทดสอบจอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด เพื่อแสดงสถานะต่างๆ.....	128
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	129
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	129
5.2 ปัญหาที่พบ.....	130
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	130
บรรณานุกรม.....	131
ภาคผนวก.....	133
ภาคผนวก ก คุณลักษณะอุปกรณ์ที่สำคัญ.....	134
ภาคผนวก ข ผลงานดีพิมพ์เผยแพร่.....	141
ประวัติผู้เขียน.....	173

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....	65
ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาทำวิจัย 12 เดือน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาดำเนินงาน.....	80
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของ SUNSET รุ่น PX 50E .....	82
ตารางที่ 3.3 ตารางการทดลองของวงจรตรวจจับแรงดัน.....	92
ตารางที่ 3.4 ตารางการทดลองของวงจรตรวจจับกระแสขนาดพิกัด 5 A สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ 20 A สำหรับแบตเตอรี่.....	95
ตารางที่ 3.5 ตารางเปรียบเทียบการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink กับค่าที่คำนวณที่ได้ จากหัวข้อ 3.4 ด้วยอัตราขยาย (Duty Cycle).....	101
ตารางที่ 3.6 ตารางเปรียบเทียบการจำลองการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีการรบกวนและการสังเกตด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	105
ตารางที่ 3.7 ค่าเกณฑ์เหมาะสมตามวิธีการของ Zigler Nichols .....	107
ตารางที่ 3.8 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับสถานะประจุแบตเตอรี่.. .....	107
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบกับแบบจำลองด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	118
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดสอบแรงดันต้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการ ระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ SOC = 80% โดยใช้โหลด 15 โอห์ม.....	122
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดสอบแรงดันต้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการ ระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ SOC = 90% โดยใช้โหลด 15 โอห์ม.....	123
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ใน สภาวะใช้งานจริง.....	124
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบวงจรประจุแบตเตอรี่ ในส่วนการตัดต่อการประจุแบตเตอรี่.....	126

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ PV ต่อโดยตรง.....	22
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างของระบบที่ใช้ DC/DC คอนเวอร์เตอร์.....	22
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ.....	23
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบที่ต่อเข้ากับกริด.....	23
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ DC-coupled PV system.....	24
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ DC-Bus PV hybrid system.....	25
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของระบบที่มีโหลดทั้ง DC และ AC.....	25
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ PV hybrid system แบบมีโหลด DC และ AC.....	26
รูปที่ 2.9 เป็นโครงสร้างของ DC-Bus ใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ.....	27
รูปที่ 2.10 ระบบ AC-Bus PV Hybrid System.....	27
รูปที่ 2.11 วงจรเทียบเคียงของ ideal solar cell ที่ต่ออยู่กับ load.....	28
รูปที่ 2.12 การเกิดขึ้นของเส้นโค้งของ Solar Cell จากเส้นโค้ง diode.....	29
รูปที่ 2.13 วงจรเทียบเคียงของ Solar Cell ขณะ open-circuit.....	30
รูปที่ 2.14 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP).....	31
รูปที่ 2.15 วงจรเทียบเคียงของ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้งานจริง.....	32
รูปที่ 2.16 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมค่าต่าง ๆ กัน.....	33
รูปที่ 2.17 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานขนานค่าต่าง ๆ กัน.....	34
รูปที่ 2.18 เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ค่าแสงสว่างที่แตกต่างกัน.....	35
รูปที่ 2.19 กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	37
รูปที่ 2.20 แสดงคอนเวอร์เตอร์ที่ต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
รูปที่ 2.21 วงจรเทียบเคียงของวงจรทอนระดับบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	39
รูปที่ 2.22 Step-down converter ในระหว่างสภาวะปิดวงจร.....	40
รูปที่ 2.23 Step-down converter ในระหว่างสภาวะเปิดวงจร.....	40
รูปที่ 2.24 คุณสมบัติของแรงดันโหลดของ Step-down converter.....	41
รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมวงจรเทียบเคียงของบูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.26 Step-up converter ในระหว่างสถานะปิดวงจร.....	43
รูปที่ 2.27 Step-up converter ในระหว่างสถานะเปิดวงจร.....	43
รูปที่ 2.28 แสดงคุณลักษณะของแรงดัน โหลดของ step-up converter.....	44
รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมวงจรเทียบเคียงของ Step- down/step- up Converter.....	45
รูปที่ 2.30 Step-down/step-up converter ในระหว่างสถานะปิดวงจร.....	46
รูปที่ 2.31 Step-down/step-up converter ในระหว่างสถานะเปิดวงจร.....	46
รูปที่ 2.32 การเปลี่ยนแปลงของจุดการทำงานด้วยคอนเวอร์เตอร์.....	47
รูปที่ 2.33 คุณลักษณะ I-V ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ไปที่มีการควบคุม MPPT.....	49
รูปที่ 2.34 วิธีรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation (P & O) Method ).....	50
รูปที่ 2.35 แผนผังวิธีการเพิ่มการนำไฟฟ้า (Incremental Conductance (IC) Method).....	51
รูปที่ 2.36 แผนผังวิธีอุณหภูมิ (Temperature (T) Method).....	52
รูปที่ 2.37 วิธีป้อนกลับ แรงดันหรือกระแส (Feedback Voltage (Current) Method).....	53
รูปที่ 2.38 วงจรสมมูลพื้นฐานของแบตเตอรี่ที่ตะกั่วกรด.....	54
รูปที่ 2.39 วงจรของแบตเตอรี่เกี่ยวกับกระบวนการ dynamic และ quasi-static.....	55
รูปที่ 2.40 ตัวอย่างกราฟ Discharge characteristic curves ของแบตเตอรี่ 2 V.....	57
รูปที่ 2.41 การเกิด Gassing.....	57
รูปที่ 2.42 เปรียบเทียบผิวของขั้ว Solar Battery (ขั้ว) และ Starter Battery (ขา).....	58
รูปที่ 2.43 สภาวะแบตเตอรี่ที่ตะกั่วกรดกับอุณหภูมิที่ต่ำ.....	59
รูปที่ 2.44 แสดงผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานแบตเตอรี่.....	60
รูปที่ 2.45 Cycle life และ deep of discharge.....	61
รูปที่ 2.46 ตัวอย่างแบตเตอรี่ที่ตะกั่วกรดที่ใช้สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	66
รูปที่ 2.47 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงกับแบตเตอรี่.....	67
รูปที่ 2.48 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงกับแบตเตอรี่ที่มี Blocking Diode.....	67
รูปที่ 2.49 ตัวอย่างการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge Regulator).....	68
รูปที่ 2.50 ตัวอย่างการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	68
รูปที่ 2.51 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน.....	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.52 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....	69
รูปที่ 2.53 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม.....	70
รูปที่ 2.54 Block Diagram พื้นฐานใน Simulink Library Browser.....	71
รูปที่ 2.55 หน้าต่างสำหรับสร้างระบบจำลองของ Simulink.....	71
รูปที่ 2.56 การเชื่อมต่อระหว่าง Block ของ Simulink.....	72
รูปที่ 2.57 กลุ่ม Block ของ Source.....	73
รูปที่ 2.58 กลุ่ม Block ของ Sinks.....	73
รูปที่ 2.59 กลุ่ม Block ของ Math Operations.....	74
รูปที่ 2.60 กลุ่ม Block ของ Signal Routing.....	74
รูปที่ 2.61 หน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าคงที่ในการจำลองปัญหา.....	75
รูปที่ 2.62 บอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY).....	76
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของ ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ใน ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	81
รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจำลอง.....	83
รูปที่ 3.3 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	84
รูปที่ 3.4 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ I-V Curve ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C).....	84
รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ P-V Curve ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C).....	85
รูปที่ 3.6 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ I-V Curve ที่ ความเข้มแสง (1000W/m <sup>2</sup> ).....	85
รูปที่ 3.7 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ P-V Curve ที่ ความเข้มแสง (1000W/m <sup>2</sup> ).....	86
รูปที่ 3.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	86
รูปที่ 3.9 ไอจีบีที เบอร์ IRG4PH40UD แบบ N-Channel.....	88
รูปที่ 3.10 ไดโอดกำลังเบอร์ HFA25PB60.....	89
รูปที่ 3.11 วงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีที.....	89
รูปที่ 3.12 วงจรแผ่น PCB ของชุดขับไอจีบีที (IGBT).....	90

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 วงจรขยายผลต่าง(Differential amplifier circuit).....	91
รูปที่ 3.14 กราฟการทดลองวงจรตรวจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	93
รูปที่ 3.15 กราฟการทดลองวงจรตรวจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	93
รูปที่ 3.16 วงจรตรวจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ OP-AMP เบอร์ LF353.....	94
รูปที่ 3.17 วงจรตรวจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ OP-AMP เบอร์ LF353.....	94
รูปที่ 3.18 วงจรแผ่น PCB ของวงจรตรวจับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้า ของแบตเตอรี่.....	95
รูปที่ 3.19 กราฟการทดลองวงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ (ACS712_5A) .....	96
รูปที่ 3.20 กราฟการทดลองวงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ (ACS712_20A).....	97
รูปที่ 3.21 วงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ Current Sensor (ACS712_5A) .....	97
รูปที่ 3.22 วงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ Current Sensor (ACS712_20A).....	97
รูปที่ 3.23 กำหนดขาอินพุต-เอาต์พุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4.....	98
รูปที่ 3.24 วงจรแผ่น PCB ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4.....	98
รูปที่ 3.25 การจำลองการทำงานวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยโปรแกรมMATLAB/Simulink.....	99
รูปที่ 3.26 ผลการจำลองแรงดันต้านออกของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	99
รูปที่ 3.27 ผลการจำลองกระแสต้านออกของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	100
รูปที่ 3.28 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้านำออกของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	100
รูปที่ 3.29 การจำลองการทำงานการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโปรแกรมMATLAB/Simulink.....	101
รูปที่ 3.30 แผนผังขั้นตอนการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีการรบกวนและการสังเกต (P & O).....	102

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.31 ผลการจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านออกของการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดความเข้มแสง (1000 W/m <sup>2</sup> ) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink).....	103
รูปที่ 3.32 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้าด้านออกของการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดความเข้มแสง (1000 W/m <sup>2</sup> ) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink).....	103
รูปที่ 3.33 ผลการจำลองค่าล้งไฟฟ้าด้านออกของการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดความเข้มแสง(1000 W/m <sup>2</sup> ) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink).....	104
รูปที่ 3.34 ผลการจำลองประสิทธิภาพจากการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดความเข้มแสง(1000 W/m <sup>2</sup> ) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink).....	104
รูปที่ 3.35 การจำลองการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด.....	105
รูปที่ 3.36 ลูปควบคุมกระแสและแรงดันแบบวงปิด (Close loop Current and Voltage Control)..	106
รูปที่ 3.37 การทดสอบระบบด้วยวิธีการของ Zigler Nichols.....	106
รูปที่ 3.38 ลักษณะของผลตอบสนองที่ได้.....	107
รูปที่ 3.39 รูปแบบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่.....	108
รูปที่ 3.40 แผนผังขั้นตอนวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่.....	109
รูปที่ 3.41 ผลการจำลองกระแสด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ (SOC = 60%).....	110
รูปที่ 3.42 ผลการจำลองแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 80%).....	110
รูปที่ 3.43 ผลการจำลองแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 90%).....	111
รูปที่ 3.44 ผลการจำลองความจุแบตเตอรี่ขณะได้รับการประจุจากวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า... 111	111
รูปที่ 3.45 วงจรตัดต่อโหลดโดยใช้(Relay Drive).....	112
รูปที่ 3.46 วงจรแผ่น PCB ตัดต่อโหลดโดยใช้(Relay Drive).....	112
รูปที่ 3.47 แผนผังการควบคุมวงจรตัดต่อโหลด.....	113

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.48	บล็อกไดอะแกรมการสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์.....	114
รูปที่ 3.49	แผนภาพSimulink (Host Serial Setup) แสดงการสร้างสัญญาณมอดูเลชั่น PWM เพื่อควบคุมการทำงานผ่านพอร์ต I/O ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4DISCOVERY....	115
รูปที่ 3.50	แผนภาพSimulink (Target Setup)แสดงการสร้างสัญญาณมอดูเลชั่น PWM เพื่อควบคุมการทำงานผ่านพอร์ต I/O ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4DISCOVERY.....	115
รูปที่ 3.51	หน้าต่าง Waijung Track Build Process.....	116
รูปที่ 3.52	เชื่อมต่อบอร์ดควบคุม STM32F4DISCOVERY กับชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	116
รูปที่ 4.1	แผนภาพการทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	117
รูปที่ 4.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาลำดับไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบกับแบบจำลอง...	118
รูปที่ 4.3	แผนภาพการทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด.....	119
รูปที่ 4.4	ผลการทดสอบการสร้างสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) ผ่านวงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีที.....	120
รูปที่ 4.5	ผลการทดสอบหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการของ Ziegler-Nichols (หาค่าเกณฑ์ (Ke) และ คาบเวลาของการแกว่งตัว (T) ).....	120
รูปที่ 4.6	ผลการทดสอบผลตอบสนองขาออกของตัวควบคุมพีไอดี.....	121
รูปที่ 4.7	ผลการทดสอบแรงดันค่านอกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 80%).....	121
รูปที่ 4.8	ผลการทดสอบแรงดันค่านอกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 90%).....	122
รูปที่ 4.9	แผนภาพการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะใช้งานจริง.....	123
รูปที่ 4.10	กราฟผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	125



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะประจุแบตเตอรี่ในสถานะใช้งานจริง	127
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาขณะประจุแบตเตอรี่ในสถานะใช้งานจริง	127
รูปที่ 4.13 Simulink Model สำหรับแสดงค่าสถานะการทำงาน โดยใช้จอแสดงผล LCD	128



# บทที่ 1

## บทนำ

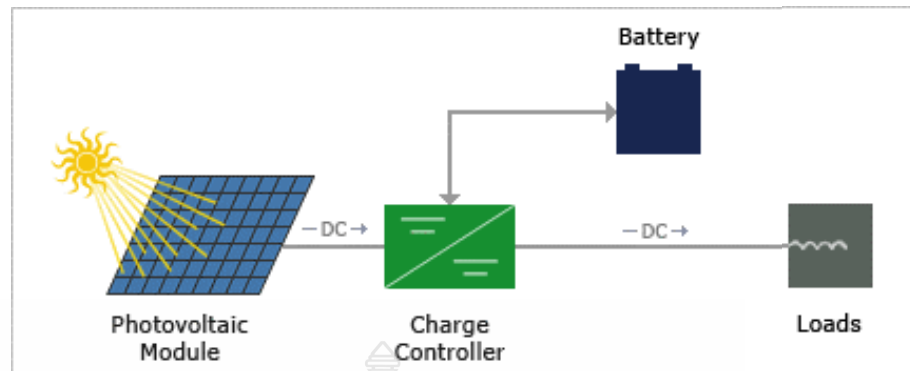
พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะศึกษาการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่เข้าสู่สภาวะขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ พลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ได้ถูกคิดค้นและนำมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานหลัก เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น พลังงานทดแทนต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในลักษณะต่างๆ แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่พลังงานเหล่านี้ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานทดแทนไม่ได้มีตลอดเวลา เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ก็มีเฉพาะตอนกลางวัน ดังนั้นการจัดเก็บพลังงานเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อให้มีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น

จากการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ระบบแบบ Stand-alone PV Systems ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากง่าย และสะดวกต่อการใช้งานพร้อมยังสามารถประยุกต์ใช้กับระบบแบบอื่นได้ ซึ่งมีส่วนประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่
- 3) แบตเตอรี่
- 4) โหลดประเภท DC Loads



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่าง ระบบแบบ Stand-alone PV Systems

จากภาพที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า สำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้น แบตเตอรี่ ถือว่ามีความจำต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก เพราะเนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อจำกัดการทำงานได้เพียงตอนกลางวัน เราจึงใช้แบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานเพื่อความต่อเนื่องในการใช้งานในตอนกลางคืน หากมีการใช้งานไปอย่างต่อเนื่อง ย่อมมีการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยหลายๆปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น การประจุ ,คายประจุ ผลจาก อุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการออกแบบและควบคุมการทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อให้เราสามารถใส่แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และยาวนานขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และออกแบบชุดควบคุม การประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่

1.2.2 ศึกษาการออกแบบและ สร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมกับการใช้งาน พร้อมแสดงสถานะการประจุของแบตเตอรี่

1.2.3 วิเคราะห์ผล และทดสอบประเมินผล ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

### 1.3 สมมุติฐานการวิจัย

ในการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตามเราก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่ใช้งานแบตเตอรี่ โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพราะผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการความต่อเนื่องของระบบผลิตไฟฟ้า แต่พลังงานแสงอาทิตย์มีเฉพาะตอนกลางวันเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติและสมรรถนะของแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานได้ อย่างเต็มประสิทธิภาพ การวิจัยจะเน้นไปในการศึกษาและออกแบบชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดที่ใช้ในการประจุกจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อควบคุมการประจุที่เหมาะสม ไม่ทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานสั้น เพื่อนำไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 จำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

1.4.2 ออกแบบสร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบสมาร์ตพิกัด ดังต่อไปนี้ แรงดันด้านอินพุต 12 V ถึง 25 V (ระบบเซลล์แสงอาทิตย์) ประจุให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12 V กระแสประจุไม่เกิน 10 Ah พร้อมแสดงผล

1.4.3 วิเคราะห์ผลและทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

### 1.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.2 ศึกษาการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.3 ออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.4 เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink พร้อมสร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

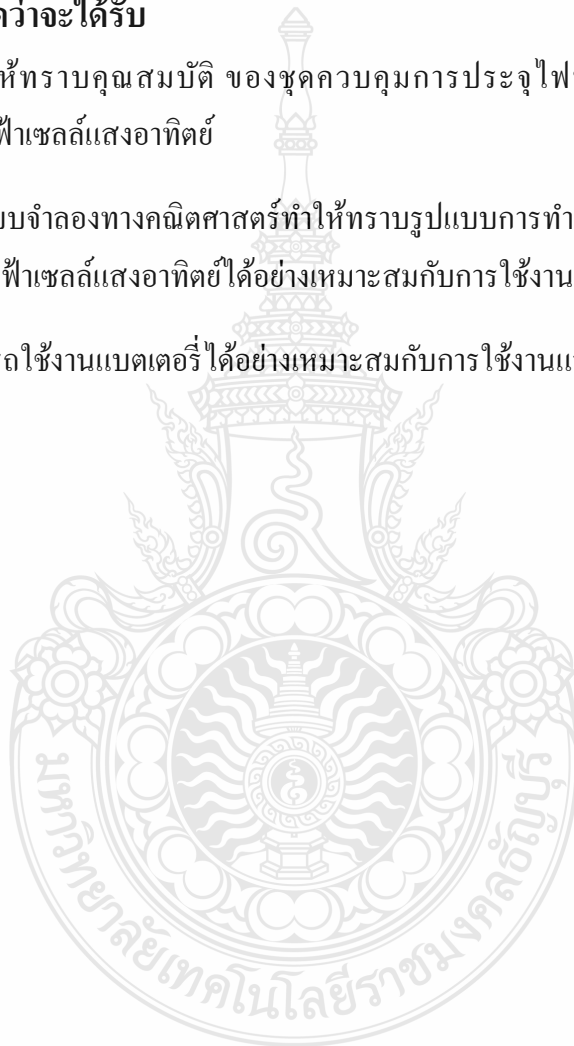
1.5.5 เปรียบเทียบและประเมินผลการทำงานของงานวิจัยจัดทำรายงานการวิจัยและสรุปผล

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ช่วยให้ทราบคุณสมบัติ ของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมกับสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

1.6.2 จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบรูปแบบการทำงานการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมกับการใช้งาน

1.6.3 สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสมกับการใช้งานและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Systems) จะใช้ในระบบที่มีความต้องการไม่ตรงกับช่วงที่ผลิตพลังงานได้ การเก็บพลังงานจึงนำมาใช้ในช่วงที่แสงไม่เพียงพอ หรือตอนกลางคืน ซึ่งเรายังมีความเข้าใจน้อยมากเกี่ยวกับการชาร์จประจุแบตเตอรี่ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงนำไปสู่การวิจัยและออกแบบตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าดังกล่าวขึ้น โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในลำดับต่อไปนี้

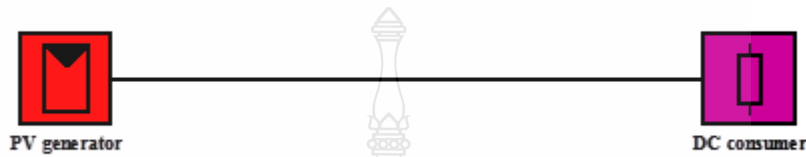
#### 2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Systems) เป็นระบบจ่ายพลังงานที่สามารถผลิตและขยายขนาดพลังงานได้โดยสามารถผลิตกำลังได้ตั้งแต่ระดับวัตต์ (W) จนมากถึงเมกกะวัตต์ (MW) ระบบพื้นฐานประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนประกอบต่างๆ ของระบบเพื่อทำหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นหัวใจสำคัญของระบบ แต่อย่างไรก็ตามระบบยังคงต้องการส่วนประกอบเพิ่มเติม ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์สำหรับกักเก็บพลังงาน เพื่อให้มีพลังงานได้อย่างสม่ำเสมอ เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ความแตกต่างในการนำไปใช้งาน ตัวอย่างของระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ โดยแบ่งตามความแตกต่างตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ก็คือระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แบตเตอรี่ และ แบบใช้กับแบตเตอรี่

2.1.1.1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีแบตเตอรี่เก็บพลังงานในกรณีของแหล่งจ่ายพลังงานและพลังงานที่ต้องการมีขึ้นพร้อมๆ กัน เราจะไม่จำเป็นต้องมีการเก็บพลังงาน ใดๆ ก็ดี ระบบที่ต่อเข้ากับกริด (Grid) ของการไฟฟ้าก็อยู่ในประเภทนี้ด้วยเพราะระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่งจะไม่ต้องการแบตเตอรี่เพราะว่าพลังงานที่ได้จากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งเข้าไปยังกริดและเมื่อต้องการไฟฟ้าก็สามารถที่จะนำกำลังไฟฟ้าจากกริดเข้ามาจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นแบตเตอรี่จึงไม่จำเป็นต้องใช้ในกรณีนี้

2.1.1.1.1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรง (Direct Coupling) จากองค์ประกอบระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงกับโหนดดังรูปที่ 2.1 ส่วนใหญ่ระบบนี้จะใช้กับระบบระบายอากาศ ระบบติดตั้งง่าย ทำงานได้ดี มีการซ่อมบำรุงรักษาน้อย และการลงทุนต่ำ ระบบนี้จะมีสามารถในการจ่ายพลังงานเท่ากับความต้องการของโหนดเท่านั้น และเมื่อไม่มีพลังงานโหนดก็หยุดทำงาน จึงเหมาะกับระบบระบายอากาศที่ใช้งานในตอนกลางวัน



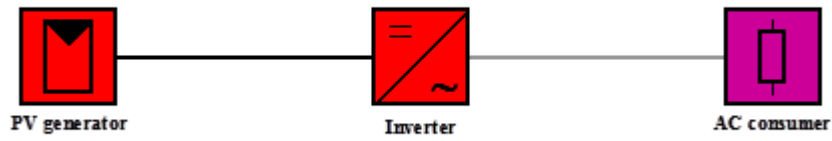
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ PV ต่อโดยตรง

2.1.1.1.2 ระบบที่ใช้ร่วมกับคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมในกรณีต้องการรักษาระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับแรงดันของโหนดจำเป็นต้องใช้คอนเวอร์เตอร์เช่น DC/DC เป็นต้น ในกรณีนี้เหมาะกับโหนดที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ โครงสร้างระบบแบบนี้จะมีการประยุกต์ใช้หลายอย่างเช่น ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ระบบแสดงดังในรูปที่ 2.2



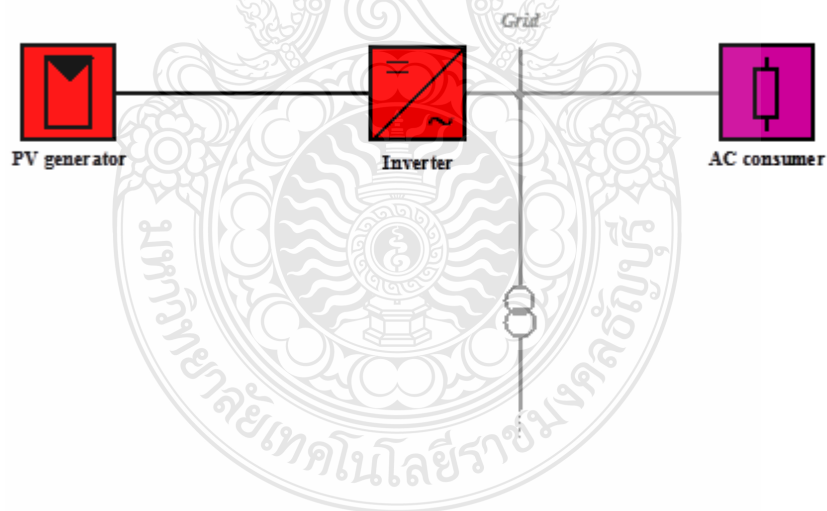
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างของระบบที่ใช้ DC/DC คอนเวอร์เตอร์

2.1.1.1.3 ระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในกรณีโหนดต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ อินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องติดตั้งเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบแบบนี้ก็นิยมใช้สำหรับปั๊มน้ำซึ่งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดที่แน่นอน แท็งก์น้ำจะเป็นตัวเก็บกักพลังงานจากระบบ เมื่อไม่มีไฟฟ้าหรือระบบผลิตไฟฟ้าไม่ได้แท็งก์น้ำยังสามารถจ่ายน้ำได้นั่นเอง ระบบแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.1.1.4 ระบบที่ต่อเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้าระบบที่ต่อเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้าสามารถใช้งานเข้าพื้นที่ที่มีการต่อกริดใช้งานแล้ว โดยการออกแบบจะใช้อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมเป็นอุปกรณ์ในการต่อเข้ากับระบบกริดดังรูปที่ 2.4 แหล่งเก็บพลังงานจึงไม่สำคัญในกรณีนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะจ่ายให้กับโหลดภายในบ้านและที่เหลือจะถูกเก็บในกริด ในเวลากลางคืนและวันที่มีเมฆมากกำลังผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง ระบบก็จะใช้ไฟฟ้าจากกริดของการไฟฟ้านั้นเอง ระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติ

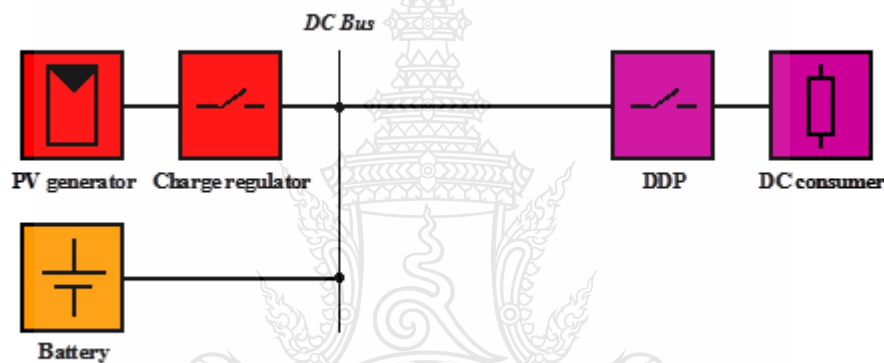


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบที่ต่อเข้ากับกริด



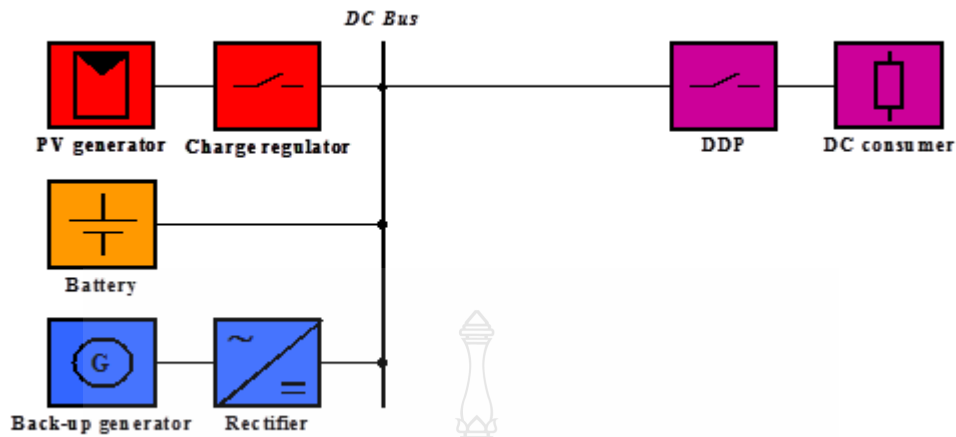
2.1.1.2 ระบบที่ใช้กับแบตเตอรี่เก็บพลังงานในระบบที่ความต้องการพลังงานไม่ตรงกับช่วงเวลาที่ผลิตพลังงานได้ ตัวเก็บพลังงานมีความจำเป็นต่อระบบโดยส่วนใหญ่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจัดเก็บพลังงานซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาที่แสงมีไม่พอเพียงหรือตอนกลางคืนด้วย

2.1.1.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ DC-Coupled เมื่อมีการใช้แบตเตอรี่ในระบบสิ่งที่จะขาดไม่ได้เลยก็คือเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator) ซึ่งสามารถป้องกันการชาร์จประจุมากเกินไป (Deep of Discharge, DOD) โดยจะมีการป้องกันการประจุมากเกินไปด้วย DDP (Deep Discharge Protection) ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานยาวนาน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ DC-coupled PV system

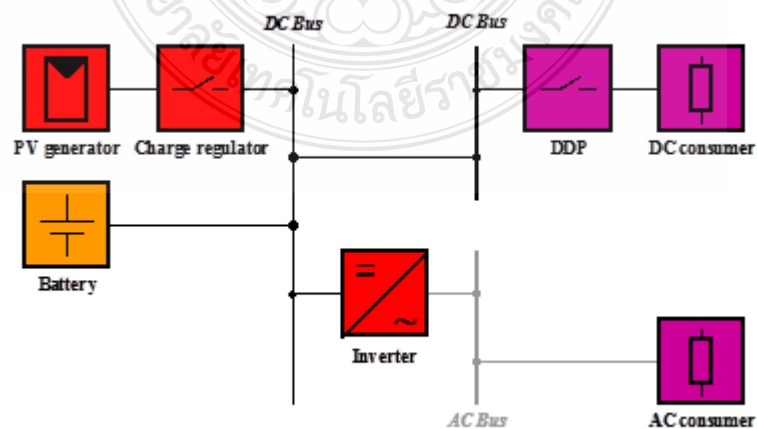
2.1.1.2.2 ระบบผสมผสานแบบ DC-Bus (DC Bus PV Hybrid System) จากการใช้งานในระบบ DC-Coupled ถ้าเมื่อมีความต้องการพลังงานมากขึ้นหรือเพื่อรองรับการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวคงไม่สามารถให้พลังงานได้เพียงพอ หรือหากจะให้เพียงพอจะต้องใช้ขนาดที่ใหญ่ขึ้นและแพงขึ้น ดังนั้นระบบผสมผสานจะสามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยการนำเครื่องกำเนิดพลังงานอื่นมาใช้ควบคู่กัน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เป็นต้น จึงเรียกว่าเป็นระบบผสมผสานซึ่งก็คือระบบที่มีพลังงานทางเลือกรวมกับพลังงานหลัก อาจจะมีพลังงานทางเลือกมากกว่าหนึ่งทางก็ได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ DC-Bus PV hybrid system

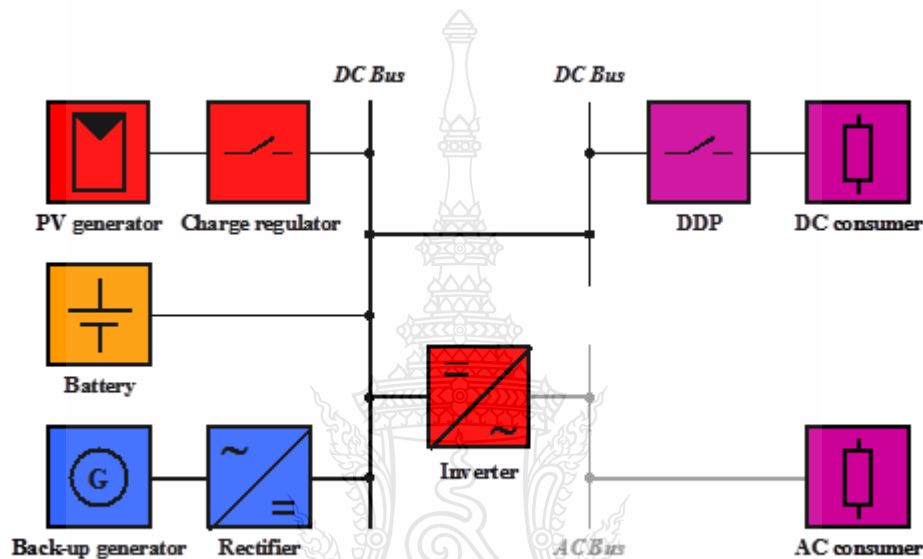
เมื่อเป็นระบบผสมผสานขนาดเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ลดขนาดลงได้เพื่อลดต้นทุน โดยพื้นฐานแล้ว แหล่งกำเนิดพลังงานสำรอง จะถูกกำหนดขนาดตามการทำงานสูงสุดที่คาดคะเนไว้ ซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดในการจ่ายพลังงาน แหล่งกำเนิดพลังงานร่วมจะทำงานก็ต่อเมื่อพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ไม่เพียงพอที่จะจ่ายไฟให้กับโหลด ในระบบนี้วงจรเรียงกระแสจึงจำเป็นสำหรับเครื่องกำเนิดจากพลังงานหลัก และระบบควรจะทำงานแบบอัตโนมัติ

2.1.1.2.3 ระบบที่มีโหลดทั้ง DC และ AC โครงสร้างระบบนี้จะคล้ายกับโครงสร้างในระบบ DC-Coupled แต่แตกต่างกันที่ต้องมีอินเวอร์เตอร์ที่ เพื่อจ่ายกำลังให้อุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถทำงานได้ดังรูปที่ 2.7



## รูปที่ 2.7 โครงสร้างของระบบที่มีโหลดทั้ง DC และ AC

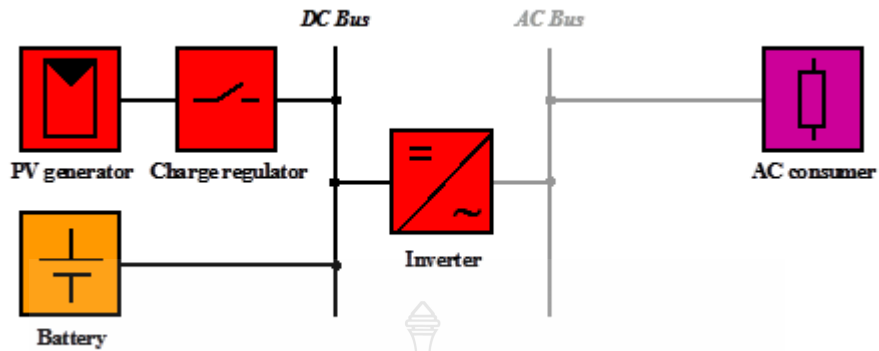
2.1.1.2.4 ระบบผสมผสาน AC- DC Bus PV Hybrid system โครงสร้างจะคล้ายระบบที่มีโหลดทั้งสองแบบ แต่แตกต่างกันคือระบบจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหลักมาเพิ่มสามารถทำงานได้ดังรูปที่ 2.8



## รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ PV hybrid system แบบมีโหลด DC และ AC

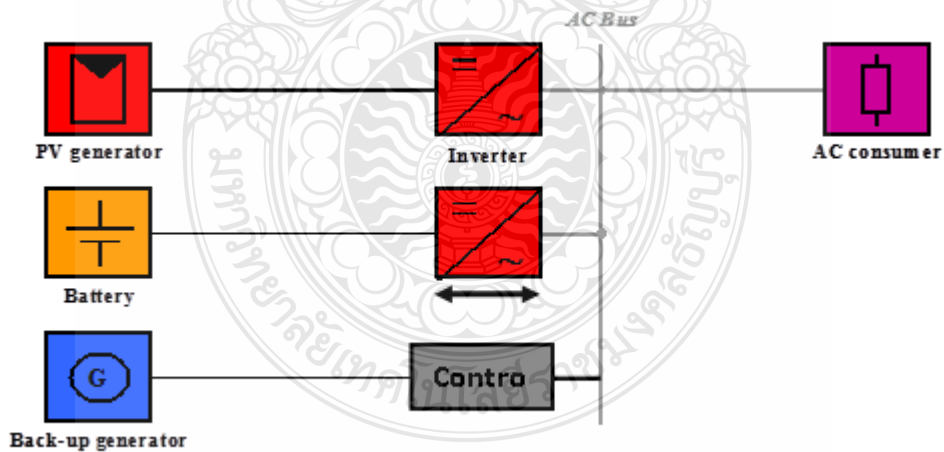
ระบบจะทำงานคือพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายให้กับโหลดและถ้าไม่มีความต้องการใช้พลังงานของผู้บริโภค พลังงานส่วนเกินจะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในเวลากลางคืน หรือเมื่อสภาพอากาศไม่ดี พลังงานที่ใช้จะได้จากแบตเตอรี่เป็นลำดับแรกหากมีแนวโน้มว่าจะเกิดการคลายประจุมากเกินไป (DOD) แหล่งกำเนิดพลังงานจากเชื้อเพลิงหลักจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดทั้งสองแบบ และชาร์จแบตเตอรี่ในเวลาเดียวกัน

2.1.1.2.5 ระบบ DC-Bus System สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC User) ระบบนี้จะเป็นระบบที่เหมาะสมกับความต้องการในครัวเรือนทั่วไป เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจะต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ดังนั้นจึงต้องมีอินเวอร์เตอร์เพิ่มเข้ามาดังรูปที่ 2.9 ปัจจุบันตัวควบคุมการประจุแบตเตอรี่จะรวมอยู่ในอินเวอร์เตอร์เลยเพื่อความสะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 2.9 เป็นโครงสร้างของ DC-Bus ใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.1.2.6 ระบบ AC-Bus PV Hybrid System ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ได้พัฒนามากขึ้นโดยสามารถที่จะทำงานแบบสองทิศทางได้ (Bi-directional Inverter) ดังนั้นระบบผสมผสานแบบ AC-Bus จึงได้รับความนิยมมากขึ้นและเป็นระบบที่มีใช้อย่างแพร่หลาย ดังรูปที่ 2.10

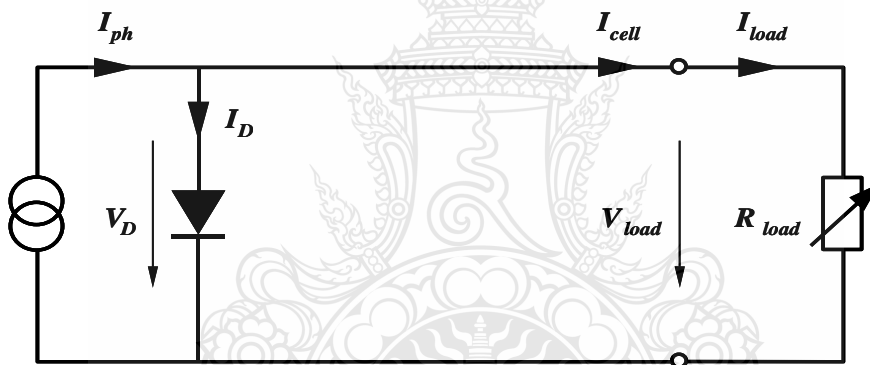


รูปที่ 2.10 ระบบ AC-Bus PV Hybrid System

## 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

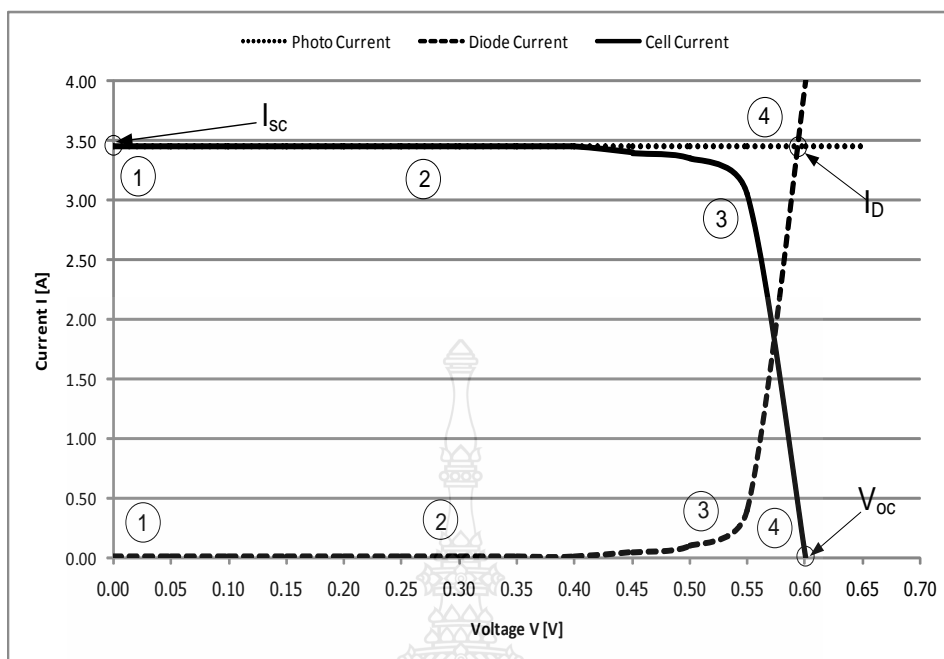
เป็นที่ทราบกันแล้วว่า เมื่อมีแสงสว่างจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่ โดยจำนวนของประจุพาหะนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น (Photo current,  $I_{ph}$ ) ภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้นจึงสามารถเขียนแทนด้วยวงจรตาม รูปที่ 2.11 รอยต่อ P-N junction นั้นจะเขียนแทนด้วย ไดโอด และแหล่งจ่ายกระแสซึ่งขึ้นอยู่กัขนาดตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ส่วนความต้านทานปรับค่าได้ก็คือโหลดนั่นเอง ทำให้เกิดสมการดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.11 วงจรเทียบเคียงของ ideal solar cell ที่ต่ออยู่กับ load

ผลจากการทดลองวงจรดังรูปที่ 2.11 พบว่า ลักษณะของเส้นโค้งของกระแสและแรงดัน (I-V) เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบคงที่จะทำให้เกิดตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเกิดขึ้นของเส้นโค้งของ Solar Cell จากเส้นโค้ง diode

สมมุติเมื่อด้านปลายของขั้วต่อโหลดเกิดการ Short-circuit ขึ้น ( $R_{load} = 0$ ) แรงดันด้านออกและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดมีค่าศูนย์ ตามสมการที่ (2.1) แรงดัน  $V=0$  (จุดที่ 1 ในรูปที่ 2.12) ดังนั้นกระแสทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการส่องแสงจะไหลไปที่เอาต์พุต ดังนั้นกระแสสูงสุดที่มีที่จุดนี้จะเรียกว่ากระแสลัดวงจร (Short-circuit current, ISC)

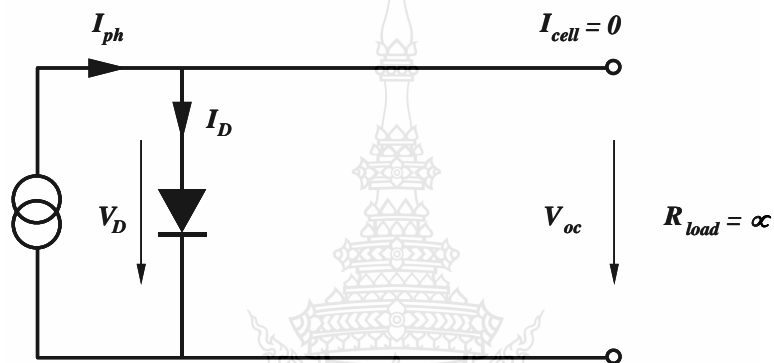
$$I_{sc} = I_{cell} = I_{ph} \quad (2.2)$$

ถ้าความต้านทานของโหลดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้น ค่าของกระแสจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นกระแสด้านออกจะสัมพันธ์กันกับกระแสโฟโต้ (Photo Current) (จุดที่ 2 ในรูปที่ 2.12)

เมื่อแรงดันไดโอดเริ่มมากขึ้นหลังจากค่าความต้านทานโหลดเพิ่มขึ้นแล้ว สัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ กระแสโฟโต้ ทำให้ไดโอดนำกระแสและกระแสจะไหลผ่านไดโอด กระแสนี้ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังภายในไดโอดเอง ซึ่งจะสัมพันธ์กับพื้นที่ เส้นโค้งของกระแสโฟโต้ และเส้นโค้งกระแสเซลล์ เนื่องจากผลรวมของกระแสโหลดและกระแสไดโอดต้องมีค่าเท่ากับค่าคงที่ของกระแสโฟโต้ ดังนั้นกระแสด้านออก จะมีขนาดลดลง (จุดที่ 3 ในรูปที่ 2.12)

สำหรับโหลดที่มีค่าความต้านทานมาก ๆ (open circuit) แสดงในรูปที่ 3.6 กระแสด้านออกมีค่าเท่ากับ 0 ( $I_{cell} = 0$ ) ดังนั้นผลรวมของกระแสโฟโต ที่ไหลผ่านไดโอดภายใน (จุดที่ 4 ในรูปที่ 2.12) ขณะเปิดวงจร open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) สามารถหาได้โดยสมการ (2.3) ดังรูปที่ 2.13

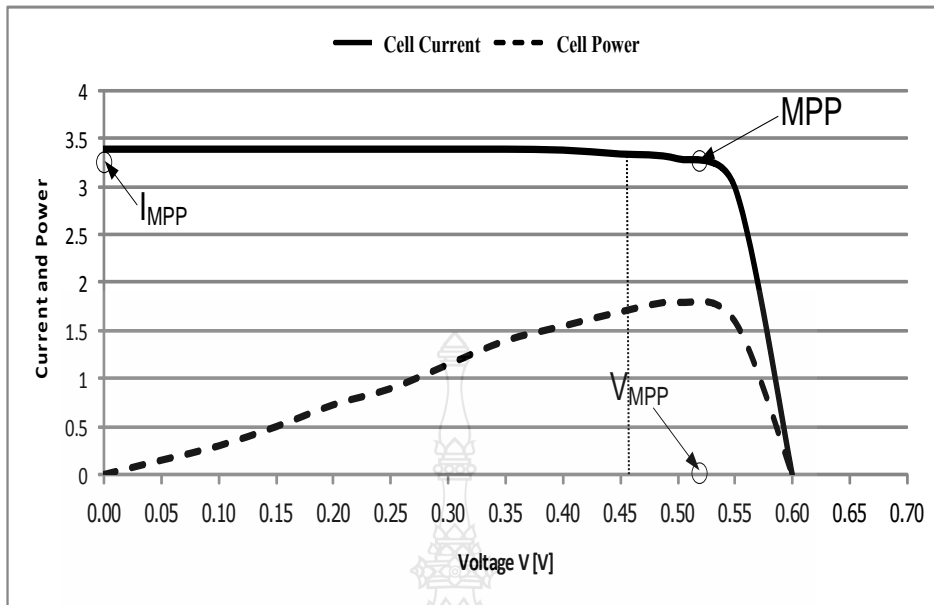
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right) \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.13 วงจรเทียบเคียงของ Solar Cell ขณะ open-circuit

ซึ่งค่าของแรงดันเปิดวงจรจากการคำนวณของซิลิคอนเซลล์จะมีค่าระหว่าง 0.6 ถึง 0.5V และจะมีค่าระหว่าง 0.9 ถึง 0.6V สำหรับ Amorphous

จากการทดลองทำให้ความเข้าใจเกี่ยวกับเส้นโค้งคุณลักษณะ ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ว่าเหมือนกราฟเส้นโค้งตรงข้ามกับคุณสมบัติไดโอด นั่นเอง เนื่องจากกำลังไฟฟ้า เกิดจากกระแสและแรงดัน ดังนั้นเส้นโค้งของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถจ่ายได้ขึ้นอยู่กับระดับของแสงที่ได้รับ และเป็นไปตามกราฟคุณสมบัติ I-V ที่ตรงข้ามไดโอดตามรูปที่ 2.14 ซึ่งจะมีจุดที่เกิดพลังงานสูงสุดเรียกว่า Maximum Power Point (MPP)



รูปที่ 2.14 เส้น โคง์กำลังไฟฟ้าและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP)

