ตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

HIGH-PERFORMANCE CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

โดย

นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล

นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา

นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์

นายภัทรพล คนซื่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

HIGH–PERFORMANCE CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

โดย

นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล

นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา

นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์

นายภัทรพล คนซื่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

HIGH-PERFORMANCE CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

PATCHARAPORN KOAKIATTRAKUL
PISIT LAOUTTHAPREECHA
PUTTIWEE BURAPHAN
PATTARAPON KONSUES

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG
2014

ปีการศึกษา 2557

ตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

HIGH–PERFORMANCE CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

โดย

นางสาว พัชรพร ก่อเกียรติตระกูล
นาย พิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา
นาย พุฒิวีร์ บุราพันธ์
นาย ภัทรพล คนซื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
รศ.พิชิต ลำยอง

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล
2. นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา
3. นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์
4. นายภัทรพล คนซื่อ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตร์ตราจารย์ พิชิต ลำยอง)

ตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล
นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา
นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์
นายภัทรพล คนซื่อ
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงงงานนี้นำเสนอการสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม โดยใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบ 3 ขั้น (3 stage charge) เพื่อนำไปใช้สำหรับการประจุแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนต่ออนุกรมกัน และใช้เทคนิควิธีการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-integral-derivative controller, PID) เพื่อออกแบบการควบคุมระบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป เพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับการควบคุมพลังงานให้มีความเหมาะสมในการที่จะใช้จ่ายภาระทางไฟฟ้า สำหรับ สวนสาธารณะบึงกระเทียม เพื่อจัดการให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และพัฒนาชุมชนให้ยั่งยืน

HIGH–EFFICIENCY CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

PATCHARAPORN KOAKIATTRAKUL
PISIT LAOUTTHAPREECHA
PUTTIWEE BURAPHAN
PATTARAPON KONSUES
Asst.Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai Supervisor
Assoc.Prof. Pichit Lumyong Co- Supervisor
Academic year 2014

ABSTRACT

This project presents the procreation of high-performance electrostatic charged for electrical system of Bungkrateam by not only using the 3-stage battery charge in order to recharge packs of 12 V 7.5 Ah lead-acid battery, but also the Proportional-Integral-Derivative controller(PID) method to design the Feedback Control. Notwithstanding the foregoing, this technique has the advantage of controlling current and voltage of the battery to be appropriate in each of the battery charging as well as extending the lifetime of the over that of ordinary batteries. This project is created under the notion of making a new innovation to be applied for the purpose of controlling the power that is appropriate for the electrical load at Bungkrateam park, including, to improve the system more efficiency and the community in a sustainable manner.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่องตัวอัดประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียมสามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความมุมานะและอาศัยความร่วมมือกันของกลุ่มเป็นอย่างดีและได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านที่มีหน้าที่ให้ความรู้และเทคนิคต่างๆเกี่ยวกับการวิจัยเรื่องดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ ดร.สมยศ เกียริติวนิชวิไล และ รศ.พิชิต ลำยอง ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานนี้ ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลเอาใจใส่ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการให้ยืมอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ในการทำงานโครงงาน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณภูมิ คงห้วยรอบ ตลอดจนพี่ๆและเพื่อนๆในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา เสนอมุมมองที่แตกต่าง

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางด้านการศึกษาจนสามารถทำโครงงานวิจัยชิ้นนี้ได้ และสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล
นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา
นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์
นายภัทรพล คนซื่อ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษไทย	I
บทคัดย่อภาษอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	6
1.4 วิธีการดำเนินงาน	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโคงงานวิจัย	7
1.6 แผนการดำเนินโครงการ	8
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 บทนำ	12
2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	12
2.2.1 นิยามและความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.2.4 คุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.2.5 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.3 วงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า (Battery charger controller)	21
2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบทอนรับแรงดัน	21
2.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative)	28
2.4.1 วิธีการคำนวณของ PID	29
2.4.2 เทคนิคการปรับจูน	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ลักษณะของแบตเตอรี่	34
2.5.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่	35
2.5.2 การทำงานของแบตเตอรี่	36
2.5.3 การทำปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแบตเตอรี่	38
2.5.4 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ	39
2.5.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	41
2.5.6 ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่	48
2.6 การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	49
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ	51
3.1 บทนำ	51
3.2 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรรี่	51
3.2.1 วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)	51
3.2.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)	52
3.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)	53
3.3 วงจรขับเกตแบบแยกกันทางไฟฟ้า	54
3.4 การวัดสัญญาณ (sensor)	55
3.4.1 การวัดค่ากระแสโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส (Current Sensor)	56
3.4.2 การวัดสัญญาณแรงดัน	57
3.5 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	57
3.5.1 การสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse)	57
3.5.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	59
3.6 ไดอะแกรม (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่	63
บทที่ 4 ผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	65
4.1 บทนำ	65
4.2 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุม
แบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) 70

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ 75

5.1 บทนำ 75

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 75

5.3 วงจรที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง 75

5.4 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ 76

5.4.1 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) 76

5.4.2 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) 79

5.4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge) 81

บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และ แนวทางการพัฒนา 84

6.1 บทสรุป 84

6.2 ข้อเสนอแนะ 84

6.3 แนวทางในการพัฒนา 85

เอกสารอ้างอิง 86

ภาคผนวก 88

ก แผนผังวงจรเครื่องอัดประจุไฟฟ้า 89

ข ตารางบันทึกผลการประจุแบตเตอรี่ 91

ค บทความทางวิชาการ 94

ง โปรแกรมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ 99

จ คู่มือแบตเตอรี่ 110

ประวัติผู้เขียน 113

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	13
รูปที่ 2.2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	14
รูปที่ 2.3 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1	15
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 2	15
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 3	16
รูปที่ 2.6 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)	16
รูปที่ 2.7 การคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	17
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์	18
รูปที่ 2.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ	20
(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ	20
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ	20
รูปที่ 2.11 วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า	21
รูปที่ 2.12 การทำงานของสวิตช์ (q)	21
รูปที่ 2.13 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ q นำกระแส	23
รูปที่ 2.14 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ q ไม่นำกระแส	24
รูปที่ 2.15 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ (บน) และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ล่าง)	25
รูปที่ 2.16 กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและอัตราระลอกคลื่นของแรงดันด้านออก	27
รูปที่ 2.17 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนดค่า K_P 3 ค่า (K_I และ K_D คงที่)	29
รูปที่ 2.18 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนดค่า K_I 3 ค่า (K_P และK_D คงที่)	30
รูปที่ 2.19 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนดค่า K_D 3 ค่า (K_I และK_P คงที่)	31
รูปที่ 2.20 ระบบวงรอบปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี	33
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	35
รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบในเซลล์โวตาอิก	36
รูปที่ 2.23 เซลล์ไฟฟ้าพื้นฐาน	37
รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิด Stationary tubular plate	43
รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.26 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ	43
รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage	45
รูปที่ 2.28 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ	46
รูปที่ 2.29 แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three state charge	49
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่	51
รูปที่ 3.2 วงจรขับเกต	55
รูปที่ 3.3 วงจรการวัดกระแสและแรงดัน	55
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส	56
รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	57
รูปที่ 3.6 ไมโครคอลโทลเลอร์ชนิด Arduino UNO R3	58
รูปที่ 3.7 ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	58
รูปที่ 3.8 ลักษณะของสัญญาณที่ออกจาก Arduino เป็นสัญญาณ PWM และกำหนดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz	59
รูปที่ 3.9 ลักษณะสัญญาณของตัวไอซี TLP 250 Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz	59
รูปที่ 3.10 ลักษณะของสัญญาณที่ขาเกตของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz	60
รูปที่ 3.11 ลักษณะของสัญญาณที่ขาซอสของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz	60
รูปที่ 3.12 ลักษณะของสัญญาณแรงดันอินพุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน	61
รูปที่ 3.13 ลักษณะของสัญญาณแรงดันเอ้าท์พุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน	61
รูปที่ 3.14 ไดอะแกรม (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่	64
รูปที่ 4.1 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load R = 20 โอห์ม	65
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ได้จากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ ก่อนทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและหลังจากการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load R = 20 โอห์ม	66
รูปที่ 4.3 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ กรณีโหลดแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)	67
รูปที่ 4.5 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ	67
รูปที่ 4.6 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2	68
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2	68
รูปที่ 4.8 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2	69
รูปที่ 4.9 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม	70
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)	71
รูปที่ 4.11 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.12 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2	72
รูปที่ 4.13 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2	73
รูปที่ 4.14 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2	73
รูปที่ 5.1 วงจรต้นแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่	75
รูปที่ 5.2 จุดวัดแรงดัน และกระแสในการประจุแบตเตอรี่	76
รูปที่ 5.3 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 48,400 ลักซ์ ช่วงกระแสคงที่	76
รูปที่ 5.4 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 105,600 ลักซ์ ช่วงกระแสคงที่	77
รูปที่ 5.5 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 127,800 ลักซ์ ช่วงกระแสคงที่	77
รูปที่ 5.6 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 132,200 ลักซ์ ช่วงกระแสคงที่	78
รูปที่ 5.7 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 113,900 ลักซ์ ช่วงแรงดันคงที่	79
รูปที่ 5.8 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 122,900 ลักซ์ ช่วงแรงดันคงที่	79
รูปที่ 5.9 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 124,500 ลักซ์ ช่วงแรงดันคงที่	80
รูปที่ 5.10 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 85,300 ลักซ์ ช่วงแรงดันปกติ	81
รูปที่ 5.11 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 97,900 ลักซ์ ช่วงแรงดันปกติ	81
รูปที่ 5.12 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 103,700 ลักซ์ ช่วงแรงดันปกติ	82
รูปที่ 5.13 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 113,200 ลักซ์ ช่วงแรงดันปกติ	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	8
ตารางที่ 2.1 อัตราการลดแรงดันของวงจรทอนแรงดันเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล	28
ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ	33
ตารางที่ 2.3 การหาตัวแปร	34
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่าดีโอดีและค่าเอสโอซี	40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ทุกวันนี้นักวิทยาศาสตร์รู้แล้วว่าดวงอาทิตย์ ถือกำเนิดมานานตั้ง 4,500 ล้านปี ภายในใจกลางอัดแน่นด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่กำลังเผาไหม้ปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาในรูปแสงสว่างที่เรามองเห็นรวมทั้งความร้อนและรังสีอีกมากมายหลายชนิดดวงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมให้เรากดปุ่มใช้งานแทบจะในทันทีขณะที่น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เราต้องใช้เวลาสำรวจ ขุดเจาะ แปรรูป และขนส่ง กว่าจะเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงโรงผลิตไฟฟ้าใช้เวลามากกว่าพลังงานแสงอาทิตย์หลายเท่า โดยดวงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ถึง 386,000,000,000,000,000,000,000,000 วัตต์ ดาวเคราะห์ทุกดวงในระบบสุริยะต่างรับพลังงานนี้มากน้อยแตกต่างกันไปโลกรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ คิดเป็นเพียง 1 ใน 2,000,000,000 ส่วนของทั้งหมดเท่านั้นแต่ถือว่ากำลังพอเหมาะและพอดี เพราะทำให้โลกมีสภาพแวดล้อมเอื้อต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต ขณะที่ดาวเคราะห์ดวงอื่นอาจอยู่ใกล้หรือไกลดวงอาทิตย์เกินไปจนทุกวันนี้ยังไม่พบว่ามีสิ่งมีชีวิตบนดาวดวงอื่นเลย พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงพื้นโลกแบ่งเป็น แสงสว่างที่เรามองเห็น 43% ความร้อน หรือรังสีอินฟราเรด 49% และรังสีอัลตราไวโอเลตอีก 7% [1]

ในปัจจุบันได้มีการใช้พลังงานในประเทศเป็นจำนวนมาก และแต่ละปีนั้นต้องสูญเสียงบประมาณกว่า 13,501.62 ล้านบาทไปกับค่าเชื้อเพลิง ประกอบด้วย ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 82.21, น้ำมันเตาร้อยละ 11.08, ลิกไนต์ร้อยละ 6.63 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.08 [2] ซึ่งมีแนวโน้มว่าค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ประกอบกับเชื้อเพลิงธรรมชาติดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิงแบบ Non-Renewable ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดและมีปริมาณลดน้อยลงทุกที จึงศึกษาการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยอาศัยสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการผลิตพลังงานอีกทางเลือกหนึ่ง