ถึงแม้จะมีค่ากระแสสูงที่จุดจะอยู่ที่จุดลัดวงจรก็ตาม แต่เมื่อค่าของแรงดันเท่ากับ 0 ด้วย และกลับกันที่จุด เปิดวงจร 0 ดังนั้นค่ากำลังก็คือ ค่าของกำลังที่จุดนี้ก็เป็น 0 ด้วย ในระหว่างที่มีผลที่เกิดจากการรวมกันของกระแสและแรงดันที่ทำให้ค่าของกำลังมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด ซึ่งเราเรียกว่า *Maximum Power Point (MPP)* ซึ่งเป็นจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ ทำงานโดยได้รับความเข้มจากการส่องแสงแล้วส่งผ่านกำลังสูงสุด เมื่อพิจารณาที่เส้นกราฟส่วน โคง์ของ I-V ค่าของ  $V_{MPP}$  และ  $I_{MPP}$  สามารถคำนวณได้จาก  $V_{oc}$  และ  $I_{sc}$  คือ

$$V_{MPP} \approx (0.75 - 0.9) V_{oc}$$

$$I_{MPP} \approx (0.85 - 0.95) I_{sc}$$

และค่า (*Fill Factor*) FFเป็นค่าที่นำมาพิจารณาเพื่อหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดย

$$FF = \frac{(V_{MPP} \cdot I_{MPP})}{(V_{oc} \cdot I_{sc})} \quad (2.4)$$

ซึ่งค่า *Fill Factor* หมายถึงค่าที่แสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมันจะแสดงว่า กราฟคุณลักษณะเส้น โคง์ของ I-V มีค่าเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมากน้อยเพียงใด โดยปกติแล้ว ซิลิคอนเซลล์ จะมีค่าประมาณ 0.7-ส่วนกำลังด้านออกของเซลล์ก็คือ 0.8



$$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.5)$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก อัตราส่วนของ พลังงานไฟฟ้าด้าน  
ออก ต่อ พลังงานแสงอาทิตย์ด้านเข้า ( $P_{in}$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

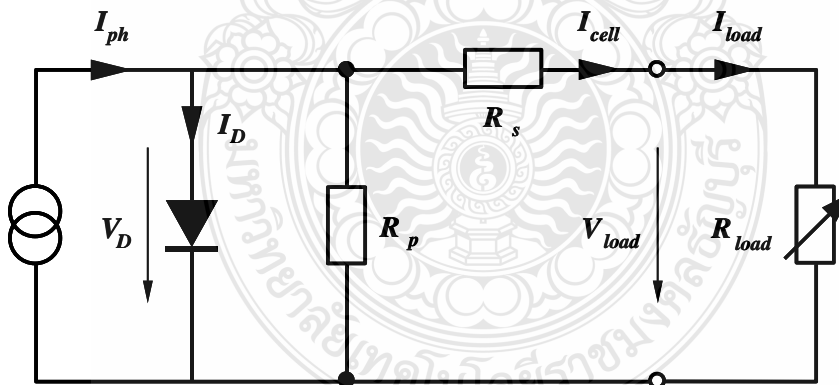
$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (2.6)$$

ในปัจจุบันนี้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ Silicon Solar Cell ได้รับแสงอาทิตย์ขนาด 1.5AM  
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าประมาณ 24 % และในส่วนที่มีใช้งานทั่วไปนั้นจะมี  
ประสิทธิภาพ 14- 10% ถึงแม้ทางทฤษฎีจะได้ค่า 26-27 % ก็ตาม

## 2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ

### 2.2.1.1 ผลของความต้านทานที่ต่ออนุกรม และต่อขนาน

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ จะพบว่ามีส่วนประกอบความ  
ต้านทานเพิ่มมาอีก ค่า ภายในเซลล์ ก็คือ  $2R_s$  ที่ต่ออนุกรมและ  $R_p$  ที่ต่อขนานอยู่ ซึ่งพิจารณาได้จาก  
รูปวงเทียบเคียงในรูปที่ 2.15

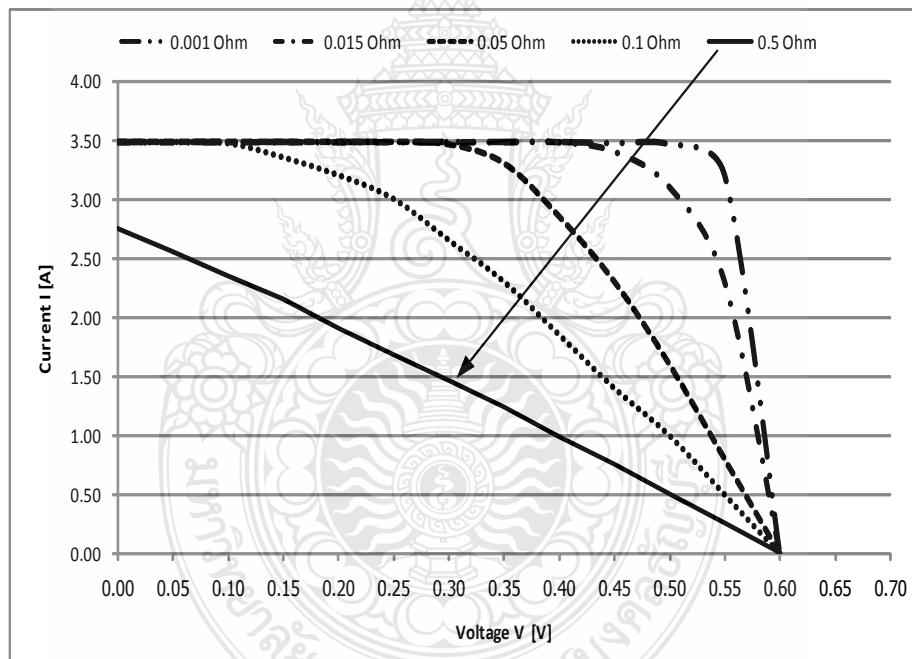


รูปที่ 2.15 วงจรเทียบเคียงของ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้งานจริง

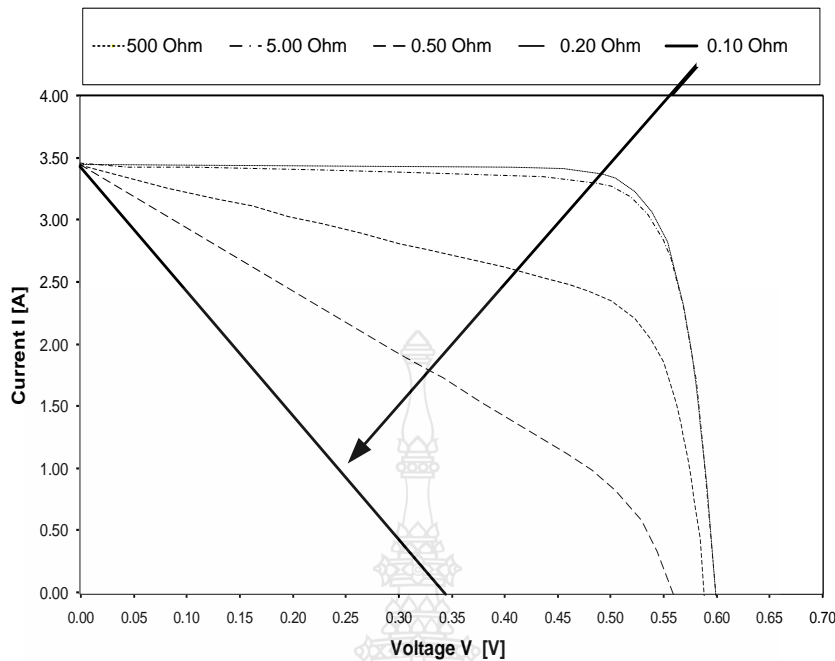
จากวงจรดังรูปที่ 2.15 จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q}{k \cdot T} (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.7)$$

ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิคอนที่เรียงกันเป็นชั้น และความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังที่เป็นผลมาจากการต่อกับขั้วต่อภายนอก ส่วนค่าความต้านทานที่ต่อขนานส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของกระแสเนื่องจากรอยต่อ P-N junction ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจรบางส่วน โดยเฉพาะใกล้กับขอบของเซลล์ แต่อย่างไรก็ดีการลดค่าความต้านทานอนุกรมลงก็มีลักษณะเช่นเดียวกับการลัดวงจร ค่าต่างๆ เหล่านี้ก็จะส่งผลกับค่าของ Fill Factor จะส่งผลให้ค่ากำลังดันออกสูงสุดลดลงรูปที่ 2.16 คือผลของ  $R_s$  ส่วนรูปที่ 2.17 คือผลของ  $R_p$



รูปที่ 2.16 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.17 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานขนาดต่าง ๆ กัน

### 2.2.1.2 ความสูญเสียต่าง ๆ ใน เซลล์แสงอาทิตย์

ก). ความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนแสงจากการส่องแสงในอากาศไปยังสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากมีดัชนีการหักเหแสงที่ต่างกัน โดยความสูญเสียเหล่านี้ลดได้โดยการเคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำหรือปรับโครงสร้างของผิวเซลล์ อีกส่วนคือการสะท้อนของโลหะที่เชื่อมต่อด้านหน้าของแผงเซลล์

ข). ความเข้มของแสงซึ่งลักษณะการส่องของแสงอาทิตย์ในช่วงกว้าง ๆ (Wide spectrum) ตอนมีพลังงานไม่เท่ากัน โฟตอนที่มีพลังงานเพียงเล็กน้อยกว่า Band-gap จะทำให้ไม่สามารถดูดซับและนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และจะไม่เกิดพันธะคู่ระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล ในกรณีที่โฟตอนมีขนาดพลังงานมากกว่า Band-gap หรือเท่ากับ Band-gap เท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้ได้ ถ้ามีแสงมากเพียงใดก็ตามแต่พลังงานไม่ถึง Band-gap ก็ไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ซึ่งส่วนนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์แต่กลับจะทำให้เกิดความร้อนภายในผลึกได้

ค). เนื่องจากกระแสโฟโตจะเป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับจำนวนโฟตอนที่ดูดซับได้ต่อหน่วยเวลา เมื่อกระแสโฟโตเพิ่มขึ้น Band-gap จะลดลง และ Band-gap ก็เป็นตัวกำหนดแรงดันที่บริเวณรอยต่อ P-N junction เมื่อ Band-gap ที่มีขนาดเล็กลงจะเป็นผลให้แรงดันน้อยลง ในกรณีที่ Band-gap ขนาดใหญ่จะมีสูง แต่แสงอาทิตย์เพียงส่วนน้อยที่ถูกดูดซับได้ก็จะเป็นผลให้เกิดกระแสโฟโตขึ้นมาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์

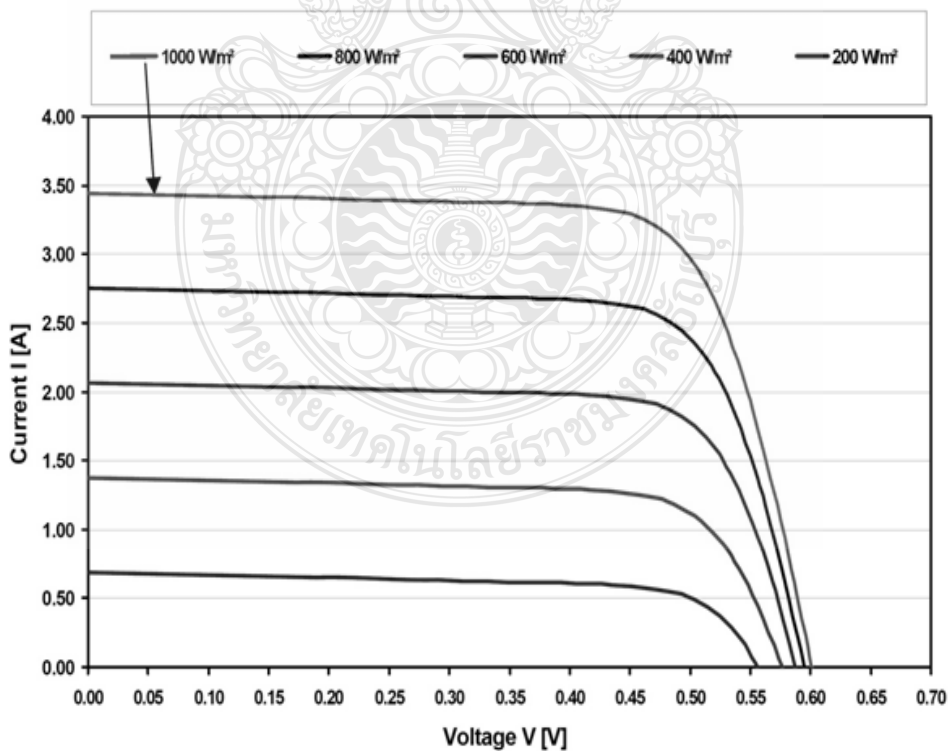
ง). กระแส (Dark current  $I_0$ ) มีค่ามากกว่าค่าในทางทฤษฎีทำให้แรงดันลดลงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.1

จ). ประจุพาหะรวมตัวกันไม่หมด (Recombination) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดที่มีความไม่สมบูรณ์ เช่น ความบกพร่องภายในผลึกหรือความบริสุทธิ์ ดังนั้นวัสดุที่นำมาทำจะต้องมีความเป็นผลึกที่สมบูรณ์และมีความบริสุทธิ์ให้มากที่สุด ในทำนองเดียวกัน ผิวของวัสดุก็จะต้องอยู่ในโครงสร้างผลึกที่มีความแข็งแรงทนต่อการรบกวนภายนอก

ฉ). ค่าความต้านทานอนุกรมและขนาดที่เกิดขึ้นส่งผลให้ค่า Fill Factor ลดลง

### 2.2.1.3 ผลกระทบจากระดับของแสงอาทิตย์

ตามความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตที่เกิดขึ้นต่อแสงสว่างจะมีสัดส่วนที่เป็นเชิงเส้นกับแสงสว่างของดวงอาทิตย์ แต่อย่างไรดี เมื่อพิจารณาวงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ และกราฟคุณลักษณะของเส้นโค้ง จะพบว่าเส้นโค้งเกี่ยวข้องกับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดภายใน ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะกลับของไดโอด และเมื่อความเข้มของแสงสว่างค่า  $V_{oc}$  และ  $I_{sc}$  ก็ต่ำตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ค่าแสงสว่างที่ต่างกันไป

#### 2.2.1.4 ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ที่บริเวณรอยต่อ P-N สามารถที่จะมีพลังงานในการเคลื่อนตัว จึงทำให้กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ไม่มากนัก ประมาณ 0.07%

$I_{sc}$  เพิ่มขึ้น 0.07% / K

ผลของ  $V_{oc}$  ปกติจะขึ้นกับปริมาณของแสง อย่างไรก็ตามกฎของ Shockley จะได้ว่า  $I_0$  คือ

$$I_0 = q N_v N_c \left[ \exp \left( \frac{-E_g}{kT} \right) \right] \left( \frac{L_n}{n_n \tau_n} + \frac{L_p}{p_p \tau_p} \right) \quad (2.8)$$

$N_v, N_c$  คือค่าความนำที่รอยต่อ  $E_g$  คือพลังงานที่รอยต่อ  $L_n, L_p, n_n, p_p, \tau_n, \tau_p$  ระยะเวลากระจาย ความเข้มอิเล็กทรอนิกส์ อายุขอลงอิเล็กทรอนิกส์และโฮล, ดังนั้นจากสมการ (2.8) และ (2.1), ให้  $I_{ph} \gg I_0$  จะได้ว่า

$$V_{oc} = \frac{E_g}{q} - \frac{kT}{q} \cdot \ln \left[ \frac{1}{I_{ph}} \cdot q N_v N_c \right] \left( \frac{L_n}{n_n \tau_n} + \frac{L_p}{p_p \tau_p} \right) \quad (2.9)$$

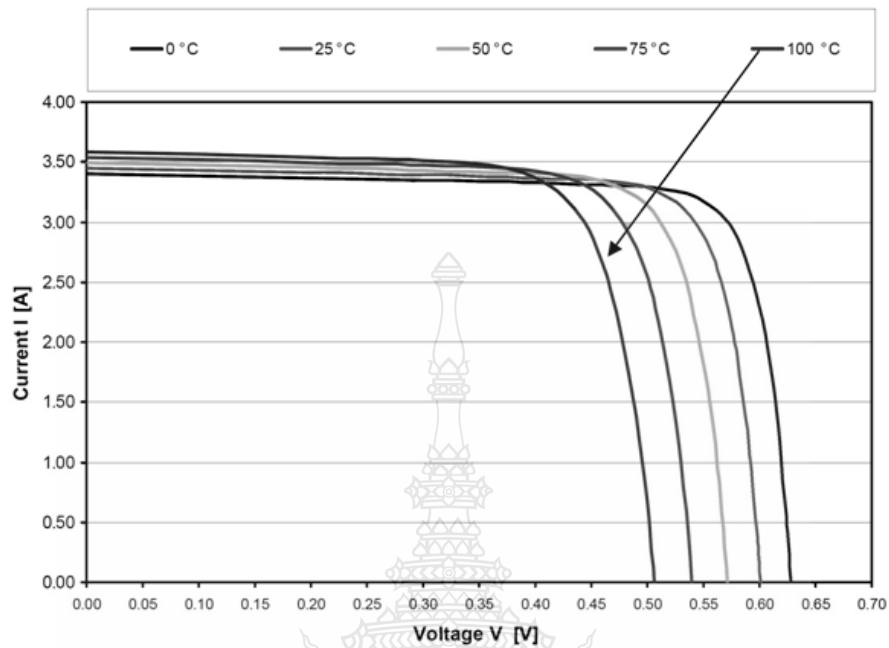
$V_{oc}$  ลดลงประมาณ 0.4% / K

ดังนั้นจะเห็นว่า  $V_{oc}$  จึงมีผลกับอุณหภูมิเช่นกัน คือ

ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย เพราะการติดตั้งกลางแจ้งอุณหภูมิอาจสูงมากกว่า 40 K จากอุณหภูมิมาตรฐาน ดังนั้นการระบายความร้อนอาจจะต้องจำเป็นในบางโอกาสอย่างไรก็ดี เมื่ออุณหภูมิ มีผลกับแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีผลกระทบด้วย

$P$  ลดลง 0.4 – 0.5% / K

จากผลกระทบบดังกล่าวสามารถที่จะนำมาแสดงได้ดังรูปที่ 2.19

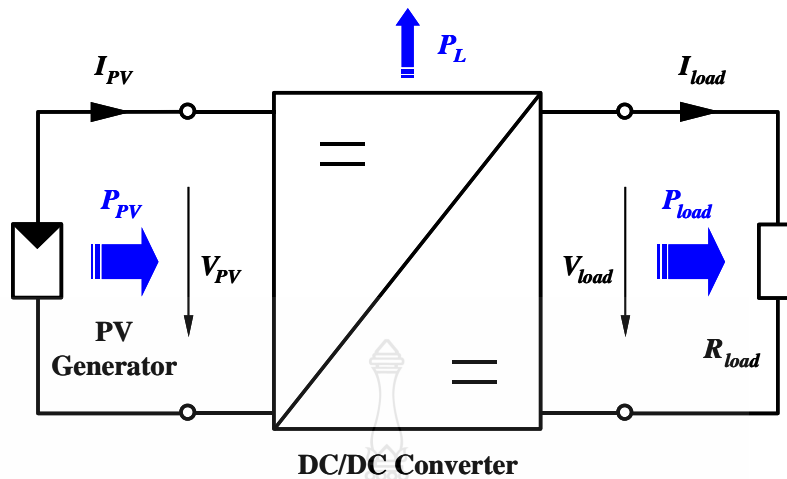


รูปที่ 2.19 กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่าปกติในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ “Watt Peak” [ $W_p$ ] ที่ *Standard Test Conditions* (STC), ซึ่งมีความเข้มแสง  $1000 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  และ AM 1.5 ดังนั้น “Peak Power” สามารถจะเกินได้ถ้าแสงมากกว่าและอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดและสามารถจะลดลงได้ในทางตรงกันข้ามเช่นกัน

### 2.3 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC/DC converters)

หน้าที่ของคอนเวอร์เตอร์ (converter) คือ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดการทำงาน MPP ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ (ความเข้มแสง อุณหภูมิ คุณสมบัตินของโหลด ฯลฯ) และกำลังสูญเสียภายใน ( $P_L$ ) ของคอนเวอร์เตอร์ต้องมีค่าเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.20 แสดงคอนเวอร์เตอร์ที่ต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์

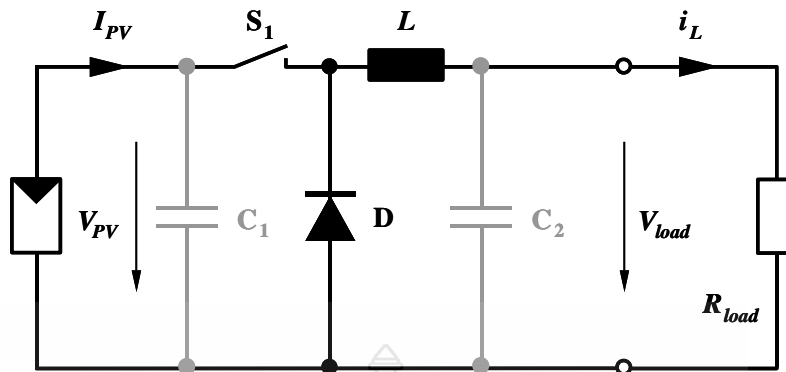
ในที่นี้จะขอกล่าวหลักการเบื้องต้นของ DC/DC converters ไว้เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติ DC/DC converters จำทำหน้าที่ปรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแรงดันหนึ่งไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่อีกระดับแรงดันหนึ่งหรือระดับเดียวกันก็ได้ โดยการแบ่งตามลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิด

### 2.3.1 บั๊กคอนเวอร์เตอร์ Step-down converter (Buck converter)

วงจรถอนระดับหรือวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีไฟฟ้ากระแสตรงเรียบๆ จะนิยมใช้วงจรรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่

#### - หลักการทำงานของวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ ดังรูปที่ 3.39 อินพุตของบั๊กคอนเวอร์เตอร์คือ PV



รูปที่ 2.21 วงจรเทียบเคียงของวงจรทอนระดับบู้คคอนเวอร์เตอร์

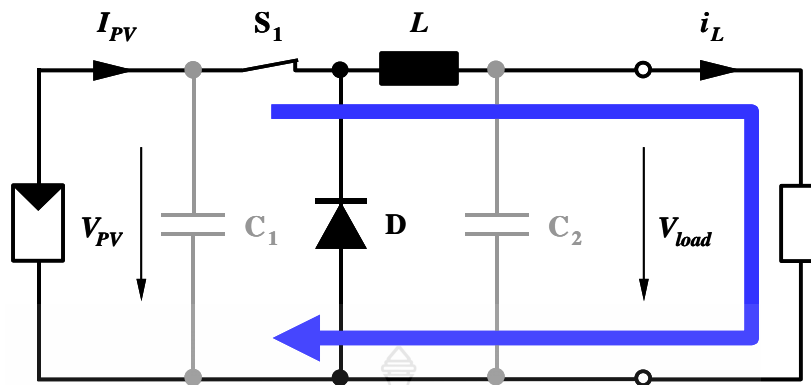
ถ้าสวิตช์  $S_1$  ปิดวงจรที่  $t_0$  และไดโอด  $D$  ไบแอตกลับ จะเกิดกระแสไหลในวงจรดังรูปที่ 2.21 และกระแส ( $i_L$ ) ไม่ได้เพิ่มขึ้นโดยทันที แต่ค่อนข้างเพิ่มเป็นสัดส่วน ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวเหนี่ยวนำ  $L$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{PV} - V_{load}}{L} \quad (2.10)$$

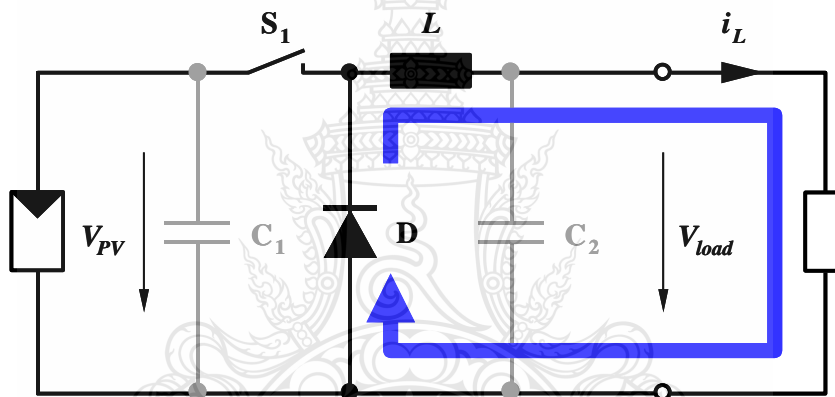
ในระหว่างนั้นตัวเหนี่ยวนำเก็บพลังงานไว้ในรูปแม่เหล็ก ถ้าสวิตช์เปิดวงจรหลัง  $t = t_1$  โหลดจะถูกแยกออกจากแหล่งจ่ายของระบบ แต่ยังคงมีกระแสเลี้ยงวงจรอยู่จากพลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำ และไหลผ่าน ฟรี-วีลิ่ง ไดโอดแทน (free-wheeling diode) ดังรูปที่ 2.21 เมื่อไม่คำนึงถึงแรงดันตกคร่อมไดโอด กระแสจะลดลงด้วยสมการ (2.11)

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_{load}}{L} \quad (2.11)$$



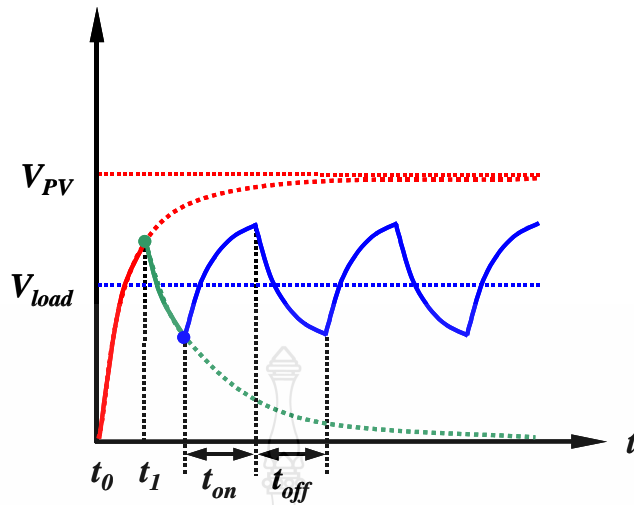


รูปที่ 2.22 Step-down converter ในระหว่างสภาวะปิดวงจร



รูปที่ 2.23 Step-down converter ในระหว่างสภาวะเปิดวงจร

หลักการปิดและเปิดวงจรจะกำหนดด้วยความถี่สวิตชิ่ง (switching frequency) คือ “ $t_{on}$ ” และ “ $t_{off}$ ” เมื่อพิจารณาจากของไอท์มกระแสโหลดคือ ( $i_L$ ) และแรงดันที่ได้จะแสดงในรูปที่ 2.24 แรงดันโหลดที่ได้นั้นเห็นได้ชัดว่ายังเรียบมีริบเป็ลอยู่ ซึ่งสามารถทำให้เรียบได้โดยเพิ่มคาปาซิเตอร์  $C_2$  เข้าไป ดังนั้นแรงดันที่โหลด ( $V_{load}$ ) จึงเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่าน้อยกว่า  $V_{PV}$



รูปที่ 2.24 คุณสมบัติของแรงดัน โหลดของ Step-down converter

สมมติให้ไม่มีค่าสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำและคาบเวลา  $T = t_{on} + t_{off}$  ดังนั้นจะได้

$$V_{load} = \frac{t_{on}}{T} V_{PV} \quad (2.12)$$

### 2.3.2 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ Step-up converter (Boost converter)

วงจรบัสหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกว่าวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง

#### - เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ

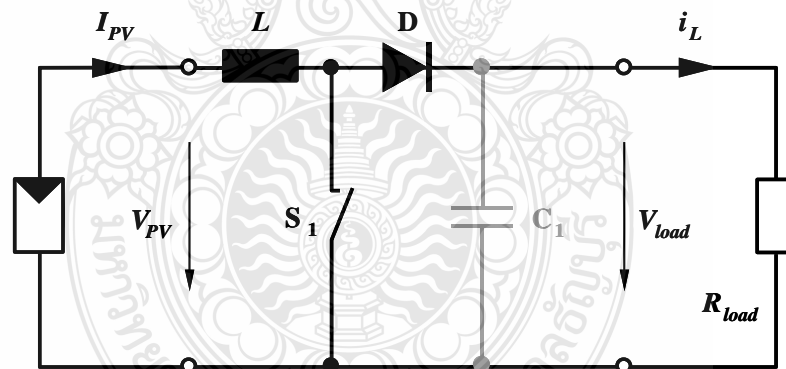
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งในร้อยเปอร์เซ็นต์

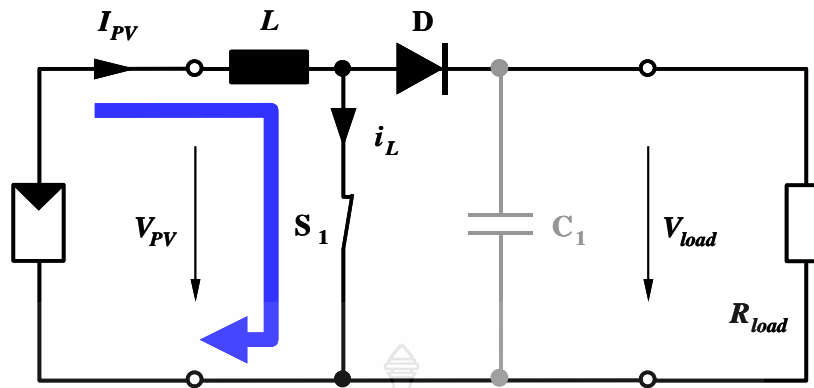
#### - หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมวงจรเทียบเคียงของบูสต์คอนเวอร์เตอร์

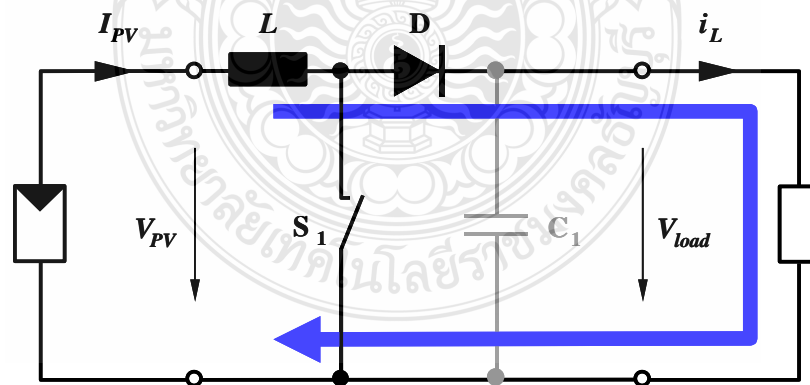
บูสต์คอนเวอร์เตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 2.24 ในช่วงสภาวะคงตัวขณะที่  $S_1$  ยังคงเปิดวงจรอยู่  $V_{load}$  จะเท่ากับ  $V_{PV}$  เมื่อไม่คิดแรงดันตกคร่อมไดโอด ดังที่แสดงในรูป 2.25 ในระหว่างสถานะปิดวงจร แรงดันตกคร่อมโวลต์จะตกโดยทันที กระแสวงจร ( $i_L$ ) จะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L$  และสวิตช์  $S_1$  และเพิ่มสูงขึ้นตรงกับสมการที่ (2.13)



รูปที่ 2.26 Step-up converter ในระหว่างสถานะปิดวงจร

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{PV}}{L} \quad (2.13)$$

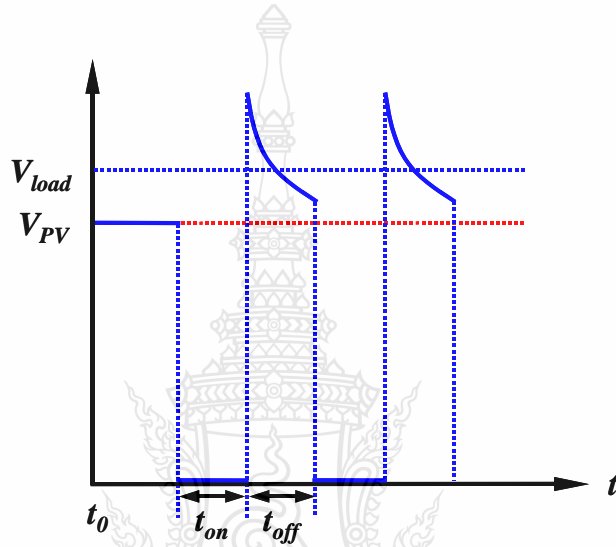
หลังจากที่สวิตช์  $S_1$  เปิดวงจร ดังรูปที่ 2.26 แรงดันเหนี่ยวนำในตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นด้วยตัวมันเองจนถึง  $V_{PV}$  กระแส  $i_L$  ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและต่อไปถึงโหลด จากนั้นกระแส  $i_L$  จะค่อยๆ ลดลงทีละน้อยเพราะ  $V_{load} > V_{PV}$  ดังสมการที่ (2.14)



รูปที่ 2.27 Step-up converter ในระหว่างสถานะเปิดวงจร

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{PV} - V_{load}}{L} \quad (2.14)$$

พฤติกรรมของแรงดันโหลดมีดังรูปที่ 2.27 ไดโอด D จะป้องกันการไหลย้อนกลับของประจุในตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งช่วยกรองทำให้แรงดันโหลดเรียบได้แรงดันตามสมการ (2.15)



รูปที่ 2.28 แสดงคุณลักษณะของแรงดัน โหลดของ step-up converter

$$V_{load} = \frac{T}{t_{off}} V_{PV} \quad (2.15)$$

### 2.3.3 วงจรบัค – บูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Buck/Boost or inverting converter)

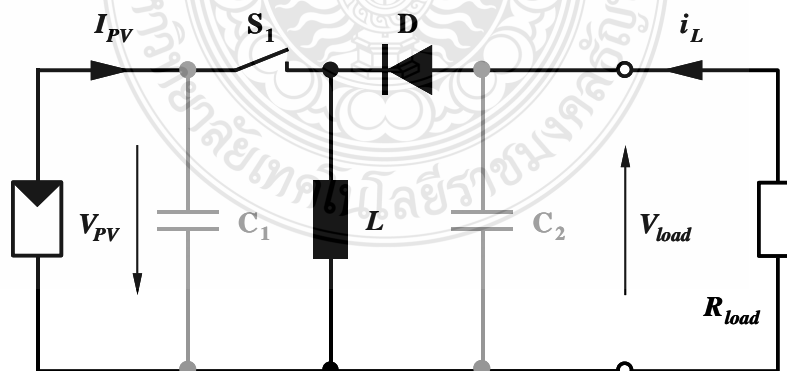
วงจรลดทอน – ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัค – บูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่สามารถทำการลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัค – บูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะทำการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบัค – บูสต์ คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เหมือนกับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

- หลักการทำงานของวงจรบัส – บูสต์คอนเวอร์เตอร์

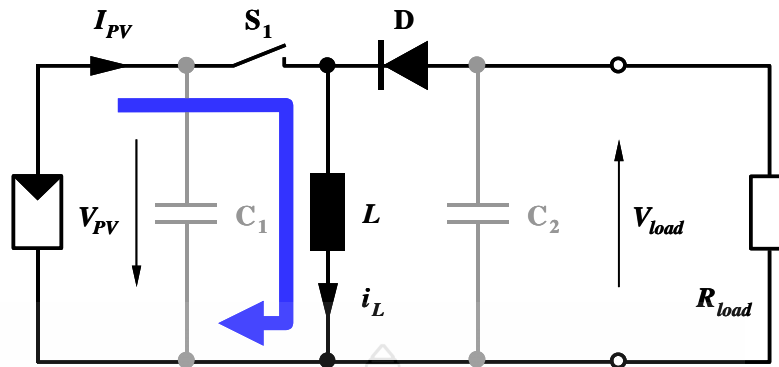
หลักการทำงานของวงจรบัส – บูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อจะให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออก มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามต้องการ โดยจะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะสามารถหากระแสไฟฟ้ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงภาวะอยู่ตัว

วงจรนี้ดังรูปที่ 2.28 สามารถเป็นได้ทั้ง step- down และ step- up ของแรงดัน DC ซึ่งในระหว่างสถานะปิดวงจร พลังงานได้รับโดยแหล่งจ่าย ซึ่งเก็บในตัวเหนี่ยวนำ  $L$  ดังรูปที่ 2.29 พลังงานที่ถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำ  $L$  ถูกส่งไปยัง  $R_{load}$  ในระหว่างสถานะเปิดวงจร ดังรูปที่ 2.30 ในส่วนของไดโอด คือ ช่วยให้การกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L$  ได้ในทิศทางเดียวเท่านั้นในระหว่างสถานะ “ปิด” และ “เปิด” วงจร ผลลัพธ์ที่ได้  $V_{load}$  จะมีขั้วตรงกันข้ามกับ  $V_{PV}$  ดังนั้นจึงเรียกวจรนี้อีกอย่างหนึ่งว่า *inverting converter* สมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของกระแสที่ไหลในวงจรสามารถหาได้เหมือนวิธีที่ผ่านมาทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และพิกัดของ  $V_{load}$  สามารถต่ำกว่าหรือสูงกว่า  $V_{PV}$  ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการปรับ  $t_{on}$  และ  $t_{off}$

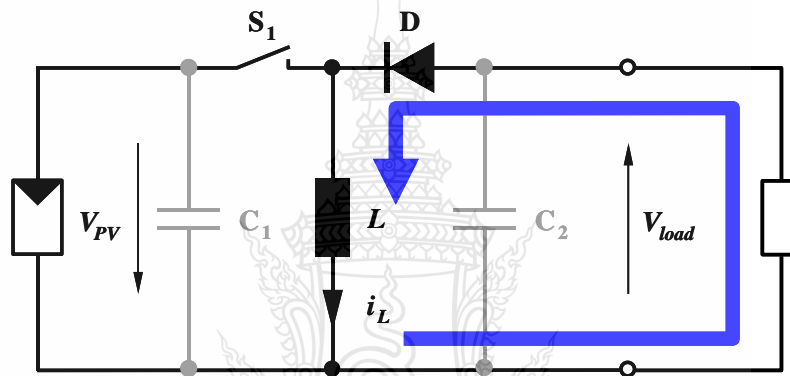
$$V_{load} = -\frac{t_{on}}{t_{off}} V_{PV} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมวงจรเทียบเคียงของ Step- down/step- up Converter

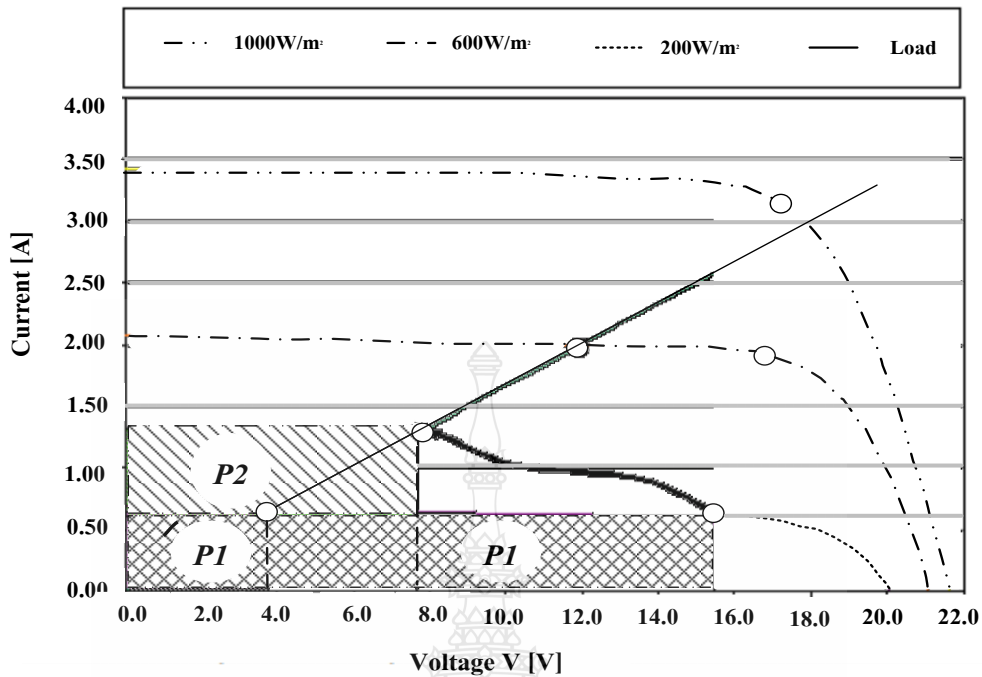


รูปที่ 2.30 Step-down/step-up converter ในระหว่างสถานะปิดวงจร



รูปที่ 2.31 Step-down/step-up converter ในระหว่างสถานะเปิดวงจร

ในรูปที่ 2.31 เป็นการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงานของโหลดความต้านทาน เมื่อพิจารณากราฟของความเข้มแสงที่  $200\text{-W/m}^2$  จะได้จุดด้านซ้ายคือกำลังไฟฟ้า  $P_1$  ซึ่งแทนด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า อย่างไรก็ตามความเข้มแสงที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้า  $P_1$  ได้ ถ้ามันสามารถมาทำงานที่จุด MPP ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์ที่ดีจะต้องให้ระบบทำงานที่จุด MPP ซึ่งจำทำให้ได้กำลังไฟฟ้า  $P_2$  นั่นเอง



รูปที่ 2.32 การเปลี่ยนแปลงของจุดการทำงานด้านคอนเวอร์เตอร์

ดังรูปที่ 2.31 ที่การทำงานที่ความเข้มแสงที่ต่างกัน ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนว่าคอนเวอร์เตอร์ที่ดีสามารถช่วยเพิ่มกำลังไฟได้อย่างมาก อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่มีความเข้มแสงที่สูง ถ้าคอนเวอร์เตอร์ไม่ดีมีการสูญเสียในคอนเวอร์เตอร์สูงอาจจะมีข้อดีน้อยกว่าวิธีการต่อโดยตรง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ในปัจจุบันสามารถทำได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ อาจจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เหมาะสมของคอนเวอร์เตอร์นั้นๆ

## 2.4 ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด Maximum Power Point Tracker (MPPT)

ตำแหน่งของจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดบน PV จะเห็นได้ว่าขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของเซลล์ หลักในการ tracking เพื่อหาจุดทำงานของสูงสุด จะต้องมีการเปรียบเทียบจุดแรงดัน (เลือกจุดที่เหมาะสม) อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ระบบ MPPT จะรวมเข้าด้วยกันระบบอินเวอร์เตอร์ หรือ อินเวอร์เตอร์ จะสามารถที่จะปรับตั้งให้มีการเลือกจุดทำงานได้และมีพลังงานสูญเสียน้อยและมีราคาเพิ่มเติมอีกเล็กน้อย ในการพัฒนา MPPT นั้นได้ใช้เทคนิคต่างๆ ซึ่งในเวลานี้มี



การพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการพัฒนาต่อไปเรื่อยๆ ตัวอย่างค่าต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนา MPPT

- 1) แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับฤดูกาล
- 2) แรงดันที่จุดทำงานสัมพันธ์กับอุณหภูมิ
- 3) การวัดแรงดันขณะวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีนี้เป็นวิธีบนพื้นฐานความจริงสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขณะเปิดวงจรและแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด ซึ่งปกติประมาณ 80% ของแรงดันขณะเปิดวงจร

การติดตามจุดกำลังสูงสุด เป็นการนำข้อมูลเกี่ยวกับความเหมาะสมของจุดทำงานที่ต้องการมาใช้งานจริง จึงต้องมีการวัดด้วยเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น กระแส แรงดันหรือกำลังในระบบด้วย โดยปกติจะกำหนดการทำงานบนพื้นฐานของ Algorithm ในส่วนที่สูงที่สุดของเส้นกราฟกำลังในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ แรงดันที่จะทำงานมีการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มขึ้นในบริเวณที่แน่นอน ณ จุดทำงานจริงนั้นจะมีการแกว่งไปมาในระยยะบริเวณจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งานจริง สิ่งที่เป็นจำเป็นสำหรับการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ จะใช้หลักการการวัดแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการคูณกับตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง ถ้าพิจารณากันจริงๆ แล้วจุดมุ่งหมายที่แท้จริงไม่ได้ทำให้เกิดกำลังเอาท์พุทสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ แต่จะทำให้เกิดกำลังสูงสุดที่โหลด

#### 2.4.1 ภาพรวมของวิธีการควบคุมการติดตาม Maximum Power Point Tracker (MPPT) สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

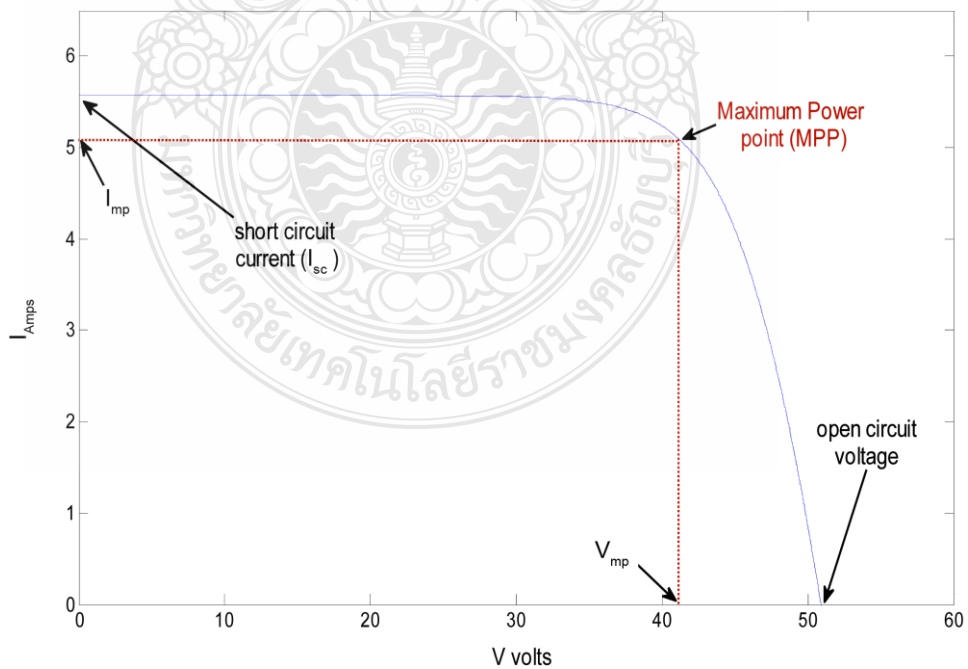
แผงโซลาร์เซลล์โดยทั่วไปจะสามารถแปลงเปลี่ยนพลังงานได้เพียง 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของจากแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นการใช้เทคนิคการติดตามจุดสูงสุดของพลังงานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นั้น ตามทฤษฎีบทการถ่ายโอนพลังงานกำลังสูงสุดไฟฟ้าของวงจรจะมีค่าสูงสุดเมื่อความต้านทานต่อของวงจร (อิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด) ตรงกับความต้านทานโหลด ดังนั้นปัญหาของเราในการติดตามจุดสูงสุดของพลังงานจะลดลงไปสู่ปัญหาการจับคู่ความต้านทานในเบื้องต้นทางเราใช้ตัวแปลงเพิ่มขึ้นที่เชื่อมต่อกับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แรงดันขาออกเพื่อให้สามารถใช้งานต่างๆเช่น โหลดมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนรอบของหน้าที่ของตัวแปลงเพิ่มอย่างเหมาะสมเราสามารถจับคู่อิมพีแดนซ์ของแหล่งที่มา กับอิมพีแดนซ์โหลดได้

## 2.4.2 การเปรียบเทียบเทคนิคของ MPPT

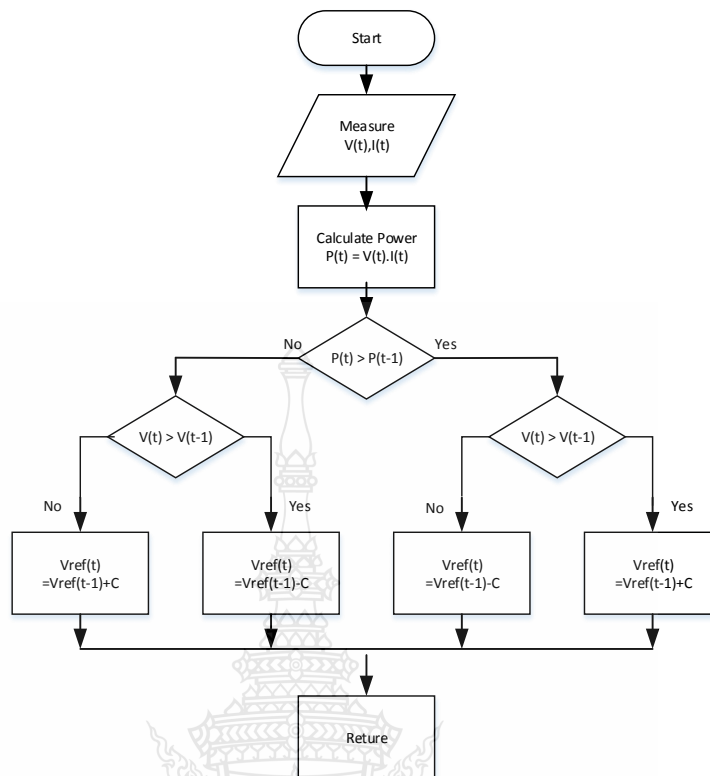
มีเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตามจุดสูงสุดของกำลัง ไม่ก็แบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เทคนิค คือ

### 2.4.2.1 วิธีรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation (P & O) Method )

สำหรับอัลกอริทึม P & O จะแสดงดังรูปที่ 2.32 โดยจะทำงานโดยการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าหรือเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ โดยปกติแล้วเปรียบเทียบกำลังขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กับจุดตัวอย่างก่อนหน้า หากแรงดันไฟฟ้าในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เปลี่ยนไป และเพิ่มพลังงาน ( $dP / dV PV > 0$ ) ระบบควบคุมปรับจุดทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ ไปในทิศทางนั้น มิฉะนั้นจุดปฏิบัติการจะถูกย้ายไปในทิศทางตรงกันข้าม ในแต่ละจุดรบกวนการใช้งานอัลกอริทึมยังคงดำเนินต่อไปในลักษณะเดียวกันแสดงดังรูปที่ 2.33 ข้อได้เปรียบหลักของวิธีนี้คือความเรียบง่ายของเทคนิค นอกจากนี้ยังไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อนหน้า ในรูปแบบนี้ง่ายที่สุดวิธีการนี้แสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินงานที่ดีโดยแสงอาทิตย์ไม่แปรเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ที่จุดคงที่จุดปฏิบัติการจะแกว่งไปมารอบ ๆ แรงดันไฟฟ้า จุดกำลังสูงสุด (MPP) และมักจะผันผวนเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้ความถี่การก่อความถี่ต่ำมากเช่นนั้น



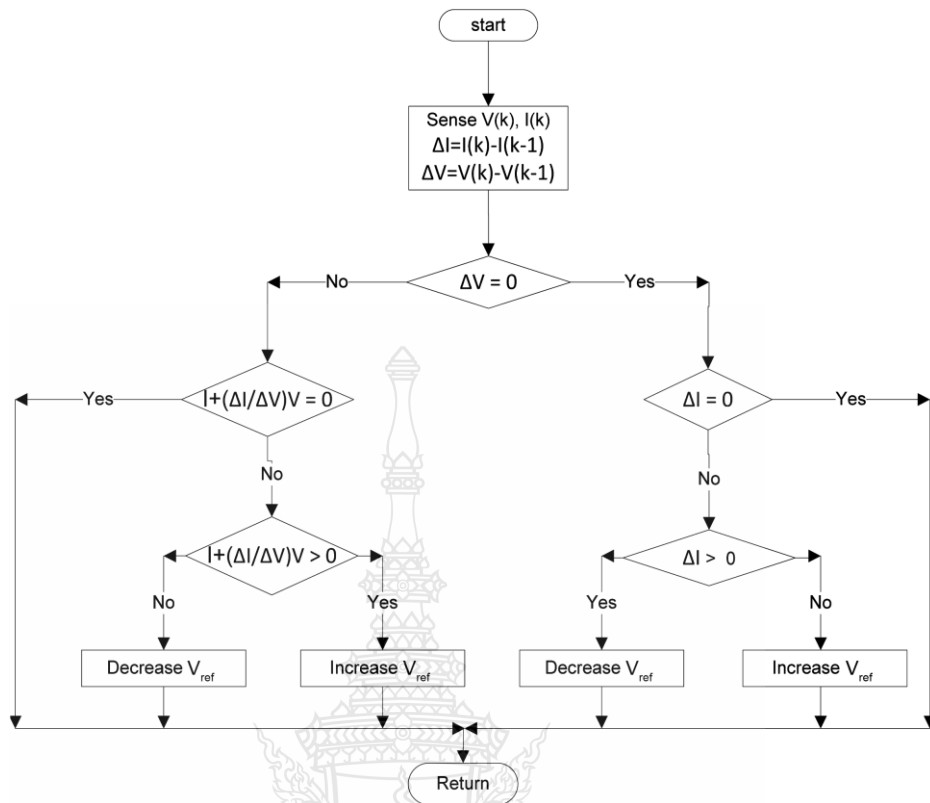
รูปที่ 2.33 คุณลักษณะ I-V ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทว่าไปที่มีการควบคุม MPPT



รูปที่ 2.34 วิธีรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation (P & O) Method)

#### 2.4.2.2 วิธีการเพิ่มการนำไฟฟ้า (Incremental Conductance (IC) Method)

ขั้นตอนวิธีการเพิ่มการนำไฟฟ้า (IC) ที่แสดงดังรูปที่ 2.34 จะพยายามเอาชนะข้อจำกัด ของ อัลกอริทึมการรบกวนและการสังเกตโดยใช้ความนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัลกอริทึมนี้ ทำงานโดยการค้นหาจุดปฏิบัติการของแรงดันไฟฟ้าที่ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับส่วนที่ เพิ่มขึ้นการนำไฟฟ้า ณ จุดนี้ระบบจะหยุดการทำงานของจุดปฏิบัติการ ประโยชน์ของอัลกอริทึมนี้คือ มันมีความสามารถในการหา "ระยะ" ระยะไปยังจุดสูงสุดที่กำลัง (MPP) ดังนั้นจึงสามารถทำได้โดยการกำหนดเมื่อถึง MPP แล้ว นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการติดตามหา MPP ได้อย่างแม่นยำมากขึ้นในระดับสูง สภาพอากาศแบบแปรผัน และมีพฤติกรรมการแกว่งน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับ MPP กับ P & O แม้ว่าวิธีการ P & O จะได้รับการปรับให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามขั้นตอนของ IC มีข้อเสียความ ไม่มีเสถียรภาพที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากการใช้การดำเนินงานอนุพันธ์ในอัลกอริทึม



รูปที่ 2.35 แผนผังวิธีการเพิ่มการนำไฟฟ้า (Incremental Conductance (IC) Method)

#### 2.4.2.3 วิธีรักษาแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage (CV) Method)

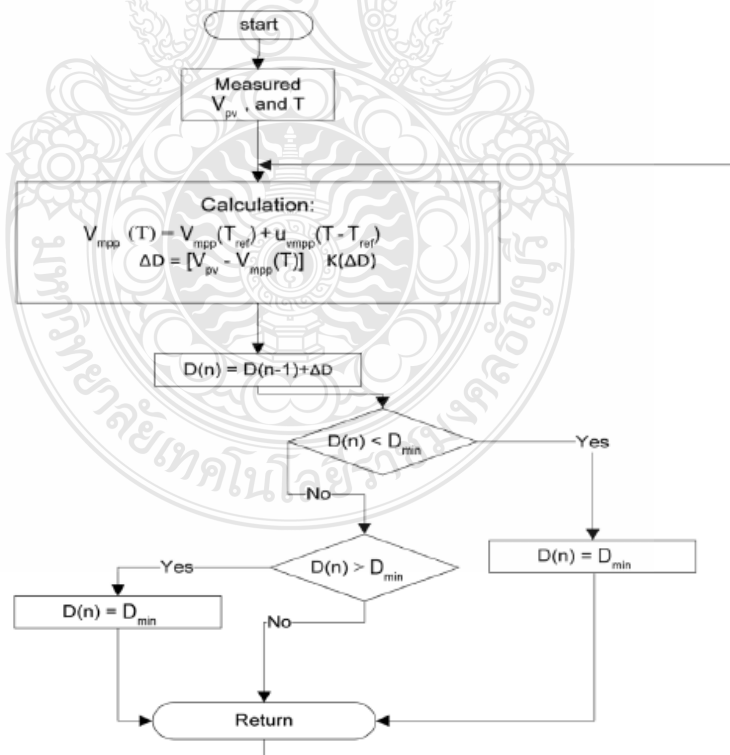
อัลกอริทึมแรงดันคงที่ (CV) เป็นหนึ่งในอัลกอริทึม MPPT ที่ง่ายที่สุด จุดปฏิบัติการของอาร์เรย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะยังคงอยู่ใกล้จุดกำลังสูงสุด (MPP) โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้สอดคล้องกับแรงดันอ้างอิงอ้างอิงที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดจุดไฟ ( $V_{mpp}$ ) ของอาร์เรย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเฉพาะ อัลกอริทึมสมมุติว่ารูปแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เช่นอุณหภูมิและการฉายรังสีไม่สำคัญและแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงคงที่จะเพียงพอเพื่อให้ได้สมรรถนะใกล้เคียงกับ MPP ด้วยเหตุนี้ในทางปฏิบัติขั้นตอนวิธี CV อาจไม่ตรงกับที่ระบุ MPP ระหว่างการติดตั้งมักจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างการอ้างอิงแรงดันไฟฟ้าคงที่เนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งใน

ในสภาพที่มีการแยกตัวต่ำ อาจสังเกตได้ว่าเทคนิคแรงดันไฟฟ้าคงที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งระบบและสังเกต หรือขั้นตอนวิธีการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

#### 2.4.2.4 วิธีอุณหภูมิ (Temperature (T) Method)

ขั้นตอนวิธีอุณหภูมิ จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดMPPT คือ เมื่อสังเกตจากลักษณะ V-I สังเกตได้ว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกับระดับรังสีแกมมาและโดยทั่วไปจะคงที่เมื่ออุณหภูมิของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่ความไวต่อแสง ( $V_{ov}$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิอาร์เรย์ แสงอาทิตย์ ( $T$ ) อัลกอริทึมนี้ใช้เซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ติดกับพื้นผิวด้านหลังของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์และเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้า เริ่มจากการวัดอุณหภูมิ  $T$  และแรงดันของเอาต์พุตของโซลาร์เซลล์ ( $V_{pv}$ ) จากการวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mpp}$ ) จะถูกประเมินโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$V_{MPP}(T) = V_{MPP}(T_{ref}) + u_{VMPP}(T - T_{ref}) \quad (2.16)$$



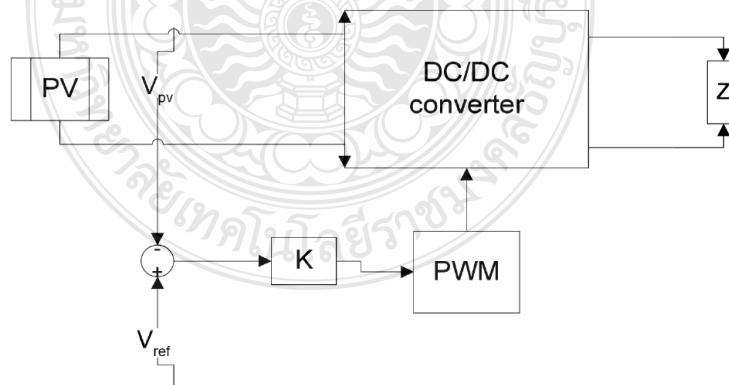
รูปที่ 2.36 แผนผังวิธีอุณหภูมิ (Temperature (T) Method)

#### 2.4.2.5 วิธีเปิดแรงดัน (Open Voltage (OV) Method)

อัลกอริทึมนี้ขึ้นจะอยู่กับการสังเกตว่าแรงดันไฟฟ้าของ MPP อยู่ใกล้กับเปอร์เซ็นต์ตั้งที่ของแรงดันไฟฟ้าของวงจรเปิดหรือไม่ โดย ตำแหน่งของจุดรับพลังงานสูงสุดจะถูกปรับตามอุณหภูมิและระดับความร้อนภายในแถบความคลาดเคลื่อน 2% โดยที่เทคนิคอัลกอริทึมนี้แรงดันไฟฟ้าเปิดจะเลือกค่าความต่างศักย์ของวงจรเปิด (76%) ของวงจรเปิดแรงดันไฟฟ้า ( $V_{oc}$ ) ที่เหมาะสมที่สุดของแรงดัน ( $V_{op}$ ) ในขณะที่สามารถรับกำลังไฟสูงสุดได้ ตัวควบคุม MPPT นี้ต้องการสวิตช์แบบสถิตที่จะวางอนุกรมไว้ในชุดพร้อมอาร์เรย์ เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรเปิดได้ตามความต้องการ ในขณะที่การวัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นศูนย์ ( $I_{pv} = 0$ ) ดังนั้น จะไม่มีการจ่ายพลังงานจากโหลดและในช่วงขณะพลังงานที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์สูญหาย

#### 2.4.2.6 วิธีป้อนกลับ แรงดันหรือกระแส (Feedback Voltage (Current) Method)

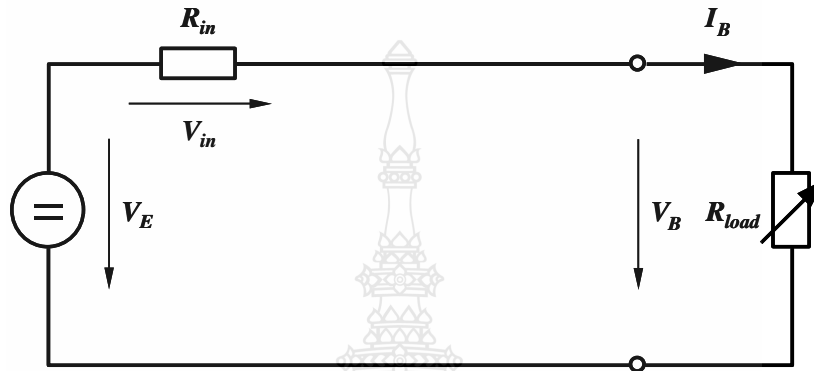
แรงดันป้อนกลับ (หรือกระแส) ได้ถูกนำไปใช้เพื่อต่อแรงดันไฟฟ้าของบัสในระดับคงที่มันทำงานตามที่แสดงดังรูปที่ 2.35 โดยการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า PV กับแรงดันไฟฟ้าคงที่และการปรับรอบหน้าที่ (Duty) ของตัวแปลงเพื่อดำเนินการอาร์เรย์ PV ที่ จุดใกล้กับ MPP วิธีนี้ใช้ต้นทุนต่ำและเรียบง่ายในการประมวลผลและใช้การควบคุมแบบเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตามจะไม่พิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการฉายรังสี



รูปที่ 2.37 วิธีป้อนกลับ แรงดันหรือกระแส (Feedback Voltage (Current) Method)

## 2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นของแบตเตอรี่ที่ต่อกับวงจร

ในการศึกษาคุณสมบัติของแบตเตอรี่มีแบบจำลองหลายแบบที่ต้องพิจารณา ในที่นี้จะกล่าวเพียงบางส่วนที่เกี่ยวข้องเท่านั้น วงจรพื้นฐานของแบตเตอรี่ที่ต่อกับวงจรจำลองโดยแหล่งจ่ายแรงดัน ( $V_E$ ) ต่อกับอนุกรมกับตัวต้านทาน ( $R_{in}$ ) ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.38 วงจรสมมูลพื้นฐานของแบตเตอรี่ที่ต่อกับวงจร

เนื่องจากความต้านทานภายใน ( $R_{in}$ ) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าแบตเตอรี่ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ ( $V_B$ ) จะแตกต่างจากแรงดันที่วัดที่ขั้วภายใน ( $V_E$ ) แต่ในขณะที่เปิดวงจรจะมีค่าเท่ากัน ( $V_B = V_E$ ) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลจากแบตเตอรี่แรงดันที่ขั้ว ( $V_B$ ) จะต่ำกว่า ( $V_E$ )

$$V_B = V_E - V_{in}$$

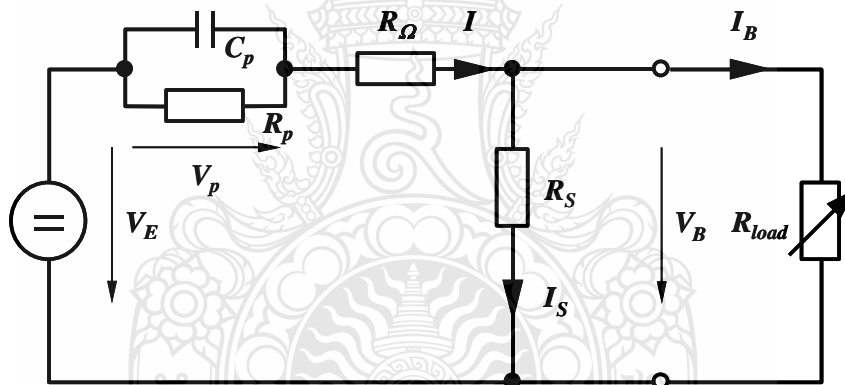
$$V_B = V_E - R_{in} \cdot I_B$$

(2.17)

เมื่อ	$V_B$	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว [V]
	$V_E$	=	แรงดันไฟฟ้าประจุ [V]
	$V_{in}$	=	แรงดันตกคร่อมภายใน [V]
	$R_{in}$	=	ความต้านทานภายใน [ $\Omega$ ]
	$I_B$	=	กระแสแบตเตอรี่ [A]

จากสมการจะเห็นว่ากระแสคายประจุที่กระแสสูงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลงเร็วด้วย เพราะฉะนั้นการที่จะกำหนดระดับกำลังของแบตเตอรี่ (State of Charge, SOC) จะต้องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสด้วย

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นที่จะต้องทราบสถานะภาพการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อการใช้งานที่ยาวนาน รูปที่ 2.37 แสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ที่เกิดกระบวนการไดนามิกและกึ่งสถิต (dynamic, quasi-static) พิจารณากระบวนการไดนามิก กำหนดโดยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น กระบวนการแพร่ของไอออนในอิเล็กโทรไลต์ จึงเกิดเป็นแรงดันโพลาไรเซชัน ( $V_p$ ) ความต้านทานภายในในกริดและอิเล็กโทรไลต์แทนด้วย  $R_\Omega$  และช่วงการเป็นกระบวนการ quasi-static ตัวเก็บประจุ  $C_p$  จะหายไปจึงเหลือเพียงความต้านทาน  $R_p$  ซึ่งแบบจำลองนี้เรียกว่า Shepherd model ซึ่งใช้กันอย่างแพร่พ่นทั่วโลก



รูปที่ 2.39 วงจรของแบตเตอรี่เกี่ยวกับกระบวนการ dynamic และ quasi-static

การสูญเสียเพิ่มเติมในแบตเตอรี่คือ การคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) ซึ่งแสดงโดยความต้านทาน  $R_S$  ซึ่งค่านี้ควรจะมีค่าสูงๆ เพื่อลดการคายประจุด้วยตัวเอง โดยเฉพาะแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้ามีค่าที่ไม่สูงมากพอจะทำให้เกิดการคายประจุด้วยตัวเองสูญเสียพลังงานได้

$$I_B = I - I_S \quad (2.18)$$



เมื่อ  $I$  คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)

$I_s$  คือ กระแสคายประจุด้วยตัวเอง (A)

อย่างที่ทราบแล้วว่าปกติ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะมีค่า 2V ถ้าแบตเตอรี่ 12 V ก็จะต่อเซลล์อนุกรมกัน 6 เซลล์ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_E \approx V_K + \text{acid concentration [g/cm}^3\text{]} \quad (2.19)$$

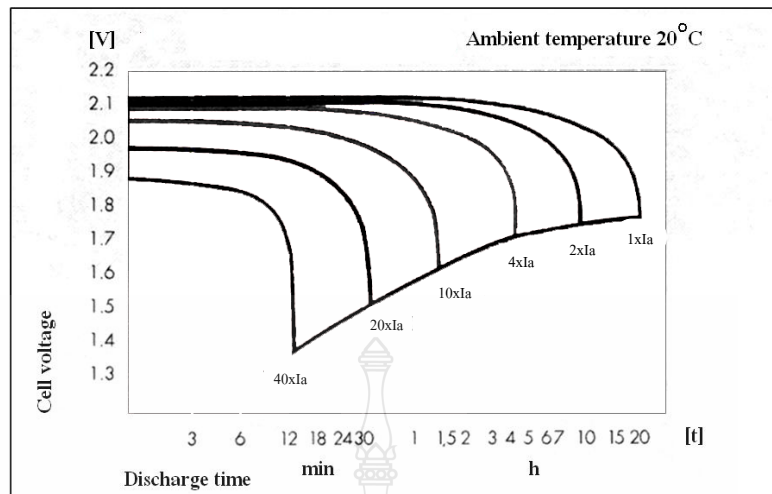
เมื่อ  $V_E$  = แรงดันแบตเตอรี่ตะกั่วกรด [V]

$V_K$  = 0.84...0.88 (ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่)

สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ความเข้มข้นจะเท่ากับ  $1.28 \text{ g/cm}^3$  และยกตัวอย่าง Tudor batteries มีค่า  $V_K = 0.84$  ดังนั้น  $V_E \approx 0.84 + 1.28 = 2.12 \text{ V}$

ในกรณีของการคายประจุ ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกำหนดโดย Discharge Voltage Threshold การตกถึงระดับนี้จะเรียกว่า Deep Discharge ซึ่งแบตเตอรี่จะได้รับความเสียหายได้ถ้าปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายไฟระดับนี้นานๆ การชาร์จไม่สามารถทำได้อีก ผลก็คือแบตเตอรี่จะเสียส่วนเก็บประจุไปนั่นเอง

ผู้ใช้งานจะป้องกันโดย Deep Discharge Protection (DDP) ข้อมูลนี้เป็นพื้นฐานที่สามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.38 ซึ่งจะต้องไม่ให้ลดลงเกินค่า Discharge Voltage Threshold นี้



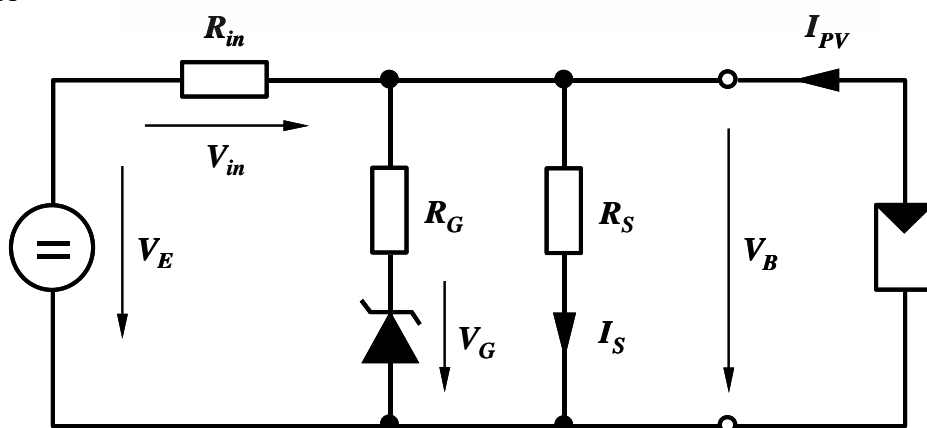
รูปที่ 2.40 ตัวอย่างกราฟ Discharge characteristic curves ของแบตเตอรี่ 2 V

จากรูปที่ 2.38 จะเห็นว่าค่าที่เป็นแรงดันจำกัดจะขึ้นอยู่กับกระแสคายประจุด้วย ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ค่าที่จำกัดไว้ ประมาณ 1.9 V ต่อเซลล์ก็พอเหมาะ และถ้ามีการ Deep Discharge ต้องทำการชาร์จแบตเตอรี่ทันทีที่ที่แรงดันสูงกว่าปกติ จะอยู่ประมาณ 2.0-2.4 V ต่อเซลล์ เพื่อให้แบตเตอรี่คืนสภาพ

### 2.5.1 การเกิด Gassing

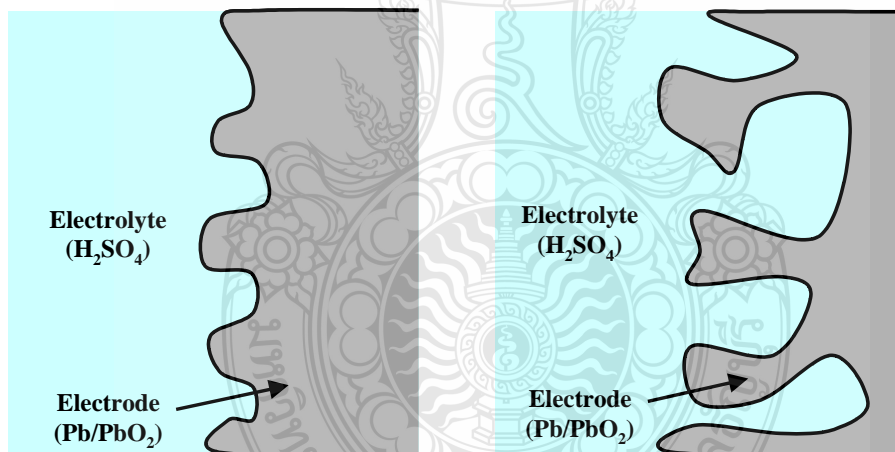
ถ้าที่แรงดันขั้วแบตเตอรี่ 2.3 -2.4 V จะเกิด Gassing คือการที่มีก๊าซเกิดขึ้นที่ขั้วของแบตเตอรี่ โดยน้ำถูกแยกไฮโดรเจนกับออกซิเจนออกจากกันซึ่งแบตเตอรี่สามารถระเบิดได้ถ้าไม่มีรูระบายก๊าซของแบตเตอรี่ ซึ่งการเกิด Gassing นี้ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ ซึ่งต้องตรวจเช็คและทำการบำรุงรักษาเป็นประจำ การเกิด Gassing นี้เป็นที่ไม่ต้องการของแบตเตอรี่เพราะจะทำให้แบตเตอรี่สูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานนั่นเอง หลังจากการเกิด Gassing แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเกือบคงที่ แต่จะมีกระแสไหลซึ่งเป็นการสูญเสีย แทนได้ด้วยซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน  $R_G$  ดังรูปที่

2.41



### รูปที่ 2.41 การเกิด Gassing

จากรูปที่ 2.41 ซีเนอร์ไดโอดจะไม่นำกระแสจนกระทั่งเกิดการชาร์จเกินแรงดันของมัน โดยจะมีแรงดันคงที่แต่จะยอมให้กระแสชาร์จผ่านซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียไปใน  $R_G$  เป็นความร้อนนั่นเอง ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนและระเบิดได้ ซึ่งเพื่อแก้ปัญหานี้ผู้ผลิตจะบอกค่า maximum charge voltage มาในข้อมูลของแบตเตอรี่ ซึ่งจะอยู่ประมาณ 2.3-2.4V/เซลล์ (ที่ 20 °C) อย่างที่กล่าวมาแล้ว การชาร์จที่แรงดัน Gassing ชั่วคราวก็จำเป็นสำหรับแบตเตอรี่เพื่อปรับค่าความเข้มข้นของกรดในแต่ละเซลล์เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งาน Deep Discharge ในปัจจุบันแบตเตอรี่มีมากมายในท้องตลาด ส่วนมากเป็น Starter Battery ความแตกต่างระหว่าง Solar Battery กับ Starter Battery คือในอิเล็กโทรไลต์ ไอออนที่ผิวของขั้วไฟฟ้าสามารถปฏิกิริยาได้โดยทันทีที่มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไหล รูปที่ 2.40 แสดงการเปรียบเทียบของโครงสร้างจากขั้วไฟฟ้าใน Solar Battery และ Starter Battery

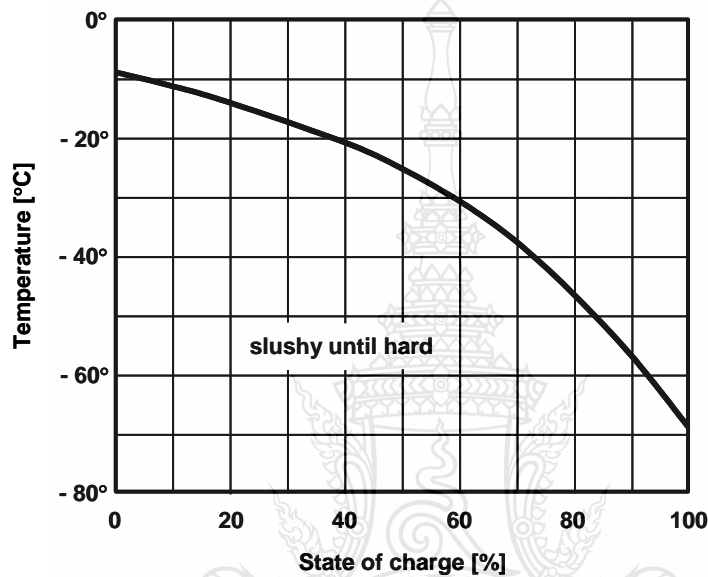


### รูปที่ 2.42 เปรียบเทียบผิวของขั้ว Solar Battery (ซ้าย) และ Starter Battery (ขวา)

ผิวที่มีรูพรุนจะดีสำหรับปฏิกิริยาที่กระแสสูงกว่า ด้วยเหตุนี้ Starter Battery สามารถให้กระแสสูงในเวลาอันสั้น ซึ่งเหมาะกับงานในระยะสั้น และเมื่อคายประจุแล้วก็จะสามารถอัดประจุจนเต็มอีกครั้งได้ในระยะเวลาสั้นด้วย

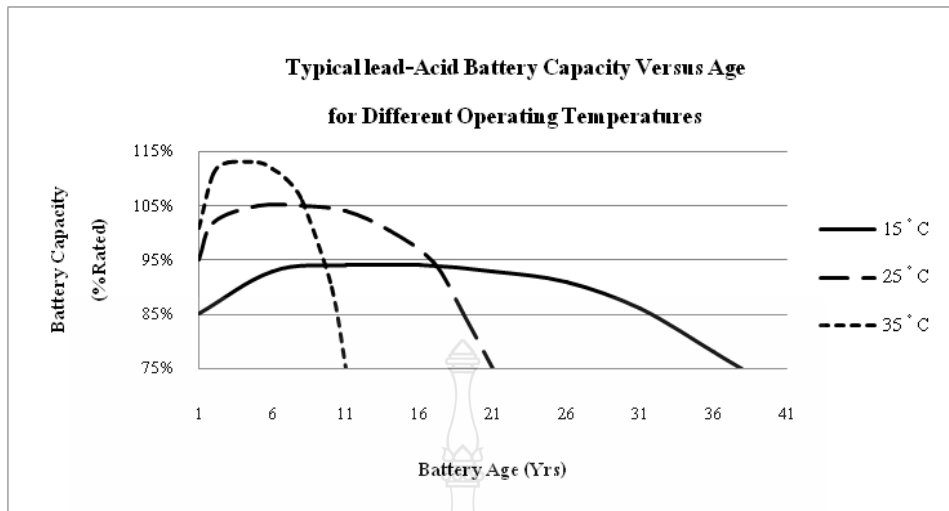
### 2.5.2 ผลของอุณหภูมิ

ในการนำแบตเตอรี่รีตะกั่วกรดไปใช้งานนั้นต้องพิจารณาที่อุณหภูมิด้วย เช่นการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ควรจะมีการป้องกันอุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์เพราะอุณหภูมิ มีผลต่อความสามารถในการชาร์จตามรูปที่ 2.41 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าอุณหภูมิต่ำมาก แบตเตอรี่รีตะกั่วกรดก็ไม่สามารถทำงานได้ แต่อย่างไรก็ดี SOC ของแบตเตอรี่รีตะกั่วกรดจะทำให้สามารถทนอุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.43 สภาวะแบตเตอรี่รีตะกั่วกรดกับอุณหภูมิต่ำ

อย่างที่ทราบแล้วว่าผลของอุณหภูมิต่ำสำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ และในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก็จะเป็นผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลทบวก เนื่องจากผลของการเกิด Gassing และการสูญเสียน้ำรูปที่ 2.43 แสดงผลของอุณหภูมิต่ำกับอายุการใช้งานแบตเตอรี่รีตะกั่วกรด

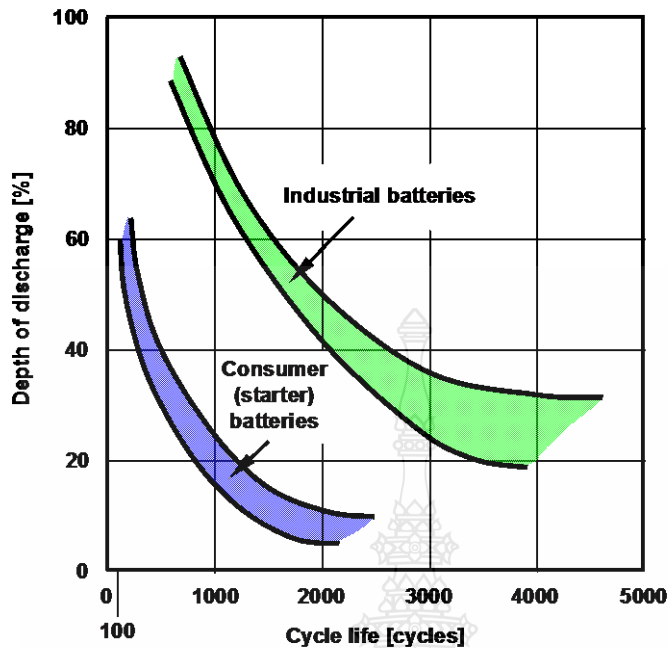


รูปที่ 2.44 แสดงผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานแบตเตอรี่

### 2.5.3 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานแบตเตอรี่จะก้าวรุดขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่และจำนวนครั้งในการประจุและคายประจุ นอกจากนี้อายุการใช้งานยังขึ้นอยู่กับการ Depth of Discharge (DOD) ของแบตเตอรี่ ตะกั่วกรดด้วย ถ้ามีการ DOD มากเท่าไรก็จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงมากขึ้น

จากรูปที่ 2.43 แสดงให้เห็นว่าการ DOD แบตเตอรี่มากๆ จะทำให้แบตเตอรี่อายุใช้งานสั้นลงจะเห็นว่าแบตเตอรี่ทั่วไป (Starter Battery) ถ้ามีการ DOD 60% จะทำให้มีอายุใช้งานเพียงประมาณ 100 รอบของการประจุและคายประจุเท่านั้นเอง แต่ถ้าใช้งาน DOD เพียง 20 % ของแบตเตอรี่สามารถที่จะมีอายุการใช้งานเป็น 1000 รอบของการประจุและคายประจุเลยทีเดียว แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ควรจะมีอายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า 1000 รอบของการประจุและคายประจุและควรจะรักษาระดับความจุที่ 50 - 60 % ของ DOD นั้นเอง



รูปที่ 2.45 Cycle life และ deep of discharge

### 2.5.4 คำนิยามของแบตเตอรี่

สิ่งที่สำคัญในการเลือกแบตเตอรี่คือความจุแบตเตอรี่ ปกติจะบอกเป็นค่า Ah (Ampere-hours) จะแสดงช่วงเวลาของกระแสจากการอัดประจุจนกระทั่งคายประจุ นั่นคือจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ตกถึงระดับ discharge voltage threshold ในปัจจุบันมีการบอกความจุของแบตเตอรี่ในการปล่อยพลังงานคือ Wh (Watt-hours) หรือ kWh (Kilo-Watt-hours) อย่างไรก็ตามผลของความจุแบตเตอรี่มีความหมายเหมือนกันเพราะว่าเกี่ยวข้องกันทางแรงดันแบตเตอรี่ นั่นคือ  $Ah \cdot V = Wh$  ข้อมูลความจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานทั่วไป เช่น Rated of Charge/Discharge Current ( $I_{10}$ ) คือค่ากำหนดที่  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ที่กระแสที่แบตเตอรี่จะคายประจุอย่างสมบูรณ์ใน 10 ชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 AH หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมง ในทางปฏิบัติอาจจะมี  $I_{20}$  หรือ  $I_5$  เพิ่มเติมด้วย ในส่วนนี้จะกล่าวถึงค่านิยามของแบตเตอรี่ที่สำคัญเบื้องต้นด้วยดังนี้

1. Discharge Voltage Threshold หรือ Cut off Voltage เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆ กัน บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุคู่กับอัตราการคายประจุ

2. รอบการใช้งาน (Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย (Shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (Deep cycle) ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

3. การคายประจุ (Discharge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา กำหนดในรูปของกระแสการคายประจุหรืออัตราการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดคือปฏิกิริยาที่ตะกั่วตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟริก เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตและน้ำ

4. การประจุ (Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุหรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟริก

5. Negative (-) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

6. Positive (+) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูง ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

7. Open Circuit Voltage คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

8. คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากวิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ มีหลายลักษณะ วิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิด มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

- Bulk or Normal Charge เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดัน Gassing การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80-90% ของความจุทั้งหมด

- Float or Finishing Charge เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้ว หลังจากนั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

- Equalizing Charge บางครั้งเรียก refreshing charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสถานะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

#### 9. คุณสมบัติในสถานะการคายประจุ

- Depth of Discharge (DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไปเปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด มีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบายในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

ก. Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดัน maximum DOD แต่อย่างไรก็ตามค่า maximum DOD นี้สามารถกำหนดตามฤดูกาลได้ โดยขึ้นกับลักษณะพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

ข. Average Daily DOD เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วันโดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้า ปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งาน



- Stage of Charge (SOC) สถานะของการคายประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 %

10. การคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้งานจะมีการคายประจุในตัวเอง อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือน

## 2.6 แบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การเลือกแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นนอกจากความสามารถในการเก็บและจ่ายกำลังไฟฟ้าแล้วยังต้องคำนึงถึงการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ด้วย ปกติแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติขั้นต้นดังนี้

1. มีราคาต่อ kWh ที่อยู่ระหว่างอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่ำ
2. มีอายุการใช้งานที่ยาว
3. มีประสิทธิภาพสูง
4. มีการคายประจุด้วยตัวเองต่ำมาก
5. มีราคาในการบำรุงรักษาที่ต่ำ
6. การติดตั้งง่าย
7. มีพลังงานสูง

จากข้อกำหนดที่ต้องการแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นว่า มีข้อจำกัดของแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถที่จะครอบคลุมได้ตามข้อกำหนดดังกล่าวทั้งหมด ตารางที่ 2.1 แสดงแบตเตอรี่แต่ละประเภทที่สามารถจะเป็นข้อมูลในการเลือกใช้แบตเตอรี่ได้

ตารางที่ 2.1 ตารางการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละประเภท

Type	Cycle life until 80 % DOD	Investmen t cost [€/kWh]	Specific kWh cost [€/kWhΣ]	$\eta_i$ [%]	Self- discharge [%/month]	Temp. [°C]
Pb	500...1500	85...350	0.17...0.30	> 80	3...4	-15°...+50°
NiCd	1500...3500	650...1500	0.30...1.00	71	6...20	-40°...+45°
NiFe	3000	1000	0.33	55	40	0°+40°

ตามตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ตัวอย่างที่เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มี 3 ชนิด คือ

1. แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)
2. แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery)
3. นิกเกิล-แคดเมียม

นอกจากนี้การผลิตเพลทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดยังมีหลายแบบด้วยกัน

1. แบบที่เป็นตะกั่วธรรมดา เป็นแบบที่มีการคายประจุด้วยตัวเองต่ำแต่ต้องระมัดระวังเพราะตะกั่วจะอ่อน และเสียหายง่าย

2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริด ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้ในงานคายประจุมาก (Deep cycle) และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่อัตราการการประจุเกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุเกิน แบตเตอรี่

แบบตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็คความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

3. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิด Gassing ทำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25% DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง



รูปที่ 2.46 ตัวอย่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

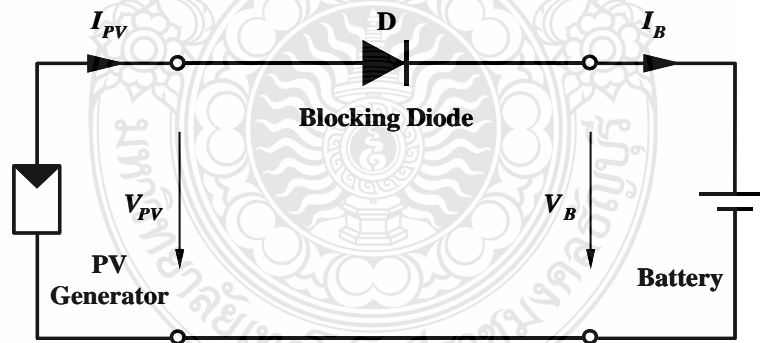
## 2.7 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตกระแส โดยตรงดังนั้นการต่อเข้ากับแบตเตอรี่โดยตรงก็  
จึงเป็นไปได้ ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.47 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงกับแบตเตอรี่

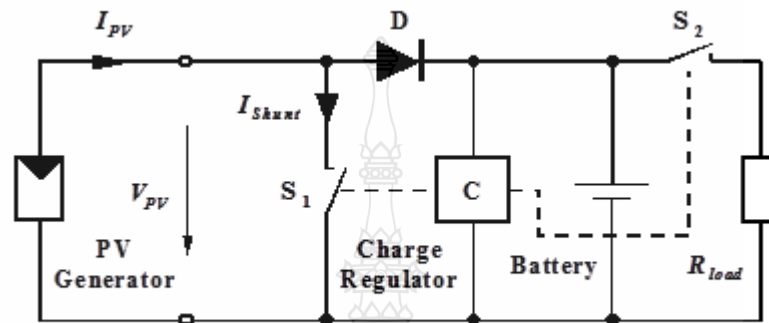
อย่างไรก็ตามในการต่อตรงนี้เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันต่ำกว่าแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ก็จะ  
ดิชาร์จกระแสกลับไปที่แผงโซลาร์เซลล์ จึงควรที่จะป้องกันด้วย Blocking Diode ดังรูปที่ 2.46 เราก็จะ  
ทำการชาร์จเก็บพลังงานไว้ใช้ได้



รูปที่ 2.48 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงกับแบตเตอรี่มี Blocking Diode

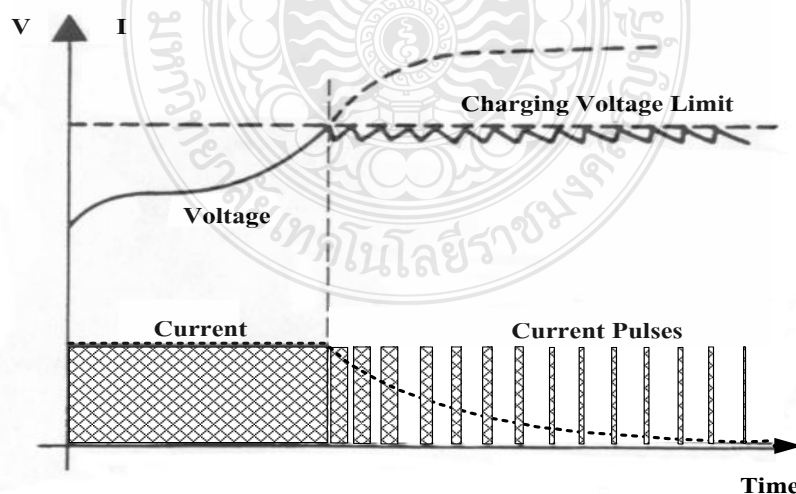
อย่างไรก็ดีการต่อตรงก็จะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียได้เพราะเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ทำงานที่จุด  
กำลังสูงสุด การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการมีเครื่องควบคุมการชาร์จที่เหมาะสม )Charge Regulator (  
หลักการพื้นฐานการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จคือทำการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มพิกัดโดย  
คำนึงถึงเรื่อง Overcharging หรือ Deep discharge ยิ่งไปกว่านั้นยังจะทำการชาร์จแบตเตอรี่โดย

อัตโนมัติ ตามรูปแบบต่างๆ เพื่อรักษาแบตเตอรี่ เช่น Gassing Charge, Floating Charge เป็นต้น ตัวอย่างเครื่องควบคุมการชาร์จ ดังรูปที่ 2.47 เป็นการทำงานที่จะป้องกันกระแสไหลย้อนกลับด้วย ไดโอด มีชุดควบคุมการทำงานที่ไม่ชาร์จแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่เต็ม  $S_1$  ( และป้องกันการ DOD ด้วย DDP ( $S_2$ ) ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ยาวนานขึ้น



รูปที่ 2.49 ตัวอย่างการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge Regulator)

ขณะที่ชาร์จแบตเตอรี่จะถึงค่าพิกัด การที่แบตเตอรี่จะถูกชาร์จจนเต็มจะต้องชาร์จด้วย แรงดันคงที่เป็นเวลานาน ด้วยการลดกระแสอย่างช้าๆ (I-V Charging) วิธีนี้จะสำเร็จได้โดยการ ควบคุมที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.50

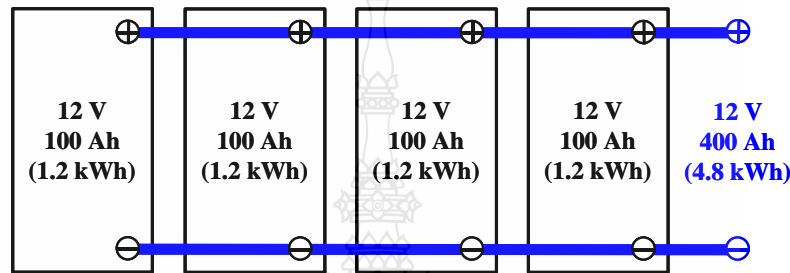


รูปที่ 2.50 ตัวอย่างการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ

### 2.7.1 การต่อแบตเตอรี่

ในทางปฏิบัติแล้วการนำแบตเตอรี่มาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีการต่อเพื่อที่จะให้ได้กำลังไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนด การต่อใช้งานดังนี้

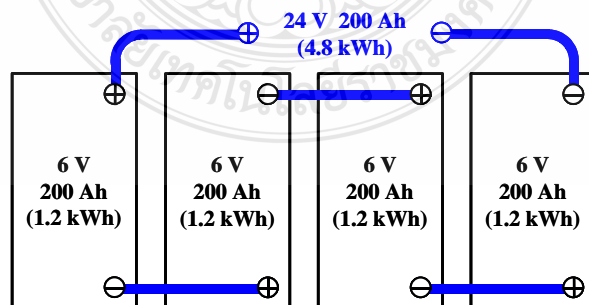
1) การต่อแบบขนาน แบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน เมื่อขั้วบวกทั้งหมดต่อร่วมกันและขั้วลบทั้งหมดต่อด้วยกัน แรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะเท่ากัน ดังรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

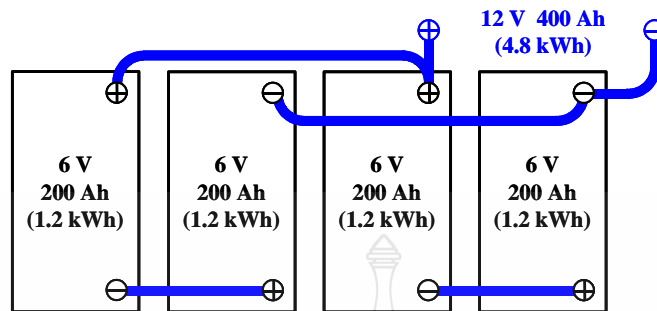
การต่อแบบขนานแบตเตอรี่ควรมีอัตราแรงดันเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่อัตราแรงดันสูงกว่าจะจ่ายกระแสให้กับตัวที่อัตราต่ำกว่าจะทำให้เกิดความเสียหายได้

2) การต่อแบบอนุกรม เมื่อแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันโดยขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของตัวถัดไป ในการต่อแบบอนุกรมความจุที่ได้จะเท่ากับแบตเตอรี่แบบเดี่ยว แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับผลรวมแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว ดังรูปที่ 2.52 ในการต่อแบบอนุกรมแบตเตอรี่ที่จะนำมาต่อควรมีความจุเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่ความจุน้อยจะเกิด Deep Discharge ได้ง่ายกว่าแบตเตอรี่ที่ความจุสูงกว่า



รูปที่ 2.52 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

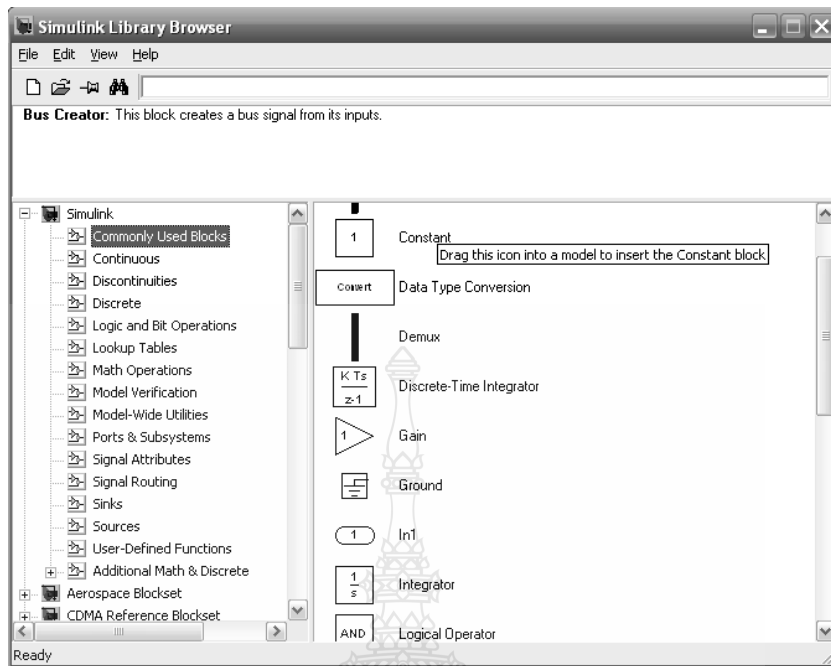
3) การต่อแบบผสม จะนำทั้ง 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกันทำให้แรงดันและความจุเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.53 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