ภาวะโลกร้อนและราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมา ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนสะอาด (Renewable Energy) ได้รับความสนใจจากประเทศต่างๆ ทำให้มีการใช้ที่แพร่หลายขึ้น แม้ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ยังคิดเป็นสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานในรูปแบบอื่น แต่เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีพลังงานที่เติบโตเร็วที่สุดและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวได้อย่างต่อเนื่องทำให้อุตสาหกรรม การผลิตแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นอุตสาหกรรมอีกหนึ่งแหล่งที่น่าจับตา

มอง [3] อีกทั้งยังมีการให้ความสำคัญของการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน และศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจ และ นโยบายเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐบาลในปัจจุบันอีกด้วย

เหตุที่ทำให้สนใจแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น มีปริมาณมหาศาล,ไม่มีวันหมดไป,ไม่ทำให้เกิดมลพิษ (Pollution) ประกอบกับในประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก จะได้รับพลังงานมากกว่าเขตอื่นและได้รับแสงอาทิตย์ต่อเนื่องตลอดปีโดยได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีสูงถึง 18.2 เมกกะจูล/ตารางเมตร-วัน มากกว่าประเทศอื่นๆ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศที่มีปริมาณการใช้เซลล์แสงอาทิตมากที่สุดในโลกคือกว่า 859 เมกกะวัตต์ แต่กลับมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีเพียง 13 เมกกะจูล/ตารางเมตร-วัน และอีกสาเหตุคือ การใช้เซลล์แสงอาทิตย์กำลังได้รับความสนใจในการลงทุนมากขึ้น เนื่องจากวิกฤตการณ์ผันผวนด้านราคาน้ำมันที่ผ่านมาและภาครัฐได้ให้การสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แก่ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) หรือรายเล็กมาก (VSPP) โดยกำหนดอัตราส่วนเพิ่มการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงถึง 8 บาทต่อหน่วย ระยะเวลา 10 ปี โดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) ,เซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) และเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Grid Hybrid System) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับงานส่องสว่าง ไฟถนน ไฟสนามตามสวนสาธารณะ (Solar Street Light) เนื่องจากความต้องการประหยัดพลังงานและความสะดวกในการออกแบบ ตลอดจนการติดตั้งไม่ยุ่งยากในการเดินสาย ,การประยุกต์ใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่าย ซึ่งปัจจุบันหมู่บ้านจัดสรรในประเทศไทยนิยมมีโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof) เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้ไฟฟ้าได้ โดยสามารถคืนทุนค่าติดตั้งได้ภายใน 5-6 ปี และการประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่นใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล,พลังงานไฟฟ้า สำหรับในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากส่วนกลางสามารถผลิตและจ่ายระบบได้เอง อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ แต่การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยังคงมีข้อจำกัดอยู่คือ แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นตัวกักเก็บพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ในเวลากลางคืนมีอายุการใช้งานต่ำ ความเข้มของแสงไม่คงที่และไม่สม่ำเสมอเนื่องจากสภาพอากาศและฤดูกาล และยังไม่สามารถดำเนินการได้ในเชิงพาณิชย์เนื่องจากแผงเซลล์และอุปกรณ์ส่วนควบคุมยังมีราคาแพง

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกส่วนของโลกและมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้แก่มนุษย์ใช้ประโยชน์มากมาย เช่น การนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการใช้โรงจักรดีเซลในการผลิตกระแสไฟฟ้าในอินเดีย พบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมในการใช้และมีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่า [4] เป็นต้น โดยกระบวนการของเซลล์แสงอาทิตย์คือการผลิตไฟฟ้าจากแสงได้โดยตรงทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบกับการลงทุนด้านวัตถุดิบต่ำซึ่งในกระบวนการดังกล่าวเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการจุดระเบิดและไม่มีการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดมลพิษและมลภาวะร้ายแรงต่อมนุษย์ เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำรองในการจัดเก็บพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั่นก็คือ แบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติแบตเตอรี่ทุกชนิดนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery) [5]

แผงโซล่าเซลล์ทำงานผลิตไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ถ้าระบบที่ออกแบบมีการต่อพ่วงกับแบตเตอรี่ด้วย ในบางครั้งแสงที่ตกกระทบแผงโซล่าเซลล์อาจจะไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งวันจึงทำให้กระแสและแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาบางช่วงก็สูงบางช่วงก็ต่ำทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ดังนั้นการชาร์จประจุไฟฟ้าของแผงโดยตรงกับแบตเตอรี่จึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรและที่สำคัญคือจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นในลงอีกด้วยเพราะแรงดันที่ผลิตจากแผงโซล่าเซลล์บางครั้งก็สูงเกินกว่าค่าแรงดันที่จะทำการชาร์จแบตเตอรี่

การเก็บสะสมพลังงานในรูปของแบตเตอรี่นั้นจะมีข้อจำกัดในหลายด้านเนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีแรงดันและกระแสไม่คงที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่นอุณหภูมิ , ฤดูกาลและความเข้มแสงที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในขณะทำการทดลองด้วย ดังนั้นในการประจุจึงต้องใช้วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสแบบคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV) เพื่อควบคุมโหมดการทำงาน [6] พร้อมทั้งใช้เทคนิคอื่นๆร่วมด้วย เช่น การประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคการตามรอยกำลังสูงสุด (MPPT) และการปรับระดับขั้นของกระแสในการชาร์จโดยใช้วงจร DC/DC คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้มีช่วงแรงดันที่กว้าง สามารถประจุในช่วงกระแสคงที่ และมีความสามารถในการป้องกันกระแสเอาท์พุตเกินสามารถส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ให้ลดลงได้ [7] และ DC/DC คอนเวอร์เตอร์หลายอินพุตสามารถควบคุมการประจุและการจ่ายไฟของแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] โดยเทคนิคในการประจุแบตเตอรี่มีหลายแบบด้วยกัน แต่มีผู้สนใจทำการเปรียบเทียบเทคนิคแบบ Intermittent (IC) , Three Stage Charge (TSC) และ Interrupted Charge Control (ICC) ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าการประจุแบบขั้นตอน Three Stage Charge (TSC) จะเป็นเทคนิคการประจุที่มีสมรรถนะสูงและเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ [9] ซึ่ง

วิธีการชาร์จแบบใช้วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสแบบคงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ [10]

เครื่องควบคุมการชาร์จจึงถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่นั้นมีสมรรถนะเพิ่มมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงเกินไปอีกด้วย [11]

เครื่องควบคุมการชาร์จ หรือบางคนเรียกว่า charge controller บ้าง control charger บ้าง และบ้างก็เรียก Regulator นั้นมีหลายรุ่นหลายแบบและหลายฟังก์ชั่น ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้ แต่ฟังก์ชั่นหลักๆที่Controlทุกตัวต้องมี คือ [12]

- ควบคุมการชาร์จจากแผงโซล่าร์เซลล์มาที่แบตเตอรี่ ให้กระแสการชาร์จสม่ำเสมอ
- ป้องกัน Over Charge และ Lower Discharge เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- ทำหน้าที่ Block กระแสไม่ให้ไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่มาที่แผงโซล่าร์เซลล์ เนื่องจากในเวลากลางคืนแบตเตอรี่จะมีความต่างศักย์สูงกว่าทำให้กระแสจะไหลย้อนกลับไปที่แผงได้

ส่วนขั้นตอนการประจุแรงดันคงที่สามารถควบคุมได้หลายแบบเช่นกันทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและระบบที่ใช้งาน เช่น ควบคุมและโมเดลการประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional–Integral-Derivative Controller) ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแยกเดี่ยว [13] หรือมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมด้วยในการช่วยสั่งการควบคุมซึ่งปัจจุบันมีการนำ PIC16F72 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการประจุเพื่อป้องกันการประจุแบตเตอรี่เกินและป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ [14] นอกจากวิธีนี้ยังมีการใช้ PIC16F877A ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมโดยมีการแสดงผลการประจุที่สถานะแบตเตอรี่โดยใช้จอ LCD ลำโพงขนาดเล็กและ หลอด LED อีกด้วย [15]

กลุ่มของผู้วิจัยจึงมีแบบแผนและแนวคิดในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบ Three Stage Charge ควบคุมกระแส และแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage , CCCV) และการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative , PID) สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เขตมีนบุรี ณ บริเวณบึงกระเทียม พบว่าระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับชมรมคนรักเมืองมีน ซึ่งเดิมเป็นโครงการของรศ.พิชิต ลำยอง เนื่องจากที่บึงแห่งนี้เกิดสภาวะน้ำเน่าเสีย จึงได้

ศึกษาการติดตั้งเครื่องบำบัดน้ำเสียที่ทำงานโดยนำพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และนำพลังงานที่เหลือไปใช้ชาร์จแบตเตอรี่เพื่อจ่ายระบบแสงสว่างบริเวณรอบบึงกระเทียมในตอนกลางคืน ซึ่งระบบดังกล่าวได้มีการติดตั้งและใช้งานได้ในระยะเวลาหนึ่ง ต่อมาได้เกิดปัญหาคือเมื่อได้รับพลังงานจากระบบมาแล้วไม่สามารถดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสม กล่าวคือ

- ในแต่ละวันปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมีปริมาณแตกต่างกัน หากวันใดมีแสงแดดส่องลงมามากก็สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้มากซึ่งทำให้เกินพิกัดแรงดันมอเตอร์ หากวันไหนมีแสงแดดน้อยก็ทำให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าออกมาน้อย ไม่สามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยสาเหตุดังที่กล่าวมาแล้วเป็นสาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ขับเครื่องบำบัดน้ำเสียเกิดการชำรุดและเป็นการใช้พลังงานไปอย่างเสียประโยชน์
- ไม่สามารถจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสม คือ ไม่สามารถนำพลังงานที่เหลือไปจ่ายให้กับระบบแสงสว่างในเวลาตอนกลางคืนได้

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในหลายวิธีในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่นๆ รวมถึงเป็นการใช้พลังงานจากธรรมชาติที่คุ้มค่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

- ไม่ใช้เชื้อเพลิงใดๆ นอกจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- ไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- ไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งานและไม่เกิดเสียงขณะใช้งาน จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านเสียง
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ก๊าซไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ
- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการทำงานของแบตเตอร์รี่
2. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ
3. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานและสามารถออกแบบของวงจรทอนระดับแรงดันได้
4. เพื่อนำระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) มาปรับใช้กับเครื่องควบคุมการอัดประจุได้
5. เพื่อนำพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. เพื่อนำพลังงานทดแทนมาใช้ในชุมชนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาระบบการกำเนิดพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เข้าใจระบบการทำงาน
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุและระบบการเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่
3. ศึกษาการทำงานของระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller)
4. ศึกษาการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน
5. ศึกษาการทำงานของการประจุแบตเตอรี่แบบ 3 stage charge

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้พลังงานที่เหมาสม
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา และเทคนิคต่างๆ
3. ศึกษาวิธีการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่และเทคนิคในการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative Controller, PID)
4. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
5. จำลองการทำงานผ่าน MATLAB/Simulink

6. ทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยใช้การควบคุมวงจรด้วยวิธีควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (constant current constant voltage, CCCV) ซึ่งประกอบด้วยวงจรกำลัง (buck converter), วงจรควบคุม และวงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน (current and voltage sensor)

7. บันทึกข้อมูลการทดลอง

8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง

9. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และ จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงงานวิจัย

1. โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการเสริมสร้างและพัฒนาสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนเขตเมืองมีน

2. ทำให้เกิดการตระหนักถึงความสามารถของพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้แทนพลังงานอื่นๆ

3. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ มาเป็นแนวทางนำไปสู่การสร้างมาตรฐานเพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆในอนาคต

4. เกิดความน่าเชื่อถือทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีแหล่งง่ายเป็นพลังงานทดแทน

5. ประชาสัมพันธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังต่อชุมชน

6. สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ด้วยหลักการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV)

7. เพิ่มประสิทธิภาพในการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการประจุแบบ 3 stages of charge
8. สามารถที่จะมีแสงสว่างใช้ในเวลกลางคืนได้

1.6 แผนการดำเนินโครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ พร้อมทั้งจำลองการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุใน MATLAB/Simulink ทดลองควบคุมวงจรทอนระดับแรงดันด้วยระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) บันทึกผลการทดลอง ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
1.ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์								
2.ศึกษาเทคนิคที่ใช้ทำเครื่องควบคุมการอัดประจุ								
3.ศึกษาการทำงานของระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller)								
4.ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการจำลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์								
5.จำลองการทำงานของวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย MATLAB								

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
6.จำลองการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์								
7.จำลองคุณลักษณะวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยตัวควบคุมระบบแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller)								
8.ออกแบบและสร้างวงจรกำลังของวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า								
9.ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์								
10.เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน								
11.ทดลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับวงจรเครื่องประจุภายใต้ความเข้มแสงสม่ำเสมอ								
12.เก็บผลการทดลอง								
13.วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้และสรุปผลการทดลอง								
14.สรุปผลงานวิจัย นำเสนอโครงงาน								

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงงานตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าเป็นทฎษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการควบคุมระบบด้วยการควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) ทฤษฎีของวงจรทอนระดับแรงดัน วิธีการชาร์จแบตเตอรี่แบบ Three Stage Charge ควบคุมแรงดัน และกระแสคงที่

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้าง เครื่องต้นแบบเกี่ยวกับเครื่องประจุไฟฟ้า ส่วนประกอบหลักของชุด Converter ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟตรง วงจรขับมอสเฟต ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Board)

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง ในบทนี้จะได้นำเสนอผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ของเครื่องประจุไฟฟ้า การจำลองกราฟคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงต่างๆกัน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ความเข้มแสงต่างๆ จากนั้นสรุปผลการทดลองเชิงวิเคราะห์และเชิงเปรียบเทียบ

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 3 ช่วงของการประจุ คือในช่วงแรกการประจุโดยควบคุมกระแสคงที่ และช่วงที่ 2 แรงดันคงที่ และ 3 เป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบ

บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และจากการดำเนินการจัดทำโครงงาน สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยแผนผังวงจรเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ตารางบันทึกผลการประจุแบตเตอรี่ ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่าง ๆ ทั้งหมด รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนบทความวิชาการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ก่อนการวิจัยและพัฒนาโครงงานนี้ควรศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์,วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า,การควบคุมแบบ PID และการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่แบบ Three Stage Charge โดยกระแส และแรงดันคงที่ ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

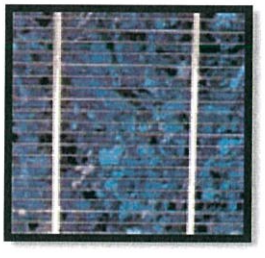
2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

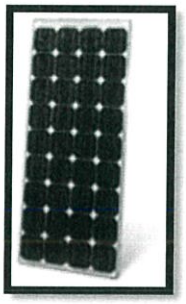
2.2.1 นิยามและความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

Solar Cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

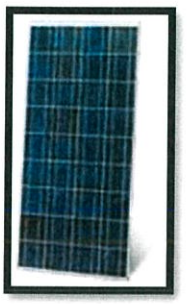
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งตามวัสดุที่เป็น 3 ชนิด คือ

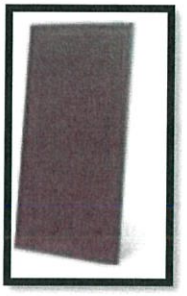



เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว



เซลล์แสงอาทิตย์ ซิลิคอนชนิดผลึกรวม



เซลล์แสงอาทิตย์ อะมอร์ฟัสซิลิคอน

รูปที่ 2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิกอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุด เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่งสามารถถลุงได้จากหินและทราย เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สร้างโดยการนำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมากถึง 99.999% ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) จากผลึกตั้งต้น (Seed crystal) ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไปก็จะนำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1000 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ และขั้นสุดท้ายก็จะเป็นการเคลือบฟิลม์ผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.1 เรานิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซีและเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลี (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบหลายผลึกก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน รูปที่ 2.1 เป็นการแสดงขั้นตอนการผลิตของโพลีซิลิคอน ด้านบนของรูปแสดงการผลิตแบบ cast โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมละลายเข้าไปใน crucible แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ซึ่งก็จะได้ก้อน ingot ของซิลิคอนหลายผลึกที่มีรูปร่างตาม crucible ที่ใช้ หลังจากนี้การนำไปทำเป็น

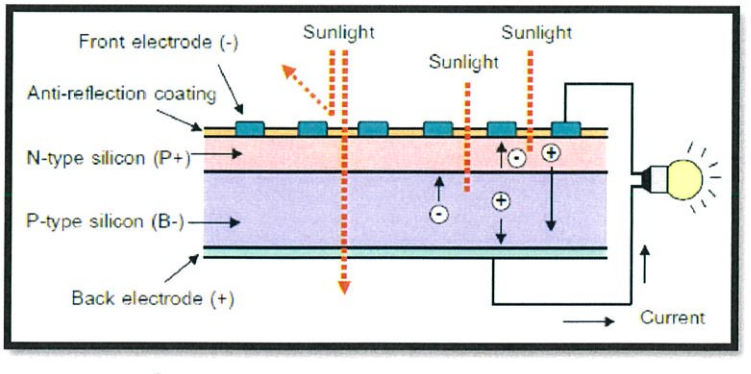
เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือนำไปตัดเป็นเวเฟอร์หนาขนาด 300-400 ไมโครเมตร แล้วก็ทำ p-n junction ต่อไป ด้านล่างของรูปเป็นการสร้างแผ่นซิลิคอนหลายผลึกที่จะใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจากสารหลอมเหลวของซิลิคอน เรียกวิธีนี้ว่า ribbon โดยวิธีนี้จะช่วยลดขั้นตอนที่จะต้องหั่นเป็นแผ่นเวเฟอร์ในกรณีที่ใช้ ingot

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกันแต่จะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมจึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

นอกจากซิลิกอนแล้ว วัสดุสารกึ่งตัวนำอื่นๆ ก็ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs : Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe : Cadmium Telluride) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS : Copper Indium Diselenide) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก GaAs จะมีประสิทธิภาพการแปรพลังงานที่สูงที่สุด จึงเหมาะกับงานด้านอวกาศ ซึ่งราคาจะแพงมากเมื่อเทียบกับที่ผลิตจากซิลิกอน นอกจากนี้มีการคาดหมายกันว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก CIS จะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง

2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

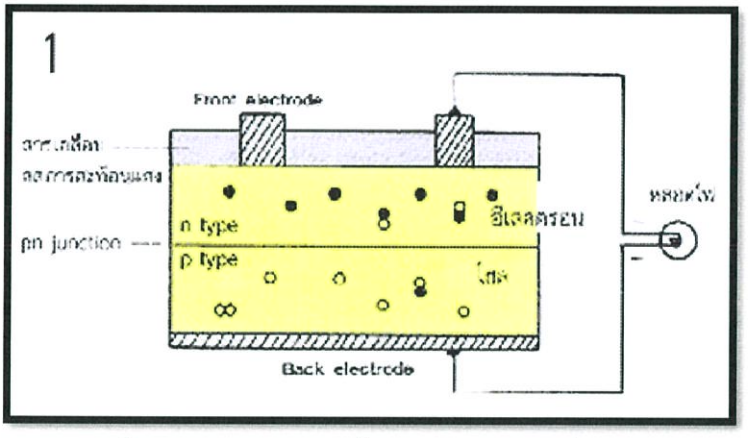
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็คตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำโดย n-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้จากการโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

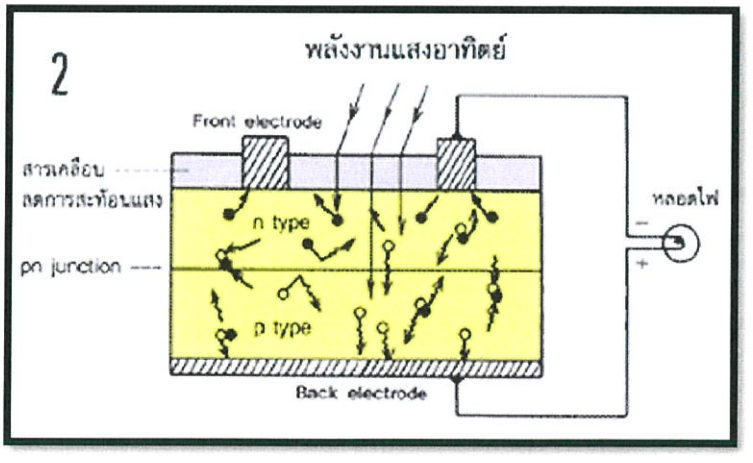
มีกระบวนการทำงานดังนี้

1. เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์" โดยในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1 [4]

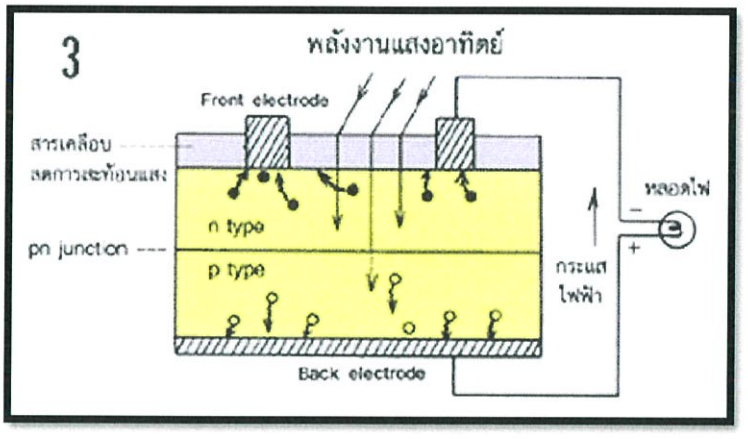
2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว และเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 2 [4]

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะ

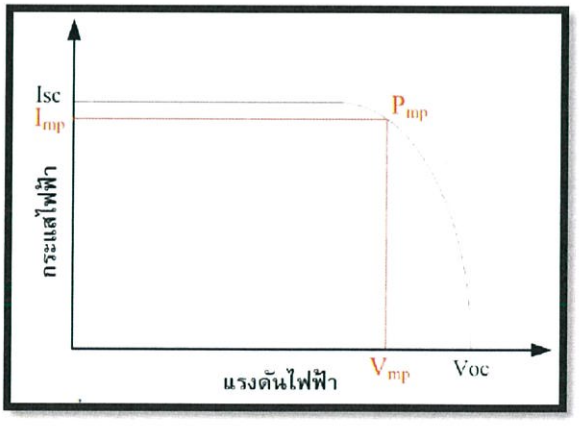
เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานขั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 3 [4]

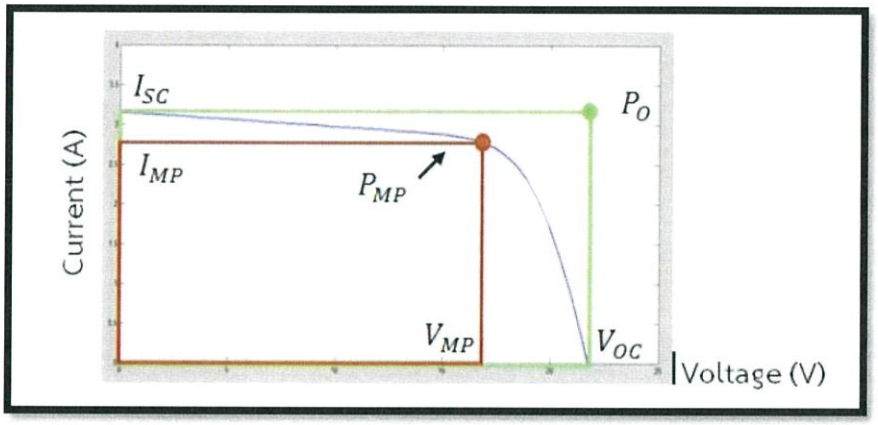
2.2.4 คุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ รูปที่ 2.6 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (Short circuit) ถึงสภาวะเปิดวงจร (Open circuit) ตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะลัดวงจร (short circuit current :I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (Open circuit voltage :V_{OC}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสุงสุด (Power at maximum power point :P_{MP}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่ากระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point :I_{MP}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point :V_{MP})