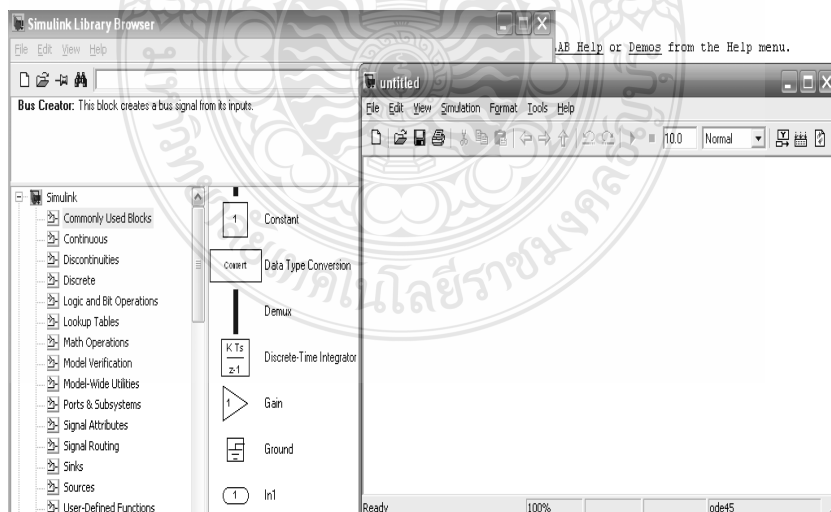
## 2.8 วิธีการใช้ MATLAB/Simulink

โปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นโปรแกรมในส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น การใช้งานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง การคำนวณในเชิงตัวแปรเพื่อแก้สมการ การใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์รูปแบบต่างๆ เป็นต้น ในส่วนของ Simulink นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้รูปแบบของ Block Diagram เป็นหลักทำให้มีความง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้นสำหรับองค์ประกอบของโปรแกรมนั้น จะสามารถสร้างแบบจำลองได้โดยใช้ Building Blocks ที่มีมาให้จาก Simulink Library Browser ดังรูปที่ 2.54



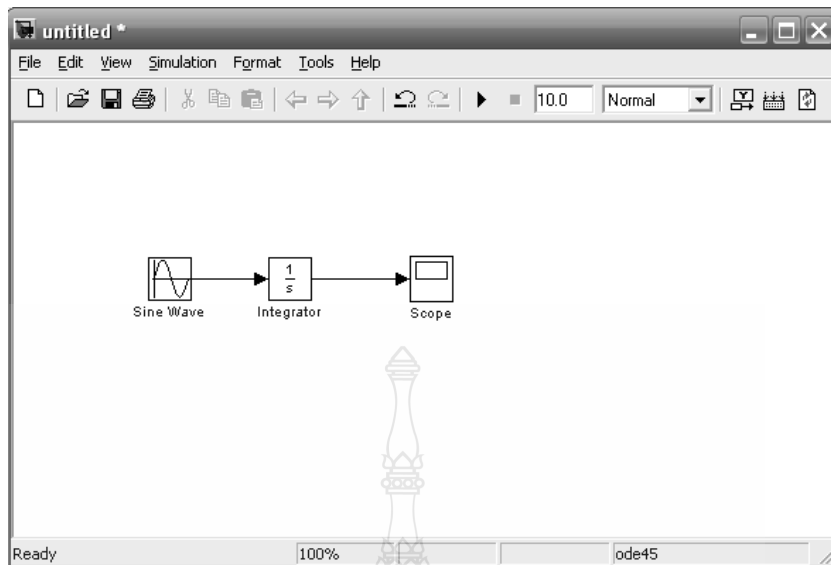
รูปที่ 2.54 Block Diagram พื้นฐานใน Simulink Library Browser

ในโปรแกรม Simulink นั้น การจำลองปัญหาอาศัยการสร้างแผนภูมิ (Simulation Diagram) เพื่อกำหนด การรับ และส่งผ่านสัญญาณ ข้อมูลจากblockหนึ่งจะถูกส่งผ่านไปอีกblockหนึ่งโดยจะผ่านเส้นเชื่อมต่อกัน โดยที่สามารถดูผลลัพธ์ของข้อมูล ได้หลายลักษณะทั้ง Oscilloscope หรือ Display โดยสามารถเลือกจากในส่วนของ Sink ดังรูปที่ 2.55 และ 2.56



รูปที่ 2.55 หน้าต่างสำหรับสร้างระบบจำลองของ Simulink

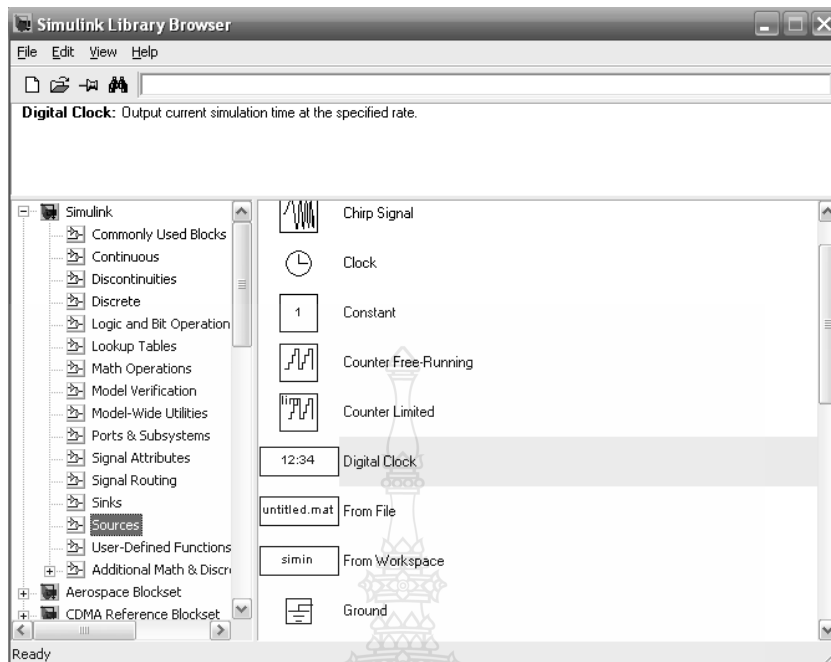




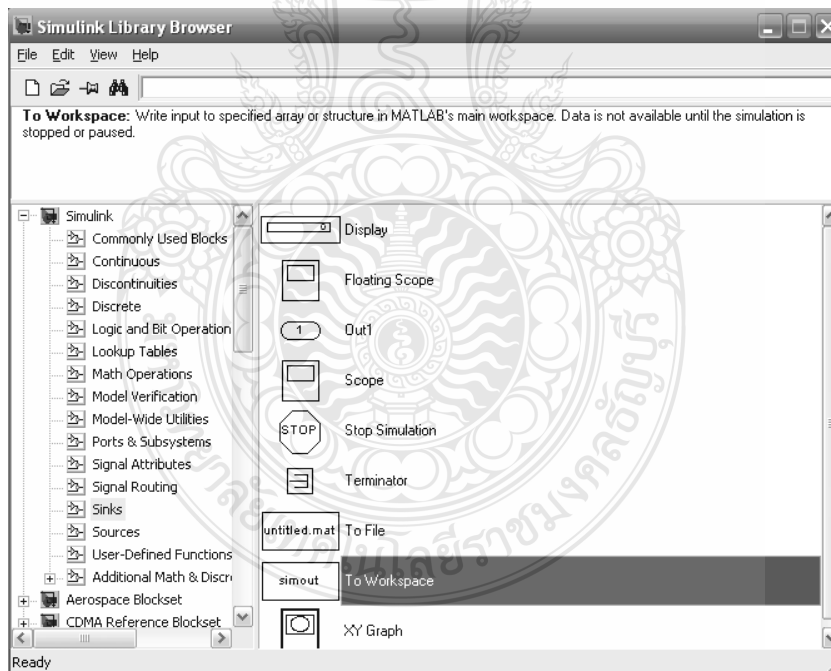
รูปที่ 2.56 การเชื่อมต่อระหว่าง Block ของ Simulink

### 2.8.1 กลุ่มของ Block พื้นฐานใน Simulink

2.8.1.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source) และแหล่งแสดงสัญญาณ (Sinks) กลุ่มของ Source ที่กำหนดมาให้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดข้อมูลหรือสัญญาณ เช่น แหล่งกำเนิดค่าคงที่ (Constant), แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) แหล่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (Sine Wave) หรือแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่มักใช้เพื่อจับเวลาการจำลองปัญหาเป็นต้น ดังรูปที่ 2.57 กลุ่มของ Sinks เป็นกลุ่มที่จะใช้สำหรับเก็บข้อมูล (To Workspace) และแสดงผลของการแก้ปัญหา (Scope Display) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.58

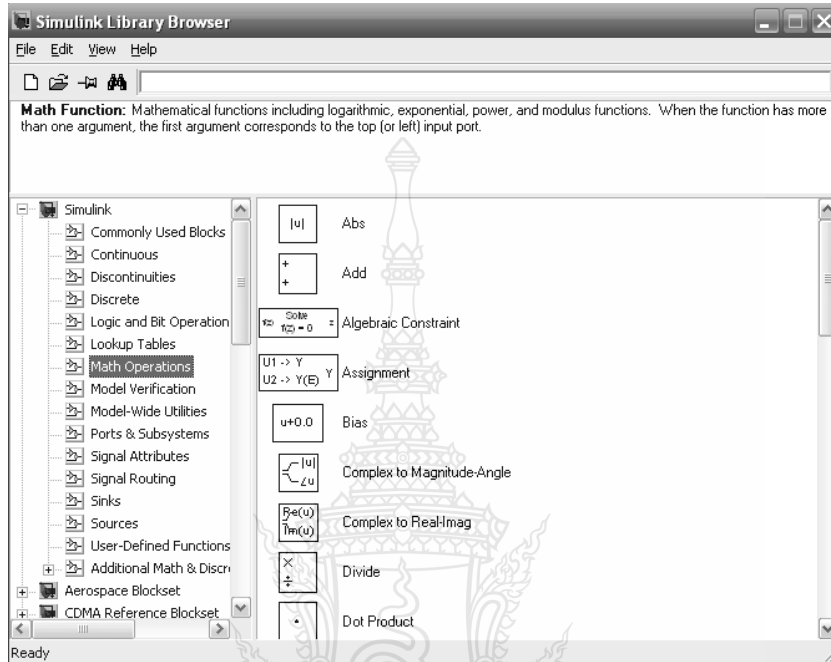


รูปที่ 2.57 กลุ่ม Block ของ Source



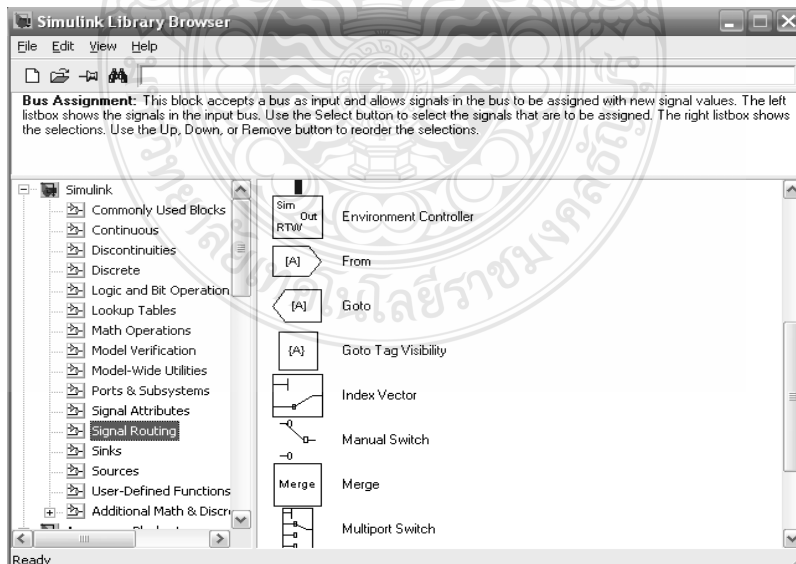
รูปที่ 2.58 กลุ่ม Block ของ Sinks

2.8.1.2 การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Math Operation) กลุ่ม Math Operation มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น การบวก (Add) ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ (Math Function) และการคูณตัวแปร (Gain) เป็นต้น



รูปที่ 2.59 กลุ่ม Block ของ Math Operations

### 2.8.1.3 ทางเดินสัญญาณ (Signal Routing)

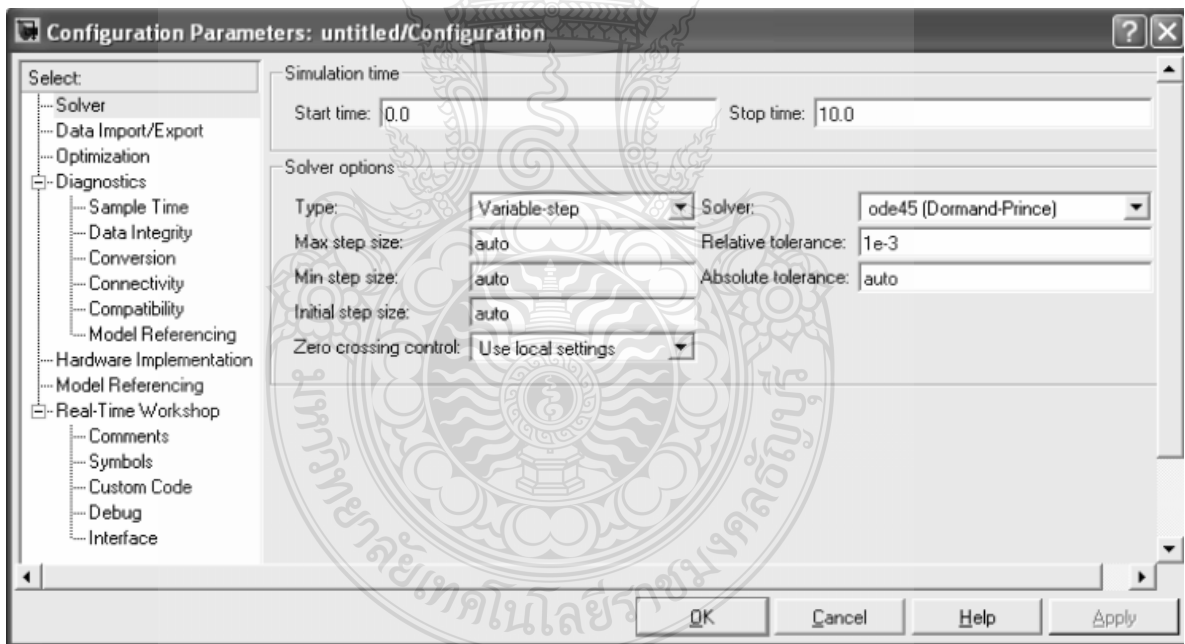


รูปที่ 2.60 กลุ่ม Block ของ Signal Routing

ในการจำลองระบบที่มีความซับซ้อน บางครั้งมีความจำเป็นต้องมีการรับส่งสัญญาณจากส่วนหนึ่งของระบบ ไปสู่อีกส่วนหนึ่งของระบบ ซึ่งการใช้เส้นเชื่อมอาจไม่สะดวกในการทำงาน ซึ่ง Block ในกลุ่มนี้เป็นประเภท GOTO, FROM และ Multiplexing จะทำให้แผนภูมิต้นไม้มีความเป็นระเบียบมากขึ้นดังรูปที่ 2.60

### 2.8.2 การกำหนดค่าคงที่ในการจำลองปัญหา (Parameters Configuration)

การจำลองปัญหาในคอมพิวเตอร์นั้น มีข้อสังเกตที่ต้องพึงระวัง คือระยะเวลาที่สนใจในการจำลองปัญหากับระยะเวลาในการจำลองปัญหา เช่นคอมพิวเตอร์อาจใช้ระยะเวลาในการจำลองการตอบสนองในช่วง 10 นาที ของระบบที่สนใจเพียง 1 วินาที ทำให้ระยะเวลาที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่สนใจไม่ตรงกัน ในการจำลองปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ Step Size มีค่าไม่คงที่ (Variable Step Size) ค่า Step Size ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดสามารถกำหนดได้ อย่างไรก็ตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ Step Size มีค่าคงที่ (Fixed Step Size) เป็นวิธีที่มักจะนิยมใช้ในการจำลองปัญหา เนื่องจากสามารถระบุช่วงเวลาหรือจุดของเวลาที่สนใจได้อย่างแม่นยำ ดังรูปที่ 2.61



รูปที่ 2.61 หน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าคงที่ในการจำลองปัญหา

## 2.9 บอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นบอร์ดที่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB จะทำงานร่วมกับ โปรแกรม Matlab โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดของ Arduino Atmega 328 เป็นอุปกรณ์ประเมินผลในการควบคุม และใช้ Accelerometre พร้อมกับ Gyroscope ซึ่งรวมอยู่ในโมดูลเดียวกันมาเป็นตัวช่วยในการวัดหาค่า ส่วนทางตัวควบคุมในการลดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) โดยปรับค่า PID จากคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมเพื่อให้รักษาสมดุลตัวเอง



รูปที่ 2.62 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4

คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4

1. ความเร็วในการประมวลผล 120 MIPS
2. 192 kBytes
3. สามารถบันทึกข้อมูลลงในบอร์ด
4. แรงดันใช้งานหลักของบอร์ด 5 โวลต์
5. บนชิพมีเซนเซอร์อุณหภูมิ
6. ช่องเอนกประสงค์ 4 ช่อง 16 บิต และ 4 ช่องสำหรับ IC/OC/PWM
7. 2 ช่อง ตัวนับการควบคุมขั้นสูง 16 bit
8. 2 ช่อง 12 bit สำหรับ DAC
9. เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ด้วย USB 2.0

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์(PV Systems) จะใช้ในระบบที่มีความต้องการไม่ตรงกับช่วงที่ผลิตพลังงานได้ การเก็บพลังงานจึงนำมาใช้ในช่วงที่แสงไม่เพียงพอ หรือตอนกลางคืน ซึ่งเรายังมีความเข้าใจน้อยมากเกี่ยวกับการชาร์จประจุแบตเตอรี่ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงนำไปสู่การวิจัยและออกแบบตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าง่ายๆ โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในลำดับต่อไปนี้

ปรเมษฐ์ จิตเจนการ,สุรินทร์ คำฝอย,ประภาส ไพรสุวรรณ [2] ได้ทำการวิจัยเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับการใช้งานระบบสำรองพลังงานในโครงข่ายอัจฉริยะ โดยเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสามารถให้พลังงานไฟฟ้าไหลได้สองทิศทางกล่าวคือเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สามารถอัดประจุให้แก่พาหนะพลังงานไฟฟ้า โดยใช้หลักการการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ และเครื่องอัดประจุสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ออกมาจ่ายภาระทางไฟฟ้าแบบอิสระ โดยสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 220 V มีความถี่เท่ากับ 50 Hz โปรแกรม PSIM 9.0.3 ได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการทำงานของเครื่องอัดประจุ นอกจากนี้ได้จัดสร้างเครื่องอัดประจุต้นแบบขนาด 1 KW ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ตามค่าที่กำหนด และสามารถทำงานแบบจ่ายกลับ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

ปริตกร จิรสิทธิ์,ปิยะนัฐ ตาทอง,พงศธร ชูสุน,พุกษาพันธ์ุ มานวกุล,วรชาติ แซ่ก๊ก [3] บทความนี้นำเสนอเครื่องทดสอบแบตเตอรี่อัจฉริยะ โดยเครื่องต้นแบบดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการทดสอบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดด้วยวิธีการคายประจุเครื่องต้นแบบดังกล่าวอาศัยคอนเวอเตอร์ ไฟตรง/ไฟตรง แบบฟูลบริดจ์เป็นวงจรกำลังโดยจะถูกควบคุมให้กระแสขาเข้าของคอนเวอเตอร์ หรือกระแสขาออกจากแบตเตอรี่นั้นมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ ข้อมูลของกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่จะถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและคำนวณประสิทธิภาพแบตเตอรี่โดยอาศัยการส่งข้อมูลไร้สายแบบบลูทูธในบทความนี้เครื่องต้นแบบจะถูกจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และอัลกอริทึมที่ได้ไปใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบและทำการทดสอบจริงโดยผลที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ซึ่งจากผลการทดสอบแบตเตอรี่แสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครื่องทดสอบต้นแบบสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้กับการทดสอบแบตเตอรี่ได้และสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานจริงได้

Liuchen, Chang [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงการชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการปรับปรุงวงจรของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ใหม่และทดสอบการชาร์จประจุของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นก็นำมาทำการเปรียบเทียบกับการชาร์จแบบเก่าและแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบกัน โดยการปรับปรุงวงจรพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการใส่คาปาซิเตอร์และวงจร step-up DC choppers จากนั้นก็ทำการทดสอบ วัดค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ปรากฏว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 20%

Lamaison, R. M. Bordonau, J. Esquivel, A. Peracaula, J [5] ได้ทำการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์และออกแบบการชาร์จแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้ DC/DC Converter เป็นแหล่งพลังงานในการจ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่ และมี Half bridge inverter เป็นอุปกรณ์รับพลังงานจาก 2 แหล่งจ่ายในระบบแสงอาทิตย์ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ DC/DC Converter ขนาด 100 W/250 kHz เพื่อดูการชาร์จประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 v. ปรากฏว่า แบตเตอรี่ที่ได้รับการชาร์จประจุโดย DC/DC Resonant converter สามารถทำให้แบตเตอรี่มีค่า EMJ ต่ำ, Power density สูง และประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่สูงถึง 84%

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาค้นคว้าทำให้พบว่าปัญหาสำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดคือ อายุการใช้งานสั้น ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง อาจเนื่องมาจากการชาร์จประจุที่ไม่ถูกต้องและการใช้งานที่ไม่เหมาะสม จึงมีความสนใจศึกษาการศึกษาออกแบบชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน มีประสิทธิภาพ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็น การศึกษาการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการออกแบบวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและ กระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า ร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) ที่ใช้ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ในงานวิจัยนี้จะนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีขนาด 12 โวลต์ 12 แอมป์/ชั่วโมง ซึ่งกระแสในการประจุแบตเตอรี่สูงสุด 2 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 24 วัตต์ คิดเป็น 60% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดไม่ต่ำกว่า 40 วัตต์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบและดำเนินการในการวิจัยประกอบด้วย การจำลองระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Stand-alone System โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และ สร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าจริง เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุมประจุ เปรียบเทียบกับแบบจำลอง โดยส่วนของแบบจำลองนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1.เซลล์แสงอาทิตย์ 2.ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า 3.แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานทั้งในส่วนของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์, หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์, ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์, หลักการทำงานและการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์, การใช้งานโปรแกรม MATLAB/Simulink

ขั้นตอนที่ 2 : ศึกษาการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่อการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่จากนั้นใช้แบบจำลองดังกล่าวพัฒนาเป็นประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่



ขั้นตอนที่ 3 : ออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ของแบบจำลองมาเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ในวงจรชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 : เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

ขั้นตอนที่ 5 : สร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการทดสอบประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

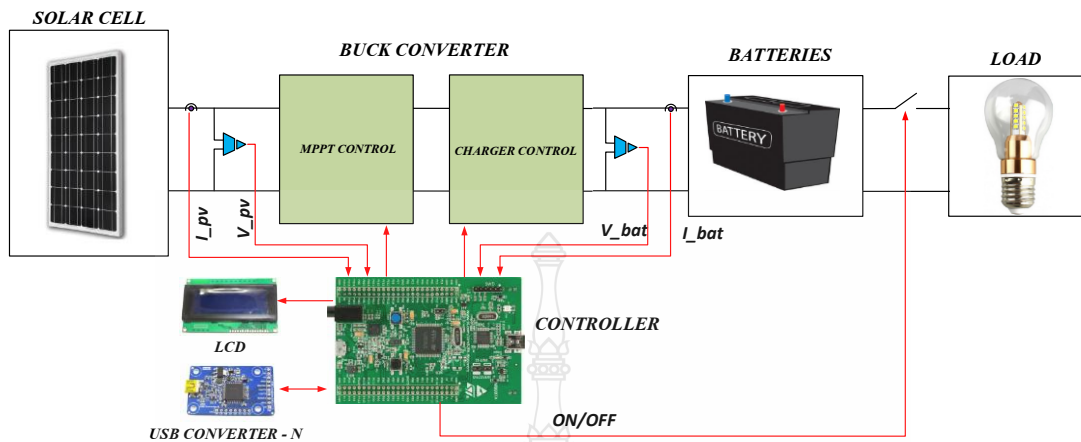
ขั้นตอนที่ 6 : เปรียบเทียบและประเมินผลการทำงานของงานวิจัยกับแบบจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 7 : วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

**ตารางที่ 3.1** ระยะเวลาทำวิจัย 12 เดือน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาดำเนินงาน

การดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์												
2. ศึกษาการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์												
3. ออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์												
4. เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink												
5. สร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์												
6. เปรียบเทียบและประเมินผลการทำงานของงานวิจัย												
7. วิเคราะห์และสรุป												

### 3.2 หลักการและแนวคิด



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของ ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงภาพรวมของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอธิบายการทำงานของส่วนต่างได้ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ SUNSET รุ่น PX 50E ชนิดผลึกรวมขนาด 50 วัตต์ มีแรงดันไฟฟ้าขาออกอยู่ระหว่าง 21.1-17.2 โวลต์ ซึ่งมีหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า
2. วงจรคอนเวอร์เตอร์ ( Converter Circuit) มีหน้าที่ในการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ โดยระบบการตัดต่อประจุที่เข้าแบตเตอรี่จะใช้ บอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY) ในการตัดต่อประจุที่วงจรคอนเวอร์เตอร์และระบบการติดตามหาค่าลิ่งไฟฟ้าสูงสุด
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ วงจรคอนเวอร์เตอร์ , วงจรขับเคลื่อน ( Gate Drive) การตัดต่อโหลดและตัดต่อประจุแบตเตอรี่รวมถึงการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(MPPT)โดยมีวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) และตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ที่เซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการประมวลผล
4. จอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด ใช้ไฟ 5 โวลต์ พร้อมไฟ back light สีฟ้า เชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม ทำหน้าที่แสดงสถานะต่าง เช่น SOC% , MODE CHARE อื่นๆ

5. USB CONVERTER – N ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อปรับเปลี่ยนค่าต่างๆให้กับบอร์ดควบคุม และแสดงผลของสัญญาณอนาล็อกแบบ Real Time

6. แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 แอมป์/ชั่วโมง ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้ แก่โหลดกระแสตรง

### 3.3 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ เป็น SUNSET รุ่น PX 50E ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) แผงละ 50 W (ที่ปริมาณความเข้มแสง  $1000 \text{ W/m}^2$  และ อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$ ) มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าดังตารางที่ 3.2 จากตารางคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแรงดันที่ให้ กำลังไฟฟ้าสูงสุด(Maximum Power Voltage) คือ 21.1 V และค่ากระแสที่ให้ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Current) คือ 2.9 A ซึ่งในสภาวะการทำงานจริงความเข้มแสงและอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งค่าต่างๆปรากฏดังตารางที่ 3.2

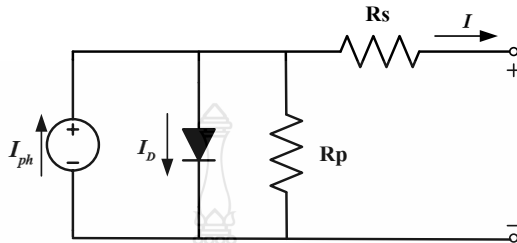
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของ SUNSET รุ่น PX 50E

SUNSET รุ่น PX 50E Specifications ( $1000\text{W/m}^2$ , $25^\circ\text{C}$ )	
Characteristics	SPEC
Typical peak power (Pmax)	50 W
Voltage at peak power (Vmp)	17.2 V
Current at peak power (Imp)	2.9 A
Short-circuit current (Isc)	3.3 A
Open-circuit voltage (Voc)	21.1 V
Nominal Operating Cell Temp (Noct)	-45 to 85 C

#### 3.3.1 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Simple PV Model

การออกแบบและการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ (Simple PV Model) นั้นสร้าง ขึ้นจากสมการทางคณิตศาสตร์พื้นฐานที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB R2007a เนื่องจากโปรแกรมนี้มีความสามารถในการตอบสนองความต้องการทางด้านกรจำลองระบบได้ดี สามารถเลือกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น M-File ,Simulink และGUI เป็นต้น อีกทั้งโปรแกรม MATLAB/ Simulink ยังสามารถเชื่อมต่อกับบอร์ด

ควบคุม ผ่าน USB CONVERTER – N เพื่อแสดงผลของสัญญาณอนาล็อกแบบ Real Time วิธีการจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้โดย การนำสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยสมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจำลอง

จากวงจรสมมูล สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

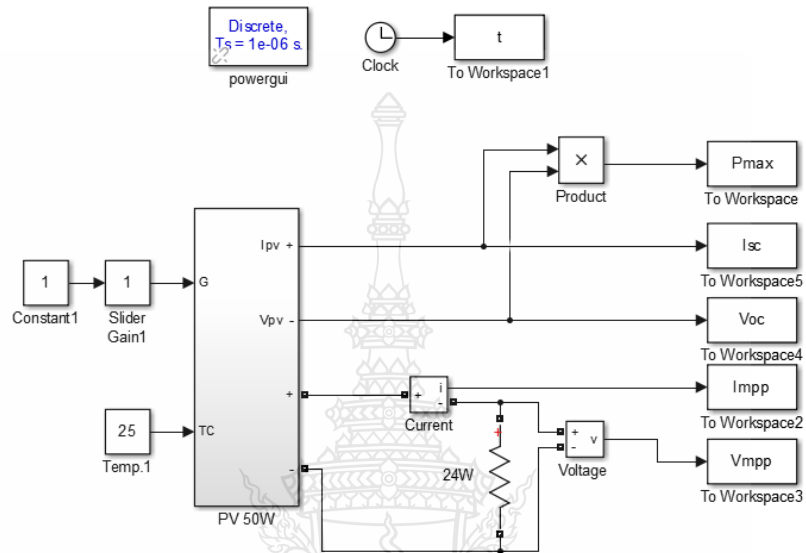
$$I = I_{ph} - I_o \times \left( e^{\frac{q \times (V + I \times R_s)}{n \times k \times T}} - 1 \right) - \frac{V + I \times R_s}{R_p} \quad (3.1)$$

ในสภาวะลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสจะไหลผ่าน ไดโอดน้อยมากจนไม่มีผลต่อการคำนวณที่สภาวะลัดวงจร แต่เนื่องจากกระแสโฟโต้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง ซึ่งสามารถเขียนสมการ

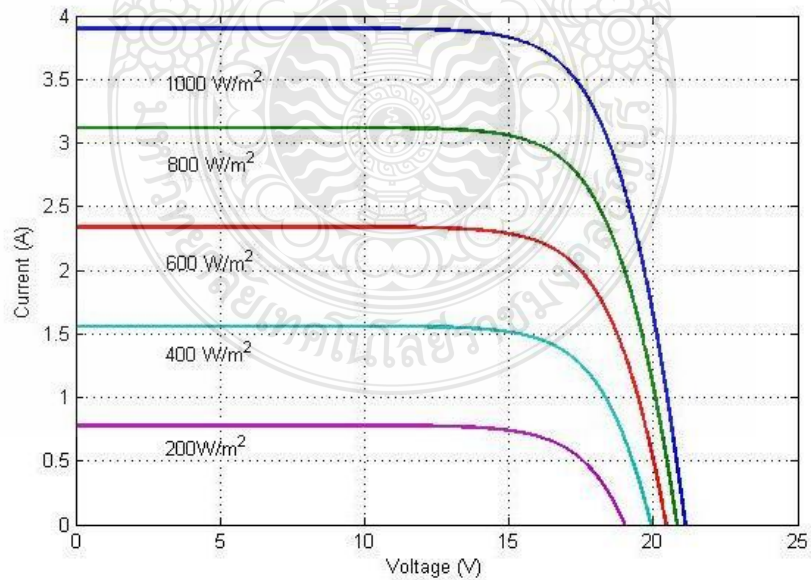
$$I_{ph}(G_a, T) = I_{scs} \frac{G_a}{G_{as}} [1 + \Delta I_{sc}(T - T_s)] \quad (3.2)$$

ในการออกแบบสร้างแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมี 5 ตัวแปรหลักคือ กระแสที่สร้างขึ้นจากแสง ( $I_{ph}$ ) ผลของไดโอดได้แก่ค่า Ideal factor มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ขึ้นอยู่กับ การผลิตโครงสร้างของเซลล์และค่ากระแสไบอัสอิมิตซ์ย้อนกลับ ตามลำดับ (N&I) ,ค่าความต้านทานของซิลิคอนที่เรียงกันเป็นชั้นรวมกับความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังจุดต่อกับขั้วภายนอก ( $R_s$ )และการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าเนื่องจากรอยต่อ P-N junction ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการลัดวงจรบางส่วนโดยเฉพาะใกล้กับขอบของเซลล์ ( $R_{sh}$ ) สำหรับโปรแกรม MATLAB /Simulink ที่เลือกใช้ในการสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการข้างต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของทั้ง 5 ตัวแปรนั้น แสดงดังภาพที่ 3.3 ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสง , อุณหภูมิ , แรงดันและกระแสขาออก ,ค่าความต้านทานอนุกรม ,ค่าความ

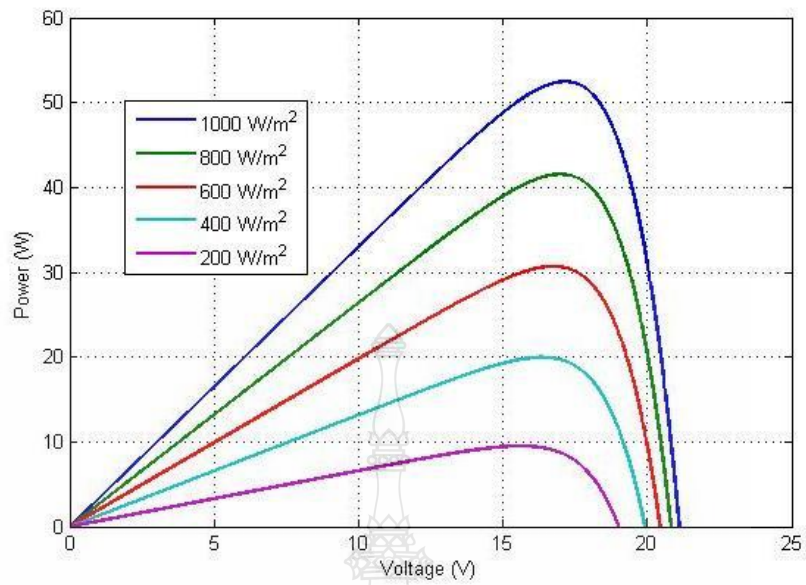
ด้านทานขนานและผลของไดโอดได้ เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบเมื่อค่าต่างๆเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างไร ส่งผลให้มีความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น



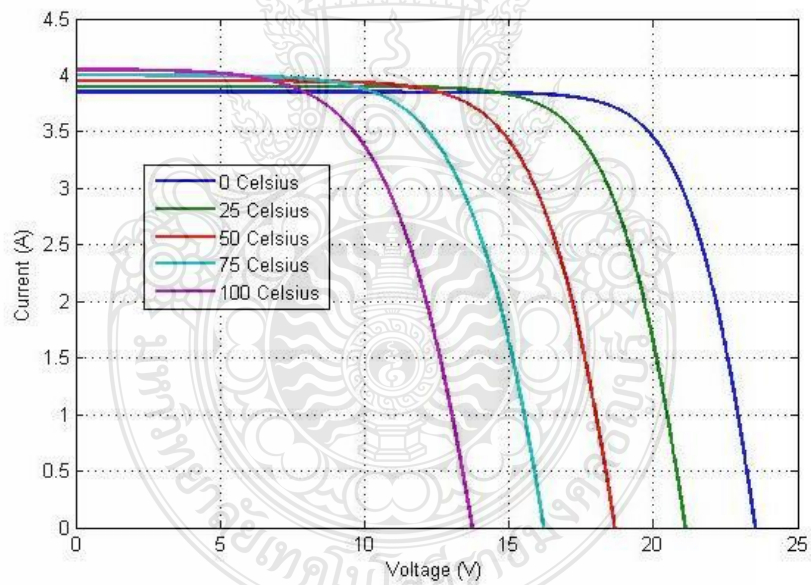
รูปที่ 3.3 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์



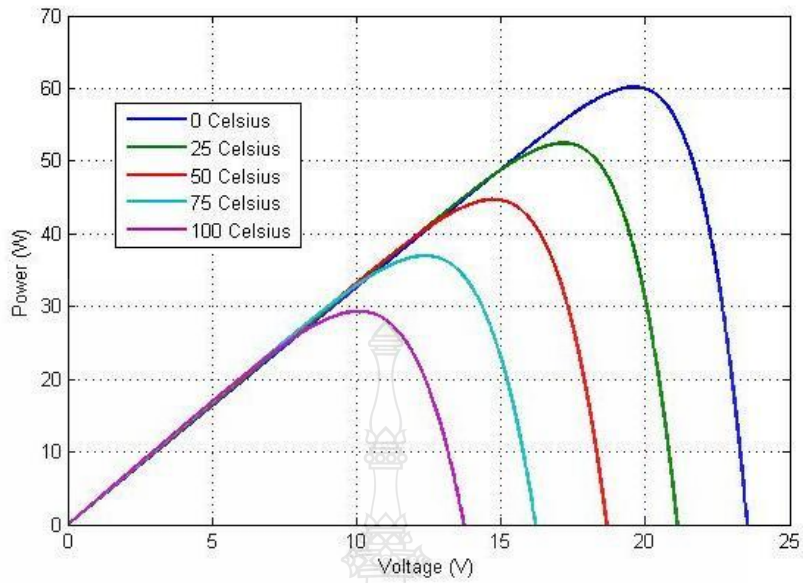
รูปที่ 3.4 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ I-V Curve ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C)



รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ P-V Curve ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C)



รูปที่ 3.6 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ I-V Curve ที่ ความเข้มแสง (1000W/m²)

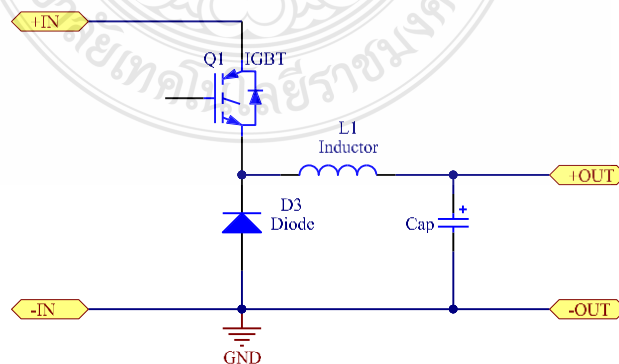


รูปที่ 3.7 ผลการจำลอง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ P-V Curve ที่ ความเข้มแสง ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ )

### 3.4 การออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

#### 3.4.1 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์คือ วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า และเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรง นิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่



รูปที่ 3.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์นั้นเริ่มต้นจากการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้านำเข้าที่จ่ายมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 17 โวลต์ แรงดันไฟฟ้านำออกของวงจร เพื่อใช้หาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด  $P_{MPPT}$  และทำการชาร์จประจุให้กับ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ให้มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 14 โวลต์ ความถี่ในการสวิตซิ่งกำหนดให้เท่ากับ 40 kHz แรงดันripple เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของวงจรเท่ากับ 24 วัตต์ จากนั้นคำนวณค่าความต้านทานโหลดโดยใช้สมการกำลังงานไฟฟ้า คือ

$$P = \frac{V_o^2}{R_L} \quad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.3 เมื่อคำนวณหาค่าความต้านทานโหลดตามสมการแล้ว จะได้ค่าความต้านทานโหลดมีค่าเท่ากับ 8.16 โอห์ม จากนั้นคำนวณหาอัตราขยายแรงดัน (D) จากสมการที่ 3.4

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (3.4)$$

จะได้ค่าอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 0.58 จากนั้นนำค่าความต้านทานโหลดและอัตราขยายแรงดันที่คำนวณได้เป็นตัวแปรเพื่อคำนวณหาตัวเหนี่ยวนำ ( $L_{min}$ ) จากสมการที่ 3.5

$$L_{min} = \frac{(1-D) \times R_L}{2 \times f} \quad (3.5)$$

เมื่อความถี่ในการสวิตซิ่ง ( $f$ ) กำหนดให้เท่ากับ 40 kHz ดังนั้นค่าตัวเหนี่ยวนำเมื่อคำนวณตามสมการที่ 3.5 จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เท่ากับ 42.84 ไมโครเฮนรี่ ซึ่งเป็นค่าตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดน้อยที่สุดเพื่อให้แน่ใจว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องควรใช้ค่าความเหนี่ยวนำ  $L = L_{min} \times 1.25$  เลือกค่าความเหนี่ยวนำเป็น 53.55 ไมโครเฮนรี่ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้จากนั้นคำนวณหาตัวเก็บประจุในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จากสมการที่ 3.6

$$C = \frac{(1-D)}{8Lf^2 \times \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (3.7)$$



โดย  $\frac{\Delta V_o}{V_o}$  เท่ากับค่าริบเปิ้ลเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ดังนั้นเมื่อนำค่าตัวแปรต่าง ๆ แทนลงในสมการที่ 3.7 จะได้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 122.54 ไมโครฟารัด โดย ค่าตัวเก็บประจุที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าน้อยที่สุดที่สามารถเลือกมาใช้งานซึ่งจะทำให้เกิดค่าริบเปิ้ลไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์การออกแบบหาขนาดตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ค่าแรงดันขาออกเป็น 14V นั้นค่าความต้านทานโหลดจะมีค่าประมาณ 8.16 โอห์ม ซึ่งจะกำหนดให้วงจรทำงานในโหมดกระแสไฟไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงจากสมการที่ 3.8 , 3.9 และ 3.10

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R_L} + \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (3.8)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_o}{R_L} - \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (3.9)$$

$$I_{L,rms} = \sqrt{I_L^2 + \left( \frac{\Delta I_L / 2}{\sqrt{3}} \right)^2} \quad (3.10)$$

จากค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด 3.08 A และต่ำสุดข้างต้น 0.34 A โดยจะ  $I_{L,rms}$  1.889 A แสดงว่าวงจรทอนระดับแรงดันนั้นทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง (Continuous Current Conduction Mode) ตามที่กำหนด

### 3.4.2 การเลือกใช้ไอจีบีที

ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของวงจรทอนระดับแรงดันกำหนดตามพิกัดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ 50W แรงดันไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ 17V และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรมีค่าไม่เกิน 2A ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอจีบีที เบอร์ IRG4PH40UD แบบ N-Channel ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 1200 V และรับกระแสไฟฟ้าได้ 21A และใช้ค่าแรงดันพัลส์ขับเคลื่อน  $V_{GE} = 15V$



รูปที่ 3.9 ไอจีบีที เบอร์ IRG4PH40UD แบบ N-Channel

### 3.4.3 การเลือกใช้ไดโอดกำลัง

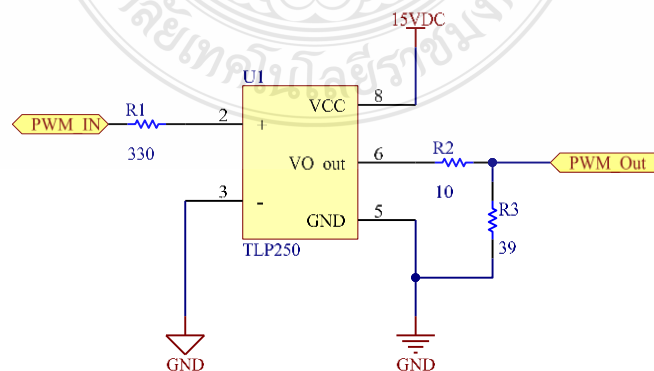
การเลือกพิกัดกระแสของไดโอดกำลังนั้นกำหนดจากกระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ กระแสเป็น 2A และค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น 14V ดังนั้นเพื่อรักษาความปลอดภัยเท่ากับ 2.0 เท่า เพราะฉะนั้นกระแสของไดโอดจะได้เท่ากับ  $2.0 \times 2.0 = 4 \text{ A}$  จึงเลือกใช้ไดโอดกำลังเบอร์ HFA25PB60 Fast Soft Recovery Rectifier Diode สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ 10A



รูปที่ 3.10 ไดโอดกำลังเบอร์ HFA25PB60

### 3.4.4 การออกแบบวงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีที

การออกแบบวงจรขับสวิตช์ไอจีบีทีจะใช้ Opto Isolate TLP250 เพื่อแยกแรงดันไฟฟ้านำแรงดันต่ำกับแรงดันไฟฟ้านำแรงดันสูงออกจากกัน โดย R2 ในรูปที่ 3.11 จะใช้ค่าระหว่าง 10 โอห์ม ถึง 100 โอห์ม เพื่อป้องกันการเกิดการแกว่งของสัญญาณที่ขาเทของไอจีบีที ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ค่า R2 เท่ากับ 39 โอห์ม เนื่องจากสัญญาณที่ด้านออกของ Opto Isolate เป็นสัญญาณพัลส์ PWM ที่ประกอบด้วย ฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณไซน์หลายความถี่ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิลเลทได้ จึงจำเป็นต้องใส่ตัวต้านทาน R2 เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการแกว่งของสัญญาณ



รูปที่ 3.11 วงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีที

การออกแบบ  $R_1$  กำหนดให้กระแส ( $I_F$ ) ที่ไหลผ่าน TPL250 มีค่าเท่ากับมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และแรงดัน  $V_F$  เท่ากับ 1.6 โวลต์ โดยที่  $V_{CC}$  มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \quad (3.11)$$

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ค่า 330 โอห์ม โดยจะได้กระแสประมาณ 10.3 มิลลิแอมป์ ซึ่งสามารถทำงานได้ กับชุดขับเกตของไอจีบีที (IGBT)



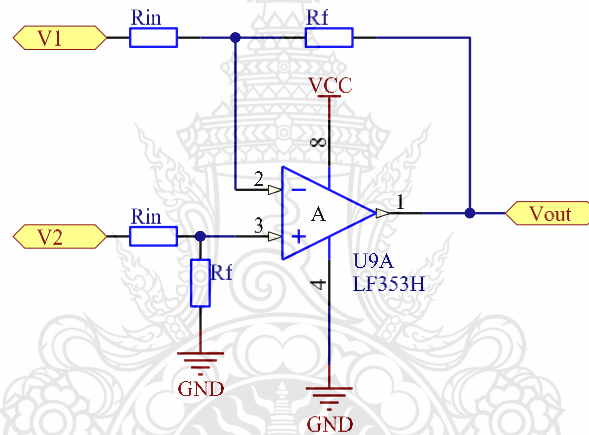
รูปที่ 3.12 วงจรแผ่น PCB ของชุดขับ ไอจีบีที (IGBT)

### 3.4.5 การเลือกบล็อกกิ้งไดโอด

การเลือกบล็อกกิ้งไดโอด (Blocking Diode) จำนวนจากกระแสสูงสุดขาเข้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $I_{max,rms}$ ) โดยจะต้องเลือกขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไดโอดสามารถทนได้ ( $I_D$ ) มีค่า  $I_{max,rms} = 3.4 A$  การเลือกพิกัดแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดควรเลือกให้ มีพิกัดสูงพอ ที่สามารถทนต่อแรงดันขณะไบอัสตรง (Forward Bias) และขณะไบอัสกลับ (Reverse Bias) โดยเลือกไซเบอร์ 10A10 ที่สามารถทนแรงดันได้ 1000 โวลต์ และกระแส 10 แอมป์

### 3.4.6 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter : ADC) ของบอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY) จะมีช่วงของแรงดันที่ใช้ สำหรับการอ่านค่าอนาล็อก ดังนั้นจำเป็นต้องขยายสัญญาณให้ อยู่ช่วงที่บอร์ดควบคุม สามารถอ่านค่าได้โดยใช้วงจรขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ(Operation Amplifier) เบอร์LF353 มาต่อเป็นวงจรขยายผลต่าง(Differential Amplifier circuit) ดังรูปที่ 3.4 เนื่องจาก Op-amp มีค่าความถี่ตรงที่สูงและการต่อวงจรขยายผลต่างนั้น ไม่มีผลของแหล่งอ้างอิงของวงจรด้านกำลังทำให้ค่ามีความผิดพลาด



รูปที่ 3.13 วงจรขยายผลต่าง(Differential amplifier circuit)

จากการที่เลือกค่า  $R_{in}$  เพื่อหาค่า  $R_f$  เพื่อให้ได้แรงดันด้านออก 4 โวลต์ และแรงดันขาเข้าขนาด  $V_2 = 55 V$  และ  $V_1 = 0 V$  โดยใช้จากสูตรของวงจรขยายผลต่าง

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_{in}} \quad (3.12)$$

โดยทำการเลือกค่า  $R_{in}$  เท่ากับ 33 กิโลโอห์ม จากนั้นจัดรูปสมการเพื่อหาค่า  $R_f$  โดยแรงดันด้านออก 4 โวลต์จะได้

$$R_f = \frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \frac{4V}{55 - 0} \times 33k\Omega = 2.4k\Omega$$

ดังนั้นเลือกค่า  $R_f$  เท่ากับ 2.4 กิโลโอห์ม เมื่อทำการเลือกค่าความต้านทานของวงจรมายาวผลต่างแล้วจะทำการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆเพื่อต้องการทราบค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรมายาวผลต่าง แล้วนำค่าของที่ได้ จากการทดลองมาตั้งกราฟและหาสมการประมาณค่าแบบเชิงเส้นเพื่อนำสมการมาใช้ในการปรับสเกลภายในบอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY) โดยจากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆจะได้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางการทดลองของวงจรตรวจจับแรงดัน

แรงดันขาเข้า(V)	แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)	แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)
15	1.1	1.1
20	1.47	1.46
25	1.84	1.84
30	2.21	2.2
35	2.57	2.57
40	2.94	2.93
45	3.31	3.3
50	3.68	3.67
55	4.05	4.04

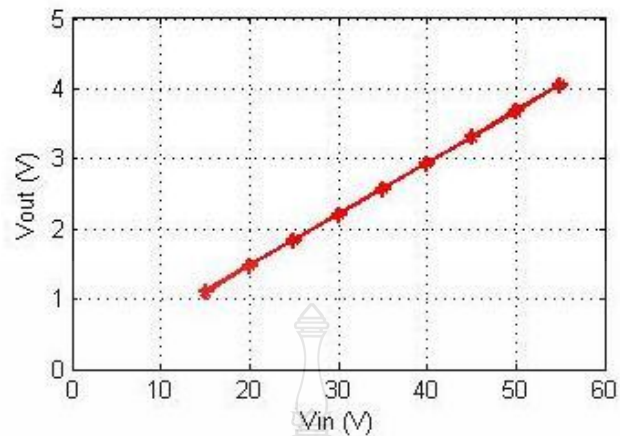
ตั้งกราฟแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่แกน x และ y แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาสมการการประมาณค่าแบบเชิงเส้นจะได้ ดังรูปที่ 3.14  
จะได้ สมการ

$$y = (0.0737x) - 0.0039$$

ทดลองป้อนค่าแรงดันที่วงจรตรวจจับวัดได้  $x = 55 V$  แทนค่าลงในสมการ

$$y = (0.0737 \times 55) - 0.0039 = 4.05 V$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 4.05 โวลต์



รูปที่ 3.14 กราฟการทดลองวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

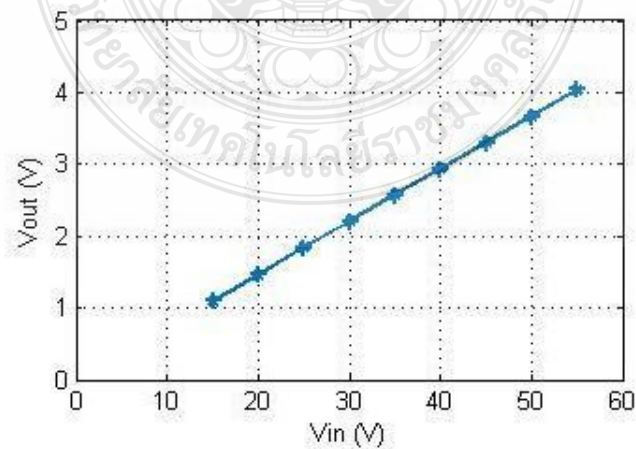
ตั้งกราฟแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่แกน x และ y แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เพื่อหาสมการการประมาณค่าแบบเชิงเส้นจะได้ ดังรูปที่ 3.15 จะได้สมการ

$$y = (0.0735x) - 0.0036$$

ทดลองป้อนค่าแรงดันที่วงจรตรวจจับวัดได้  $x = 55 \text{ V}$  แทนค่าลงในสมการ

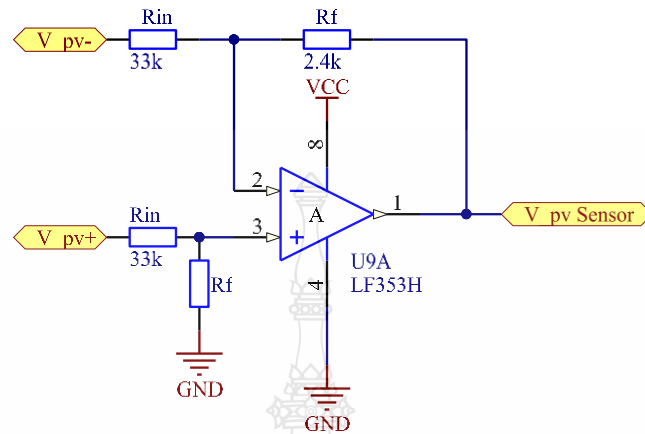
$$y = (0.0735 \times 55) - 0.0039 = 4.04 \text{ V}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 4.04 โวลต์

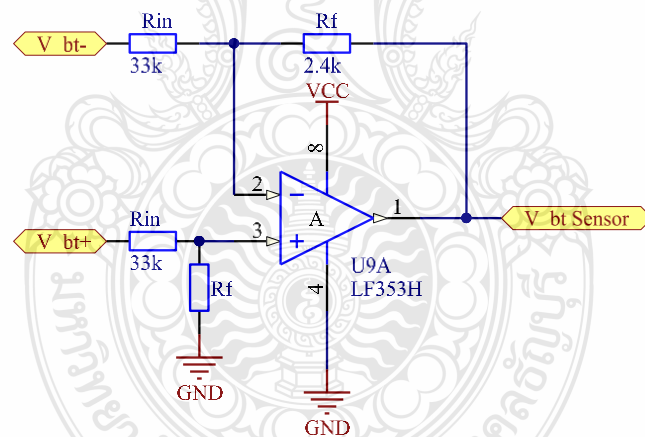


รูปที่ 3.15 กราฟการทดลองวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

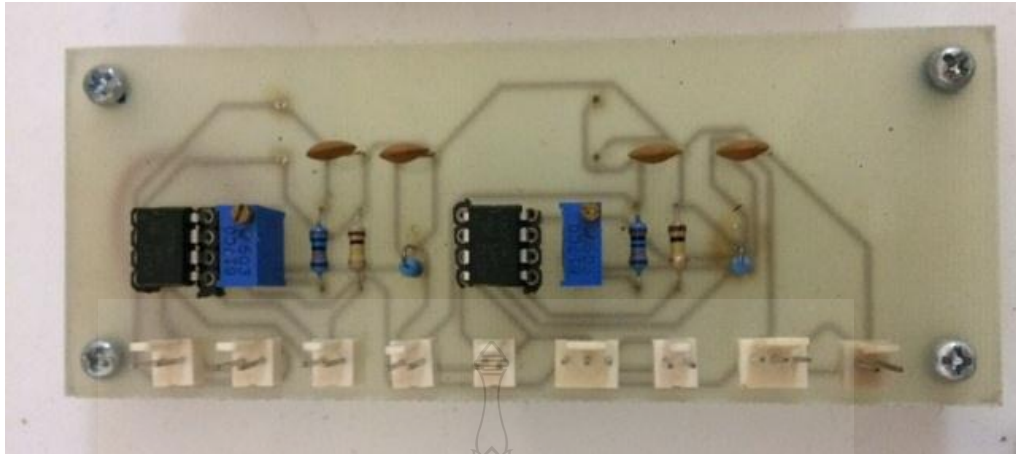
จะสรุปวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และของแบตเตอรี่ได้ ดังรูปที่ 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ OP-AMP เบอร์ LF353



รูปที่ 3.17 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ OP-AMP เบอร์ LF353



**รูปที่ 3.18** วงจรแผ่น PCB ของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

### 3.4.7 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกระแสประจุของแบตเตอรี่

การตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ ACS712 เป็นวิธีที่ให้ค่าที่เที่ยงตรงและแม่นยำโดยใช้หลักการที่เรียกว่า Hall Effect Current Sensor คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำทองแดงทางด้านปริมณูมิ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่ง Hall IC จะแปลงผันเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยสัญญาณด้านออกจะเป็นสัญญาณ อนาล็อกแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นตามสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าโดยจากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆจะได้ ดังตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.4** ตารางการทดลองของวงจรตรวจจับกระแสด้านพิกัด 5 A สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ 20 A สำหรับแบตเตอรี่

กระแสขาเข้า(A) จากแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	กระแสขาเข้า(A) จากแบตเตอรี่	แรงดันไฟฟ้าขาออกของ วงจรตรวจจับ กระแสไฟฟ้าของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ (V)	แรงดันไฟฟ้าขาออกของ วงจรตรวจจับ กระแสไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ (V)
0	0	2.45	2.5
1	5	2.55	3
2	10	2.65	3.5
3	15	2.75	4
4	20	2.85	4.5
5	-	2.95	5



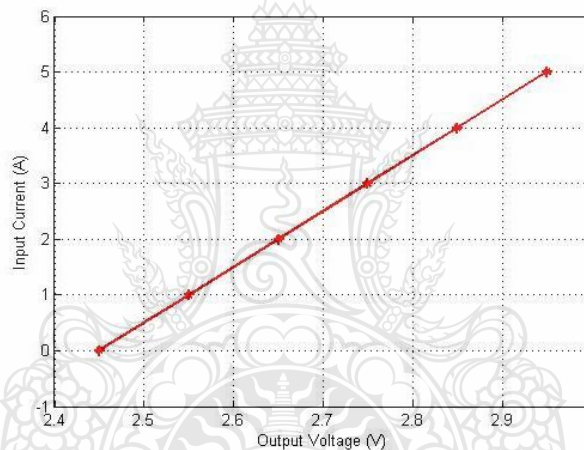
ตั้งกราฟแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่แกน  $x$  และ  $y$  แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาสมการการประมาณค่าแบบเชิงเส้นจะได้ ดังรูปที่ 3.18  
จะได้ สมการ

$$y = 0.10x + 2.45$$

ทดลองป้อนค่าแรงดันที่วงจรตรวจจับวัดได้  $x = 3 \text{ A}$  แทนค่าลงในสมการ

$$y = 0.10 \times 3 + 2.45 = 2.75 \text{ V}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 2.75 โวลต์



รูปที่ 3.19 กราฟการทดลองวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ (ACS712\_5A)

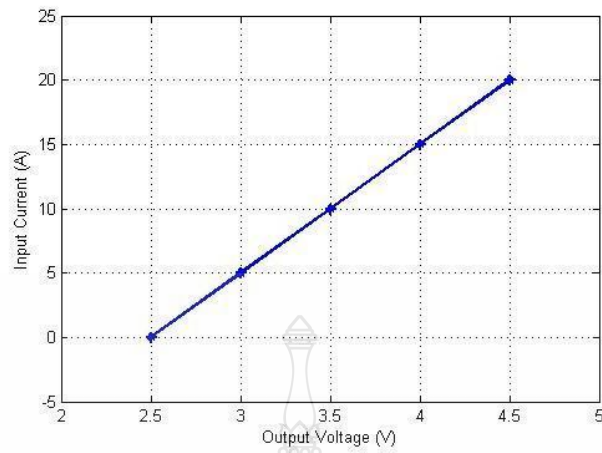
ตั้งกราฟแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่แกน  $x$  และ  $y$  แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ เพื่อหาสมการการประมาณค่าแบบเชิงเส้นจะได้ ดังรูปที่ 3.19 จะได้สมการ

$$y = 0.10x + 2.5$$

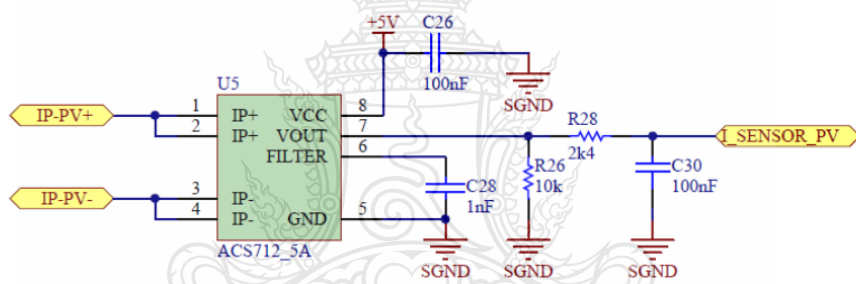
ทดลองป้อนค่าแรงดันที่วงจรตรวจจับวัดได้  $x = 5 \text{ A}$  แทนค่าลงในสมการ

$$y = 0.10 \times 5 + 2.5 = 3 \text{ V}$$

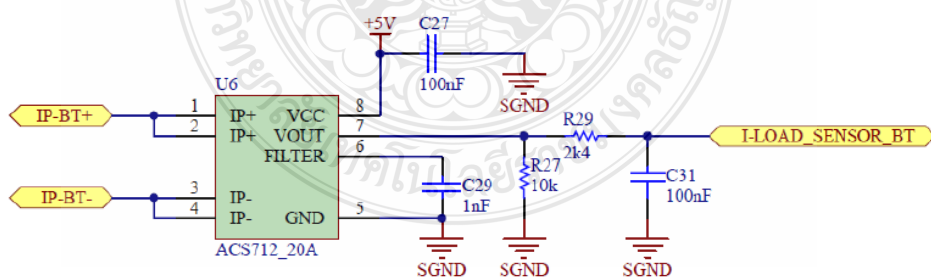
ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 3 โวลต์



รูปที่ 3.20 กราฟการทดลองวงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ (ACS712\_20A)



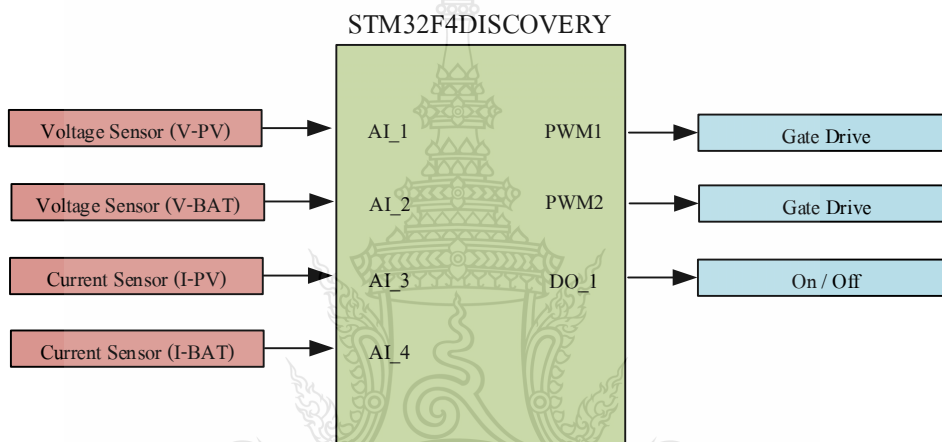
รูปที่ 3.21 วงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ Current Sensor (ACS712\_5A)



รูปที่ 3.22 วงจรตรวจับกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยใช้ Current Sensor (ACS712\_20A)

### 3.4.8 ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดควบคุม (STM32F4DISCOVERY)

ในการออกแบบโครงการนี้ได้กำหนดขา อินพุต-เอาต์พุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4 โดยออกแบบช่องสัญญาณ A/D จำนวน 4 ช่องโดยทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรตรวจจับแรงดันและกระแส, ช่องสัญญาณ D/A จำนวน 1 ช่องทำหน้าที่ร่วมกับวงจรตัดต่อโหลด และ ช่องสัญญาณ PWM จำนวน 2 ช่องผ่านวงจรขับสวิตช์ไอจีบีทีเพื่อควบคุมกระแสและแรงดัน ในการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 กำหนดขาอินพุต-เอาต์พุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4

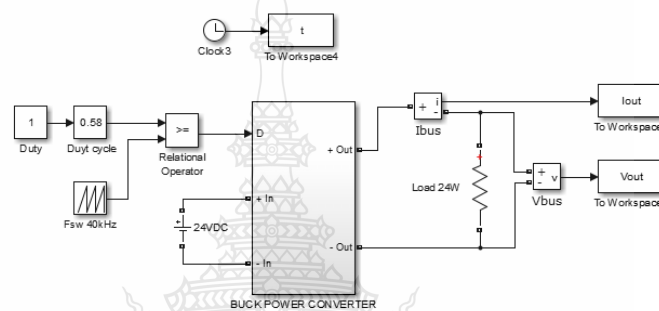


รูปที่ 3.24 วงจรแผ่น PCB ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ STM32F4

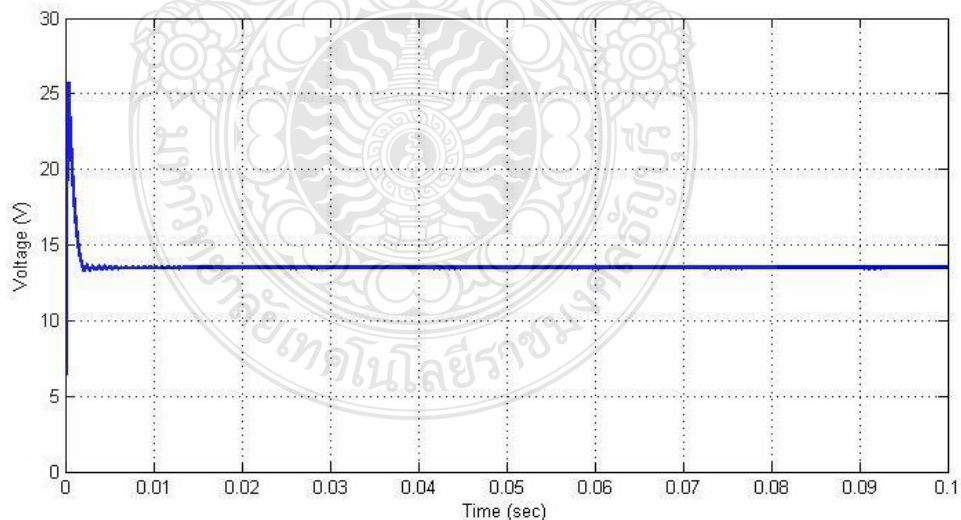
### 3.5 การจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

#### 3.5.1 การจำลองวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

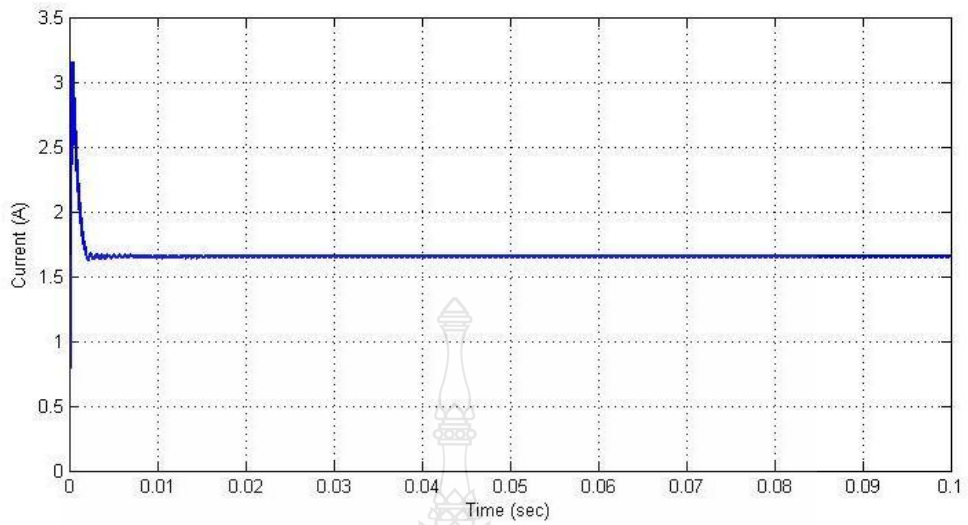
สำหรับการจำลองการทำงานวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ นั้นจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงใช้ในการทดสอบซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงสุดที่ต้องการไม่เกิน 14 โวลต์ ให้มีปริมาณที่เหมาะสมและเป็นไปตามค่าของการคำนวณที่กำหนดไว้โดยจะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากการวิเคราะห์วงจรในหัวข้อที่ 3.4



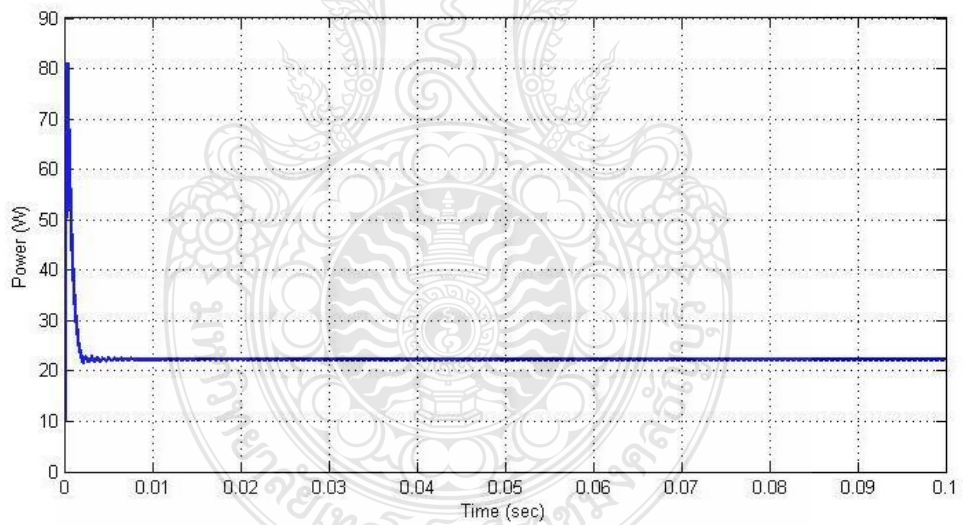
รูปที่ 3.25 การจำลองการทำงานวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink



รูปที่ 3.26 ผลการจำลองแรงดันด้านออกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink



รูปที่ 3.27 ผลการจำลองกระแสต้านออกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink



รูปที่ 3.28 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้านอกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Duty cycle = 0.58) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

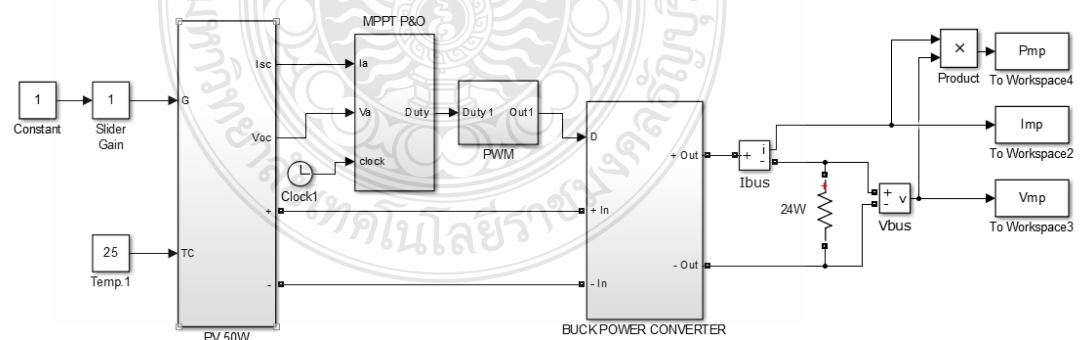
ตารางที่ 3.5 ตารางเปรียบเทียบการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink กับค่าที่คำนวณที่ได้ จากหัวข้อ 3.4 ด้วยอัตราขยาย (Duty Cycle)

อัตราขยาย (Duty Cycle)	แรงดันไฟฟ้าด้านออก ( $V$ )	กระแสไฟฟ้าด้านออก ( $A$ )	กำลังไฟฟ้าด้านออก ( $W$ )
0.1	3.20	0.39	1.26
0.2	6.22	0.76	4.75
0.3	7.99	0.97	7.83
0.4	10.31	1.26	13.02
*0.58	13.49	1.65	22.29

หมายเหตุ Duty Cycle = \*0.58 คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณ

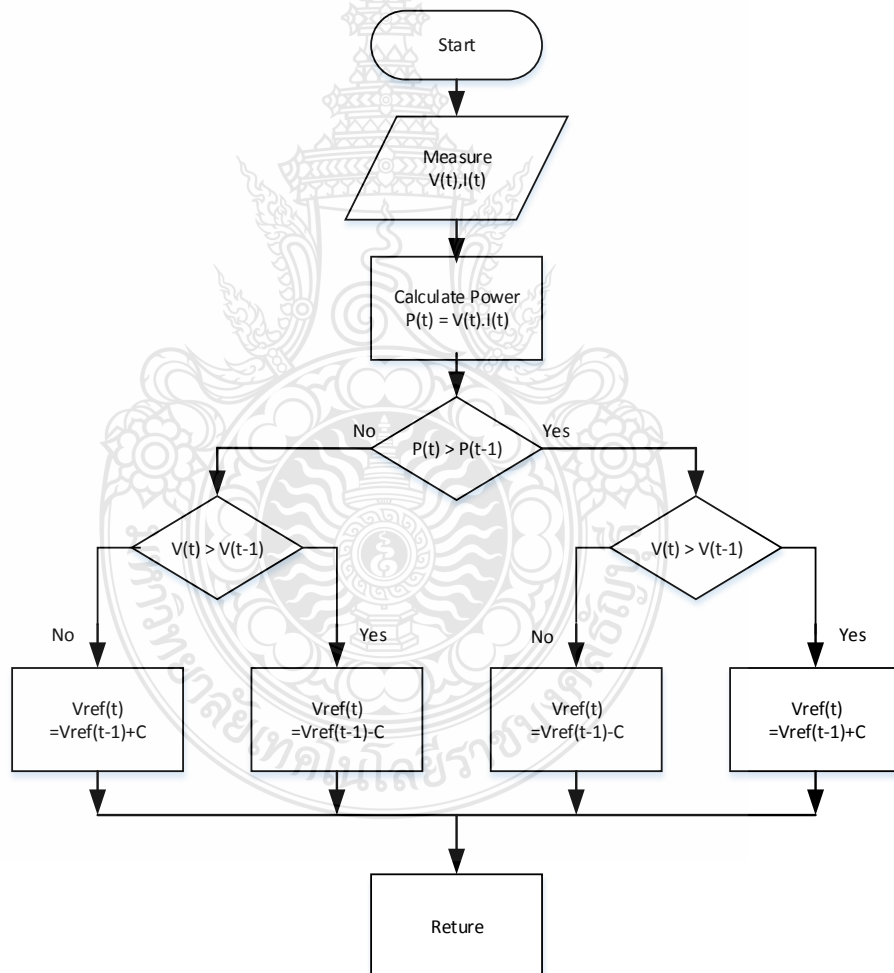
จากการจำลองการทำงานด้วยเงื่อนไขดังกล่าวเมื่อเพิ่มอัตราขยาย (Duty Cycle) จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกเพิ่มขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าด้านออกของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นสามารถปรับอัตราขยายของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ต้องการได้จากปรับอัตราขยาย

### 3.5.2 การจำลองการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

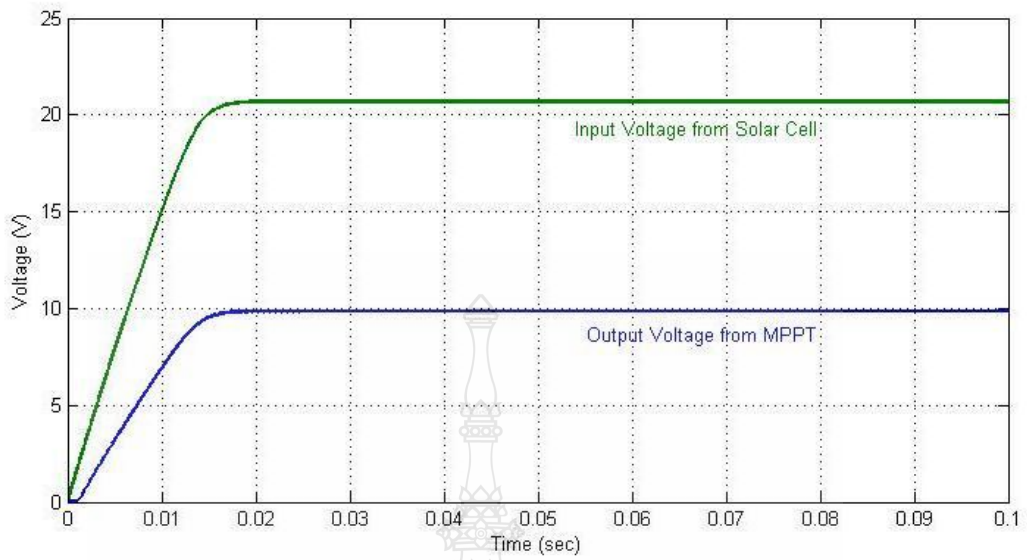


รูปที่ 3.29 การจำลองการทำงานการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

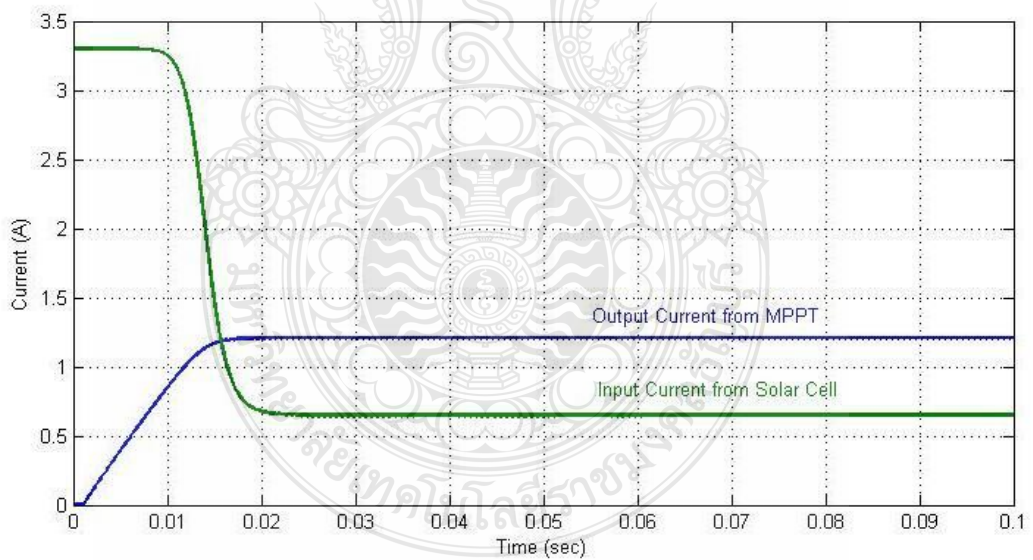
จากรูปที่ 3.29 การจำลองการทำงานการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking , MPPT) ทำโดยวิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method: P&O) หลักการของวิธีนี้คือ ทำงานเป็นคาบเวลาโดยทำ การปรับแรงดัน ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวคือขั้นตอนการรบกวน หลังจากนั้นจะทำการวัดค่าล้งไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการรบกวน แล้วทำการเปรียบเทียบค่าล้งไฟฟ้าในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ การหาจุดจ่ายค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดวิธีนี้มีอัลกอริธึมง่าย และมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายค่าล้งไฟฟ้าสูงสุด ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แผนผังขั้นตอนการหาค่าล้งไฟฟ้าสูงสุดวิธีการรบกวนและการสังเกต (P & O)

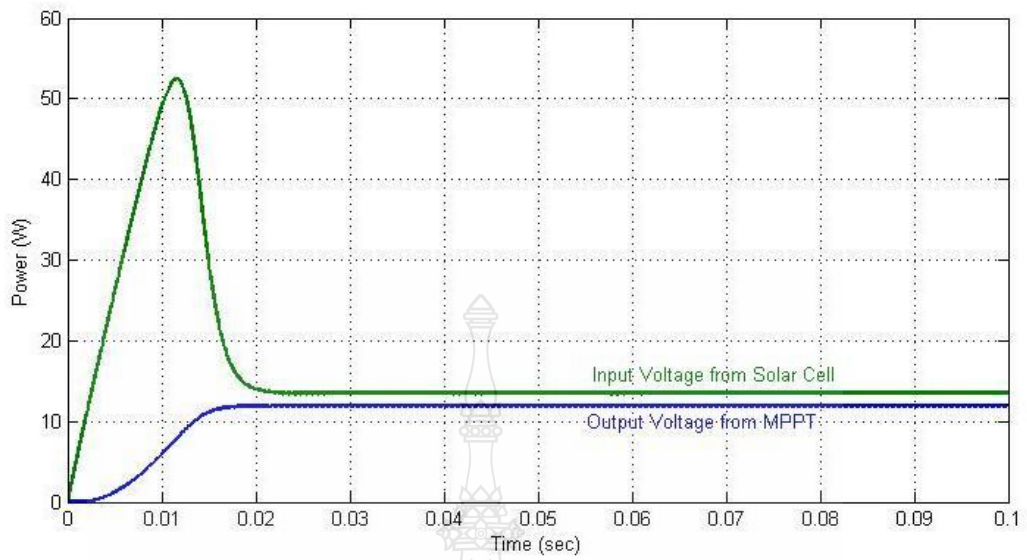


รูปที่ 3.31 ผลการจำลองแรงดันไฟฟ้าด้านออกของการหาค่าลิ่งไฟฟ้าสูงสุด  
ความเข้มแสง)1000 W/m<sup>2</sup>( ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink)

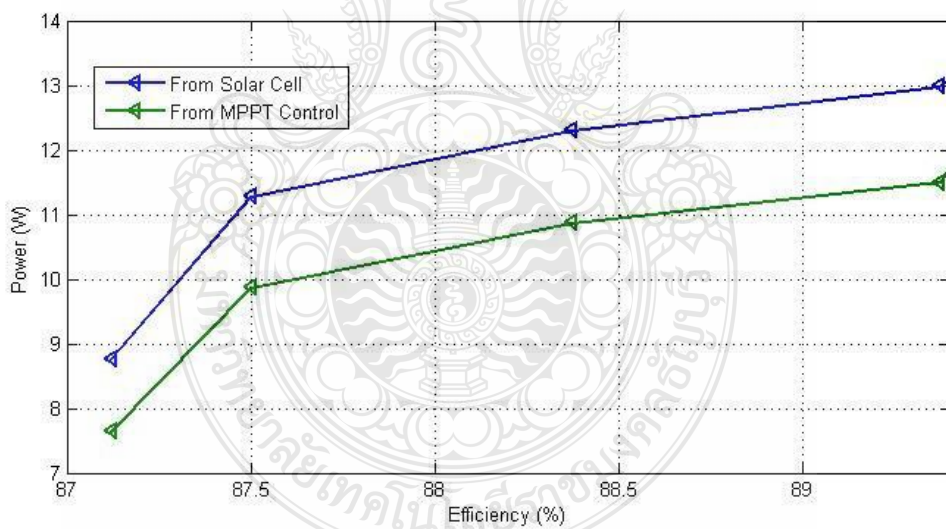


รูปที่ 3.32 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้าด้านออกของการหาค่าลิ่งไฟฟ้าสูงสุด  
ความเข้มแสง)1000 W/m<sup>2</sup>( ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink)





รูปที่ 3.33 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าด้านออกของการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด  
ความเข้มแสง)1000 W/m<sup>2</sup>( ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink)



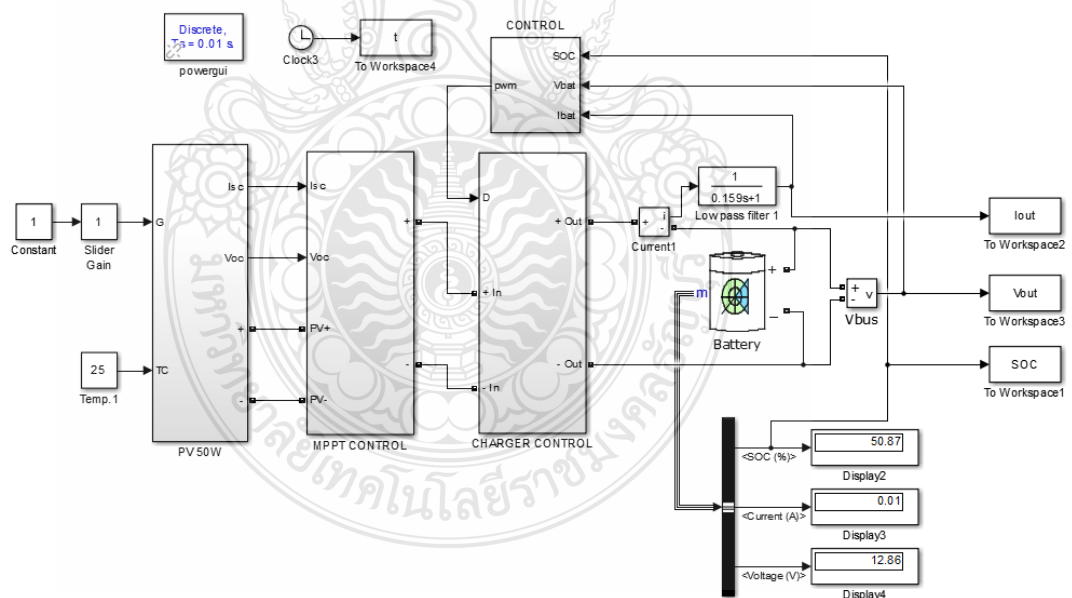
รูปที่ 3.34 ผลการจำลองประสิทธิภาพจากการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด  
ความเข้มแสง)1000 W/m<sup>2</sup>( ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink)

ตารางที่ 3.6 ตารางเปรียบเทียบการจำลองการหาค่าลิ่งไฟฟ้าสูงสุดวิธีการรบกวนและการสังเกตด้วย

โปรแกรม MATLAB/Simulink

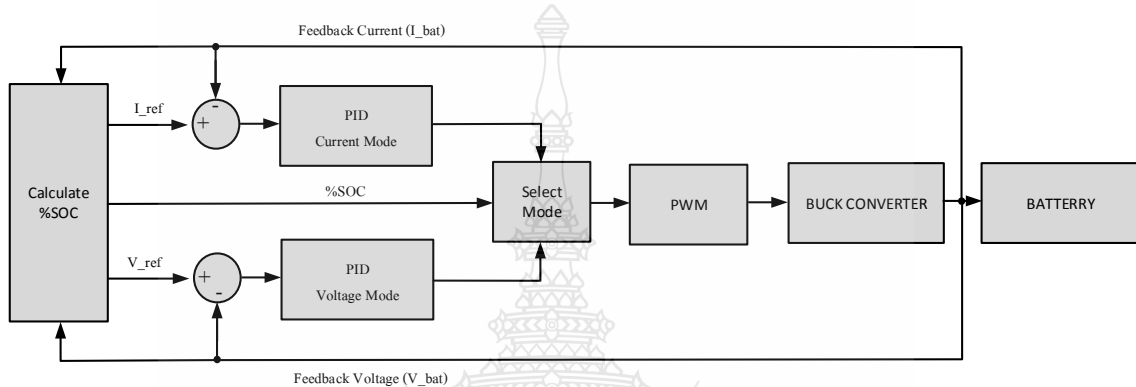
ความเข้มแสง (W/m <sup>2</sup> )	แรงดันไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ (Voc)	กระแสไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ (Isc)	กำลังไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ (Pmax)	แรงดันไฟฟ้า ด้านออก (Vmp)	กระแสไฟฟ้า ด้านออก (Imp)	กำลังไฟฟ้า ด้านออก (Pmp)	ประสิทธิภาพ (η%)
1000	20.70	0.64	13.41	10.12	1.24	12.54	89.49
800	20.39	0.63	12.98	9.88	1.18	11.50	89.37
600	19.84	0.62	12.3	9.66	1.15	10.87	88.37
400	19.03	0.59	11.28	9.30	1.1	9.87	87.50
200	16.92	0.51	8.77	7.89	0.96	7.64	87.12

3.5.3 การจำลองการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด



รูปที่ 3.35 การจำลองการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด

จากรูปที่ 3.35 เป็นการจำลองการควบคุมการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ แบ่งเป็นการควบคุมกระแส และแรงดันโดยใช้แบบจำลองอัตรายขนาด 50 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าขาออกอยู่ระหว่าง 21.1-17.2 โวลต์ ผ่านวงจร MPPT Control และ Charger Control โดยใช้วิธีระบบปิด(Close loop Control) โดยจะทำการตรวจวัดกระแสและแรงดันด้านออกเพื่อทำการควบคุมทั้งกระแสและแรงดันตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะแสดงดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ลูปควบคุมกระแสและแรงดันแบบวงปิด (Close loop Current and Voltage Control)

การทดสอบหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการของ Ziegler-Nichols

การทดสอบวิธีนี้มีขั้นตอนดังนี้

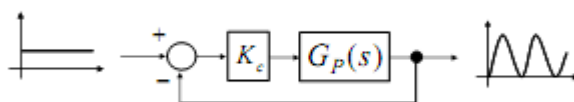
ขั้นตอนที่ 1 ต่อระบบควบคุมเป็นแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีด้วยการป้อนกลับแบบหนึ่งหน่วย

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบระบบด้วยสัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันได

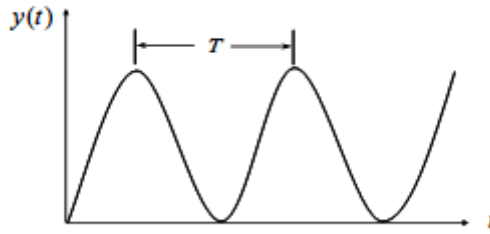
ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่าเกณฑ์ให้สูงขึ้นจนกระทั่งเกิดผลตอบสนองแบบไม่มีการหน่วง(Undamped)

ขั้นตอนที่ 4 บันทึกค่าเกณฑ์ ( $K_c$ ) และคาบเวลาของการแกว่งตัว ( $T$ )

ขั้นตอนที่ 5 นำค่าเกณฑ์และคาบเวลาของการแกว่งตัวที่ได้ไปเข้าสู่สูตรเพื่อหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแต่ละแบบ



รูปที่ 3.37 การทดสอบระบบด้วยวิธีการของ Ziegler Nichols



รูปที่ 3.38 ลักษณะของผลตอบสนองที่ได้

นำค่าเกนและคาบเวลาของการแกว่งมาเข้าสู่สูตรเพื่อหาค่าเกนที่เหมาะสมของระบบควบคุมพีไอดีตามฟังก์ชันถ่ายโอนนี้

$$G_C(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (3.13)$$

หรือ

$$G_C(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (3.14)$$

โดยที่

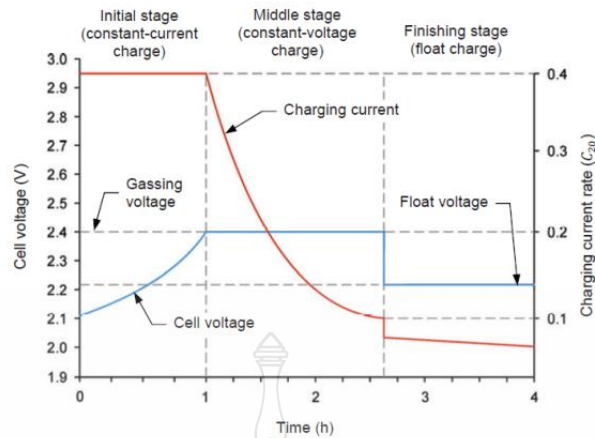
$$K_I = \frac{K_P}{T_I}, K_D = K_P T_D \quad (3.15)$$

ค่าเกนที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแต่ละแบบเป็นดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าเกนที่เหมาะสมตามวิธีการของ Ziegler Nichols

	KP	KI	KD
P-Control	$0.5K_C$	-	-
PI-Control	$0.45K_C$	$0.45K_C/0.83T$	-
PID-Control	$0.6K_C$	$0.6K_C/0.5T$	$(0.6K_C)(0.125T)$

จากรูปที่ 3.36 สามารถนำมาควบคุมการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่แบบ 3 ระดับ แบ่งเป็นการควบคุมกระแส และแรงดัน ดังนี้ 1.) Bulk Charge (Constant Current), 2.) Absorption Charge (Constant Voltage), 3.) Floating Charge (Constant Voltage) โดยคำนึงถึง SOC (State of Charge), DOD (Deep of Discharge) โดยรูปแบบการประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.39



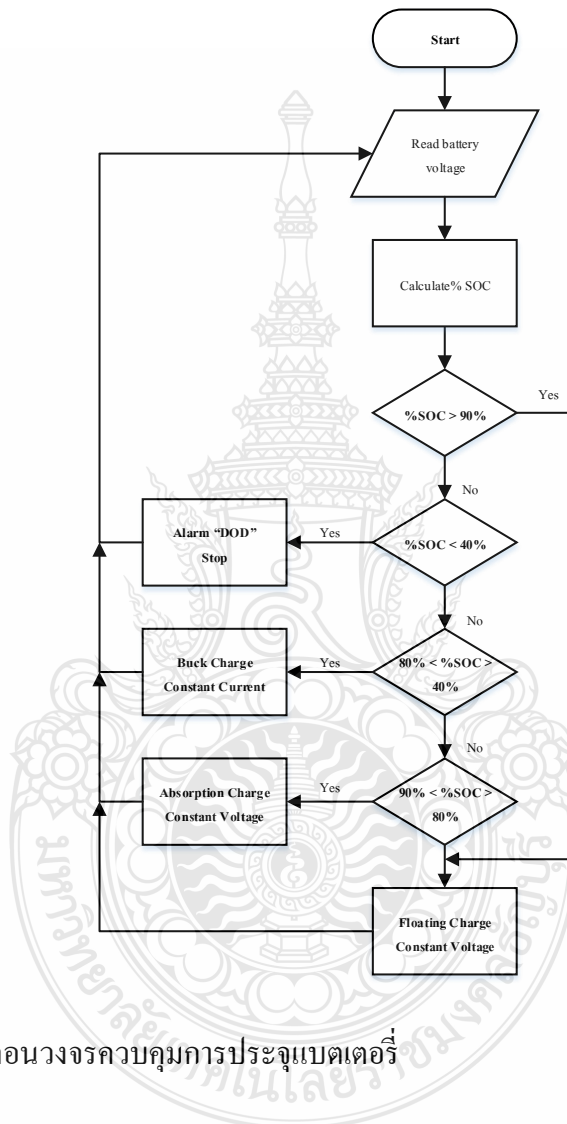
รูปที่ 3.39 รูปแบบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.8 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับสถานะประจุแบตเตอรี่

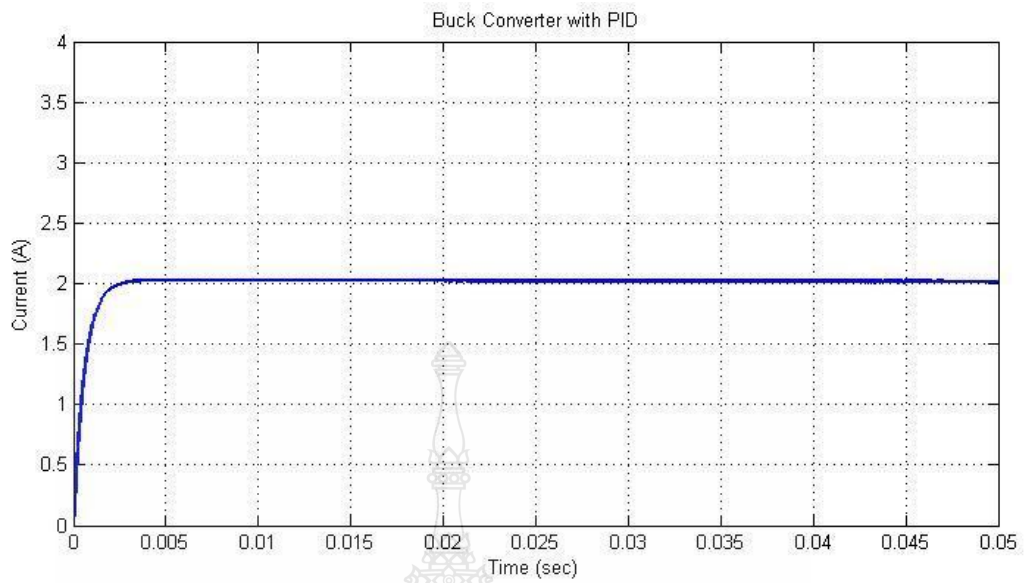
Battery Condition	Nominal Battery Voltage		
	12 V	24 V	48 V
25°C			
100%	12.7	25.4	50.8
80%	12.5	25	50
60%	12.2	24.4	48.8
40%	11.9	23.8	47.6
20%	11.6	23.2	46.4
0%	11.4	22.8	45.6

จากรูปแบบการประจุไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.39 และ ตารางที่ 3.8 นำมาใช้เขียนแผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ดังนี้ เริ่มประจุแบตเตอรี่ในส่วนแรก 40% ของ %SOC โดยใช้วิธี Bulk Charge เป็นการประจุเริ่มต้นของรอบการประจุโดยควบคุมการประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่เริ่มต้นที่ประมาณ 20% ของความจุแบตเตอรี่ (Ah) ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดัน Gassing ขั้นที่สองคือ การประจุส่วนที่เหลือ 20-30% ของ SOC% โดยการควบคุมแรงดัน ด้วยวิธี Absorption Charge โดยแรงดันของแบตเตอรี่ถึงระดับ Cyclic Voltage จะขึ้นอยู่กับแต่ละประเภทของแบตเตอรี่

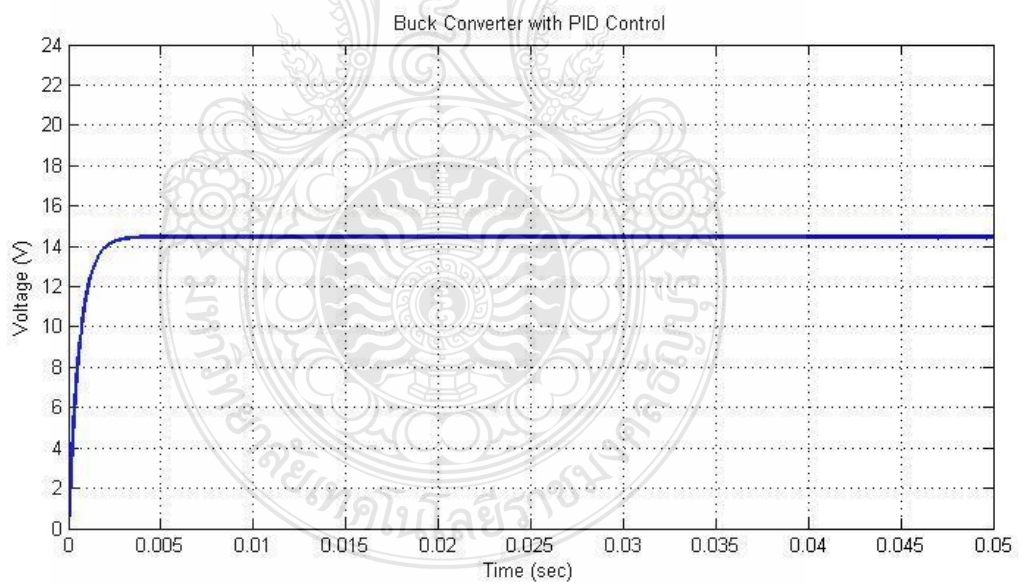
(Lead-acid = 14.4V) และวิธีสุดท้ายเพื่อทำการชดเชย SOC%ของแบตเตอรี่ทำให้ SOC = 100% ในระยะเวลาอันสั้น Floating Charge แรงดันประจุ 13.4V แสดงดังรูปที่ 3.40