รูปที่ 2.6 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)

หากนำจุด maximum point ไปใช้กับโหลดที่มีความพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้า ให้กับโหลดที่มีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_{MP} ต่อ I_{MP} (V_{MP}/I_{MP}) ผลคูณของแรงดันและกระแสที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับความชันกราฟ กล่าวคือ ถ้ากราฟชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของแรงดันและกระแสก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า “ฟิลแฟคเตอร์” (FF : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 การคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

$$FF = \frac{P_{MP}}{P_O} = \frac{I_{MP} \cdot V_{MP}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ FF คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

P_{MP} คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริง

I_{MP} คือ กระแสที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

V_{MP} คือ แรงดันที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

P_O คือ ผลคูณของกระแส I_{SC} กับแรงดัน V_{OC}

I_{SC} คือ ค่ากระแสที่สภาวะลัดวงจร

V_{OC} คือ แรงดันที่สภาวะเปิดวงจร

ค่าฟิลเฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 หากค่าฟิลเฟคเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานจะอยู่ใน

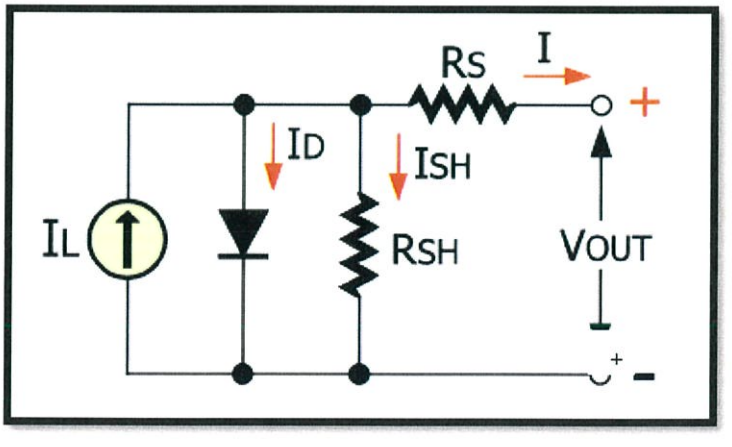
ฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V Curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายใต้สี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{MP}) กระแสสูงสุด (I_{MP}) และแรงดันสูงสุด (V_{MP}) ซึ่งในอุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังสูงสุดนี้

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิดวงจร (V_{OC}) และฟิลด์แฟกเตอร์ (FF) รูปที่ 2.7 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิดคือกระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีกระแสเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลด์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้มีพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่สุดทำงานสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร

2.2.5 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำลองได้เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ โดยประกอบไปด้วย กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์(R_S) ความต้านทานขนาน (R_{SH}) และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด

กระแสที่เกิดเนื่องจากแสง (I_L) นี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอดและ R_{sh} ก่อนแล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) และ (R_S) ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ และกระแสที่ไหลผ่าน R_S และ R_L จะให้มีค่าเป็น I_0 จากวงจรสมมูลสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันอย่างง่ายเมื่อไม่พิจารณาค่าความต้านทานขนาน (R_{SH}) และค่าความต้านทานอนุกรม (R_S) ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.2),(2.3) และ (2.4)



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

$$0 = I_{Ph} - I_D - \frac{V_D}{R_{sh}} - I_{PV} \quad (2.2)$$

$$I_D = I_0(e^{V_D/V_T} - 1) \quad (2.3)$$

$$V_{PV} = V_D - R_s I_{PV} \quad (2.4)$$

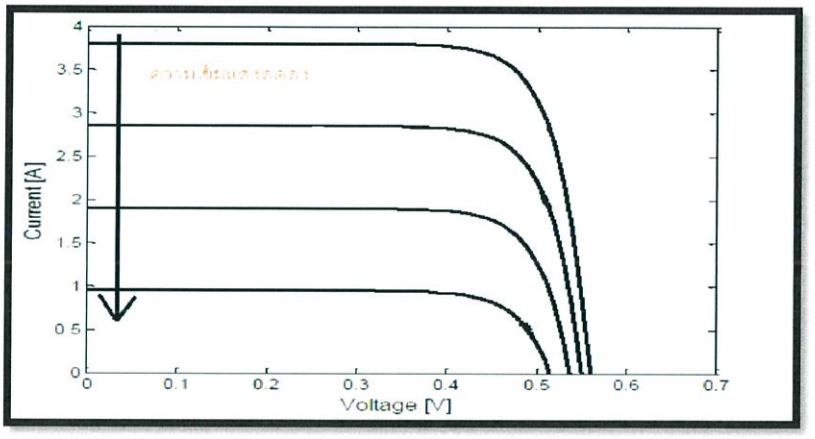
เมื่อ I_{PV} คือ กระแสเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
I_{Ph} คือ กระแสสัมพันธ์กับความเข้มแสง (A)
I_D คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอด (A)
I_0 คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (A)
R_s คือ ตัวต้านทานอนุกรมเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)
R_p คือ ตัวต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)
V_D คือ แรงดันไดโอด (V)
V_T คือ แรงดันสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (V)
V_{PV} คือ แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

2.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

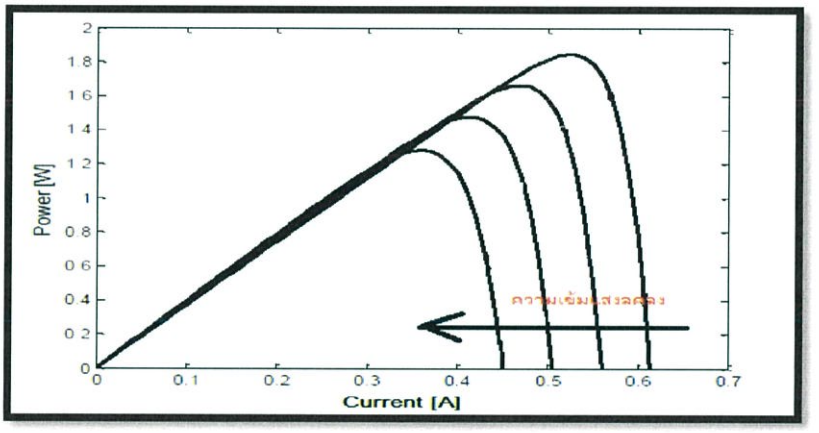
ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน ในที่นี้จะกล่างเพียงปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความเข้มแสงที่เซลล์ได้รับและอุณหภูมิของเซลล์

2.2.6.1 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก รวมถึงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดมีค่าลดลงเช่นกัน ดังรูปที่ 2.9 ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก

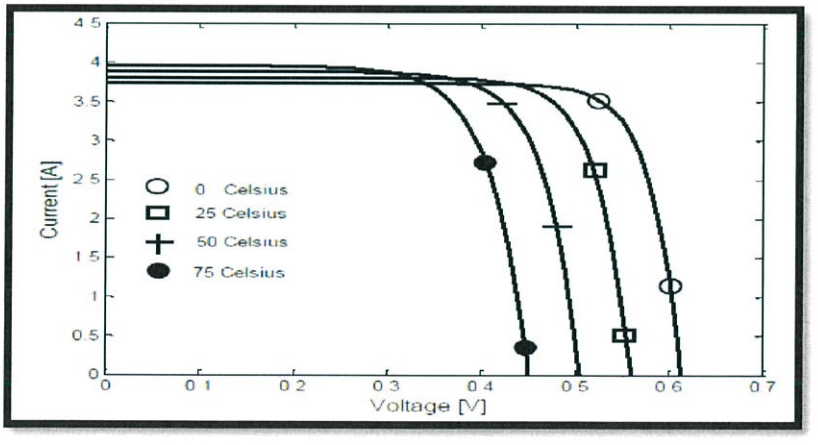


รูปที่ 2.9 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ



รูปที่ 2.9 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ

2.2.6.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

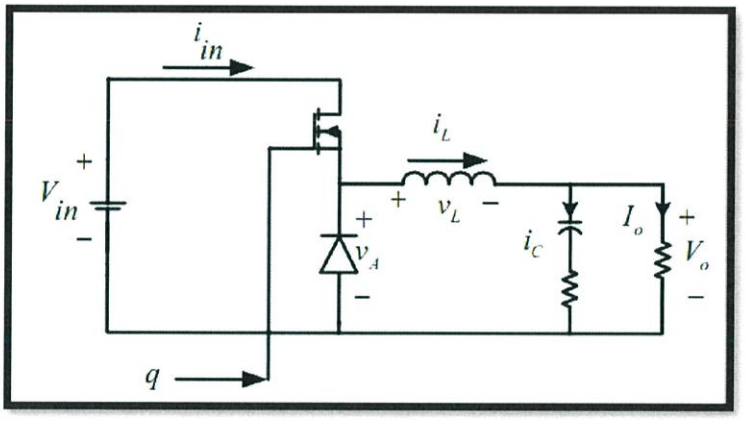


รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อแรงดันและกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลง แต่เมื่อพิจารณากระแสพบว่ากระแสลัดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.10

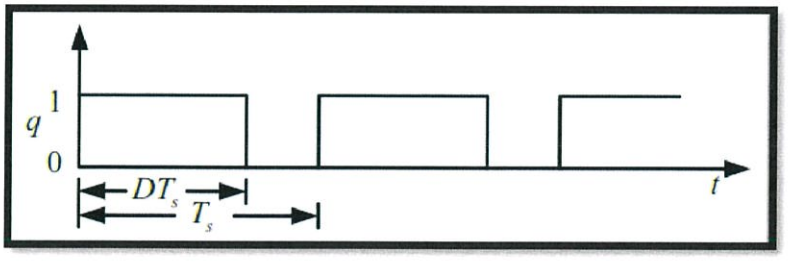
2.3 วงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า (Battery charger controller)

2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบทอนรับแรงดัน (Buck converter)



รูปที่ 2.11 วงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดันไฟตรง หรือวงจร Buck Converter เป็งวงจรที่ทำให้แรงดันขาออกของวงจรมีค่าต่ำกว่าแรงดันขาเข้า และเนื่องจากรูปคลื่นแรงดันขาออกมีการกระเพื่อมจากสัญญาณควมคุม จึงนิยมต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) แบบวงจร LC ทางด้านขาออก เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนและเพื่อให้แรงดันขาออกมีความเป็นไฟตรงมากๆ ลักษณะวงจรทอนระดับแรงดันเป็นดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 การทำงานของสวิตช์ (q)

โดยการวิเคราะห์สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ 2 สภาวะคือดังรูปที่ 2.12 คือสภาวะแรกในขณะที่สวิตซ์นำกระแส (q=ON) และในสภาวะ สวิตซ์หยุดนำกระแส (q=OFF) โดยมีเงื่อนไขการวิเคราะห์การทำงานในสภาวะคงตัว โดยกำหนดให้

(1) รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแต่ละคาบเวลาจะเหมือนกัน ทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t+T) = i_L(t) \tag{2.5}$$

(2) ค่าแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะท่ากับศูนย์ ซึ่งจะทำให้ผลรวมค่าผลคูณของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-Second) เป็นศูนย์

$$v_L = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} v_L(t)dt \ = 0 \tag{2.6}$$