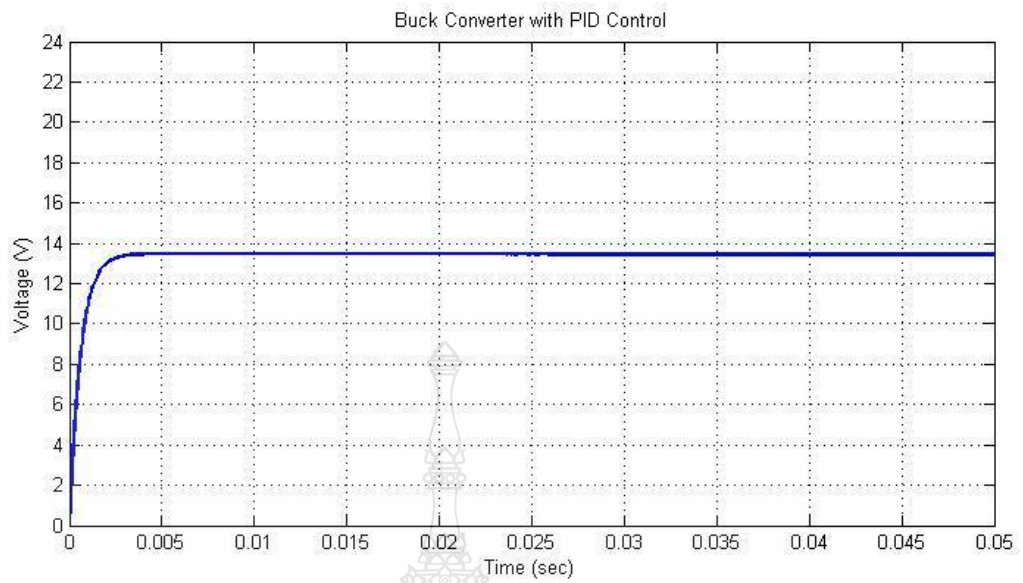
รูปที่ 3.40 แผนผังขั้นตอนวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่



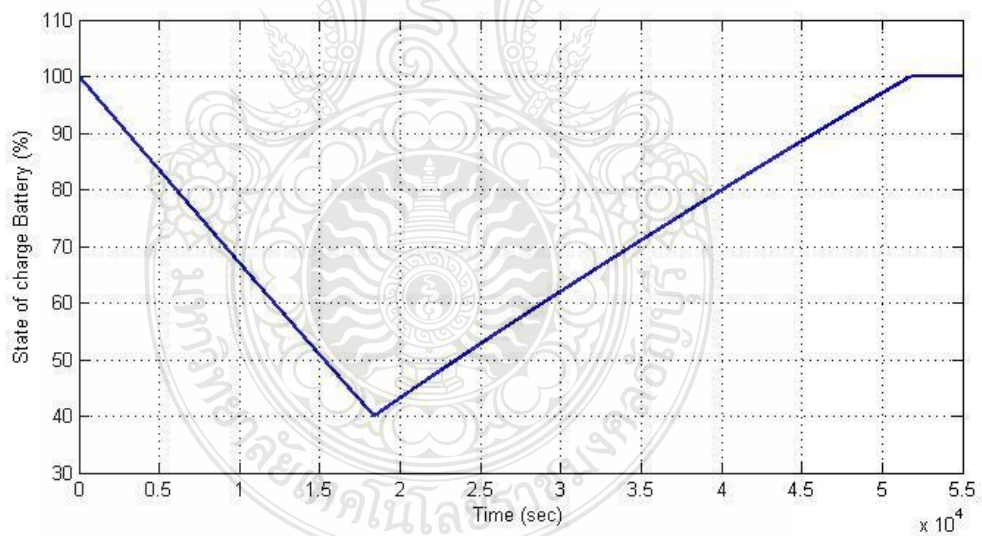
รูปที่ 3.41 ผลการจำลองกระแสต้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ (SOC = 40%)



รูปที่ 3.42 ผลการจำลองแรงดันต้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ (SOC = 80%)



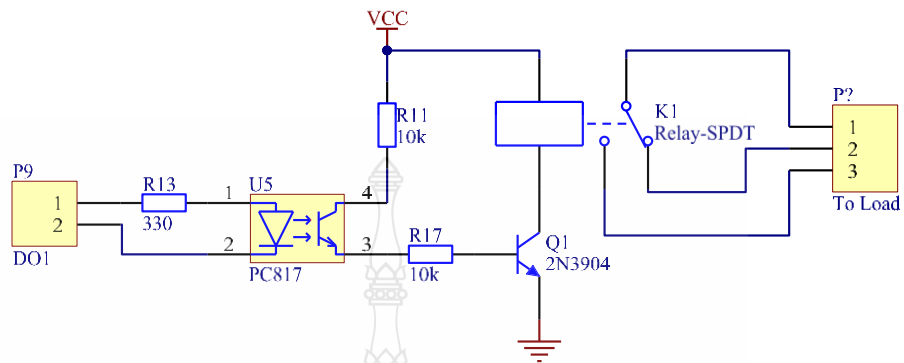
รูปที่ 3.43 ผลการจำลองแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 90%)



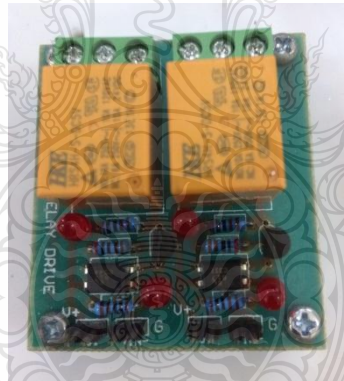
รูปที่ 3.44 ผลการจำลองความจุแบตเตอรี่ซึ่งจะได้รับการประจุจากวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า



### 3.5.4 การออกแบบวงจรตัดต่อโหลด



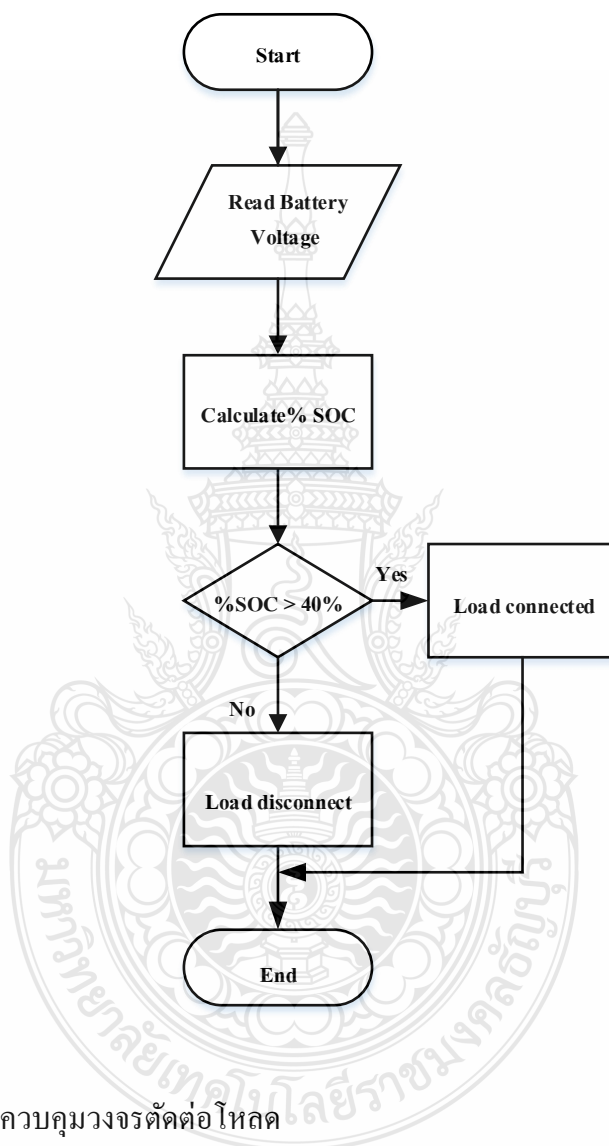
รูปที่ 3.45 วงจรตัดต่อ โหลด โดยใช้ (Relay Drive)



รูปที่ 3.46 วงจรแผ่น PCB ตัดต่อ โหลด โดยใช้ (Relay Drive)

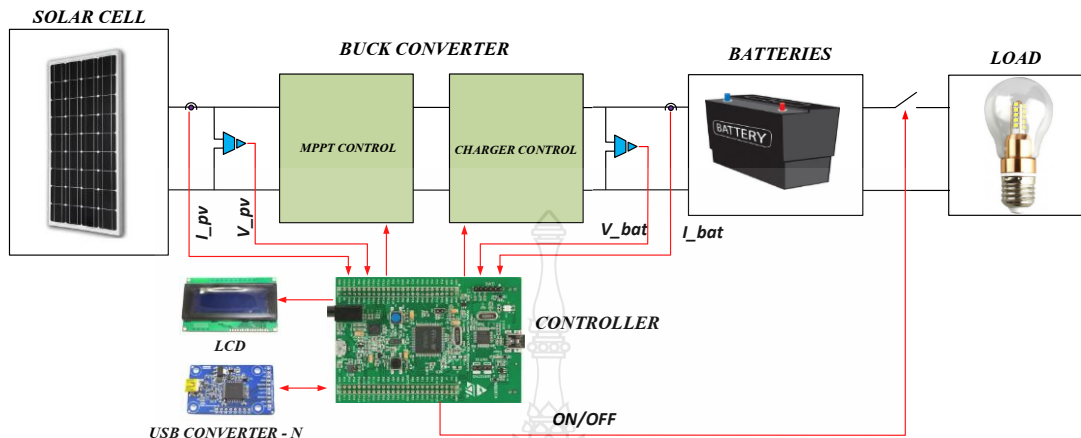
จากรูป 3.45 การออกแบบวงจรตัดต่อโหลดโดยใช้ รีเลย์เบอร์ HRS4H ที่สามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 24 โวลต์และสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ เนื่องจากแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับ 12 โวลต์ และกระแสจ่ายโหลดสูงสุดเท่ากับ 2 แอมแปร์ โดยการตัดต่อโหลดจะดูจาก SOC เท่ากับ 40 % ของแบตเตอรี่ โดยจะแบ่งเป็น 2 สถานะสถานะที่ 1 สถานะที่มีแสงอาทิตย์ จะทำการประจุแบตเตอรี่จนกว่าแบตเตอรี่จะเต็ม จะทำการหยุดการประจุแบตเตอรี่ และทำการจ่าย

โหลดทันทีในสถานะที่ 2 สถานะที่ไม่มีแสงอาทิตย์จะทำการต่อโหลดและหยุดการประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในวงจรอาจมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงทำการตัดการทำงาน ของวงจรประจุแบตเตอรี่ เป็น โดยมีผังงานดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 แพนผังการควบคุมวงจรตัดต่อโหลด

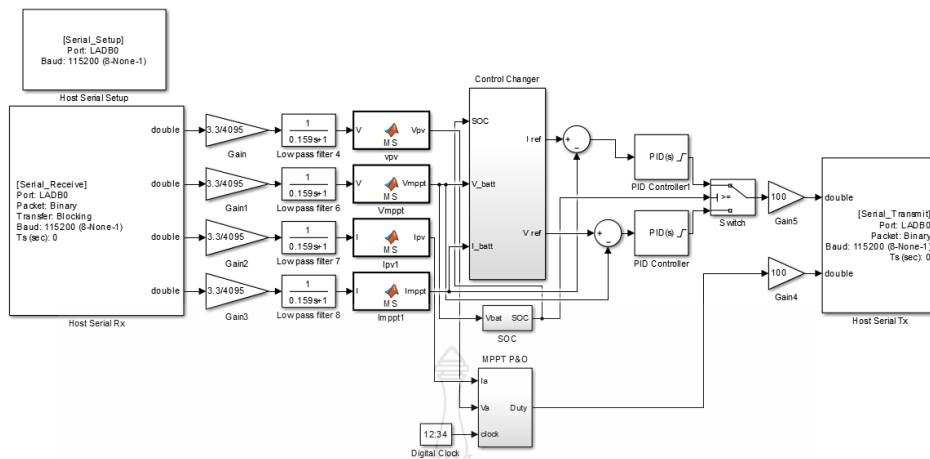
### 3.6 การสร้างชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า



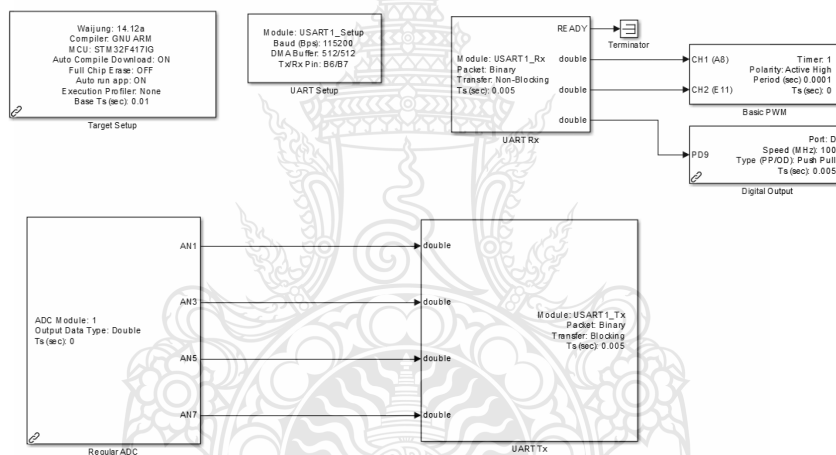
รูปที่ 3.48 บล็อกไดอะแกรมการสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการออกแบบส่วนต่างๆจะสามารถสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่โดยมีฟังก์ชันการทำงานของวงจรซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้ 1. วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) มีหน้าที่ในการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ 2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์, วงจรขับเคลื่อน (Gate Drive) การตัดต่อโหลดและตัดต่อวงจรประจุแบตเตอรี่รวมถึงการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(MPPT) 3. วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) และตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ที่เซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการประมวลผล 4. จอแสดงผล LCD ทำหน้าที่แสดงสถานะต่างๆ เช่น SOC% , MODE CHARE อื่นๆ 5. USB CONVERTER - N ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อปรับเปลี่ยนค่าต่างๆให้กับบอร์ดควบคุม และแสดงผลการทำงานแบบ Real Time

หลังจากที่ทำการสร้างวงจรต่างๆของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่แล้วจึงทำการเขียนสัญญาณมอดูเลชั่นเพื่อควบคุมการทำงานอุปกรณ์สวิตชิง (IGBT) โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ดังรูปที่ 3.49 และ รูปที่ 3.50



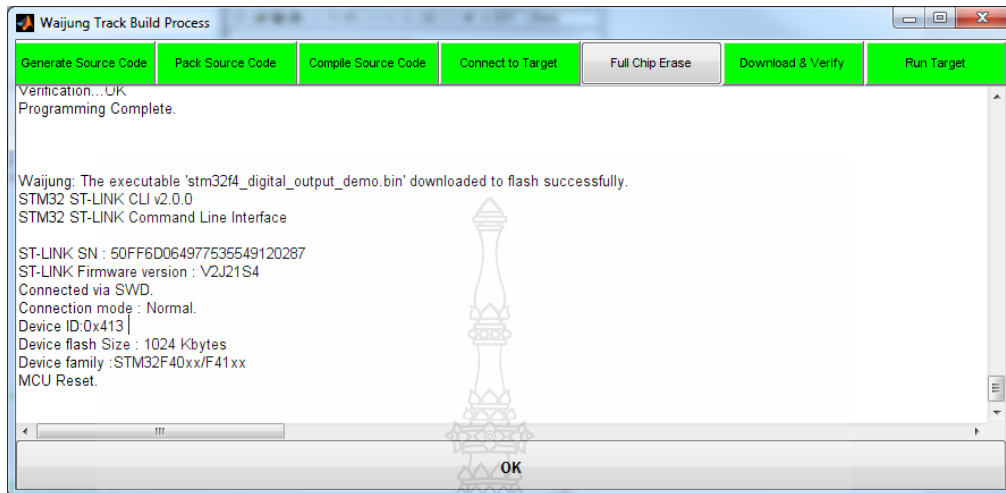
รูปที่ 3.49 แผนภาพSimulink (Host Serial Setup)แสดงการสร้างสัญญาณมอดูเลชั่น PWM เพื่อควบคุมการทำงาน ผ่านพอร์ต I/O ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4DISCOVERY



รูปที่ 3.50 แผนภาพSimulink (Target Setup)แสดงการสร้างสัญญาณมอดูเลชั่น PWM เพื่อควบคุมการทำงาน ผ่านพอร์ต I/O ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4DISCOVERY

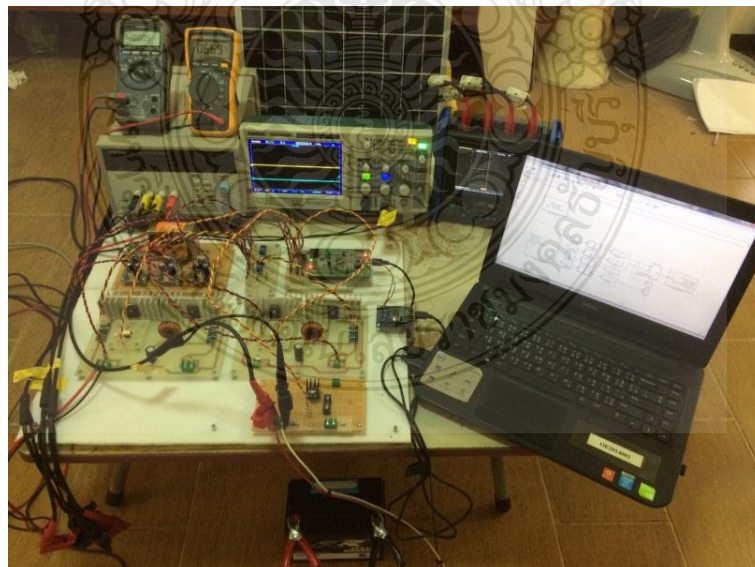
ซึ่งจะต้องสั่งงานสัญญาณมอดูเลชั่นในห้ออกมาที่พอร์ต I/O ของบอร์ดคอนโทรลเลอร์เฟส STM32F4DISCOVERY โดยใช้ Wajung Block set ที่อยู่ใน Simulink Library จากนั้นทำการ Build mode (เพื่อ Compile และ Download) ลงในบอร์ดควบคุม STM32F4DISCOVERY โดยกดปุ่ม Ctrl+B โปรแกรม MATLAB/Simulink จะสร้าง Source ไฟล์ หลังจากนั้นบอร์ดควบคุม STM32F4DISCOVERY จะ Compile source ไฟล์เหล่านั้นด้วย C Compiler ให้เป็น Binary หรือ Hex ไฟล์ เมื่อ Compile เสร็จสิ้น Wajung จะ download Binary ไฟล์ ลงในบอร์ดควบคุม

STM32F4DISCOVERY ผ่าน ST-Link โดยอัตโนมัติ หน้าต่าง Waijung Track Build process จะแสดงผลการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 หน้าต่าง Waijung Track Build Process

หลังจากนั้นนำบอร์ดควบคุม STM32F4DISCOVERY ไปเชื่อมต่อกับชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานจากนั้นวัดผล และเก็บผลของค่าต่างๆที่ได้ เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าให้ผลที่เป็นทิศทางเดียวกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink หรือไม่



รูปที่ 3.52 เชื่อมต่อบอร์ดควบคุม STM32F4DISCOVERY กับชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

## บทที่ 4

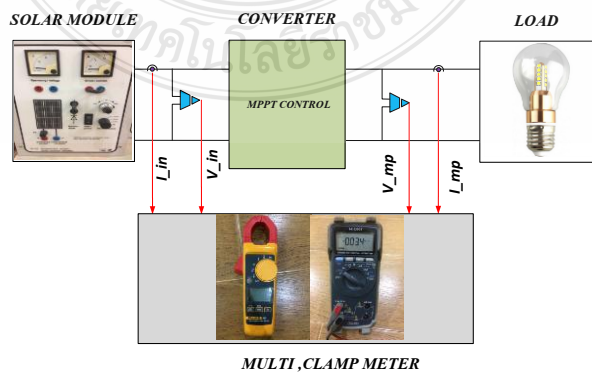
### ผลการวิจัย

การทดสอบ ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ โดยส่วนที่ 1 จะประกอบไปด้วยการทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยจะใช้ผลจากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการทดสอบ ส่วนที่ 2 คือการทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยจะแสดงให้เห็นผลของการควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ ส่วนที่ 3 จะเป็นการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะใช้งานจริง

#### 4.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง

1. เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ SUNSET รุ่น PX 50E จำนวน 1 แผง
2. MULTI METER 1 เครื่อง
3. CLAMP METER 1 เครื่อง
4. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง (GW INSTRON GDS-1102)
5. PAPERLESS RECORDER 1 เครื่อง (FUJI TYPE: PHR)
6. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 36 โวลต์ 1 ชุด และ SOLAR MODULE 24W 1 ชุด
8. แบตเตอรี่ยี่ห้อ RR ขนาด 12 โวลต์ ความจุ 12 Ah
9. โหลดกระแสตรงขนาด 20 W จำนวน 1 ชุด

#### 4.2 การทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 4.1 แผนภาพการทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

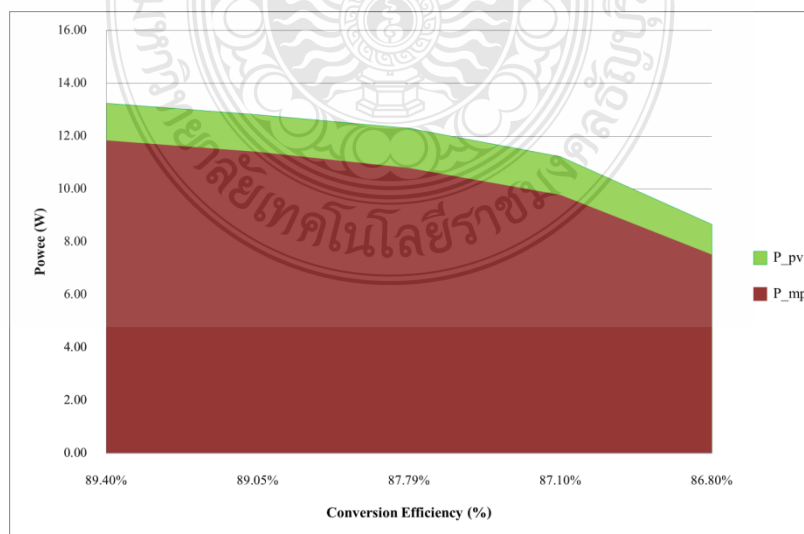
จากรูปที่ 4.1 การทดสอบการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยจะทำการเก็บข้อมูลโดยวิธีปรับเปลี่ยนแรงดันด้านอินพุตที่ได้จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ หัวข้อ 3.5.1 เพื่อตรวจสอบจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด นำมาเปรียบเทียบกับการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแบบจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าเพื่อจะได้ ทราบว่าชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ จึงจัดตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบกับแบบจำลองด้วย

โปรแกรม MATLAB/Simulink

ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )	แรงดันไฟฟ้า ด้านอินพุต ( $V_{IN}$ )	กระแสไฟฟ้า ด้านอินพุต ( $I_{IN}$ )	กำลังไฟฟ้า ด้านอินพุต ( $P_{IN}$ )	แรงดันไฟฟ้า ด้านออก ( $V_{MP}$ )	กระแสไฟฟ้า ด้านออก ( $I_{MP}$ )	กำลังไฟฟ้า ด้านออก ( $P_{MP}$ )	ประสิทธิภาพ ( $\eta\%$ )	ประสิทธิภาพ ( $\eta\%$ ) (แบบจำลอง)
1000	20.70	0.64	13.25	9.87	1.2	11.84	89.40	89.49
800	20.34	0.63	12.81	9.67	1.18	11.41	89.05	89.37
600	19.84	0.62	12.30	9.39	1.15	10.80	87.79	88.37
400	19.03	0.59	11.23	9.2	1.1	9.78	87.10	87.5
200	16.99	0.51	8.66	7.89	0.96	7.52	86.80	87.12

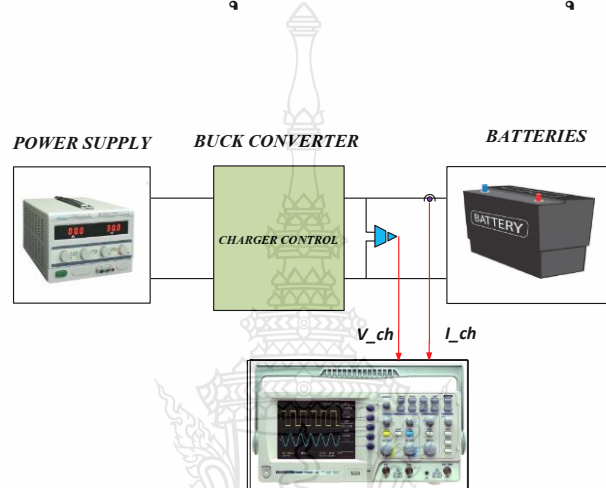
4.2.1 กราฟแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 เป็นการแสดงค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า, จากชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละของแรงดันที่ด้านอินพุตจะมีค่าที่แตกต่างเปรียบเสมือนกับความเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาการทดสอบจะหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

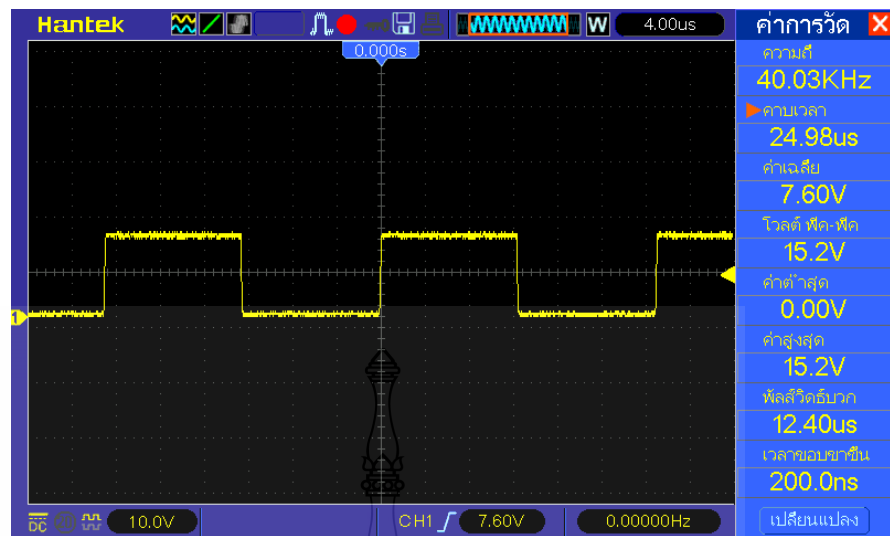
#### 4.3 การทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด



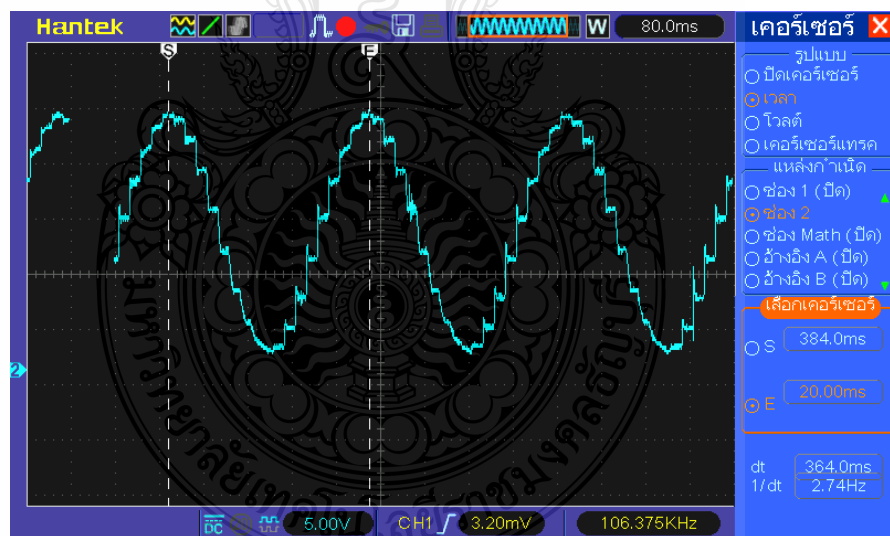
รูปที่ 4.3 แผนภาพการทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด

จากรูปที่ 4.3 แสดงวิธีการทดสอบการทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าเพื่อควบคุมการประจุให้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ โดยผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงการสร้างสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) ผ่านวงจรภาคขับสวิตช์ไอจีบีทีเพื่อทำการควบคุมกระแสและแรงดันที่ใช้ในการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ โดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบ PID Control แบบวงปิดร่วมกับวงจรตรวจวัดกระแสและแรงดัน ดังรูปต่อไปนี้

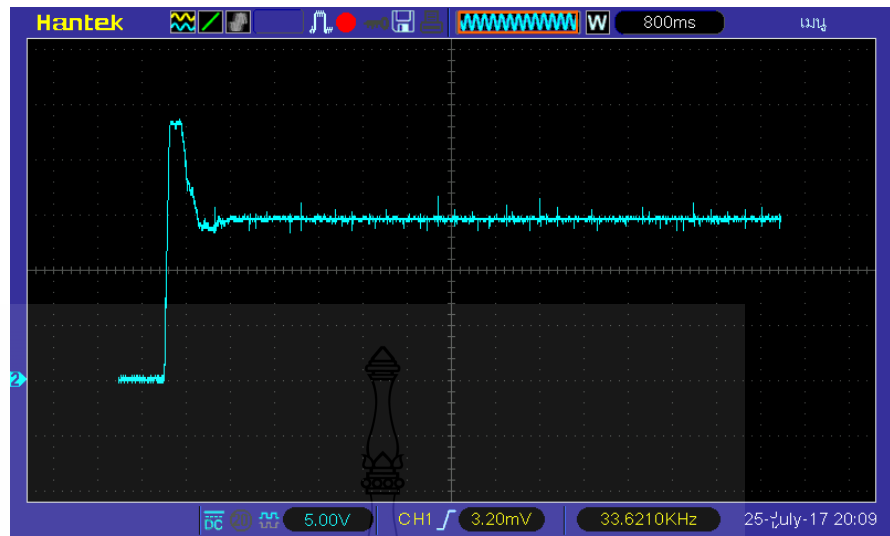




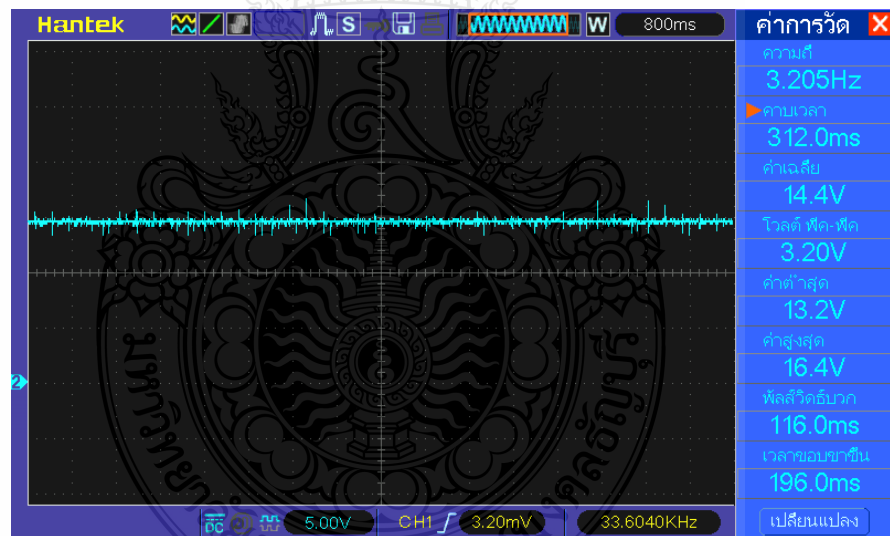
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการสร้างสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) ผ่านวงจรภาคขับสวิตซ์ไอจีบีที



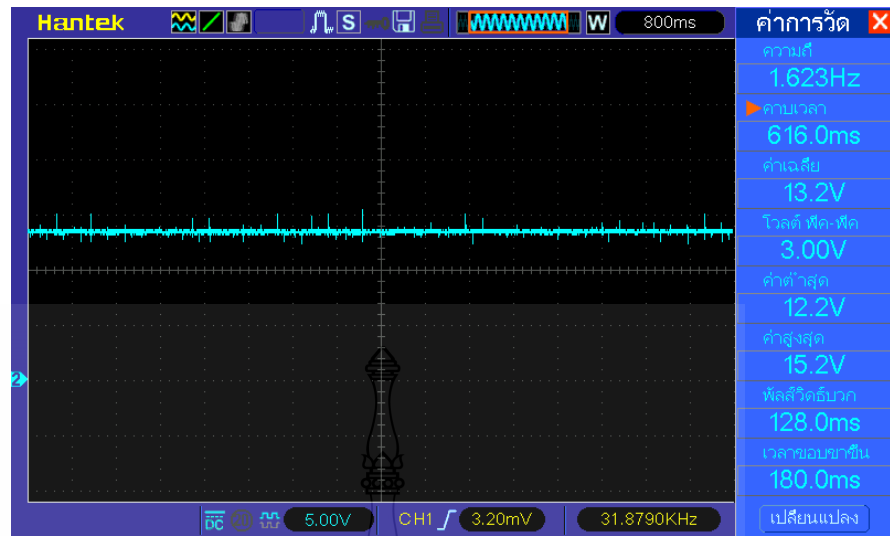
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการของ Ziegler-Nichols (หาค่าเกณฑ์ ( $K_c$ ) และ คาบเวลาของการแกว่งตัว ( $T$ ))



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบผลตอบสนองทางออกของตัวควบคุมพีไอดี



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิด เพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่(SOC = 80%)



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิด เพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ (SOC = 90%)

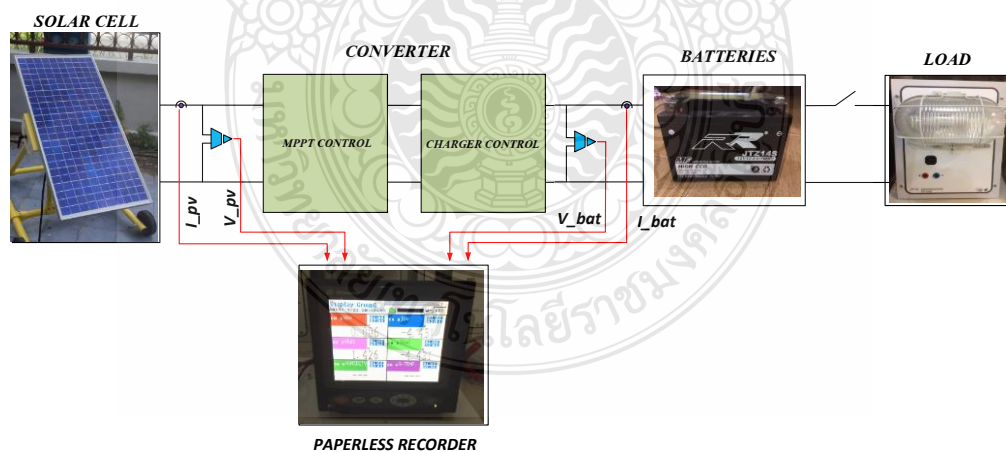
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดสอบแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ SOC = 80% โดยใช้โหลด 15 โอห์ม

แรงดันไฟฟ้า ด้านอินพุต ( $V_{IN}$ )	กระแสไฟฟ้าด้าน อินพุต ( $I_{IN}$ )	แรงดันไฟฟ้าด้าน ออก ( $V_{OUT}$ )	กระแสไฟฟ้าด้าน ออก ( $I_{OUT}$ )
24	0.60	14.46	0.96
22	0.65	14.44	0.94
20	0.69	14.46	0.93
18	0.78	14.49	0.94
16	0.90	14.46	0.96
14	0.91	13.68	0.90
12	0.78	11.73	0.77

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดสอบแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการระบบปิดเพื่อใช้ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ SOC = 90% โดยใช้โหลด 15 โอห์ม

แรงดันไฟฟ้า ด้านอินพุต ( $V_{IN}$ )	กระแสไฟฟ้าด้าน อินพุต ( $I_{IN}$ )	แรงดันไฟฟ้าด้าน ออก ( $V_{OUT}$ )	กระแสไฟฟ้าด้าน ออก ( $I_{OUT}$ )
24	0.54	13.38	0.89
22	0.56	13.37	0.88
20	0.61	13.38	0.86
18	0.67	13.38	0.87
16	0.75	13.39	0.86
14	0.84	13.39	0.85
12	0.74	11.73	0.74

#### 4.4 การทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะใช้งานจริง



รูปที่ 4.9 แผนภาพการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะใช้งานจริง

จากรูปที่ 4.9 แสดงวิธีการทดสอบการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะใช้งานจริง โดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยเริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 07.00 – 17.00 น. ในสภาวะที่แดดสม่ำเสมอด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ SUNSET รุ่น PX 50E จำนวน 1 แผง ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า 50 W โดยทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ ( $V_{pv}$ ), กระแสไฟฟ้าที่เซลล์อาทิตย์ ( $I_{pv}$ ) แรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ( $V_{bat}$ ) และกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ( $I_{bat}$ ) โดยจะทำการวัดและเก็บค่าทุกๆ 30 นาที

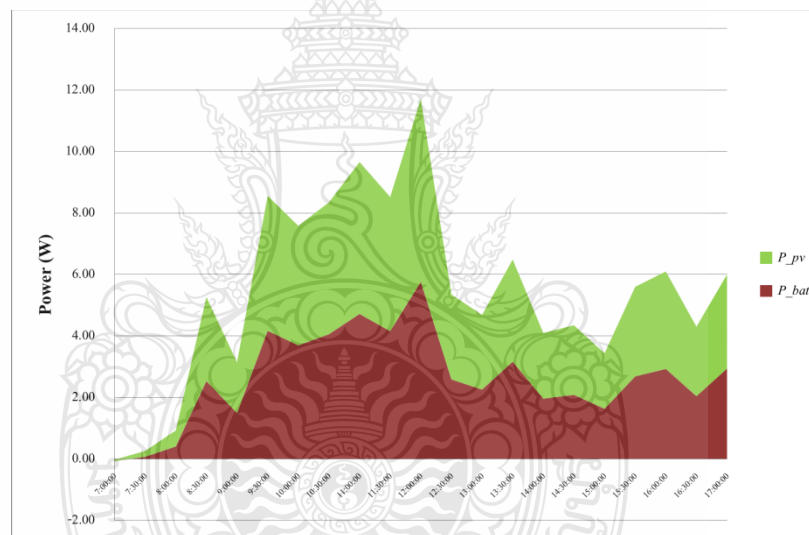
**ตารางที่ 4.4** ผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะใช้งานจริง วันที่ 21/07/60

เวลา	$V_{pv}(V)$	$I_{pv}(A)$	$P_{pv}(W)$	$V_{bat}(V)$	$I_{bat}(A)$	$P_{bat}(W)$	( $\eta\%$ )
07.00 น.	11.87	0.004	0.047	11.90	-0.006	-0.07	-
07.30 น.	11.88	0.016	0.189	11.90	0.006	0.07	38
08.00 น.	11.96	0.044	0.523	11.94	0.034	0.41	77
08.30 น.	12.40	0.221	2.737	12.20	0.208	2.53	92
09.00 น.	12.37	0.133	1.649	12.27	0.122	1.49	91
09.30 น.	12.68	0.346	4.390	12.51	0.333	4.17	95
10.00 น.	12.77	0.304	3.887	12.60	0.293	3.70	95
10.30 น.	12.91	0.332	4.290	12.70	0.319	4.06	95
11.00 น.	13.08	0.378	4.943	12.84	0.367	4.72	95
11.30 น.	13.14	0.332	4.366	12.93	0.321	4.16	95
12.00 น.	13.35	0.446	5.948	13.18	0.437	5.76	97
12.30 น.	13.23	0.209	2.763	13.09	0.198	2.59	94
13.00 น.	13.28	0.183	2.430	13.14	0.172	2.26	93
13.30 น.	13.47	0.247	3.323	13.32	0.238	3.16	95
14.00 น.	13.40	0.159	2.133	13.32	0.148	1.96	92
14.30 น.	13.55	0.167	2.265	13.32	0.156	2.08	92
15.00 น.	13.54	0.133	1.804	13.32	0.122	1.63	90
15.30 น.	14.22	0.205	2.914	13.32	0.192	2.68	92

ตารางที่ 4.4(ต่อ) ผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะใช้งานจริง วันที่ 21/07/60

เวลา	$V_{pv}(V)$	$I_{pv}(A)$	$P_{pv}(W)$	$V_{bat}(V)$	$I_{bat}(A)$	$P_{bat}(W)$	(%)
16.00 น.	14.90	0.213	3.172	13.32	0.200	2.93	92
16.30 น.	14.57	0.155	2.260	14.40	0.142	2.04	90
17.00 น.	14.53	0.187	2.717	13.35	0.182	2.61	96

จากตารางผลการทดสอบที่ 4.4 จะแสดงได้ ดังรูปที่ 4.10 สีเขียวจะแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนเส้นสีแดงเป็นกำลังไฟฟ้าที่ประจุเข้าสู่แบตเตอรี่จะได้โดย พลังงานที่ประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ตลอดทั้งวันจะเท่ากับ 22.72 Wh



รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

#### 4.4.1 การทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าในส่วนการตัดต่อการประจุแบตเตอรี่

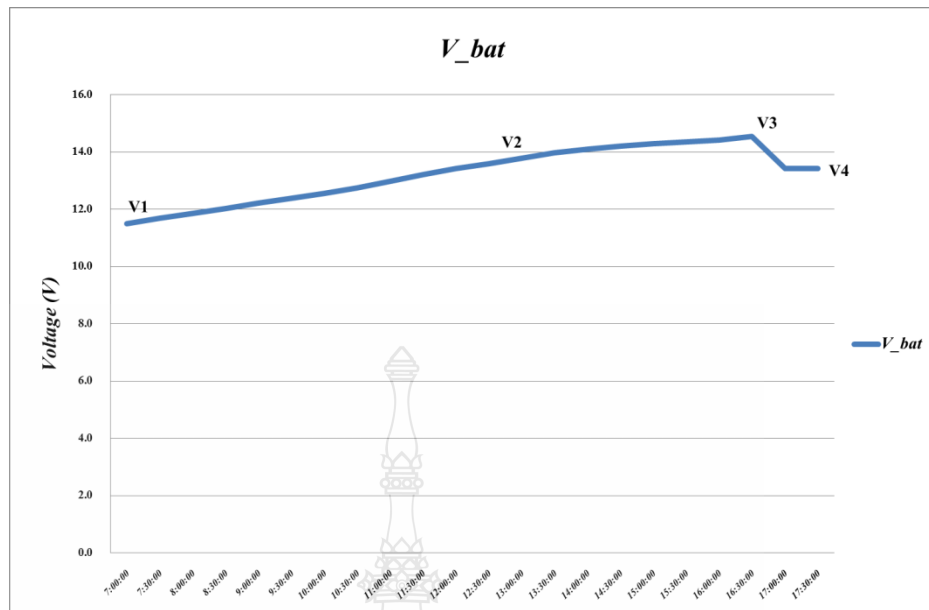
ทำการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าว่าจะสามารถประจุแบตเตอรี่ในสภาวะต่างๆ เป็นไปตามที่ได้ โปรแกรมไว้ หรือไม่โดยจะจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าไว้ 2 สภาวะคือ จำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะประจุ และจำกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดในสภาวะคายประจุโดยจำกัดแรงดัน

สูงสุดในสภาวะประจุไว้ที่ 14.5 โวลต์ และจำกัดแรงดันต่ำสุดในสภาวะคายประจุไว้ที่ 11.7 โวลต์ จากการทดสอบจะได้ ดังตารางที่ 4.5

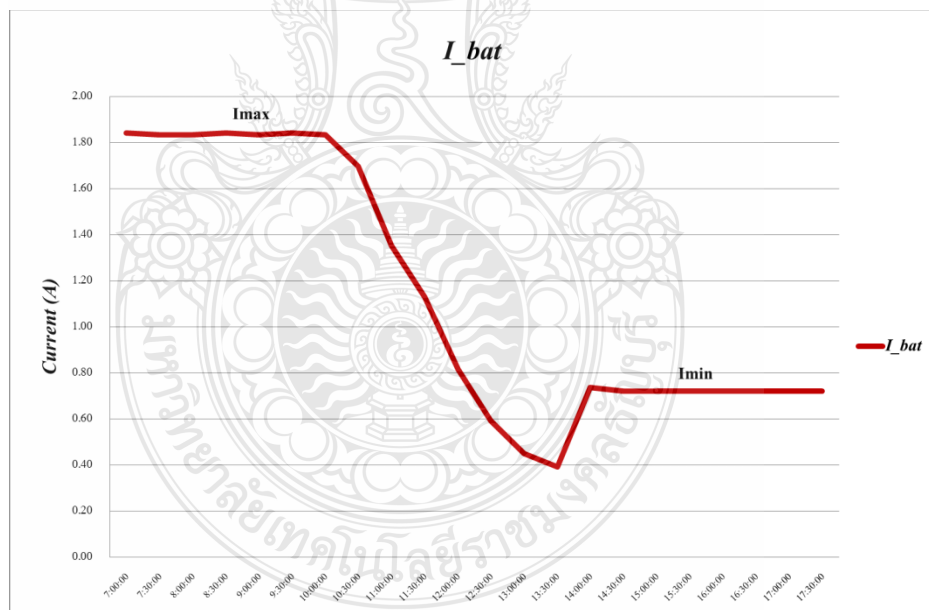
**ตารางที่ 4.5** ผลการทดสอบวงจรประจุแบตเตอรี่ ในส่วนการตัดต่อการประจุแบตเตอรี่

เวลา	$V_{bat}(V)$	$I_{bat}(V)$	เวลา	$V_{bat}(V)$	$I_{bat}(V)$
07.00 น.	11.5	1.84	12.30 น.	13.6	0.59
07.30 น.	11.7	1.83	13.00 น.	13.8	0.45
08.00 น.	11.9	1.83	13.30 น.	14.0	0.39
08.30 น.	12.0	1.84	14.00 น.	14.1	0.74
09.00 น.	12.2	1.83	14.30 น.	14.2	0.72
09.30 น.	12.4	1.84	15.00 น.	14.3	0.72
10.00 น.	12.6	1.83	15.30 น.	14.4	0.72
10.30 น.	12.7	1.70	16.00 น.	14.4	0.72
11.00 น.	13.0	1.35	16.30 น.	14.5	0.72
11.30 น.	13.2	1.13	17.00 น.	13.4	0.72
12.00 น.	13.4	0.82	17.30 น.	13.4	0.72

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเข้าสู่การช่วงประจุแบตเตอรี่ในระดับต่ำกว่า  $V_1 = 11.9 - 12$  โวลต์ จากค่าแรงดัน  $V_1$  จะทำการประจุด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุด  $I_{max}$  ที่ได้กำหนดไว้เป็นจุดเริ่มต้นการประจุแบบที่ 1 (Constant Current) เมื่อเวลาผ่านไปแบตเตอรี่เริ่มมีการประจุแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่จะเริ่มเพิ่มขึ้นจนถึงค่าระดับแรงดัน  $V_2 = 14.25 - 14.4$  โวลต์ เมื่อแรงดันมาถึงตกคร่อมแบตเตอรี่มาถึง  $V_2$  จะเป็นการประจุแบบที่ 2 (Constant Voltage) ค่ากระแสไฟฟ้าจะยังคงค่าสูงสุดไประยะหนึ่งจะค่อยๆลดค่ากระแสที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ ค่ากระแสที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่จะลดลงมาเรื่อย แต่แรงดันตกคร่อมในแบตเตอรี่จะเพิ่มสูงขึ้นไปถึงระดับ  $V_3$  ที่ประมาณ  $V_3 = 14.9 - 15$  โวลต์ จะเป็นการสิ้นสุดการประจุแบบที่ 2 และเป็นการเริ่มต้นประจุแบบที่ 3 (Constant Voltage) ในการประจุแบบนี้จะเป็นการประจุค่ากระแสน้อยๆเพื่อรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ในระดับแรงดัน  $V_4 = 13.2 - 13.4$  โวลต์ ซึ่งถ้าหากแบตเตอรี่ถูกดึงกระแสจากโหลดลดลงมาถึง 11.7 โวลต์ จะทำการเริ่มประจุแบบที่ 1 ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะประจุแบตเตอรี่ในสภาวะใช้งานจริง