(3) ค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์

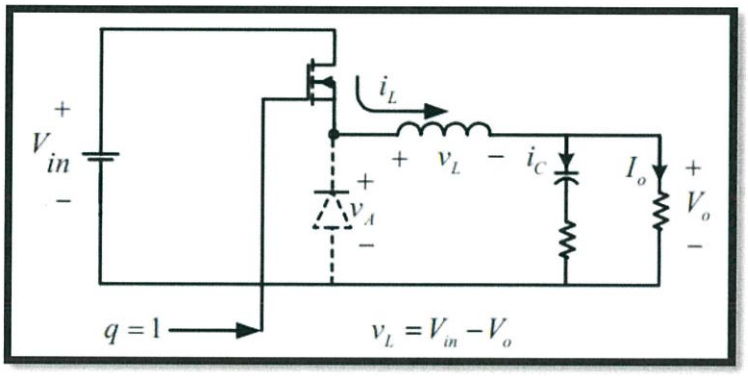
$$i_C = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} v_C(t)dt \ = 0 \tag{2.7}$$

(4) กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก (พิจารณาวงจรทำงานเป็นแบบอุดมคติ)

$$\mathrm{P_{in}} = \mathrm{P_{in}} \tag{2.8}$$

2.3.1.1 สภาวะสวิตซ์นำกระแส

ขณะสวิตซ์นำกระแสดังภาพที่ 2.13 ไดโอดจะได้รับการไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) กระแสจึงไหลผ่านจากแหล่งจ่ายไปยังตัวเหนี่ยวนำได้โดยตรง โดยที่กระแสส่วนหนึ่งแยกไหลผ่านตัวเก็บประจุและอีกส่วนหนึ่งไหลผ่านโหลด จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.13 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตซ์ q นำกระแส

$$-v_{in} + v_L + -v_o = 0 \tag{2.9}$$

$$v_L = v_{in} - v_o = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.10}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_{in} - v_o}{L} \tag{2.11}$$

ขณะสวิตซ์นำกระแส dt=DT เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าคงที่อาจจะถือว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{Dt} = \frac{v_{in} - v_o}{L} \tag{2.12}$$

$$\Delta i_L, on = \frac{(v_{in} - v_o)DT}{L} \tag{2.13}$$

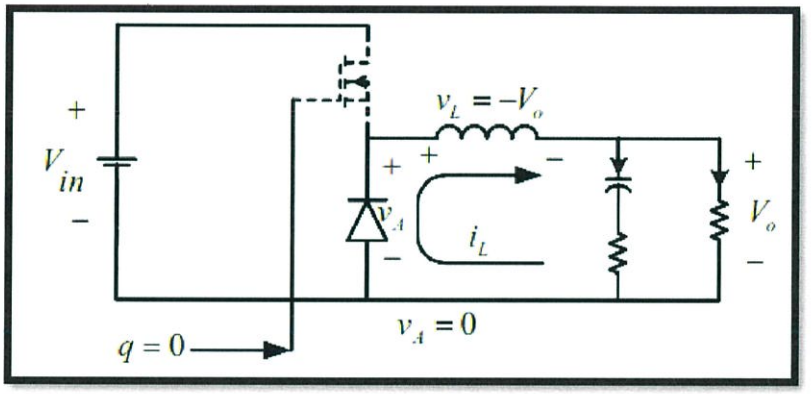
$\Delta i_L, on$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยนำขณะสวิตซ์นำกระแส

2.3.1.2 สภาวะสวิตซ์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแสดังรูปที่ 2.14 ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward Bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ดังนี้

$$v_L = -v_o = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.14}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-v_o}{L} \tag{2.15}$$



รูปที่ 2.14 วงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตซ์ q ไม่นำกระแส

ขณะที่สวิตซ์ไม่นำกระแส แรงดันเข้าวงจรเป็นศูนย์ dt=(1-D)T ซึ่งจะได้ว่า

$$\frac{\Delta i_L}{Dt} = \frac{-v_o}{L} \tag{2.16}$$

$$\Delta i_{L,off} = \frac{-v_o}{L}(1-D)T \tag{2.17}$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ 2.6 และ 2.17 จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \tag{2.18}$$

$$\left(\frac{v_{in}-v_o}{L}\right)DT + \left[-\left(\frac{v_o}{L}\right)(1-D)T\right] = 0 \tag{2.19}$$

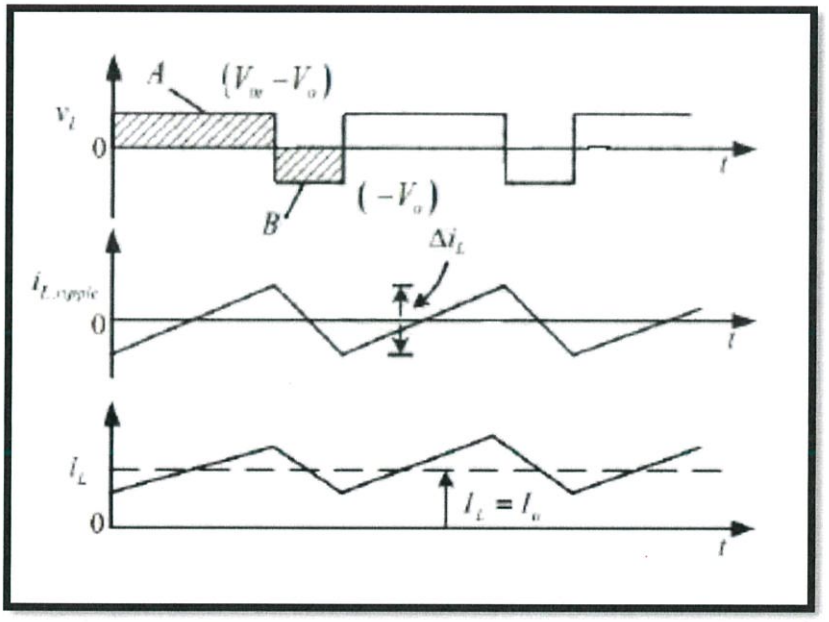
$$v_{in}D - v_oD - v_o + v_oD = 0$$

ดังนั้นจะได้อัตราการขยายแรงดัน

$$\frac{v_o}{v_{in}} = D \tag{2.20}$$

2.3.1.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจะทำให้วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดนำกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้น จะได้



รูปที่ 2.15 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ (บน) และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ล่าง)

ดังนั้นจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด ดังนี้

$$i_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2.21}$$

$$i_{L,max} = i_L + \frac{1}{2}\left(\frac{v_o}{L}(1-D)T\right) \tag{2.22}$$

$$i_{L,max} = \frac{v_o}{R} + \frac{v_o}{2}\left(\frac{(1-D)T}{L}\right) \tag{2.23}$$

$$i_{L,min} = i_L - \frac{\Delta i_L}{2} \tag{2.24}$$

$$i_{L,min} = i_L - \frac{1}{2}\left(\frac{v_o}{L}(1-D)T\right) \tag{2.25}$$

เมื่อ $$i_L = i_O = \frac{v_o}{R} \tag{2.26}$$

ดังนั้น

$$i_{L,min} = \frac{v_o}{R} - \frac{v_o}{2}\left(\frac{(1-D)T}{L}\right) \tag{2.27}$$

สมมุติให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องและมีค่าบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรทอนแรงดันทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ 2.27

$$i_{L,min} = v_o\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}\right] = 0 \tag{2.28}$$

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

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

ดังนั้นจะได้ว่า

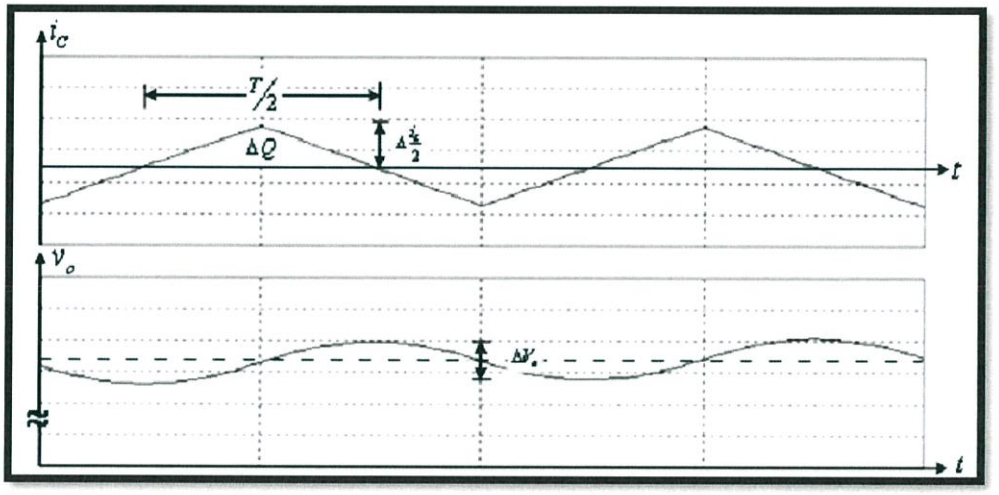
$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{2.29}$$

และ

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{min}} \tag{2.30}$$

2.3.1.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆได้ เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดพอเหมาะ และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและอัตราระลอกคลื่นของแรงดันด้านออก

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta Q = C\Delta v_o$$

$$\Delta v_o = \frac{\Delta Q}{C} \tag{2.31}$$

$$\Delta Q = \frac{1}{2}\left(\frac{T}{2}\right)\left(\frac{\Delta i_L}{2}\right) = \frac{T\Delta i_L}{8} \tag{2.32}$$

แทนค่าสมการที่ 2.32 ลงในสมการที่ 2.31 จะได้

$$\Delta v_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \tag{2.33}$$

แทนค่าสมการที่ 2.17 ลงในสมการที่ 2.34 จะได้

$$\Delta v_o = \frac{T}{8C}\frac{v_o}{L}(1-D)T \tag{2.34}$$

$$\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{T^2}{8C}\left(\frac{1}{L}\right)(1-D) \tag{2.35}$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \tag{2.36}$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดังไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า D ให้เข้าใกล้หนึ่ง หรือการเพิ่มค่าตัวเก็บประจุ หรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

ตารางที่ 2.1 อัตราการลดแรงดันของวงจรทอนแรงดันเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล

ดิวตี้ไซเคิล (D)	อัตราการลดแรงดัน (V_o/V_s)
0	0
0.1	0.1
0.2	0.2
0.3	0.3
0.4	0.4
0.5	0.5
0.6	0.6
0.7	0.7
0.8	0.8
0.9	0.9
1	1

2.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative)

ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เมื่อมีการทำงานเกี่ยวกับการประยุกต์การควบคุมเอาท์พุตของระบบ เมื่อระบบนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนค่าของตัวแปรอ้างอิง (Reference value) หรือตัวแปรสเตท (State value) หรือการเปลี่ยนอัลกอริทึม เพื่อให้ได้เอาท์พุตของระบบตามต้องการ ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่าง

ของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด ด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

2.4.1 วิธีการคำนวณของ PID

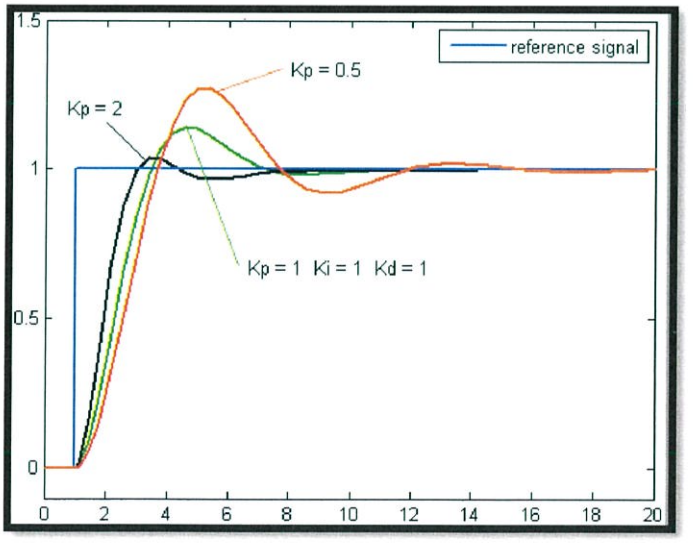
วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมค่าความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการโดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการที่ต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และค่าแกว่งของระบบ (oscillation)