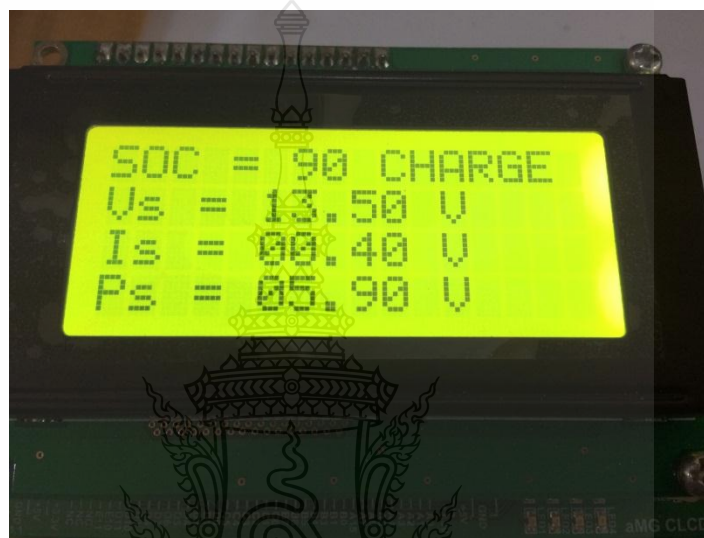


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาขณะประจุแบตเตอรี่ในสภาวะใช้งานจริง



#### 4.4.2 ทดสอบจอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด เพื่อแสดงสถานะต่างๆ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) นอกจากการทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล จากวงจรตรวจวัดกระแส และแรงดัน (Analog Input , ADC) เพื่อควบคุมการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ แล้วภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์เรายังสามารถนำข้อมูลมาแสดงเป็นตัวเลข หรือข้อความ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจสถานะการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าได้ง่าย ดังรูป 4.11



รูปที่ 4.13 Simulink Model สำหรับแสดงค่าสถานะการทำงาน โดยใช้จอแสดงผล LCD



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรมอเตอร์ที่หาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้หลักการวิธีการรบกวนและการสังเกต และควบคุมการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F4DISCOVERY) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 50 W จำนวน 1 แผง เพื่อทำการทดสอบประจุให้กับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ขนาดความจุ 12 Ah

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.1 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรมอเตอร์สามารถทำการติดตามแรงดันที่ให้ออกกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ จริงโดยมีประสิทธิภาพของวงจรประมาณ 86.80 – 89.40 % เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จะมีค่าความผิดพลาด 0.2% - 0.4% ดังรูปที่ 4.2

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.4-4.8 และตารางที่ 4.2-4.3 การทำงานวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบวงปิด จะแสดงให้เห็นถึงการสร้างสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านวงจรมอเตอร์ที่หาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อทำการควบคุมกระแสและแรงดันที่ใช้ในการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยการต่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะใช้งานจริงแสดงประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยเริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 07.00 – 17.00 น. ในสถานะที่แดดสม่ำเสมอโดยมีประสิทธิภาพของวงจรประมาณ 91 – 97 % และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ได้ พลังงานที่ประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ตลอดทั้งวันจะเท่ากับ 22.72Wh

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบวงจรประจุแบตเตอรี่ในส่วนการตัดต่อการประจุแบตเตอรี่ จากผลการทดสอบเมื่อเข้าสู่การช่วงประจุแบตเตอรี่จะมีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่การช่วงประจุแบตเตอรี่ในระดับต่ำกว่า  $V_1 = 11.9 - 12$  โวลต์ จะทำการประจุด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุด  $I_{max}$  เป็นจุดเริ่มต้นการประจุแบบที่ 1 (Constant Current) เมื่อเวลาผ่านไปแบตเตอรี่มีแรงดันตกคร่อมจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนถึงค่าระดับแรงดัน  $V_2 = 14.25 - 14.4$  โวลต์ เมื่อแรงดันมาถึงตกคร่อมแบตเตอรี่มาถึง  $V_2$  จะเป็นการประจุแบบที่ 2 (Constant Voltage) ค่ากระแสไฟฟ้าจะยังคงค่าสูงสุดไประยะหนึ่งจะค่อยๆลด

ค่ากระแสที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ แต่แรงดันตกคร่อมในแบตเตอรี่จะเพิ่มสูงขึ้นไปถึงระดับ  $V_3$  ที่ประมาณ  $V_3 = 14.9-15$  โวลต์ จะเป็นการสิ้นสุดการประจุแบบที่ 2 และเป็นการเริ่มต้นประจุแบบที่ 3 (Constant Voltage) จะเป็นการประจุค่ากระแสเรื่อยๆเพื่อรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ในระดับแรงดัน  $V_4 = 13.2 - 13.4$  โวลต์ ซึ่งถ้าหากแบตเตอรี่ถูกดึงกระแสจากโหลดลดลงมาถึง 11.7 โวลต์ จะทำการเริ่มประจุแบบที่ 1 ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบจอแสดงผล LCD สามารถแสดงสถานะต่างๆโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ นำข้อมูลมาแสดงเป็นตัวเลข หรือข้อความ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจสถานะการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น

## 5.2 ปัญหาที่พบ

1. เนื่องจากข้อจำกัดข้อวงจรบัคคอนเวอร์ที่นำมาใช้ในการหาค่าลงไฟฟ้าสูงสุดต้องใช้แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าด้านเอาต์พุตของวงจรบัคคอนเวอร์ ประมาณ 30% หากในกรณีเลือกใช้แรงดันต่ำกว่า หากในช่วงเวลาที่แสงน้อยจะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากแรงดันอินพุตมีค่าต่ำกว่าด้านเอาต์พุตของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
2. ระบบแหล่งจ่ายไฟให้กับภาคคอนโทรลยังใช้จากภายนอกซึ่งต้องใช้ไฟจากระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ หากเกิดไฟฟ้าขัดข้องไม่สามารถควบคุมการทำงานได้
3. งานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงเครื่องต้นแบบจึงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดและแบตเตอรี่ได้ต่ำยังไม่สามารถสร้างระบบที่สมบูรณ์ได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงวงจรคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรบัค-บูส คอนเวอร์เตอร์ในการหาค่าลงไฟฟ้าสูงสุดในชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า
2. ปรับปรุงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้ให้เป็นวงจรฟลายแบคที่มีการสูญเสียภายในต่ำเพื่อสามารถจ่ายไฟเลี้ยงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. เปลี่ยนวิธีการหาค่าลงไฟฟ้าสูงสุด เช่น Fuzzy Logic หรือ Neural Network เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เป็นต้น
4. เปลี่ยนแบตเตอรี่เป็นแบบ deep cycle ที่มีความจุมากขึ้นเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้มากขึ้น และเพื่อสามารถนำไปใช้ร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์

## บรรณานุกรม

- [1] James P, Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems" Florida Solar Energy Center 1679 Clearlake Road Cocoa, FL 32922-5703
- [2] ประเมษฐ์ จิตเจนการ และคณะ "เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับการใช้งานระบบสำรอง พลังงานในโครงข่ายอัจฉริยะ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555
- [3] Tiezhou Wu ,Qing Xiao ,Linzhang Wu,Jie Zhang,Mingyue Wang "Study and Implementation on Batteries Charging Method of Micro-Grid Photovoltaic Systems" Smart Grid and Renewable Energy,2011
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน,วุฒิปด ธาราธิรเศรษฐ์ "หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กำลัง" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กันยายน 2547
- [5] ปรีตร จิริสิทธิ์ และคณะ " เครื่องทดสอบแบตเตอรี่อัจฉริยะ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555
- [6] Bibek Mishra and Bibhu Prasanna Kar" MATLAB BASED MODELING OF PHOTOVOLTAIC ARRAY CHARACTERISTICS" Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Rourkela ; 2012
- [7] Ankur Bhattacharjee" Design and Comparative Study of Three Photovoltaic Battery Charge Control Algorithms in MATLAB/SIMULINK Environment" International Journal of Advanced Computer Research (ISSN (print):,2012
- [8] B.J. Huang , P.C. Hsu, M.S. Wu, P.Y. Ho" System dynamic model and charging control of lead-acid battery for stand-alone solar PV system" Solar Energy ;2010
- [9] Linden, David, and Reddy" Lead-Acid Batteries; Handbook of Batteries;2002
- [10] Galib Hashmi, Manjurul Alam Dipon and Md. Habibiur Rahman" Design & Development of a Microcontroller Based High-Efficient Smart Solar Charge Controller for Standalone Solar Photovoltaic Systems." J. Bangladesh Electron.; 2011

- [11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน(2553) ,ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์, 10 สิงหาคม2558.[http://www.ces.kmutt.ac.th/PV\\_text/Designer\\_CH1toCH5.pdf](http://www.ces.kmutt.ac.th/PV_text/Designer_CH1toCH5.pdf)
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). พลังงานแสงอาทิตย์, 7 ตุลาคม2558.  
[http://www3.egat.co.th/re/egat\\_pv/sun\\_energy.html](http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_energy.html)
- [13] LEONICS. (2003). ความรู้ เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, 10 สิงหาคม2558.  
[http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar\\_knowledge.php](http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php)







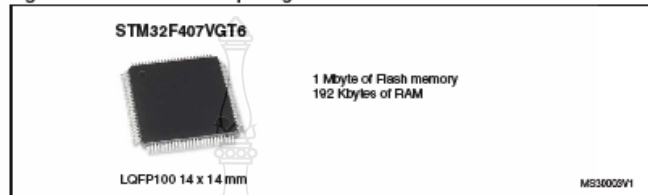
ภาคผนวก ก  
คุณลักษณะอุปกรณ์ที่สำคัญ

## ก.1 คุณสมบัติของคาร์ดิออเตอร์เฟส STM32F407VGT6

### 4.1 STM32F407VGT6 microcontroller

This ARM Cortex-M4 32-bit MCU with FPU has 210 DMIPS, up to 1 MB Flash/192+4 KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces and a camera.

Figure 5. STM32F407VGT6 package

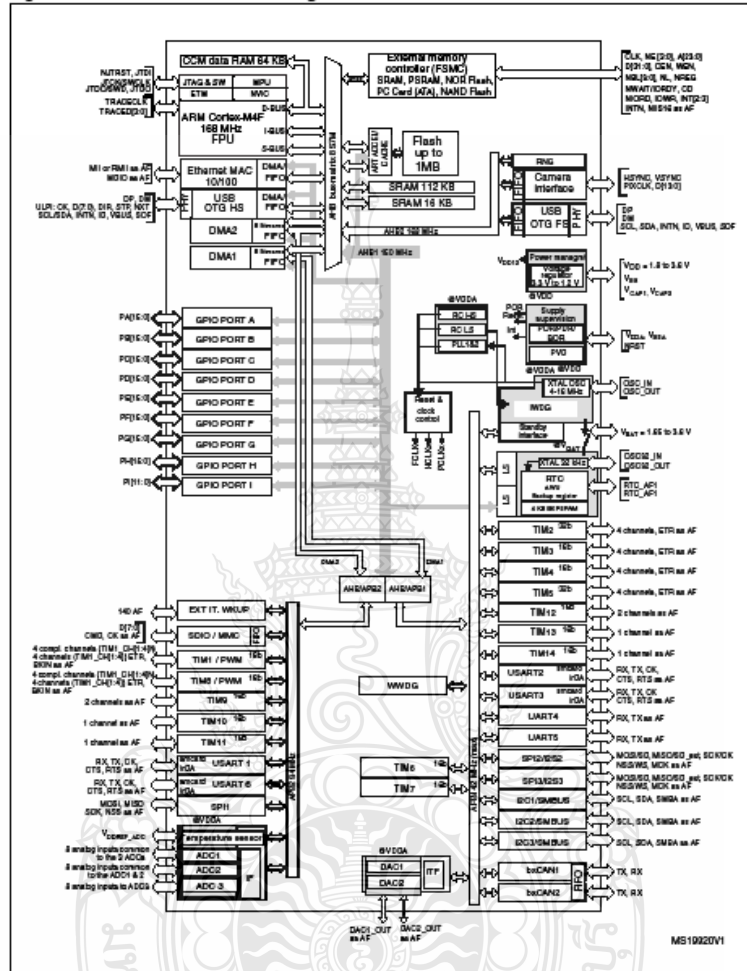


This device provides the following benefits.

- 168 MHz/210 DMIPS Cortex-M4 with single cycle DSP MAC and floating point unit providing:
  - Boosted execution of control algorithms
  - More features possible for your applications
  - Ease of use
  - Better code efficiency
  - Faster time to market
  - Elimination of scaling and saturation
  - Easier support for meta-language tools
- Designed for high performance and ultra fast data transfers; ART Accelerator, 32-bit, 7-layer AHB bus matrix with 7 masters and 8 slaves including 2 blocks of SRAM, Multi DMA controllers: 2 general purpose, 1 for USB HS, 1 for Ethernet, One SRAM block dedicated to the core, providing performance equivalent to 0-wait execution from Flash Concurrent execution and data transfers and simplified resource allocation
- Outstanding power efficiency; Ultra-low dynamic power, RTC <1  $\mu$ A typical in VBAT mode, 3.6 V down to 1.7 V VDD, Voltage regulator with power scaling capability, providing extra flexibility to reduce power consumption for applications requiring both high processing and low power performance when running at low voltage or on a rechargeable battery
- Maximum integration: Up to 1 Mbyte of on-chip Flash memory, 192 Kbytes of SRAM, reset circuit, internal RCs, PLLs, WLCSP package available, providing more features in space constrained applications
- Superior and innovative peripherals providing new possibilities to connect and communicate high speed data and more precision due to high resolution
- Extensive tools and software solutions providing a wide choice within the STM32 ecosystem to develop your applications.



Figure 6. STM32F407VGT6 block diagram



## 4.2 Embedded ST-LINK/V2

The ST-LINK/V2 programming and debugging tool is integrated on the STM32F4DISCOVERY. The embedded ST-LINK/V2 can be used in 2 different ways according to the jumper states (see [Table 2](#)):

- Program/debug the MCU on board,
- Program/debug an MCU in an external application board using a cable connected to SWD connector CN2.

The embedded ST-LINK/V2 supports only SWD for STM32 devices. For information about debugging and programming features refer to user manual UM1075 (*ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32*) which describes in detail all the ST-LINK/V2 features.

Figure 7. Typical configuration

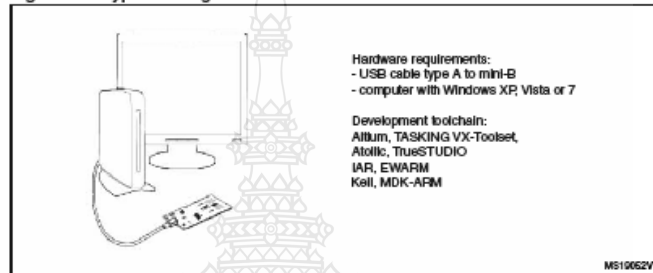


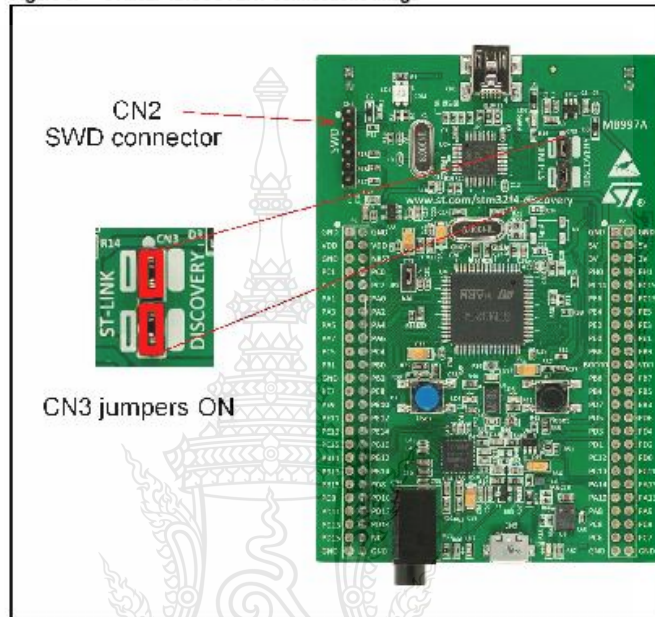
Table 2. Jumper states

Jumper state	Description
Both CN3 jumpers ON	ST-LINK/V2 functions enabled for on board programming (default)
Both CN3 jumpers OFF	ST-LINK/V2 functions enabled for application through external CN2 connector (SWD supported)

#### 4.2.1 Using ST-LINK/V2 to program/debug the STM32F4 on board

To program the STM32F4 on board, simply plug in the two jumpers on CN3, as shown in [Figure 8](#) in red, but do not use the CN2 connector as that could disturb communication with the STM32F407VGT6 of the STM32F4DISCOVERY.

Figure 8. STM32F4DISCOVERY connections image



**4.2.2 Using ST-LINK/V2 to program/debug an external STM32 application**

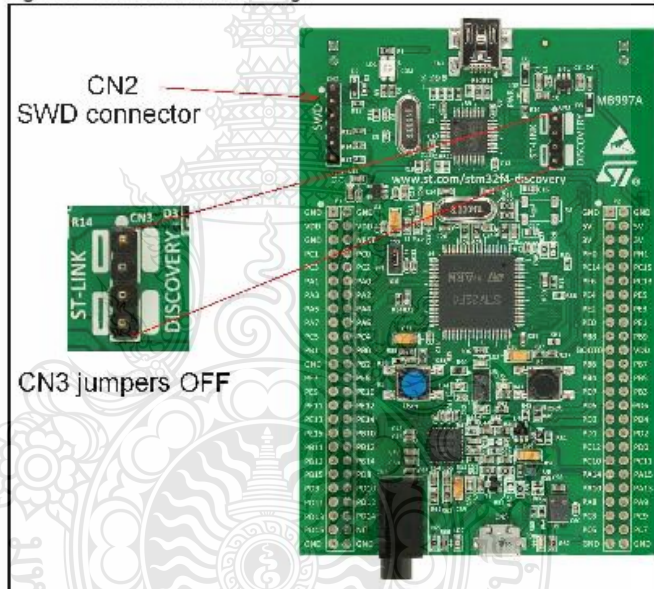
It is very easy to use the ST-LINK/V2 to program the STM32 on an external application. Simply remove the 2 jumpers from CN3 as shown in *Figure 9*, and connect your application to the CN2 debug connector according to *Table 3*.

*Note:* SB11 must be OFF if you use CN2 pin 5 in your external application.

**Table 3. Debug connector CN2 (SWD)**

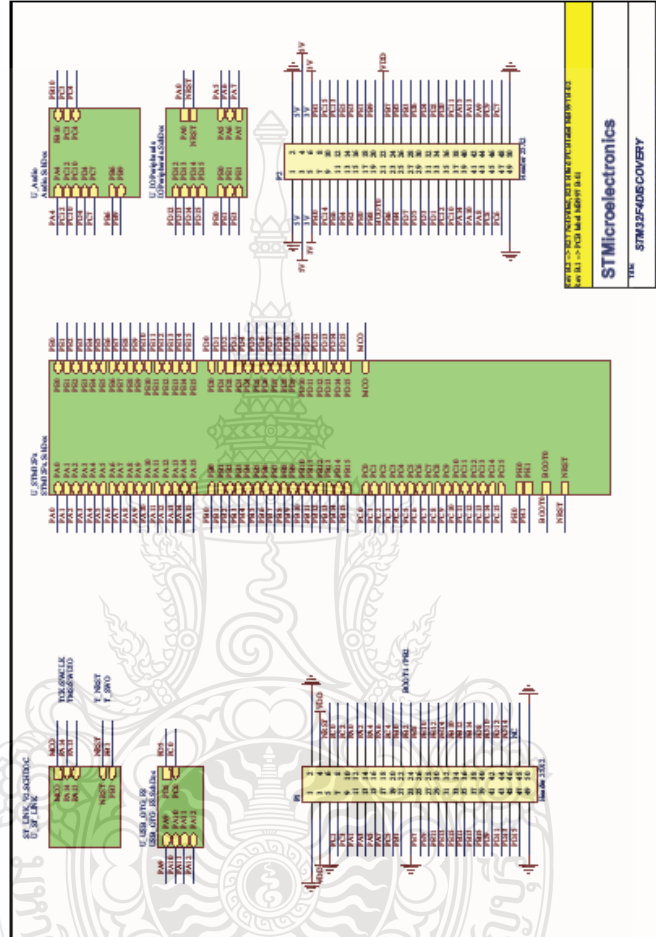
Pin	CN2	Designation
1	VDD_TARGET	VDD from application
2	SWCLK	SWD clock
3	GND	Ground
4	SWDIO	SWD data input/output
5	NRST	RESET of target MCU
6	SWO	Reserved

**Figure 9. ST-Link connections image**

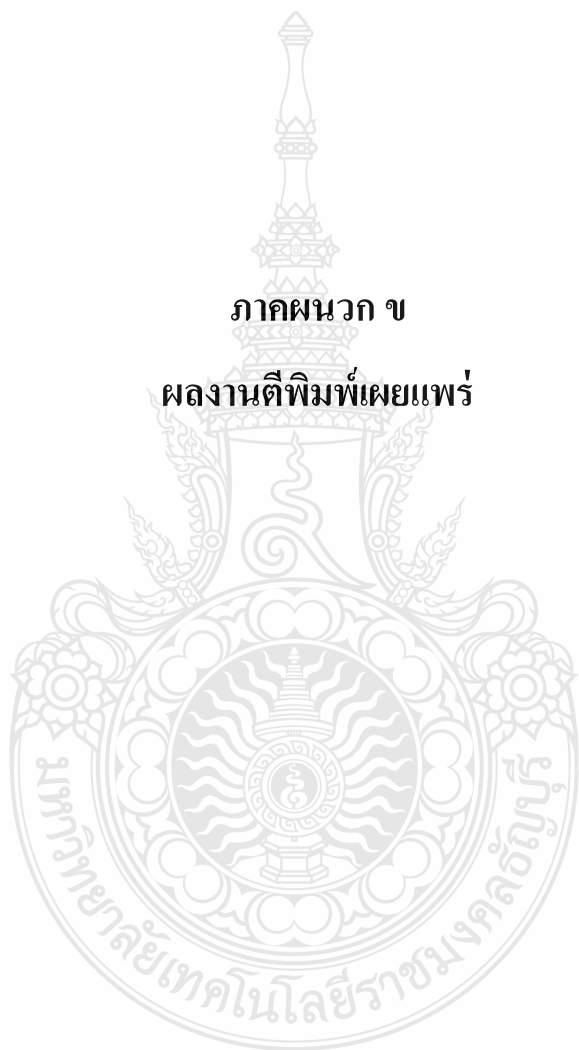


6 Electrical schematics

Figure 11. STM32F4DISCOVERY



ภาคผนวก ข  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ค.1 การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์  
แสงอาทิตย์

**การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ  
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6**  
The 6<sup>th</sup> Thailand Renewable Energy for Community Conference

**TREC-6**  
13-15 พฤศจิกายน 2556  
ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

CP ไฟฟ้าชุมชน  
CF เชื้อเพลิงชุมชน  
CT ความร้อนชุมชน  
EC การประหยัดพลังงาน  
CE สิ่งแวดล้อมชุมชน







บทความวิจัย: ไฟฟ้าชุมชน (CP)		หน้า
CP001	การวิเคราะห์การเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก TEG12750D ด้วยการทดลองเปรียบเทียบกับจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MatLab Simulink นายคณิต พิมพ์คำไหล	233
CP002	การทดสอบการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมแกนนอนแบบใช้กังหันสองชุดติดตั้งบนแกนเดียวกัน นายวินัย บุญน้อย	242
CP003	การประเมินศักยภาพพลังงานลมจากข้อมูลสถานีตรวจวัดอุตุณิยวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา นายวรสิทธิ์ ศรีบุญ	251
CP004	เครื่องวัดพลังงานและคำนวณค่าไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีฟลูออเรสเซนต์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แบบเวลาจริง นายผดุง กิจแสวง	259
CP005	การควบคุมการแกว่งความถี่ต่ำของระบบเชื่อมโยงพลังงานทดแทนในชุมชน นายอมร อินทรอง	267
CP006	การผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลสำหรับชุมชนห่างไกล นางสาวณัฐวรรณ พริ้งแก้ว	276
CP007	การควบคุมกำลังแอกทิฟโรงเดินกำลังเซลล์เชื้อเพลิงในระบบจำหน่าย โดยใช้ตัวแปลงผันที่ดับเบิลยูเอ็ม นายบรรณวุฒิ บริบูรณ์	280
CP008	การศึกษาและออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางสำหรับระบบพลังงาน ทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ นางสาวเสาวนีย์ กันทะ	290
CP009	ศึกษารออกแบบพิวส์สวิตซ์แรงต่ำโดยใช้ฉนวนเรซิน นายวิทยา โสสีหา	297
CP010	การจำลองเส้นโค้งสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนนอน นายอภิชาติ ไชยพันธุ์	305
CP011	การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ นายยุทธพงษ์ ทองช่วง	314
CP012	การออกแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบโครสโฟลว์ด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล นายบัณฑิต เสรีกิจ	322
CP013	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกังหันลมด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล นายชาคริต จีนลอย	332
CP014	การออกแบบระบบไฟโตโวลตาอิกสำหรับชุมชนในชนบทไทย นายมนตรี สุขเศรษฐ์	337
CP015	การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงเตลล่า ที่ใช้การสวิตซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์แทนสปรักแกป โดยจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นายสุพจน์ วรวิพรหมมา	346



CP011

การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์สำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์  
**Study of Smart Charger Controller for PV Battery**

ยุทธพงษ์ ทองช่วง บริพัทธ์ นอมรพิทักษ์วัฒนา บุญยัง ปลั่งกลาง  
 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3400  
 โทรสาร 0-2577-5026 E-mail: volayut@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอการศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์สำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าดังกล่าวได้ถูกออกแบบ โดยเน้นไปที่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด โดยชุดควบคุมการประจุอาศัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (synchronous buck converter) ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่โดยที่ชุดควบคุมด้วย วงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า วิธีการควบคุมการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่กับ วิธีการประจุแบบต่างๆดังนี้ Bulk Charge Constant Current, Absorption Charge Constant Voltage, Floating Charge Voltage ซึ่งแต่ละแบบ มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแต่ละวิธี ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการประจุแบบต่างๆโดยจะออกแบบให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะต้องคำนึงถึงเรื่อง ระดับกำลังของแบตเตอรี่ SOC (State of Charge) และ ผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้น เช่น การคายประจุ DOD (Deep of Discharge) การเกิด Gassing และ ผลของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่[1] ชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์สำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จะถูกจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยจะนำเสนอผลการจำลองเพื่อจะแสดงให้เห็นรูปแบบการชาร์จของชุดควบคุมการชาร์จ ที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติและสื่อสารกับแบตเตอรี่และผู้ปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง

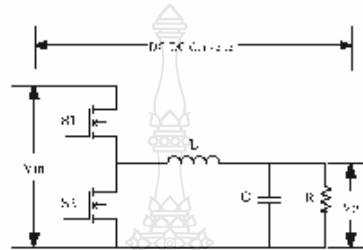
คำสำคัญ: ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์, วิธีการประจุแบตเตอรี่, ชุดควบคุมประจุแบตเตอรี่

**1. บทนำ**

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตาม ธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ จึงได้มีการศึกษาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ(Invert DC-AC) แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากทำหน้าที่สะสมพลังงาน แบตเตอรี่เมื่อใช้งานไปเรื่อยๆย่อมมีการเสื่อมสภาพด้วยหลายๆ ปัจจัย เช่น อุณหภูมิ การคายประจุ และจากการใช้งาน ซึ่งมีผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการใช้ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม (Charger Controller) เพื่อควบคุมการทำงาน ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะศึกษาวิธีการประจุแบตเตอรี่และการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเน้นไปที่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดซึ่งเป็นนิยมใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ ได้ถูกประยุกต์เพื่อใช้กับการประจุแบตเตอรี่ในระบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อดีของคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ คือ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และลดแรงดันตกคร่อมในวงจร ได้ดีกว่าวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป จึงเหมาะกับการนำมาใช้ในวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่[2]

ตัวอย่างวงจร จะแสดงดังรูปที่ 1

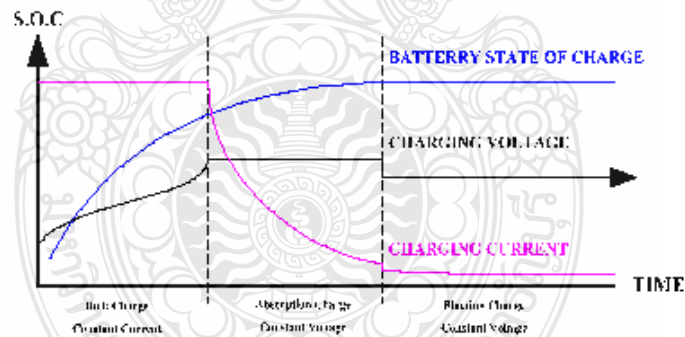


รูปที่ 1 ตัวอย่างวงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์

## 2. หลักการของชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

### 2.1 วิธีการประจุแบตเตอรี่

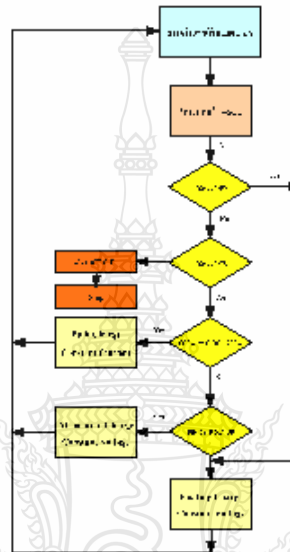
การประจุแบตเตอรี่จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ คือ วงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ และวงจรควบคุมการประจุ โดยจะแบ่งวิธีการประจุแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ลักษณะนี้ Bulk Charge Constant Current, Absorption Charge Constant Voltage, Floating Charge Voltage โดยรูปแบบการประจุแบตเตอรี่ จะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการประจุแบตเตอรี่

ในบทความนี้ขอกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเนื่องจากการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V เพื่อเก็บพลังงาน โดยใช้รูปแบบการประจุแบตเตอรี่ แบบ Three stage charging[3] วิธีนี้

คือเริ่มชาร์จแบตเตอรี่ในส่วนแรก 70-80% ของ SOC โดยใช้วิธี Bulk Charge Constant Current เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดัน Gassing ขั้นที่สองคือ การประจุแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือ 20-30% ของ SOC ด้วยวิธี Absorption Charge Constant Voltage เป็นการประจุด้วยแรงดันคงที่ และวิธีสุดท้ายเพื่อทำการชดเชย SOC ของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มี SOC 100% ในระยะเวลาอันสั้น Floating Charge Constant Voltage แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่

เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้ว หลังจากนั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

## 2.2 การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรงแบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ [4]

วงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรงแบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ดังนั้นการเลือกใช้ค่าเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องเลือกค่าที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถทำงานแบบกระแสต่อเนื่อง โดยจะทำการอัดประจุไฟแก่แบตเตอรี่ 12 V และกำหนดความถี่ (f) สวิตซ์อยู่ที่ 25 KHz สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในวงจรได้จากสมการดังนี้

คำนวณค่าตัวชี้โวลเทจ กำหนดแรงดันขาออกเป็น 15V ( $V_o=36V$ ) ตัวชี้โวลเทจ (Duty Cycle) ได้เป็น

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (1)$$

ดังนั้นได้ค่าตัวชี้โวลเทจ 0.41

คำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ( $L_{min}$ )

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

ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ต่ำสุดเท่ากับ 30 $\mu$ F ที่สามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่อง  
คำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้โอเวอร์ลอคคินเท่ากับ 4%

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V}{V_o}} \quad (3)$$

ดังนั้นเลือกค่าตัวเก็บประจุเป็น 100 $\mu$ F

การออกแบบขนาดตัวเหนี่ยวนำของวงจรตอนระดับนั้น ที่ค่าแรงดันขาออกเป็น 15V นั้นค่าความต้านทานโหลดจะมีค่าประมาณ 10 $\Omega$  ซึ่งจะกำหนดให้วงจรทำงานในโหมดกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (4)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_o}{R} - \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (5)$$

ได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด 1.68A, 1.33A จากค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดข้างต้น แสดงว่าวงจรตอนระดับแรงดันนั้นทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง (Continuous Current Conduction Mode) ตามที่กำหนด

### 2.3 หลักการของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

เมื่อเริ่มต้นการทำงานชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทจะทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยการจ่ายไฟให้กับ วงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (synchronous buck converter) โดยใช้การตรวจจับแรงดันและกระแส ผ่านเซนเซอร์ 2 ที่ได้จากแบตเตอรี่เพื่อทำการเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงเพื่อหาค่า SOC เพื่อแสดงผลและส่งข้อมูลไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมวงจร เพื่อควบคุมแรงดันและกระแสผ่านตัวควบคุมพีไอ

คำนวณค่าตัวชี้เซลล์ กำหนดแรงดันขาออกเป็น 15V ( $V_o=36V$ ) ตัวชี้เซลล์ (Duty Cycle) ได้เป็น

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (1)$$

ดังนั้นได้ค่าตัวชี้เซลล์ 0.41

คำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ( $L_{min}$ )

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

ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ต่ำสุดเท่ากับ 30 $\mu F$  ที่สามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่อง  
คำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้โอเวอร์ลอคคี่นเท่ากับ 4%

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V}{V_o}} \quad (3)$$

ดังนั้นเลือกค่าตัวเก็บประจุเป็น 100 $\mu F$

การออกแบบขนาดตัวเหนี่ยวนำของวงจรตอนระดับนั้น ที่ค่าแรงดันขาออกเป็น 15V นั้นค่าความต้านทานโหลดจะมีค่าประมาณ 10 $\Omega$  ซึ่งจะกำหนดให้วงจรทำงานในโหมดกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (4)$$

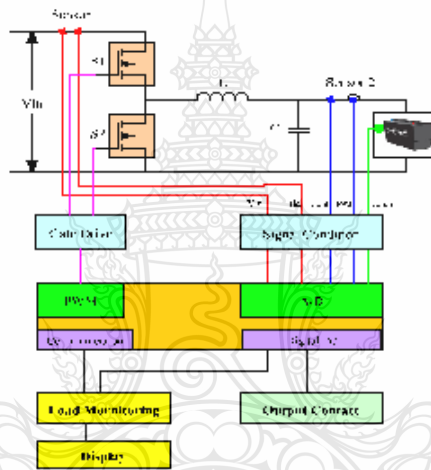
$$I_{L,min} = \frac{V_o}{R} - \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)T}{L} \right) \quad (5)$$

ได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด 1.68A, 1.33A จากค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดข้างต้น แสดงว่าวงจรตอนระดับแรงดันนั้นทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง (Continuous Current Conduction Mode) ตามที่กำหนด

### 2.3 หลักการของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

เมื่อเริ่มต้นการทำงานชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทจะทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยการจ่ายไฟให้กับ วงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (synchronous buck converter) โดยใช้การตรวจจับแรงดันและกระแส ผ่านเซนเซอร์ 2 ที่ได้จากแบตเตอรี่เพื่อทำการเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงเพื่อหาค่า SOC เพื่อแสดงผลและส่งข้อมูลไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมวงจร เพื่อควบคุมแรงดันและกระแสผ่านตัวควบคุมพีไอ

(PI Controller)[5] โดยจะใช้ค่าของกระแสที่วัดได้จากเซนเซอร์ 2 ในรูปแบบของแรงดันไปลบกับค่ากระแสอ้างอิงที่ตั้งไว้ ก็จะได้ค่าผลต่างระหว่างกระแสอ้างอิงกับกระแสจริง แล้วนำค่าผลต่างที่ได้มาเข้าสู่ฟังก์ชันตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยค่าที่ได้จากฟังก์ชันตัวควบคุมชนิดพีไอจะนำไปใช้สร้างสัญญาณพัลส์ PWM โดยใช้ความถี่สวิตช์ที่ 25 kHz เพื่อที่แรงดันและกระแสที่ถูควบคุมมาประจุแบตเตอรี่ ให้เป็นไปตามรูปแบบการประจุ ที่ได้รับการออกแบบไว้ วงจรควบคุมการประจุแบบสมาร์ท นอกจากถูกออกแบบให้เป็นไปตามรูปแบบการประจุแบบต่างๆ แล้ว ยังถูกออกแบบให้สามารถสื่อสารกับแบตเตอรี่ โดยอาศัย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านเซนเซอร์ 1 และ 2 โดยจะส่งผ่านข้อมูลต่างๆไม่ว่าจะเป็น เปอร์เซนต์ SOC หรือ อุณหภูมิ ขณะใช้งาน แรงดันและกระแส แสดงผลผ่าน ระบบ Display ของตัวชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทและผ่านระบบ Monitoring โดยจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงข้อมูลสื่อสารกับผู้ปฏิบัติการโดยจะแสดงรูปแบบการทำงานเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่แสดงดัง รูปที่ 4

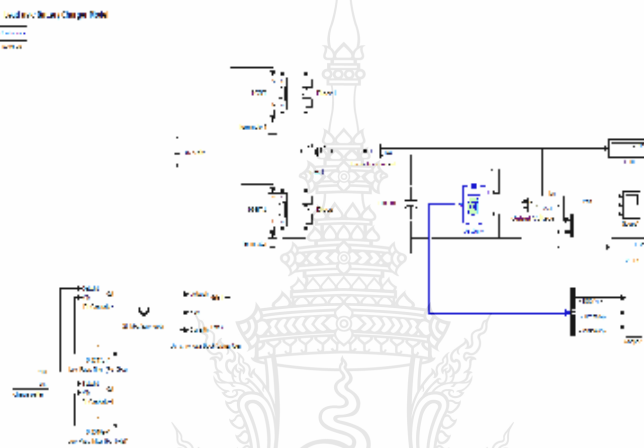


รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

### 3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทความนี้จะกล่าวถึงการใช้ โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท จุดประสงค์การจำลองคือการ ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจาก ระบบ PV System และควบคุมแรงดันหรือกระแสเพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ โดยการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อให้เหมือนกับสภาวะทำงานจริงของแบตเตอรี่ แบบจำลองนี้จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่าย กระแสตรงเปรียบเสมือน ระบบ PV System โดยระบบจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรงแบบ ซิงโครนัสบิกคอนเวอร์เตอร์ โดยจะมีบล็อกวัดกระแสและแรงดันที่ด้านหน้าของคอนเวอร์เตอร์ทำการวัดกระแสและแรงดันแล้วจึงนำค่าที่ได้จากการวัดผ่าน วงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน Low Pass Filter ที่มี เนื่องจากกระแสและแรงที่วัดได้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมได้จึงต้องผ่านวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่านก่อนเพื่อนำมาใช้ในการควบคุม โดยการ

ควบคุมจะถูกควบคุมโดยบล็อก Charge Pattern จากนั้นนำค่ากระแสและแรงดันที่ผ่านวงจรกรองแล้วทำให้อยู่ในรูปของปริมาณต่อหน่วย ซึ่งค่ากระแสและแรงดันที่ได้อยู่ในรูปของปริมาณต่อหน่วยนี้จะถูกนำไปลบออกจากค่ากระแสและแรงดันที่ต้องการให้มีค่าคงที่ แล้วนำค่าที่ได้การผ่านเข้าสู่บล็อกการควบคุม PI Controller1 และ PI Controller2 เพื่อให้ตัวควบคุมสร้างสัญญาณควบคุมออกมา แล้วนำสัญญาณควบคุมที่ได้ส่งเข้าสู่บล็อก Synchronous Buck Signal Gen เพื่อสร้างสัญญาณ PWM แบบยูนีโพลาร์ซึ่งมีความถี่สวิตซ์เท่ากับ 25 kHz จะได้สัญญาณพัลส์ 2 สัญญาณเพื่อนำไปป้อนเข้าขาเกตของสวิตช์ในบล็อก Synchronous Buck Converter เพื่อให้ได้กระแสและแรงดันที่ต้องการนำไปประจุให้กับแบตเตอรี่ จากการจำลองการทำงานนั้น วงจรสามารถควบคุมแรงดันหรือกระแสให้คงที่ได้เมื่อแรงดันหรือกระแสเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 5

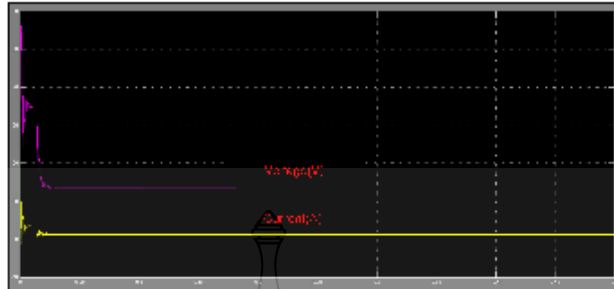


รูปที่ 5 แบบจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทในโปรแกรม MATLAB/Simulink

#### 4. ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

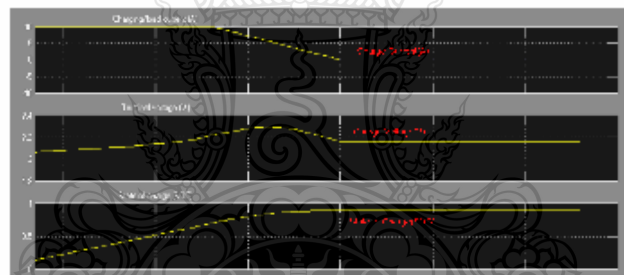
การจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทโดยจะใช้การจำลองแรงดันขาเข้ากระแสตรง ต้นแบบที่ 36 V ได้ถูกออกแบบให้ทำการลดแรงดันต้นตรงด้านขาออก ที่ประมาณ 14.2V [3] เพื่อที่จะนำไปประจุให้แบตเตอรี่ ขนาด 12 V โดยผ่านวงจรลดทอนแรงดันไฟตรง/ไฟตรงแบบ ซิงโครนัสกับคอนเวอร์เตอร์ โดยจะถูกควบคุมแรงดันและกระแสให้คงที่ ด้วยวิธีการควบคุมแบบ PI โดยกระแสและแรงดันที่ใช้ในการประจุจะมีลักษณะดังในรูปที่ 6





รูปที่ 6 ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทในโปรแกรม MATLAB/Simulink

โดยที่จะใช้การประจุแบตเตอรี่ในลักษณะกระแสต่อเนื่อง โดยได้จากการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกระแสไหลต่อเนื่อง จากนั้นเมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ก็จะถูกควบคุมการประจุ โดยจะเป็นไปตามรูปแบบการประจุแบบต่างๆโดยที่จะคำนึงถึง %SOC ของแบตเตอรี่คือ เมื่อ %SOC ของแบตเตอรี่ลดลงประมาณ 70-80% ก็จะทำให้การประจุให้กับแบตเตอรี่ ด้วยกระแสคงที่ ในส่วน 20-30% ที่เหลือเป็นการประจุด้วยแรงดันคงที่ ต่อมาเมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็ม ก็จะต้องมีการควบคุมแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ โดยจะมีลักษณะแสดง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบการประจุไฟฟ้าที่ได้จากชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

## 5. สรุปผล

การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นเป็นการจำลองต้นแบบสามารถควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ประจุให้กับแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในการควบคุมกระแสและแรงดันให้คงที่ และเปลี่ยนรูปแบบการประจุได้อย่างอัตโนมัติ โดยจะมีความผิดพลาดของกระแสและแรงดันอยู่บ้างแต่ก็อยู่ในส่วนที่ยอมรับได้ อีกทั้งชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในอนาคตยังสามารถทำงานร่วมกับระบบแสดงผล ซึ่งสามารถสื่อสารกับผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงานผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อบอกสถานะต่างๆของแบตเตอรี่ และยังสามารถนำการจำลองต้นแบบนี้มาใช้ในการออกแบบให้สามารถประจุแบตเตอรี่ได้ในระดับต่างๆ ในอนาคตอีกด้วย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้คำชี้แนะ แนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ต่อการทำงานที่อยู่นองๆปริญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยให้ข้อมูลในการทำบทความในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] James P, Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems " Florida Solar Energy Center 1679 Clearlake Road Cocoa, FL 32922-5703
- [2] ปรมะชัย จิตเจณการ และคณะ "เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับการใช้งานระบบสำรองพลังงานในโครงข่ายอัจฉริยะ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555
- [3] Tiezhou Wu ,Qing Xiao ,Linzhang Wu,Jie Zhang,Mingyue Wang "Study and Implementation on Batteries Charging Method of Micro-Grid Photovoltaic Systems" Smart Grid and Renewable Energy,2011
- [4] วีระเชษฐ์ ชันแฉิง,วุฒิพล ชาราริเรเชษฐ "หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กำลัง" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กันยายน 2547
- [5] ปวิศร จิรสิทธิ์ และคณะ "เครื่องทดสอบแบตเตอรี่อัจฉริยะ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555







การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๖

๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๗

เรื่อง ผลการพิจารณาบทความ EENET2014

เรียน ยุทธพงษ์ ทองช่วง1 บริพัทธ์ อมรพิทักษ์วัฒนา2 และ บุญยั้ง ปลั่งกลาง3

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๖ (EENET2014) ระหว่างวันที่ ๒๖ - ๒๘ มีนาคม ๒๕๕๗ ณ มารีโม่ ปาร์ค แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดกระบี่ ในหัวเรื่อง

" การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์สำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ "

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการประจำเครือข่ายมีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความเรื่องดังกล่าวได้ " ผ่านการพิจารณา " โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๖ (EENET2014) แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ลงชื่อ

( รองศาสตราจารย์มนัส อนุศิริ )  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
ประธานกรรมการดำเนินงาน  
การประชุมวิชาการ EENET2014

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
๑ ถนนราษฏร์ดำเนินนอก ตำบลบอยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ๙๐๐๐๐  
โทรศัพท์และโทรสาร ๐๗๕-๓๓๗๑๖๘

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

**การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์**

**Study of Smart Charger Controller for PV Battery**

อุทพงษ์ ทองสว่าง<sup>1</sup> บัณฑิต อมรพิทักษ์วัฒนา<sup>1</sup> และ บุญยัง ปลั่งกลาง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-3400 E-mail: volayun@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอการศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเน้นที่แบบคอนโทรลลิ่งตัวกรวด ชุดควบคุมประจุเชิงจอร์ ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์ (synchronous buck converter) ทำหน้าที่อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการประจุดังนี้ Bulk Charge Constant Current, Absorption Charge Constant Voltage, Floating Charge Voltage โดยคำนึงถึงระดับกำลังของแบตเตอรี่ SOC (State of Charge) และผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้น เช่นการคายประจุ DOD (Deep of Discharge) การเกิด Gassing และผลของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [1] ชุดควบคุมประจุไฟฟ้า จะถูกจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยจะนำเสนอสถานการณ์จำลองเพื่อแสดงให้เห็นรูปแบบการชาร์จของชุดควบคุมการชาร์จ ที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติและสื่อสารกับผู้ใช้งานได้

**คำสำคัญ:** ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์, วิธีการประจุแบตเตอรี่, ชุดควบคุมประจุแบตเตอรี่

**Abstract**

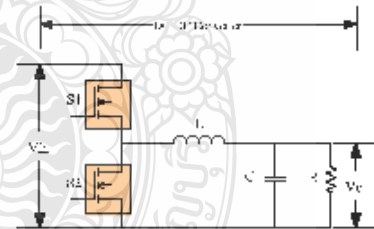
This paper presents a study of smart charger controller for PV battery which is focusing on lead-acid battery. The proposed main circuit is used the synchronous buck converter for charging to battery. The charging patterns will be configured accordingly to bulk charging constant current, absorption charging constant voltage, and floating voltage. This proposed smart charger has programmed for mentioned charging patterns which is considered to various values such as State of Charge (SOC), Deep of Discharge (DOD), and gassing or battery temperature because these all values effect on the performance and lifetime of the battery [1]. The paper will carry out simulation results by Matlab/Simulink. The simulation results will show and prove the charging patterns of the charger.