การควบคุมแบบ PID นั้นประกอบด้วย การปรับเปลี่ยนค่าของ 3 เทอมรวมกันเป็นดังสมการ

$$MV(t) = P_{OUT} + I_{OUT} + D_{OUT} \tag{2.37}$$

โดยที่ Pout Iout และDout เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

สัดส่วน



รูปที่ 2.17 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนดค่า K_P 3 ค่า (K_I และ K_D คงที่)

สัดส่วน (อาจเรียกว่า อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน (K_P) โดยเทอมของสัดส่วนจะแปรไปตามสมการ

$$P_{OUT} = K_P e(t) \tag{2.38}$$

เมื่อ P_{OUT} สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

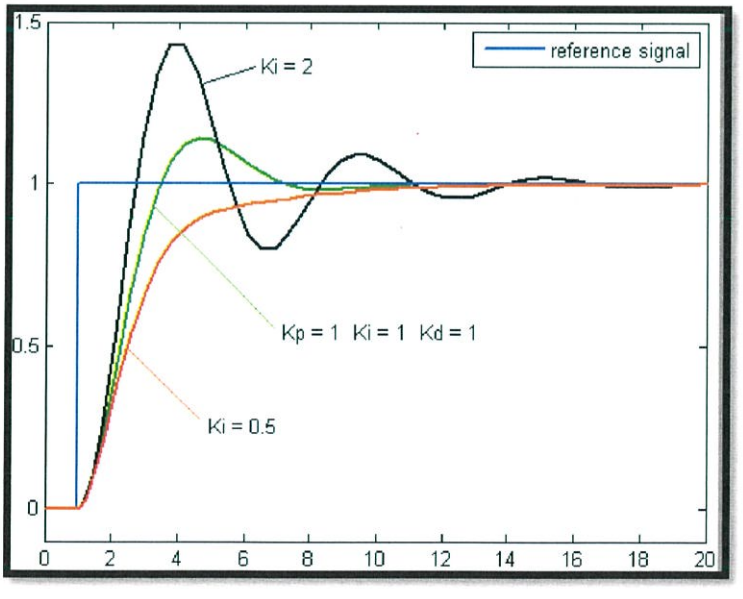
K_P อัตราขยายสัดส่วน ตัวแปรปรับค่าได้

e ค่าความผิดพลาด = SP – PV

t เวลา

ค่าอัตราขยายที่สูง จะทำให้ค่าเอาท์พุตมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย หากค่าอัตราขยายมีค่ามากเกินไป จะทำให้ระบบไม่เสถียร ในทางกลับกัน หากค่าอัตราขยายมีค่าน้อยเกินไป จะทำให้ระบบตอบสนองช้า ในกรณีนี้อาจเป็นไปได้ว่า การตอบสนองดังกล่าวอาจจะกำจัดสิ่งรบกวน (Disturbance) ในระบบได้

ปริพันธ์



รูปที่ 2.18 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนด K_I 3 ค่า (K_P และK_D คงที่)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (อาจเรียกว่า reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด)

จะให้ออปเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลในเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ (K_I) โดยเทอมปริพันธ์จะแปรไปตามสมการ ดังนี้

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t)\, dT \qquad (2.39)$$

เมื่อ I_{OUT} สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_I อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

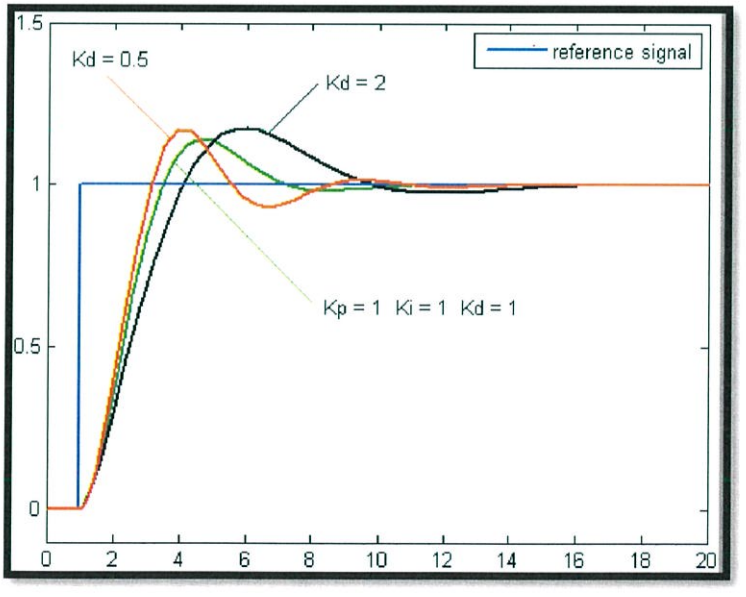
e ค่าความผิดพลาด = SP – PV

t เวลา

T ตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอม Integral (เมื่อใช้ร่วมกับเทอมสัดส่วน) จะทำให้ระบบวิ่งเข้าหา SP เร็วขึ้นและช่วยลด ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้เทอมสัดส่วนอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าเทอมปริพันธ์ นั้นเกิดจากการคำนวณโดยรวมค่าความผิดพลาด ที่เกิดขึ้นในก่อนหน้านั้นด้วย อาจจะทำให้เกิด Overshoot เกิน SP ในค่าปัจจุบันด้วย

อนุพันธ์



รูปที่ 2.19 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา กำหนดค่า K_D 3 ค่า (K_I และK_P คงที่)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดจากกระบวนการคำนวณได้โดยอาศัยความชันของกราฟ ความชันของความผิดพลาดทุกๆ เวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ (K_D) ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ (K_D) เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ ดังนี้

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.40}$$

เมื่อ D_{OUT} สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_D อัตราขยายอนุพันธ์ ตัวแปรปรับค่าได้

$e(t)$ คือค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงเวลา

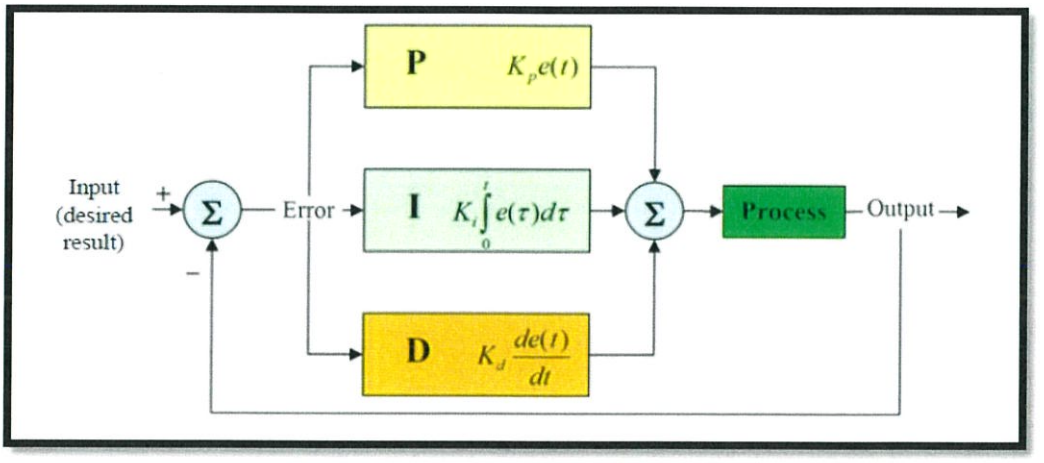
t เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุม และด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจากเทอมปริพันธ์ และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาด และสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวน และอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

ลักษณะการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นผลรวมของเทอม สัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ นำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออก กำหนดให้ u(t) เป็นสัญญาณขาออก จะได้สมการสุดท้ายของ PID คือ

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)\, dT + K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.41}$$

จากสมการที่ (2.41) สามารถแสดงในรูปของไดอะแกรมของการประยุกต์ใช้หลักการควบคุมแบบพีไอดี ในการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบวงรอบปิดดังภาพที่ 2.19



รูปที่ 2.20 ระบบวงรอบปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.4.2 เทคนิคการปรับจูน

2.4.2.1 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_I และK_D เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_P จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate) แล้วตั้งค่า K_P ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง สำหรับการตอบสนองชนิด " Quarter Amplitude decay " แล้วเพิ่ม K_I จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พอเพียงของกระบวนการแต่ถ้า K_I มากเกินไปจะทำให้ไม่เสถียรสุดท้ายถ้าต้องการให้เพิ่มค่า K_D จนกระทั่งลูปอยู่ในระดับที่ยอมรับได้แต่ถ้า K_D มากไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตมีค่าเกินกว่าที่ยอมรับได้ โดยปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะทำให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้นแต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_P น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาเข้าสู่สมดุล (setting time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)
K_P	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล	ลดลง
K_I	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล
K_D	ไม่มีผล	ลดลง	ลดลง	ไม่มีผล

2.4.2.2 วิธีการ Ziegler–Nichols

วิธีการนี้นำเสนอโดย John G. Ziegler และNathaniel B. Nichols ในคริสต์ทศวรรษที่ 1940 ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_I และ K_D เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย P สูงที่สุด, K_U, จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง นำค่า K_U และค่าช่วงการแกว่ง P_U มาหาค่าตัวแปรที่เหลือดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การหาตัวแปร

Ziegler–Nichols method			
Control Type	K_p	K_i	K_d
P	0.50 K_u	-	-
PI	0.45 K_u	$1.2K_p/P_u$	-
PID	0.60 K_u	$2K_p/P_u$	$K_pP_u/8$

2.5 ลักษณะของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อให้การจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่อง มีความแตกต่างจากแบตเตอรี่สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งได้รับการออกแบบให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากๆ ในชั่วระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนการแบ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือแบบปฐมภูมิ (Primary Battery) และแบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) โดยแบตเตอรี่ปฐมภูมิ หมายถึงแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วจะต้องทิ้งไป เนื่องจากไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือแบตเตอรี่ที่สามารถทำการเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีก หรือกล่าวคือสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว-กรด นิเกิล-แคดเมียม นิเกิล-เหล็ก นิเกิล-ไฮไดรด์และลิเทียมแบตเตอรี่ เป็นต้น

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ เป็นต้น สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-เหล็ก ไม่นำมาใช้ เนื่องจากการคายประจุโดยตัวเองมีค่าสูง ส่วนแบตเตอรี่นิเกิล-ไฮไดรด์ราคาค่อนข้างสูงเมื่อคิดราคาต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง เทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อย่างไรก็ตามค่าความจุของแบตเตอรี่นี้มีช่วงให้เลือกใช้งานได้ระดับหลายร้อยจนถึงพันแอมแปร์-ชั่วโมง และต้องการระบบป้องกันในวงจรการประจุจึงเหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

2.5.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่



ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ดังนี้

1. เปลือกและฝาแบตเตอรี่ เพื่อใช้บรรจุกลุ่มแผ่นธาตุบวกและลบ โดยทั่วไปทำจากยางแข็งหรือพลาสติกทนทานกรดกำมะถัน ซึ่งในรูปเป็นแบตเตอรี่ชนิด 12 โวลต์ แบ่งเป็น 6 ช่อง

2. กลุ่มแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ เป็นโครงตะกั่วผสมระหว่างตะกั่วกับพลวงหรือ ตะกั่วกับแคลเซียมแล้วฉาบอัดด้วยผงตะกั่วบริสุทธิ์ผสมสารเคมี แผ่นธาตุบวกมีเนื้อแผ่นสีน้ำตาล แผ่นธาตุลบมีเนื้อแผ่นสีเทา ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำกรดแล้วเกิดกระแสไฟฟ้า

3. แผ่นกั้น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและลบสัมผัสกัน แผ่นกั้นอาจทำจากแผ่นยางพรุน แผ่นพลาสติกที่มีรูพรุนเล็กๆ หรือแผ่นกระดาษสังเคราะห์ ช่วยให้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมีได้อย่างดีระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบเมื่อมีน้ำกรด

4. น้ำกรดผสมหรือน้ำยาอิเล็คโทรไลท์ เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกลั่นและน้ำกรดกำมะถันชนิดเข้มข้น ทำให้เจือจาง โดยประเทศในเขตร้อนใช้น้ำกรดผสมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.240-1.260 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

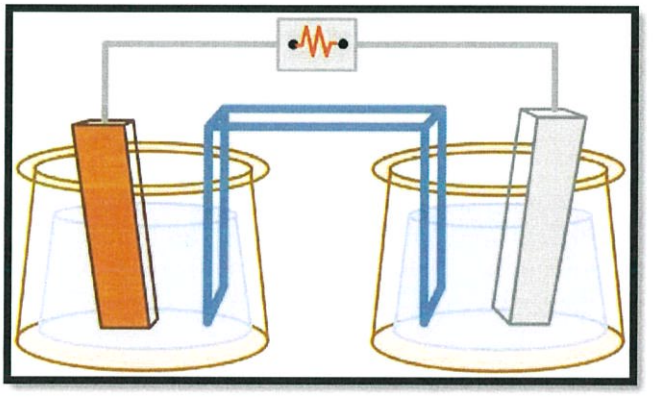
5. ฝาจุกแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รักษาและไม่ให้น้ำกรดผสมออกจากช่องเซลล์แบตเตอรี่ พร้อมระบายก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี จึงควรป้องกันและรักษาความสะอาดไม่ให้เกิดการอุดตัน

ความแตกต่างของโครงสร้างที่สำคัญระหว่างแบตเตอรี่แบบ Deep cycle lead-acid ซึ่งเหมาะสมใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดทั่วไป คือแผ่นตะกั่วของแบตเตอรี่

แบบแรกเป็นของแข็งทึบ แต่ในแบตเตอรี่อีกแบบหนึ่งเป็นแบบของแข็งมีรูพรุนเหมือนฟองน้ำ ทั้งนี้อาจพบแบตเตอรี่แสดงไว้ที่ฉลากเป็น Deep cycle lead-acid แต่ภายในไม่ใช้แผ่นตะกั่วแบบของแข็งทึบจึงอาจเรียกแบตเตอรี่นี้เป็นแบบผสมผสาน (hybrid battery) อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่แบบ Deep cycle lead-acid ถูกออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ถึง 25% ของค่าความจุ และสามารถทำการประจุได้หลายพันรอบ ทั้งนี้หลายๆ บริษัทได้แนะนำว่า แบตเตอรี่แบบผสมผสานจะไม่สามารถจ่ายประจุได้ถึง 50 %ของค่าความจุ

2.5.2 การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่หรือเซลล์โวตาอิก (Voltaic Cell) แสดงด้วยสองครึ่งเซลล์ซึ่งเชื่อมต่อด้วยสะพานเกลือเพื่อเป็นตัวกั้นระหว่างแต่ละเซลล์และยินยอมให้ส่งผ่านอิออนได้เท่านั้นแต่ไม่ยินยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่าน



ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบในเซลล์โวตาอิก

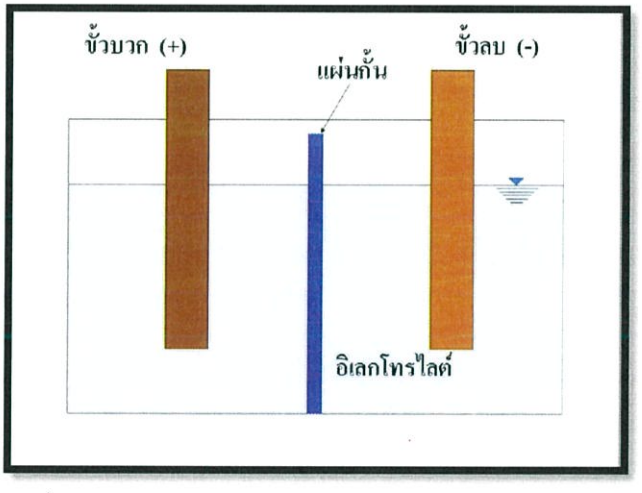
แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แบตเตอรี่ประกอบด้วยหนึ่งเซลล์โวตาอิกหรือมากกว่าหนึ่งเซลล์ โดยแต่ละเซลล์โวตาอิกประกอบด้วยสองครึ่งเซลล์ เป็นการต่อแบบขั้วบวกต่อกับขั้วลบเรียงซ้ำ เช่นนี้ไปตามลำดับหรือเรียกว่าการต่ออนุกรม ทั้งนี้หนึ่งครึ่งเซลล์จะรวมถึงสารอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรดที่ส่งผ่านประจุลบ เรียกว่า แอโนด ส่วนอีกหนึ่งครึ่งเซลล์โดยรวมสารอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรดที่ส่งผ่านประจุบวกคาโทด

ในปฏิกิริยารีดอกซ์ผลิตกำลังไฟฟ้านั้น จะประกอบด้วย ปฏิกิริยารีดักชันเป็นการเพิ่มอิเล็กตรอนและเกิดขึ้นในด้านคาโทด ขณะที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการดึงอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในด้านแอโนด ทั้งนี้อิเล็กโทรดจะไม่สัมผัสกันโดยตรงแต่จะเกิดเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า โดยอาศัยสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว นอกจากนี้ยังอาจพบว่ากรณีแบตเตอรี่ที่มีหลายเซลล์จะใช้ครึ่งเซลล์ซึ่งมีสารอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันในแต่ละเซลล์และถูกปิดผนึกไว้ในบรรจุภัณฑ์

แต่ละครึ่งเซลล์จะมีแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electromotive force, emf) หรือ อีเอ็มเอฟจากค่านี้จะทราบความสามารถในการเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าจากภายในสู่ภายนอกเซลล์ ค่าอีเอ็มเอฟสุทธิของแบตเตอรี่ คือค่าความแตกต่างระหว่างอีเอ็มเอฟของแต่ละครึ่งเซลล์ทั้งหมด หรือ อาจกล่าวได้ว่าค่าอีเอ็มเอฟสุทธิ คือความแตกต่างระหว่างศักย์ของปฏิกิริยารีดักชันของแต่ละครึ่งเซลล์

แรงขับดันทางไฟฟ้าหรือการเคลื่อนข้ามระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ เป็นค่าแรงดันที่ทราบได้จากการวัด โดยมีหน่วยเป็น โวลต์ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่เป็นการอัดประจุหรือการคายประจุจะเท่ากับค่าอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ทั้งนี้แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะจ่ายประจุจะมีค่าน้อยกว่าหากเทียบกับขนาดของแรงดันที่ขั้วขณะอัดประจุ เนื่องมาจากค่าความต้านทางภายในของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่อย่างง่ายประกอบด้วย 4 ส่วน



ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

รูปที่ 2.23 เซลล์ไฟฟ้าพื้นฐาน

ได้แก่ (1) ขั้วบวก (Positive Electrode) (2) ขั้วลบ (Negative Electrode) (3) อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) (4) แผ่นกั้น (Separator) โดยที่ขั้วบวกเป็นส่วนที่สูญเสียอิเล็กตรอน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี ส่วนขั้วลบเป็นตัวรับอิเล็กตรอน สำหรับอิเล็กโทรไลต์จะเป็นตัวกลางให้ประจุไหลระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ และตัวคั่นเซลล์จะทำหน้าที่แยกทางไฟฟ้าในส่วนของขั้วบวกและขั้วลบออกจากกัน

แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกกำหนดโดยวัสดุที่ใช้สร้าง ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วอิเล็กโทรดจะให้ค่าศักย์ทางไฟฟ้าค่าหนึ่ง เช่น ตะกั่ว-กรด ที่ขั้วบวกจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ (-) 1.685 โวลต์ ส่วนที่ขั้วลบจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ (+) 0.365 โวลต์ จากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากขั้ว

อิเล็กโทรดทั้งสองทำ ให้ได้ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 2.05 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดันทางไฟฟ้านี้จะเป็นศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของเซลล์หลายเซลล์ภายในแบตเตอรี่ โดยให้ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับขั้วลบของเซลล์ถัดไป และต่อกันเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์รวมกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่า “การต่อแบบอนุกรมหรือการต่อแบบอันดับ” ส่วนวิธีการเพิ่มความจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่นั้น จะต้องต่อให้ขั้วบวกของทุกเซลล์เข้าด้วยกัน และขั้วลบของทุกเซลล์เข้าด้วยกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่า “การต่อแบบขนาน”

นอกจากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละขั้วอิเล็กโทรดแล้ว ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ภายในแบตเตอรี่ก็มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปจากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะประมาณ 2.15 โวลต์ สำหรับเซลล์นิเกิล-แคดเมียมให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 1.2 โวลต์ ส่วนเซลล์ลิเทียมให้แรงดันไฟฟ้าสูงถึง 4 โวลต์

2.5.3 การทำปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแบตเตอรี่

ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่เป็นการรับและให้อิเล็กตรอน หรือเรียกว่า “ปฏิกิริยารีดอกซ์” ซึ่งการเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้มีสภาพขาดแคลนอิเล็กตรอน แต่การรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ ทำให้มีสภาพอุดมด้วยอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) กับแผ่นธาตุบวก (เป็นตะกั่วไดออกไซด์) และแผ่นธาตุลบ (เป็นตะกั่วพรุน) และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ การคายประจุ และการอัดประจุ

การคายประจุหรือการจ่ายกระแสไฟฟ้า แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อขั้วบวกและขั้วลบต่อกับวงจรภายนอก (อุปกรณ์ไฟฟ้า) โดยที่ออกซิเจนจากแผ่นธาตุบวกจะรวมตัวกับไฮโดรเจนในกรดกำมะถันเกิดเป็นน้ำ ขณะเดียวกันจะเกิดสารประกอบเรียกว่า ตะกั่วซัลเฟตหรือขี้เกลือ (คราบหรือผลึกสีขาว) เช่นเดียวกับตะกั่วพรุนในแผ่นธาตุลบก็จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟตจากกรดกำมะถันเกิดเป็นตะกั่วซัลเฟตเช่นกัน

การอัดประจุไฟฟ้า เครื่องประจุไฟฟ้าถูกนำ มาต่อกับแบตเตอรี่โดยการต่อขั้วบวกของเครื่องประจุไฟฟ้าเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่และต่อขั้วลบของเครื่องประจุไฟฟ้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบทำให้สารประกอบตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุทั้งสองออกมารวมตัวกับน้ำ กลายเป็นน้ำกรดอีกครั้ง

แบตเตอรี่ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า (คายประจุ) จะเกิดตะกั่วซัลเฟต (ขี้เกลือ) ขึ้นที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ การที่อนุภาคซัลเฟตจากกรดกำมะถันถูกใช้ไปและเกิดเป็นน้ำมาแทนทำให้ความหนาแน่นของน้ำกรดลดลง ในทางกลับกันขณะอัดประจุไฟ กระแสไฟฟ้าจะแยกตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุโดยน้ำจะแยกตัวเป็นไฮโดรเจน และออกซิเจน อนุมูลซัลเฟตจะรวมตัวกับไฮโดรเจน

กลายเป็นกรด ปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้สลับไปมาจนกระทั่งแผ่นธาตุทั้งสองเสื่อมสภาพไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 3-4 เท่าของแบตเตอรี่ทั่วไปการจ่ายไฟต่อเนื่องได้นานกว่าด้วยอัตรากระแสเท่ากัน และการบำรุงรักษาง่ายกว่าโดยเติมน้ำกลั่นน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของแผ่นธาตุใหญ่และหนา ทำให้เนื้อของแผ่นธาตุหลุดร่วงได้ยากและมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในเขตเมืองร้อน

2.5.4 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ

การใช้งานแบตเตอรี่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับศัพท์ทางเทคนิคและความหมาย บอกให้ทราบคุณสมบัติของแบตเตอรี่นั้นๆ เพื่อประกอบการพิจารณาเลือกใช้งาน ดังนี้

2.5.4.1 ประสิทธิภาพ ค่าความจุ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป

พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมง คำนวณหาประสิทธิภาพของพลังงาน หรือ energy efficiency โดยใช้สมการที่ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80 %

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน (\%)} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)} \times 100}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \qquad (2.41)$$