**Keywords:** synchronous buck converter, means of a charge, charger controller

**1. บทนำ**

แบบคอนเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากทำหน้าที่จะส่งพลังงาน เมื่อใช้งานไปเรื่อย ๆ จะมีกระแสไหลกลับที่หลาย ๆ ปร็องซ์ เช่น อุณหภูมิ การคายประจุ และจากการใช้งาน ซึ่งมีผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการมีอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ที่เหมาะสม (Charger Controller) เพื่อควบคุมการทำงาน

การศึกษาชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้นำวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรงไฟตรง แบบ ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์มาใช้ในการประจุแบตเตอรี่ในระบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งข้อดีของ ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์คือจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพ และลดแรงดันตกคร่อมในวงจรได้กล่าววงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป จึงเหมาะกับการนำมาใช้ในวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ [2] ตัวอย่างวงจร จะแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างวงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์

**บทความวิจัย**

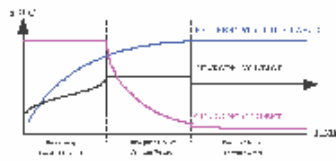
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceeding of the 6<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

**2. หลักการของชุดควบคุมประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต**

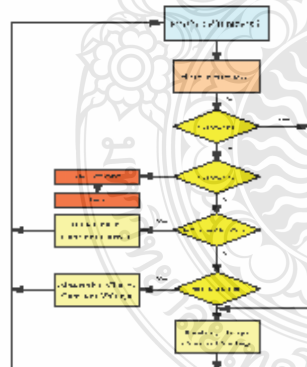
**2.1 วิธีการประจุแบตเตอรี่**

วิธีการประจุแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ลักษณะนี้ Bulk Charge Constant Current, Absorption Charge Constant Voltage, Floating Charge Voltage โดยรูปแบบการประจุแบตเตอรี่ จะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการประจุแบตเตอรี่

ในบทความนี้ขอกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V เพื่อเก็บพลังงาน โดยใช้รูปแบบการประจุแบตเตอรี่ แบบ Three stage charging[3] วิธีนี้คือเริ่มชาร์จแบตเตอรี่ในส่วนแรก 70-80% ของ SOC โดยใช้วิธี Bulk Charge Constant Current เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุโดยสามารถทำประจุได้ถึงครึ่งทางกันที่ ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดัน Gassing ขึ้นทีหลังคือ การประจุแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือ 20-30% ของ SOC ด้วยวิธี Absorption Charge Constant Voltage เป็นการประจุด้วยแรงดันคงที่ และวิธีสุดท้ายเพื่อทำการชดเชย SOC ของแบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่มี SOC 100% ในระยะเวลาอันสั้น Floating Charge Constant Voltage แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่

**2.2 การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรงไฟตรงแบบ**

**ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์[4]**

วงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรงไฟตรงแบบ ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะทำการลดประจุให้กับแบตเตอรี่ ดังนั้นการเลือกใช้ค่าเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องเลือกค่าที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถทำงานแบบกระแสต่อเนื่อง โดยจะทำการลดประจุให้กับแบตเตอรี่ 12 V และกำหนดความถี่ (f) สวิตชิ่งอยู่ที่ 25 KHz สามารถหาพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในวงจรได้จากสมการดังนี้

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (1)$$

ดังนั้นได้ค่า duty cycle 0.41

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

ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ค่าสุดต่ำกลับ 30µF ที่สามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่อง

คำนวณค่าตัวเก็บประจุทำให้ดีดระลอกคลื่นเท่ากับ 4%

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (3)$$

ดังนั้นเลือกค่าตัวเก็บประจุเป็น 100µF

การออกแบบขนาดตัวเหนี่ยวนำของวงจรขณะระดับนั้น ที่ค่าแรงดันขาลงคือเป็น 15Vสามารถแสดงการคำนวณ ได้ดังนี้

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)\Gamma}{L} \right) \quad (4)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_o}{R} - \frac{V_o}{2} \left( \frac{(1-D)\Gamma}{L} \right) \quad (5)$$

ได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด 1.68A, 1.33A จากค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดข้างต้น แสดงว่าวงจรขณะระดับแรงดันนั้นทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง (Continuous Current Conduction Mode) ตามที่กำหนด

## บทความวิจัย

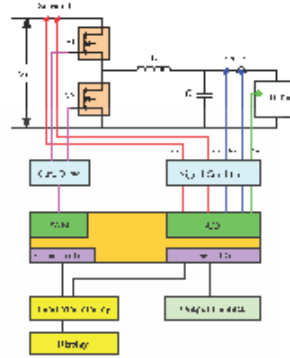
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

### 2.3 หลักการของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต

เมื่อเริ่มต้นการทำงานชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต จะทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยการจ่ายไฟให้กับวงจร ینگโครนัสบีกคอนเวอร์เตอร์โดยการสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมวงจรถือควบคุมแรงดันและกระแสผ่านตัวควบคุมพีไอ (PI Controller)[5]

นอกจากนี้ออกแบบให้เป็นไปตามรูปแบบการประจุแบบต่างๆแล้ว ยังออกแบบให้สามารถสื่อสารกับแบตเตอรี่ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งผ่านข้อมูลต่างๆไม่ว่าจะเป็น เปอร์เซนต์ SOC หรือ อุณหภูมิ ขณะใช้งาน แรงดันและกระแส แสดงผลผ่าน ระบบ Display และระบบ Monitoring โดยจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์โดยจะแสดงรูปแบบการทำงานเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่แสดงดัง รูปที่ 4

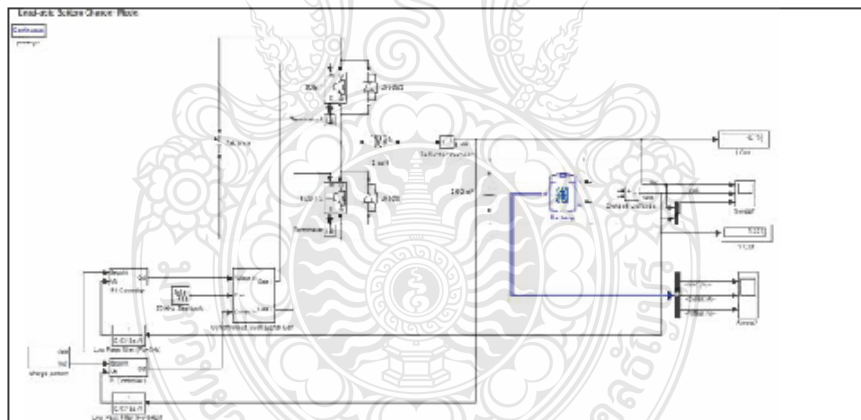


รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต

### 3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทความนี้จะกล่าวถึงการ ใช้ โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต จุดประสงค์การจำลองคือการ อดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากระบบ PV System โดยการควบคุมจะออกควบคุมโดยบล็อก Charge Pattern ฟอนา

ไปป้อนเข้าขาเกตของสวิตช์ในบล็อก Synchronous Buck Converter เพื่อให้ได้กระแสและแรงดันที่ต้องการนำไปประจุให้กับแบตเตอรี่ จาก การจำลองการทำงานนั้น วงจรสามารถควบคุมแรงดันหรือกระแสให้คงที่ได้เมื่อแรงดันหรือกระแสเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตในโปรแกรม MATLAB/Simulink

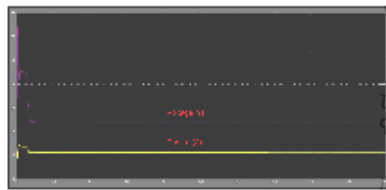
## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

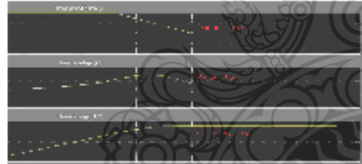
### 4. ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต

การจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต โดยจะใช้การจำลองแรงดันขาเข้ากระแสตรง ต้นแบบได้ออกแบบให้ทำการลดแรงดันตรงด้านขาออก เพื่อที่จะนำไปประจุไฟการแบคเคอรี ด้วยวิธีการควบคุมแบบ PI โดยจะมีลักษณะดังในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต ในโปรแกรม MATLAB/Simulink

การประจุแบบต่างๆ โดยที่ค่าถึงถึง %SOC ของแบคเคอรี คือ เมื่อ %SOC ของแบคเคอรีลดลงประมาณ 70-80% ก็จะทำการประจุตัวออกแรงแสดงที่ ในส่วน 20-30% ที่เหลือเป็นการประจุด้วยแรงดันคงที่ ค่อยๆเพิ่มแบคเคอรีใกล้จะเต็ม ก็จะค่อยๆลดแรงดันลงจนกระทั่งทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบคเคอรี โดยจะมีลักษณะแสดง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบการประจุไฟฟ้าที่ได้จากชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต

### 5. สรุปผล

การศึกษาชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต สำหรับ แบคเคอรีในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นเป็นการจำลองต้นแบบสามารถควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ประจุให้กับแบคเคอรีได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในการควบคุมกระแสและแรงดันให้คงที่ และเปลี่ยนรูปแบบการประจุได้อย่างอัตโนมัติ โดยมีความผิดพลาดของกระแสและแรงดันอยู่บ้างแต่ก็อยู่ในส่วนที่ยอมรับได้ ในอนาคตยังสามารถจะ

ทำงานร่วมกับระบบแสดงผล ซึ่งสามารถสื่อสารกับผู้ใช้ปฏิบัติงานผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อบอกสถานะต่างๆของแบคเคอรี และยังสามารถนำผลการจำลองต้นแบบนี้มาใช้ในการออกแบบให้สามารถประจุแบคเคอรีได้ในระดับต่างๆ ในอนาคตอีกด้วย

### 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับอนุญาตจากคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้คำปรึกษา ที่ๆ ฝึกปฏิบัติงานที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] James P. Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems" Florida Solar Energy Center 1679 Clearlake Road Cocoa, FL 32922-3703
- [2] ปรมณัฐ จิตเจนการ และคณะ "วิธีจัดประจุแบคเคอรีสำหรับ พานะพพลังงานไฟฟ้าหรือรับการใช้จากระบบสำรองพลังงานในโครงข่ายอัจฉริยะ"การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555
- [3] Tiezhao Wu, Qing Xiao, Limzhang Wu, Jie Zhang, Mingyue Wang "Study and Implementation on Batteries Charging Method of Micro-Grid Photovoltaic System" Smart Grid and Renewable Energy, 2011
- [4] วีระเชษฐ์ ชื่นเงิน, วุฒิพัฒน์ ชารินทร์เชษฐ์ "หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ คำสั่ง" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกันยายน 2547
- [5] ปรีทิจิรสิทธิ์ และคณะ "เครือข่ายทดสอบแบคเคอรีอัจฉริยะ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 ธันวาคม 2555



คุณพงษ์ ท่องสว่าง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ศึกษาในระดับ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ปัจจุบันทำงานอยู่ที่ บริษัท ฟูจิ อิเลคทริค(ไทย) จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทน

บุญอึ้ง ปัตติงคกลาง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Dr.-Ing. (Electrotechnik), Kassel University, Germany ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ถ.3 Analysis and Design of Smart Charger Unit for PV Battery



# Call for Papers

EENET2015 เป็นการประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ ตลอดจนสาขาที่เกี่ยวข้อง เกิดจากเครือข่ายความร่วมมือด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ของกลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่ง และสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านวิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ ตลอดจนสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มจัดการประชุมตั้งแต่ปี 2551 ถึงปัจจุบัน และในปี พ.ศ. 2558 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพในการจัดประชุมวิชาการระหว่างวันที่ 27-29 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ณ โรงแรม A-one The Royal Cruise เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

<p><b>คณะกรรมการวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>รศ.ศาสตราจารย์ ดร.โกศล โขทนต์ (มทร.รัตนโกสินทร์) ประธานกรรมการ</li> <li>รศ.ศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เกตุพันธ์ (มทร.รัตนโกสินทร์) รองประธานกรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชู คำจ๋าน (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ธวี ธรรมกุล (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ดร. สุวิภา แก้วงาม (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ดร. มนต์ สมัญญานนท์ (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชูพันธ์ ภูมิศักดิ์พิชัย (มทร.ธัญบุรี) กรรมการ</li> <li>นายชาญฤทธิ์ ธารวณิชกุล (มทร.กรุงเทพ) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเลิศ วัลโยชเชษฐ (มทร.พระนคร) กรรมการ</li> <li>นายอภิสิทธิ์ ด้งชัยภักดิ์ (มทร.ตะวันออก) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศมัย ทรัพย์คุณ (มทร.ศรีวิชัย) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นาทพันธ์ (สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ สุนทรเสนา (มทร.สุวรรณภูมิ) กรรมการและเลขานุการ</li> </ol>	<p><b>การส่งบทความและพิจารณาบทความ</b></p> <p>บทความจัดทำเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ขนาด A4 ไม่เกิน 4 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบ EENET template โดยขึ้นตอนและรายละเอียดในการส่งบทความแบบออนไลน์ได้จากเว็บไซต์ <a href="http://www.eenet2015.org">www.eenet2015.org</a> การพิจารณาบทความดำเนินการโดยผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชาจำนวน 3 ท่านต่อบทความ บทความที่ผ่านการพิจารณา จะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมวิชาการ (Proceedings) ของ EENET2015 เมื่อลงทะเบียนบทความและต้องนำเสนองานของตนเองในการประชุมวิชาการ</p>
<p><b>คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการประจำเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราบรัมย์ วัฒนศิริพงษ์ (มทร.กรุงเทพ) ประธานกรรมการ</li> <li>ดร.ณัฐกร พันธุ์ (มทร.ธัญบุรี) กรรมการ</li> <li>ดร.สาธิต ชูพันธ์ (มทร.กรุงเทพ) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์ (มทร.พระนคร) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชานา ภัทระพจนาน (มทร.สุวรรณภูมิ) กรรมการ</li> <li>นายปฏิวัติ บุญมา (มทร.สุวรรณภูมิ) กรรมการ</li> <li>นายอรรถสิทธิ์ บุญเปี่ยมพันธ์ (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลทิพย์ พิทักษ์ประเสริฐ (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายสมศักดิ์ นันทกุล (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายณรงค์ฤทธิ์ พันธุ์คำวรงค์ (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>ดร.ณัฐกร พงษ์วรรณชัย (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายจิระยุทธ เนื่องจันทร์ (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายสมพร พรหมสิทธิ์ (สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน) กรรมการ</li> <li>ดร.พรเทพ ปัญญาแก้ว (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายสุเมธ วิเศษทอง (มทร.รัตนโกสินทร์) กรรมการ</li> <li>นายสมเดช สันติภักดิ์ (มทร.ตะวันออก) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศมัย ทรัพย์คุณ (มทร.ศรีวิชัย) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ธีรานุรักษ์ (มทร.ศรีวิชัย) กรรมการ</li> <li>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปกป้องธรรม ชาติย์กุล (มทร.ศรีวิชัย) กรรมการ</li> <li>นายชาญฤทธิ์ ธารวณิชกุล (มทร.กรุงเทพ) เลขานุการ</li> </ol>	<p><b>สาขาบทความวิจัย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ไฟฟ้ากำลัง (PW)</li> <li>อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)</li> <li>อิเล็กทรอนิกส์ (EL)</li> <li>ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)</li> <li>ระบบควบคุมและการวัด (CT)</li> <li>คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)</li> <li>การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)</li> <li>นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)</li> <li>งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)</li> </ul>
<p><b>ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ</b>                  ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ                  2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 <a href="mailto:eenet2015@gmail.com">eenet2015@gmail.com</a></p>	<p><b>บทความวิชาการ</b>                  เป็นบทความที่เรียบเรียงจากผลงานวิชาการของตนเองหรือผู้อื่นในลักษณะเป็นการวิเคราะห์ วิจัยหรือ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า</p> <p><b>กำหนดการสำคัญ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ <b>หมดเขตรับบทความ</b> 27 กุมภาพันธ์ 2558</li> <li>▶ <b>ประกาศผลการพิจารณาบทความ</b> 3 เมษายน 2558</li> <li>▶ <b>หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์</b> 24 เมษายน 2558</li> <li>▶ <b>วันสุดท้ายของลงทะเบียนล่วงหน้า</b> 24 เมษายน 2558</li> <li>▶ <b>วันประชุมวิชาการ EENET2015</b> 27-29 พฤษภาคม 2558</li> </ul> <p>โรงแรม A-one The Royal Cruise เมืองพัทยา</p>



<http://www.eenet2015.org>



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า กลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลและสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ครั้งที่ ๗

๑๐ เมษายน ๒๕๕๘

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ EENET2015

เรียน นาย ยุทธพงษ์ ทองชิว

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า กลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลและสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ครั้งที่ ๗ (EENET2015) ระหว่างวันที่ ๒๗ - ๒๙ พฤษภาคม ๒๕๕๘ ณ โรงแรม A-ONE The Royal Cruise เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ในหัวข้อเรื่อง

“การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์”

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการประจำเครือข่าย มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความเรื่องดังกล่าวได้ “ผ่านการพิจารณา” โดยผู้ทรงคุณวุฒิในนำเสนอปากเปล่า (Oral Presentation) ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า กลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลและสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ครั้งที่ ๗ (EENET2015) แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ลงชื่อ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์ )  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
ประธานกรรมการดำเนินงาน  
การประชุมวิชาการ EENET2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ  
๒ ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ ๑๐๑๒๐  
โทรศัพท์และโทรสาร ๐๒-๒๘๗๖๐๐๐ ต่อ ๗๐๗๒ หรือ ๐๒-๒๘๗๖๗๓๓

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

**การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์**

**Analysis and Design of Smart Charger Unit for PV Battery**

บุษยามย์ ทองช่วง, บริพันธ์ อมรพิทักษ์วัฒนา และ บุญยัง ป๋องกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหลวง อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-3400 E-mail: volayut@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบได้จัดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ Stand-alone PV systems ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด และ ชุดควบคุมการประจุโดยใช้ วงจร คอนเวอร์เตอร์ (Converter DC-DC) โดยให้เทคนิค การจัดประจุ แบบ 3 ระดับ 1) Bulk Charge (Constant Current), 2) Absorption Charge (Constant Voltage), 3) Floating Charge (Pulsed) โดยคำนึงถึง SOC (State of Charge) และ DOD (Deep of Discharge) ซึ่งมีผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แบบจำลองนี้ ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยจะนำเสนอลงผลการจำลองที่จะแสดงให้เห็นรูปแบบการทำงานของชุดควบคุมการชาร์จ ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำให้อายุเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบเซลล์แสงอาทิตย์, ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบสมาร์ต

**Abstract**

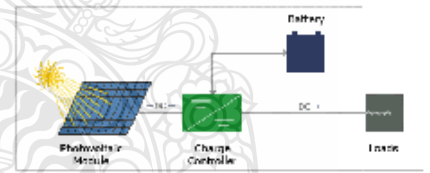
This paper presents analysis and design of battery charger for PV system. The design has simulation the solar system by Stand-alone PV systems that comprise the solar panels, batteries, lead-acid battery and charger controller by using the circuits of converter (Converter DC-DC) with techniques of charging 3 Levels as 1) Bulk Charge (Constant Current), 2) Absorption Charge (Constant Voltage), 3) Floating Charge (Pulsed) by considering SOC (State of Charge) and DOD (Deep of Discharge) which is effect to the quality and performance of battery. This simulation using MATLAB / Simulink will be proposed simulation results the performance of modeling in order to represents working patterns of charging control in photovoltaic system that performed in a systematic way and effective.

Keywords: PV Battery Charger, Smart Charger Unit

**1. บทนำ**

สำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้น แบตเตอรี่ ถือว่ามีความสำคัญการใช้งานเป็นอย่างมาก เพราะเนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจำกัดการทำงานได้เพียงตอนกลางวัน เราจึงใช้แบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานเพื่อความต่อเนื่องในการใช้งานในตอนกลางคืน หากมีการใช้งานไปอย่างต่อเนื่อง ย่อมมีการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น การประจุ, คายประจุ, ผลจาก อุณหภูมิ ซึ่งส่งผลต่อ ประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เช่นกัน ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการออกแบบและควบคุมการทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อให้เราสามารถใส่แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และยาวนานขึ้น [1]

ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบ ในบทความนี้ เลือกใช้ระบบแบบ Stand-alone PV systems ซึ่งข้อดีของการทำความเข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบแบบอื่นๆ ได้ ซึ่งระบบจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์, วงจรคอนเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่ ซึ่งต้องใช้งานกับโหลดที่เป็น DC Loads จะแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่าง ระบบแบบ Stand-alone PV System

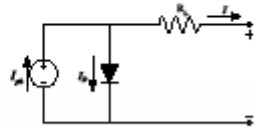
**2. แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [2]**

การศึกษาคูณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการจำลองจะสามารถเข้าใจการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากขึ้น การนำสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์มาวิเคราะห์โดยการจำลองสามารถทำได้ด้วยสมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

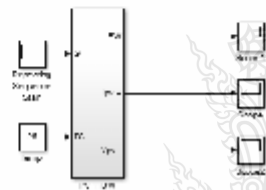


รูปที่ 2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจำลอง จากวงจรสมมูลนี้ สามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} - I_{sc} \left[ e^{\frac{V+I R_s}{n V_t}} - 1 \right] \quad (1)$$

ในสภาวะที่ตัววงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสจะไหลผ่าน ไดโอดน้อยมากจนไม่มีผลต่อการคำนวณที่สภาวะที่ตัววงจร แต่เนื่องจาก กระแสไฟได้เป็นส่วนสำคัญโดยครกกับความสัมพันธ์ ซึ่งสามารถเขียน สมการ

$$I_{ph}(G_0, T) = I_{sc} \frac{G_0}{G_{ref}} \left[ 1 + \Delta I_{sc}(T - T_{ref}) \right] \quad (2)$$

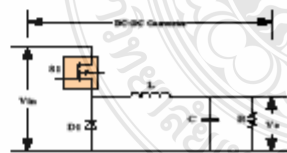


รูปที่ 3 โมเดลที่ใช้ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**3. ชุดควบคุมประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่**

**3.1 บั๊กคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC buck Converter) [3]**

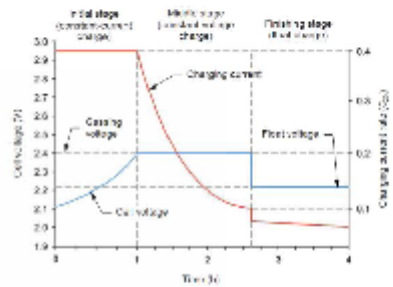
สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ตรงไฟตรง ก็เลือกใช้ในระบบ คือ บั๊กคอนเวอร์เตอร์เพื่อทำหน้าที่ ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เหมาะสมเพื่อทำการประจุให้กับแบตเตอรี่แสดง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

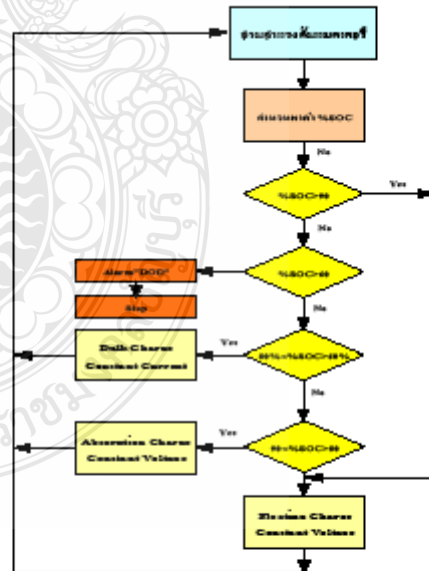
**3.2 ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบบ 3 ระดับ [4]**

วิธีการประจุแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ระดับ ดังต่อไปนี้ 1.) Bulk Charge (Constant Current), 2.) Absorption Charge (Constant Voltage), 3.) Floating Charge (Pulsed) โดยคำนึงถึง SOC (State of Charge) ,DOD (Deep of Discharge) โดยรูปแบบการประจุแบตเตอรี่ จะแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปแบบการประจุแบตเตอรี่

จากรูปแบบการประจุแสดงดังรูปที่ 5 สามารถนำมาใช้เขียน แผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในการควบคุมการประจุวิธีนี้ คือ เริ่มประจุแบตเตอรี่ในส่วนแรก 60% ของ SOC โดยวิธี Bulk Charge (Constant Current)เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุโดยสามารถทำการประจุได้ถึงอัตราค่าทุกกันที่ทำให้แรงดัน ของแบตเตอรี่ยังไม่อิ่มแรงดัน Gassing ขึ้นที่สองคือ การประจุแบบคงที่ ส่วนที่เหลือ 20-30% ของ SOCด้วยวิธี Absorption Charge (Constant Voltage) เป็นการประจุด้วยแรงดันคงที่ และวิธีสุดท้ายเพื่อทำการชดเชย SOC ของแบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่มี SOC 100% ในระยะเวลาอันสั้น Floating Charge (Pulsed) แสดงดังรูปที่ 6



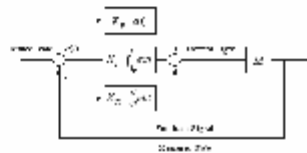
รูปที่ 6 แผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่

**บทความวิจัย**

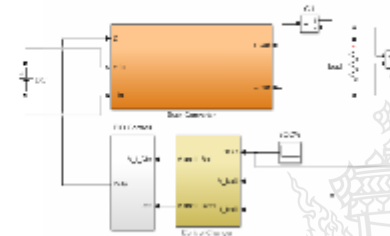
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

สำหรับการควบคุมกระแส และแรงดันที่ใช้ในการประจุทำได้ โดยการสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมวงจรถอนเวอร์เตอร์โดยใช้ เทคนิคควบคุมพีอีดี (PID Controller) แสดงดังรูปที่ 7



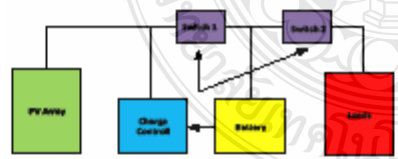
รูปที่ 7 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบ PID



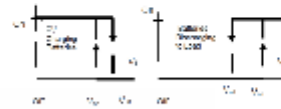
รูปที่ 8 โมเดลที่ใช้ในการจำลองชุดควบคุมประจุไฟฟ้า

**4. วิธีการประจุ และคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรด [5]**

หลักการพื้นฐานสำหรับ วิธีการประจุ และคายประจุนั้นสามารถควบคุมการทำงานได้โดยเครื่องควบคุมการประจุคือทำการประจุ แบตเตอรี่จนเต็มทีก็ตัด โดยคำนึงถึงเรื่อง Overcharging หรือ Deep discharge ยิ่งไปกว่านั้นยังจะทำการประจุแบตเตอรี่ โดยอัตโนมัติ ตามรูปแบบต่างๆ เพื่อรักษาแบตเตอรี่ไว้ เช่น Gassing Charge, Floating Charge เป็นต้น ตัวอย่างการทำงาน แสดงดังรูปที่ 9 เป็นการทำงานที่มีชุดควบคุมการทำงานที่ไม่ชาร์จแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่เต็ม (Switch 1) และป้องกันการ DOD ด้วย DDP (Switch 2) ทำให้แบตเตอรี่ที่พหวนได้ยาวนานขึ้น [6]



รูปที่ 9 การควบคุมการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



รูปที่ 10 รูปแบบการควบคุม การประจุและคายประจุ

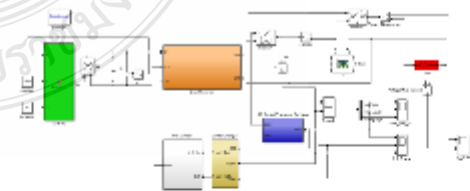
จากรูปแบบการควบคุม แสดงดังรูปที่ 10 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการควบคุมการประจุ และคายประจุเพื่อนำไปใช้ร่วมกับชุดควบคุมประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนผังการควบคุมการประจุ และคายประจุ

**5. ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต**

การจำลองการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต นั้นใช้ร่วมกับระบบแบบ Stand-alone PV Systems โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink มาจำลองการทำงาน ดังต่อไปนี้เซลล์แสงอาทิตย์ PV110W , Buck Converter เพื่อทำการประจุให้การแบตเตอรี่ขนาด 12 V, 10Ah โดยดูควบคุมด้วย Control charge และป้องกัน Overcharging หรือ Deep discharge โดย SW Control Charge โดยจะคำนึงถึง %SOC ของแบตเตอรี่ โดยแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 12



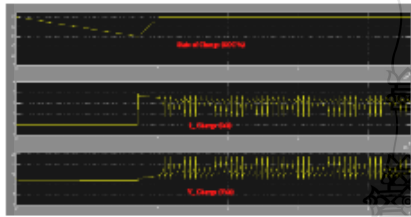
รูปที่ 12 แบบจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (ZENET 2015)

แบบจำลองกำหนดให้สถานะเริ่มต้นการทำงานของแบตเตอรี่  
เต็ม SW1 ON ,SW2 OFF แบตเตอรี่ทำการจ่ายไฟให้กับโหลดจนถึง  
ระดับ SOC % ค่าที่กำหนดไว้ 60% โดย SW1 OFF ,SW2 ON ระบบจะ  
ทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งสามารถวัดสัญญาณได้ที่แบตเตอรี่ แสดง  
ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลการจำลองการควบคุมการประจุและคายประจุของ  
แบตเตอรี่

การทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทนั้นจะ  
รับ แรงดัน 36 V, 110 W จากแบบจำลอง PV110W ผ่าน วงจรคอนเวอร์  
เตอร์ เพื่อควบคุมระดับแรงดันเพื่อทำการประจุโดยจะออกควบคุมด้วย  
Control Charge แบบ 3 ระดับ 1.) Bulk Charge 2.) Absorption Charge 3.)  
Floating Charge แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท

**๕. สรุปผลชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท**

การวิเคราะห์ผลของแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ท  
สำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นการจำลอง  
ต้นแบบ ซึ่งสามารถควบคุมการประจุ และคายประจุ ให้กับแบตเตอรี่ได้  
อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในการควบคุมการประจุด้วยกระแสและแรงดันที่

เหมาะสมให้กับแบตเตอรี่ พร้อมทั้งเปลี่ยนรูปแบบการประจุได้อย่าง  
อัตโนมัติ พร้อมทั้งยังสามารถป้องกัน Overcharging หรือ Deep  
discharge ได้ ในลำดับถัดไป ผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลองการประจุจริง  
พร้อมทั้งทำงานร่วมกับระบบแสดงผล เพื่อบอกสถานะต่างๆของ  
แบตเตอรี่ เพื่อจ่ายต่อการวิเคราะห์การทำงานของระบบ ในอนาคตอีก  
ด้วย

**7. กิตติกรรมประกาศ**

บทความนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้คำ  
ชี้แนะ ที่ๆนี้ของปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] James P, Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems." Florida Solar Energy Center ;1997
- [2] Bibek Mishra and Bibbn Prasanna Kar" MATLAB BASED MODELING OF PHOTOVOLTAIC ARRAY ARACTERISTICS" Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Rourkela ; 2012
- [3] Ankur Bhattacharjee" Design and Comparative Study of Three Photovoltaic Battery Charge Control Algorithms: in MATLAB/SIMULINK Environment" International Journal of Advanced Computer Research (ISSN (print):,2012
- [4] B.J. Hwang ,P.C. Hsu, M.S. Wu, P.Y. Ho" System dynamic modeland charging control of lead-acid battery for stand-alone solar PV system" Solar Energy ;2010
- [5] Linden, David, and Reddy" Lead-Acid Batteries; Handbook of Batteries;2002
- [6] Galib Harhmi, Manjural Alam Dipon and Md. Habibur Rahman" Design & Development of a Microcontroller Based High-Efficient Smart Solar Charge Controller for Standalone Solar Photovoltaic Systems." J. Bangladesh Electron.; 2011



สุทธพงษ์ ทองรุ่ง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี จาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ศึกษาในระดับ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย (ไฟฟ้ากำลัง)  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ปัจจุบัน  
ทำงานอยู่ที่ บริษัท พูจี อิเล็กทริค(ไทย) จำกัด  
ตำแหน่ง วิศวกร งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทน

ค.4 การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

**เครือข่าย E-NETT 13**



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13  
13<sup>th</sup> Conference on Energy Networks of Thailand

**E-NETT 13**  
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13

Sustainable Energy Development  
for Community and Innovation

31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560  
ณ โรงแรม ดิฉันเพลต เจบีซีไฮม์

ติดต่อสอบถาม  
ศูนย์ประสานงานการ  
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13  
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
สงขลานครินทร์ ส.รังษีเกษม 50290  
โทรศัพท์ 083 876705  
มือถือ 087 3024369  
โทรสาร 083 878333

[ENETT13.MJ@HOTMAIL.COM](mailto:ENETT13.MJ@HOTMAIL.COM)

[WWW.E-NETT13TH.MJ13.ORG](http://WWW.E-NETT13TH.MJ13.ORG)



ที่ ศธ 0523.28/ว 150



วิทยาลัยพลังงานทดแทน  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย  
จ.เชียงใหม่ ๕๐๒๙๐

1 พฤษภาคม 2560

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อเข้าร่วมการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13

เรียน นาย ยุทธพงษ์ ทองช่วง

ตามที่ท่านได้สมัครส่งบทความวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์” รหัสบทความ “ENETT13-CE-198” เพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On Energy Network of Thailand (E-NETT13th)) ในระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการฝ่ายวิชาการได้พิจารณาบทความของท่านเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผลงานของท่าน “ผ่านการพิจารณา” และได้รับตอบรับให้นำเสนอประเภท “Oral Presentation” ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On Energy Network of Thailand (E-NETT13th)) โดยท่านสามารถตรวจสอบกำหนดการนำเสนอ และรายละเอียดการเตรียมข้อมูลการนำเสนอได้ทางเว็บไซต์ <http://www.e-nett.org> อนึ่ง ในส่วนของการตีพิมพ์บทความฉบับเต็มนี้ ขณะนี้อยู่ในกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ ท่านจะได้รับอีเมลแจ้งสถานะรายงานความก้าวหน้าของบทความจากทางคณะกรรมการจัดการประชุมต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี)  
ผู้อำนวยการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย (E-NETT) ครั้งที่ ๑๓  
ผศ.ดร.เบญจ ไซยะชนะ : ผู้ประสานงาน  
โทรศัพท์: ๐ ๕๓๘๗ ๕๕๖๐ / ๐๖ ๕๕๐๘ ๖๘๙๗ / ๐๘ ๑๕๕๐ ๖๖๖๘ โทรสาร ๐ ๕๓๘๗ ๕๕๖๑  
E-mail: enett@e-nett.org/enett@MJU@gmail.com  
Website: www.e-nett.org





การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์  
แสงอาทิตย์  
Analysis and Simulation Smart Charger Unit for Battery in PV Systems

ยุทธพงษ์ ทองช่วง<sup>1</sup>, บริพัทธ์ อมรพิทักษ์วัฒนา<sup>2</sup> และ บุญยัง ปลั่งกลาง<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

\*ยุทธพงษ์ ทองช่วง :Email yut.tongchuang@gmail.com, Tel 0-2549-3400

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ตสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้ทำการจำลองระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Stand-alone System เพื่อทำการทดสอบการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยแบบจำลองจะประกอบเป็นส่วนต่าง ดังต่อไปนี้ 1.ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 2.ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า 3. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด โดยชุดควบคุมการประจุไฟฟ้านี้จะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter DC-DC ) โดยจะแบ่งเป็น MPTT Circuit เพื่อหาค่ากำลังสูงสุด( $P_{max}$ )ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ของแสงอาทิตย์ และ Charger Circuit ทำหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบ 3 ระดับ โดยจะคำนึงถึง SOC (State of Charge) และ DOD (Deep of Discharge) ของแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วกรด เพื่อทำการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เพื่อเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานยิ่งขึ้น และสามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

**คำหลัก:** ระบบเซลล์แสงอาทิตย์, ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า, แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

**Abstract**

This article presents: Analysis and Simulation Smart Charger Unit for Battery in PV Systems. It simulates by stand-alone PV System to test the charge of the battery. The model will consist of the following: 1. solar cell system 2. Charge Controller 3. Lead acid batteries. This charge controller used the DC-DC converter. It is divided into MPTT Circuit for Maximum Power Point Tracking (MPPT) at the time of change the sun and charger circuits regulate three levels of charge, taking into account the SOC (State of Charge) and the DOD (Deep of Discharge) of acidic lead batteries for charge the battery cause maximum efficiency This will result in longer battery's life and it is fully available.

**Keywords:** photovoltaic systems, charge controllers, lead acid batteries

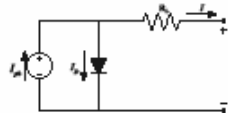
**1. บทนำ**

สำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้น แบตเตอรี่ ถือว่ามีความจำต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก เพราะเนื่องจาก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการทำงานได้เพียงตอน กลางวัน แบตเตอรี่จึงมีความจำเป็นมากในการเก็บพลังงานเพื่อ ความต่อเนื่องในการใช้งานในตอนกลางคืน หากมีการใช้งานไป อย่างต่อเนื่อง ย่อมมีการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยหลายๆ

ปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น การประจุ ,คายประจุ และผลจาก อุณหภูมิ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและ อายุการใช้งานของ แบตเตอรี่ที่สั้นลง ซึ่งปัญหานี้จะแก้ไขได้โดยการออกแบบและ ควบคุมการทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อให้เราสามารถใส่ แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และยาวนานขึ้น [1]

2. แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

การศึกษาคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการจำลองจะสามารถที่เข้าใจการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากขึ้น การนำสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์มาวิเคราะห์โดยการจำลองสามารถทำได้ด้วยสมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2

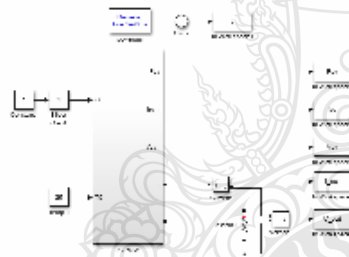


รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในการจำลอง จากวงจรสมมูล สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I = I_{ph} - I_0 - I_0 - I_0 e^{\left[ \frac{V+IR}{nV_t} - 1 \right]} \quad (1)$$

ในสภาวะลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสจะไหลผ่านไดโอดน้อยมากจนไม่มีผลต่อการคำนวณที่สภาวะลัดวงจร แต่เนื่องจากกระแสไหลได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง ซึ่งสามารถเขียนสมการ

$$I_{ph}(G_0, T) = I_{sc} \frac{G_0}{G_{ref}} \left[ 1 + \Delta L_c (T - T_{ref}) \right] \quad (2)$$



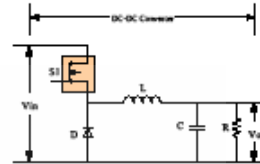
รูปที่ 2 แบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. ชุดควบคุมประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ [7]

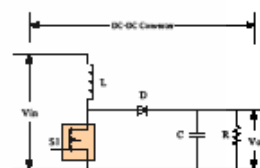
3.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter DC-DC )

สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟตรง/ไฟตรง ที่เลือกใช้ในระบบนี้ ประกอบด้วย 2 วงจร ได้แก่ 1. บูลสต์ คอนเวอร์เตอร์ ( Boost Converter) 2. บั๊กคอนเวอร์เตอร์(Buck Converter) โดยจะทำหน้าที่แตกต่างกันไป ในส่วนของBoost converter นั้นจะทำหน้าที่ หาค่ากำลังสูงสุด(Maximum Power Point Tracking ,MPPT) ส่วน Buck converter จะทำหน้าที่ ลด

ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เหมาะสมเพื่อทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการประจุไฟฟ้าแบบ 3 ระดับ แสดงดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4



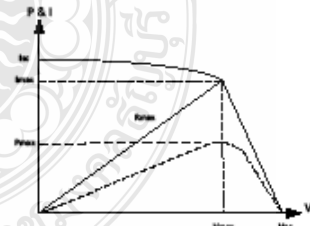
รูปที่ 3 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์



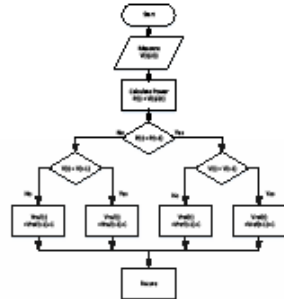
รูปที่ 4 วงจรบูตคอนเวอร์เตอร์

3.2 การหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking , MPPT) [4]

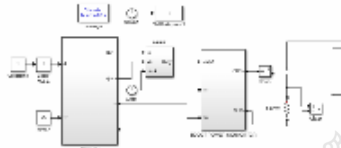
การหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำโดย วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method: P&O) หลักการของวิธีนี้คือ ทำ งานเป็นคาบเวลาโดยทำ การปรับแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวคือ ขั้นตอนการรบกวน หลังจากนั้นจะทำการวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการรบกวน แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลา ก่อน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้จุดทำงานวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีนี้เป็นวิธีที่มีอัลกอริธึมง่าย และมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 5 , 6 และ 7



รูปที่ 5 ลักษณะ V-I,P ของเซลล์แสงอาทิตย์



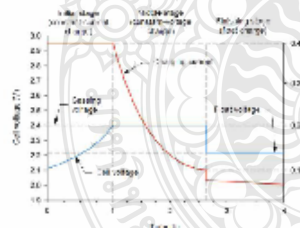
รูปที่ 6 แผนผังขั้นตอนวิธี P & O



รูปที่ 7 แบบจำลองวงจร MPPT

### 3.3 ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบ 3 ระดับ [4]

วิธีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่แบบ 3 ระดับ นั้นจะแบ่งเป็นการควบคุมกระแส และแรงดัน ดังต่อไปนี้ 1.) Bulk Charge (Constant Current), 2.) Absorption Charge (Constant Voltage), 3.) Floating Charge (Constant Voltage) โดยคำนึงถึง SOC (State of Charge) ,DOD (Deep of Discharge) โดยรูปแบบการประจุแบตเตอรี่ จะแสดงดังรูปที่ 8



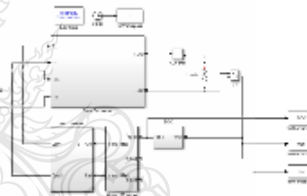
รูปที่ 8 รูปแบบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

จากรูปแบบการประจุไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 8 สามารถนำมาใช้เขียนแผนผังขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในการควบคุมการประจุวิธีนี้คือ เริ่มประจุแบตเตอรี่ในส่วนแรก 60%

ของ %SOC โดยใช้วิธี Bulk Charge เป็นการประจุแบบปกติ ในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุโดยสามารถทำการประจุโดยการควบคุม กระแสประจุไฟฟ้า ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดัน Gassing ขึ้นที่สองคือ การประจุแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือ 20-30% ของ SOC โดยการควบคุมแรงดัน ด้วยวิธี Absorption Charge และวิธีสุดท้ายเพื่อทำการชดเชย SOC ของแบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่มี SOC 100% ในระยะเวลาอันสั้น Floating Charge แสดงดังรูปที่ 9 และ รูปที่ 10



รูปที่ 9 แผนผังขั้นตอนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

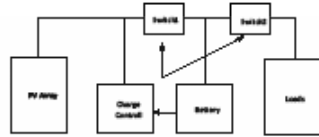


รูปที่ 10 แบบจำลองการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

### 4. วิธีการประจุ และคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรด [5]

หลักการพื้นฐานสำหรับ วิธีการประจุ และคายประจุ นั้นสามารถควบคุมการทำงานได้โดยชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า คือ ทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็มพิกัดโดยคำนึงถึงเรื่อง Overcharging หรือ Deep of discharge ซึงไปกว่านั้นยังทำการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ ตามรูปแบบต่างๆ เพื่อรักษาแบตเตอรี่ เช่น Gassing Charge, Floating Charge เป็นต้น ตัวอย่างการทำงาน แสดงดังรูปที่ 9 เป็นการทำงานที่จะ มีชุดควบคุมการทำงานที่ไม่ประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

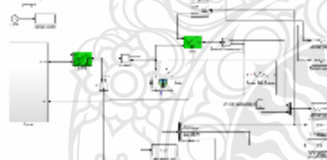
ในขณะที่แบตเตอรี่เพิ่ม (Switch1) และป้องกันการ Overcharging ด้วย (Switch 2) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิด Deep of Discharge กับแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ยาวนานขึ้น[6] แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การควบคุมประจุและคายประจุแบตเตอรี่ที่วงจร จากรูปแบบการควบคุม แสดงดังรูปที่ 11 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการควบคุมการประจุ และคายประจุเพื่อนำไปใช้ร่วมกับชุดควบคุมประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แผนผังการควบคุมการประจุ และคายประจุ

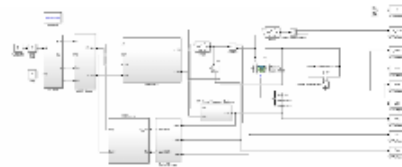


รูปที่ 13 แบบจำลองการควบคุมการประจุ และคายประจุ

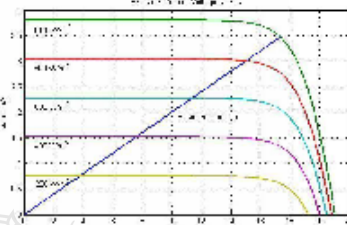
**5. ผลการจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต**

การจำลองการทำงานของชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต ได้ทำการจำลองระบบแบบ Stand-alone PV Systems โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink มาจำลองการทำงานโดยมีส่วนต่าง ดังต่อไปนี้เซลล์แสงอาทิตย์ PV60W MPPT Circuit ,Charger Circuit เพื่อทำการประจุให้การ

แบตเตอรี่ ขนาด 12 V, 10Ah โดยถูกควบคุมด้วย Control charge และป้องกัน Overcharging หรือ Deep of Discharge โดยSW Control Charge โดยจะคำนึงถึง %SOC (%State of Charge) ของแบตเตอรี่ โดยแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 14 ถึง รูปที่ 20

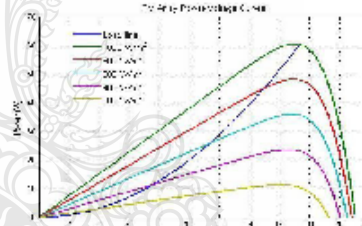


รูปที่ 14 แบบจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ต



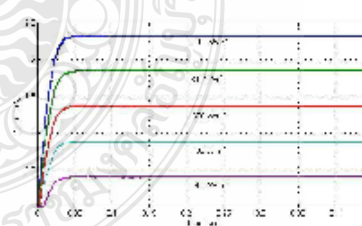
รูปที่ 15 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลองโมดูลเซลล์

**แสงอาทิตย์ I-V Curve**



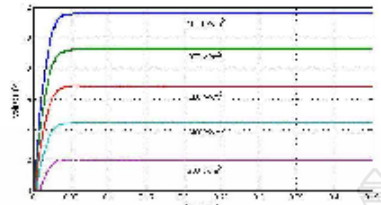
รูปที่ 16 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลองโมดูลเซลล์

**แสงอาทิตย์ P-V Curve**



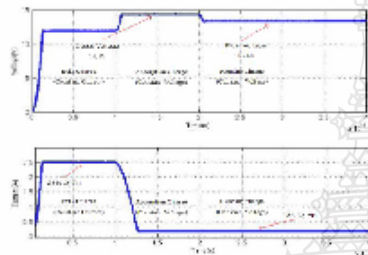
รูปที่ 17 ผลการจำลองการทำงาน MPPT Control Imppt

ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C)

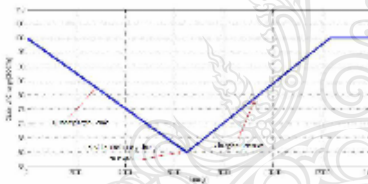


รูปที่ 18 ผลการจำลองการทำงาน MPPT Control Vmppt

ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25°C)



รูปที่ 19 ผลการจำลองการทำงาน ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า  
สำหรับแบตเตอรี่ แบบ 3 ระดับ



รูปที่ 20 ผลการจำลองการควบคุมการประจุ และคายประจุ  
ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสามระดับสำหรับ  
แบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นการจำลอง  
ต้นแบบ ซึ่งสามารถควบคุมการประจุ และคายประจุ ให้กับ  
แบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในการหาค่าจ่ายกำลังไฟฟ้า  
สูงสุด และ การควบคุมการประจุด้วยกระแสและแรงดันที่  
เหมาะสมให้กับแบตเตอรี่ พร้อมทั้งเปลี่ยนรูปแบบการประจุได้  
อย่างอัตโนมัติ (Auto Charger) พร้อมทั้งยังสามารถป้องกัน  
Overcharging หรือ Deep of Discharge ได้ ในลำดับถัดไป  
ผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลองการประจุไฟฟ้าจริง พร้อมทั้งทำงาน  
ร่วมกับระบบแสดงผล เพื่อบอกสถานะต่างๆของแบตเตอรี่ เพื่อ  
ง่ายต่อการวิเคราะห์การทำงานของระบบ ในอนาคตอีกด้วย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่  
ให้คำชี้แนะ พี่ๆน้องๆปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
ราชมงคลธัญบุรี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] James P, Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand- Alone Photovoltaic Systems " Florida Solar Energy Center ;1997
- [2] Bibek Mishra and Bibhu Prasanna Kar" MATLAB BASED MODELING OF PHOTOVOLTAIC ARRAY CHARACTERISTICS" Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Rourkela ; 2012
- [3] Ankur Bhattacharjee" Design and Comparative Study of Three Photovoltaic Battery Charge Control Algorithms in MATLAB/SIMULINK Environment" International Journal of Advanced Computer Research (ISSN (print);,2012
- [4] B.J. Huang , P.C. Hsu, M.S. Wu, P.Y. Ho" System dynamic modeland charging control of lead-acid battery for stand-alone solar PV system" Solar Energy ;2010
- [5] Linden, David, and Reddy" Lead-Acid Batteries; Handbook of Batteries;2002
- [6] Galib Hashmi, Manjural Alam Dipon and Md. Habibiur Rahman" Design & Development of a Microcontroller Based High-Efficient Smart Solar Charge Controller for Standalone Solar Photovoltaic Systems." J. Bangladesh Electron.; 2011
- [7] Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiao and Chia-Hong Chen, Maximum Power Tracking for Photovoltaic PowerSystems." Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol.8, No.2, pp.147-153 (2005)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายยุทธพงษ์ ทองช่วง
วัน เดือน ปีเกิด	12 สิงหาคม 2528
ที่อยู่	46 ม.1 ต.วังชมภู อ.เมือง จ.สระบุรี หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ 67210
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2550
ประวัติการทำงาน	วิศวกรไฟฟ้า บริษัทฟูจิ อิเลคทริก (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2551 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	084-2351228
อีเมล	<a href="mailto:yut.tongchuang@gmail.com">yut.tongchuang@gmail.com</a>