ส่วนค่าความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) และประสิทธิภาพของการอัดประจุ (charge efficiency) หรืออาจเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah efficiency) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีค่าประมาณ 95 % แต่ในแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมจะมีค่าน้อยกว่านี้ โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (\%)} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ} \times 100}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \qquad (2.42)$$

การอัดประจุหรือการอัดประจุเกิน ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม นั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

2.5.4.2 อัตราการคายประจุ และอัตราการอัดประจุ

อัตราการคายประจุ (Discharge rate) และอัตราการอัดประจุ (Charge rate) จะสัมพันธ์กับ Rated Capacity ซึ่งผู้ผลิตมักจะแสดงค่า specific rated capacity ในหน่วยของ Ah ที่อัตราการคายประจุจำเพาะค่าหนึ่งๆ อาทิ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดความจุ 200 Ah (อัตรา 10 hour rate) แสดงว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น

กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดยใช้สมการ

$$C/\text{ชั่วโมง} = \text{กระแสที่จ่าย (แอมแปร์)} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad (2.43)$$

2.5.4.3 ความลึกของการคายประจุและการอัดประจุ

ค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือ%ของความจุซึ่งถูกใช้งานจากการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่าดีโอดีคือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือ%ของความจุที่คงใช้งานได้ ค่าดีโอดีหรือเอสโอซีจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity)

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่าดีโอดีและค่าเอสโอซี

เอสโอซี (% SOC)	ดีโอดี (% DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

อย่างไรก็ตามอาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำ ซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ค่าดีโอดี และค่าเอสโอซี คือความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำ ในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้ว ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) การจ่ายกระแสต่ำ จะให้ค่าดีโอดีมากกว่า 100 % ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100 % เมื่ออัตราการคายประจุต่ำ กว่าอัตราการคายประจุปกติ

2.5.4.3 อัตราการคายประจุด้วยตัวเอง

การคายประจุด้วยตัวเองเป็นการสูญเสียประจุของแบตเตอรี่ ถ้าหากปล่อยทิ้งไว้ที่วงจรเปิดหรือไม่มีการจ่ายกระแสในระยะเวลาหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ปฐมภูมิที่ถูกวางบนชั้นจำหน่ายในร้านค้าเมื่อผ่านไปหลายๆ ปี จะพบว่าค่าความจุจะเหลืออยู่ไม่เท่ากับความจุตั้งต้น แต่สำหรับแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้น อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะอ้างถึงด้วยเปอร์เซ็นต์ความจุที่หายไปต่อเดือน โดยตั้งต้นที่ค่าความจุเต็มพิกัด แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควบคู่ไปด้วยกัน ในหลายๆ กรณีค่านี้จะเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จากการคำนวณแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะมีค่าต่ำ โดยอยู่ในช่วง 1-4 % ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส

2.5.4.4 วงจรอายุ (Cycle Life)

ความหมายของคำว่า ไซเคิล (Cycle) คือ การทำซ้ำๆ เพื่อการคายประจุและการอัดประจุซึ่งเป็นการทำงานปกติของแบตเตอรี่ ดังนั้นหนึ่งไซเคิล หรือ หนึ่งรอบเท่ากับการคายประจุหนึ่งครั้งตามด้วยการอัดประจุหนึ่งครั้ง ในวงจรอายุของแบตเตอรี่เป็นการวัดจำนวนไซเคิลของแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่สามารถทำงานเป็นปกติได้ตลอดชั่วอายุ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากจำนวนไซเคิลของการคายประจุและค่าดีโอดี (DOD) รวมถึงสัดส่วนของค่าความจุก่อนที่จะลดลงไปต่อค่าความจุตั้งต้น (ปกติใช้ค่า80 %) วงจรอายุขึ้นกับค่าความลึกของแต่ละไซเคิล หากทดสอบโดยวัดที่ค่าดีโอดีสูง และค่าดีโอดีต่ำลง แล้วให้นำผลของจำนวนไซเคิลคูณด้วยค่าดีโอดีแล้วพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงความจุมีค่าเช่นเดียวกับค่าดีโอดีที่ลดลง

2.5.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีแผ่นธาตุและชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ แบตเตอรี่แบบที่มีแผ่นธาตุเป็นกริด (grid plate) และมีสารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว แบตเตอรี่แบบเจล แบตเตอรี่แบบ tubular plate และแบตเตอรี่แบบบล็อก (OGi block)

2.5.5.1 แบตเตอรี่แบบ grid plate ที่มี electrolyte เป็นของเหลว (Wet cells)

แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานในรถยนต์ สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งต้องการกระแสสูงในช่วงเริ่มสตาร์ท โดยการออกแบบให้มีแผ่นธาตุบาง จำนวนหลายแผ่นเพื่อเพิ่มกระแสแต่แบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับการคายและการอัดประจุที่กระแสสูงในช่วงสั้นๆ แต่ไม่เหมาะสำหรับลักษณะการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งต้องการการคายและการอัดประจุที่กระแสไม่สูงนักแต่รอบเวลายาวนานหลายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงแบตเตอรี่ชนิดนี้เพื่อให้สามารถใช้ได้ดีกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเพิ่มความหนาของแผ่นธาตุ เพิ่มสารเคลือบแผ่นกริดและลด

ความเข้มข้นสารละลายกรด เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและยืดอายุการใช้งาน จะพบว่าหากต้องการให้แบตเตอรี่ทำงานได้ยาวนานเพียงพอ (400 รอบ) ไม่ควรปล่อยให้เกิดการคายประจุมากกว่า 50 %

2.5.5.2 แบตเตอรี่ชนิดเจล

อิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกทำให้เป็นเจล โดยการเพิ่มสารบางอย่างที่ช่วยในการจับตัว

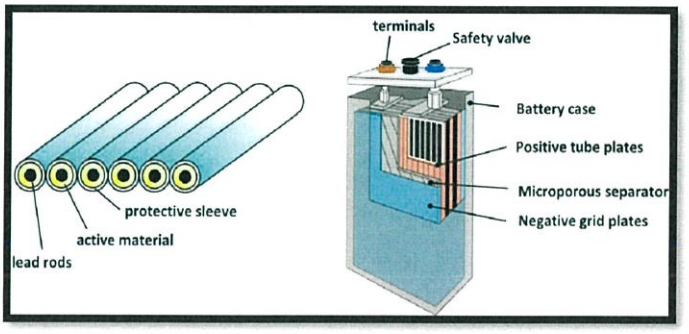
ประโยชน์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีดังนี้

- ไม่เกิดปัญหาการแบ่งชั้นของกรด (acid stratification) ซึ่งช่วยลดการเกิดซัลเฟชันและยืดอายุการใช้งาน
- ไม่เกิดก๊าซ และลดความเสี่ยงหรืออันตราย
- ไม่มีการรั่วไหล สามารถติดตั้งได้ทุกที่
- ไม่ต้องการการบำรุงรักษา เช่นไม่ต้องคอยเติมน้ำกลั่น

แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อบกพร่องคือเสียหายได้ง่ายหากมีการอัดประจุเกินพิกัดจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอย่างดี โดยไม่ให้เกินค่าที่ทำให้เกิดก๊าซเนื่องจากไม่สามารถระบายก๊าซออกไปได้ และการตรวจสอบสภาวะการอัดประจุทำได้วิธีเดียวคือ การวัดแรงดันไฟฟ้า เจลแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดสารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว (wet cells) จะพบว่าที่การคายประจุ 50 % จะมีอายุการใช้งานถึง 1000 รอบแต่จะมีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลวประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเจล

2.5.5.3 แบตเตอรี่ชนิด Stationary tubular plate (Type OPzS and OPzV)

แบตเตอรี่ ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานประมาณ 15 ถึง 20 ปีและระบบขนาดใหญ่ที่มีการทำงานตลอดทั้งปีแต่แบตเตอรี่จะมีน้ำหนักมาก ขนาดใหญ่และราคาสูงมากโดยมีทั้งชนิดอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว (OPzS) และชนิดเจล (OPzV) ความแตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นที่การออกแบบอิเล็กโทรดด้านขั้วบวก (positive electrode) เป็นแบบหลอดดังแสดงในรูปที่ 3.44 ซึ่งแข็งแรงทนทาน ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 50 % จะมีอายุการใช้งานถึง 4500 รอบ ซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นทุกชนิด

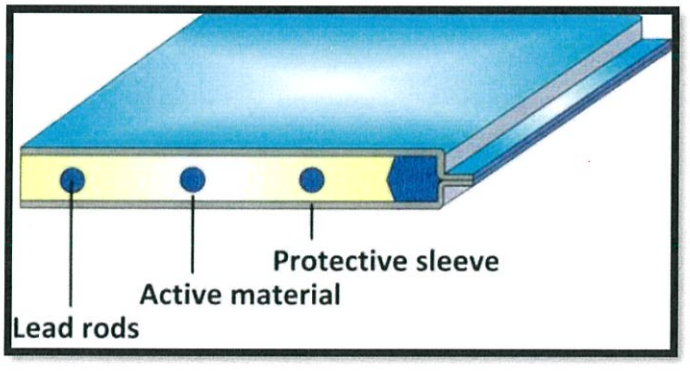


รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ชนิด Stationary tubular plate

2.5.5.4 แบตเตอรี่ชนิดบล็อก (OGi block)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีอิเล็กโทรดด้านขั้วบวกจะเป็นแผ่นแบนซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแผ่นกริดและแผ่นที่มีลักษณะเป็นท่อ (tubular plate) เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก ซึ่งสามารถอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าที่ต่ำได้ และมีประสิทธิภาพการอัดประจุสูงประมาณ 95 ถึง 98 % และต้องการการบำรุงรักษาน้อยมากเพียง 2-3 ปี ต่อครั้ง แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 30 % จะมีอายุการใช้งานถึง 3500 รอบซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นยกเว้นแบบ Stationary tubular plate



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก

2.5.5.6 พฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

การใช้งานหรือเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดอย่างถูกต้องและเหมาะสมนั้นจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก่อน โดยมีประเด็นหลักๆ ที่ควรพิจารณาทั้งหมด 6 ประเด็นได้แก่ (1) ความจุของแบตเตอรี่ (2) กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (3)

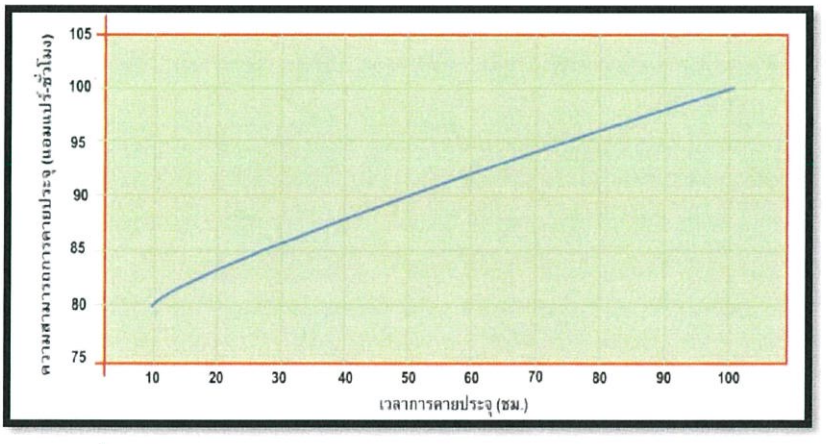
แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (4) การคายและการอัดประจุ (5) สภาวะการอัดประจุ และ (6) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

(1) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)

ความจุของแบตเตอรี่คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปหรือคายประจุได้จนกระทั่งหยุดจ่ายพลังงานหรือหยุดคายประจุ โดยความจุปกติของแบตเตอรี่ (Nominal Capacity,Cn) มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ขณะคายประจุ (In) คูณด้วย เวลาทั้งหมดในการคายประจุจนหมด (tn) ดังสมการที่ 3.10

$$Cn = In \times tn \qquad (2.44)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุจนหมดและกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ ทั้งนี้หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำ จะทำให้กรดซัลฟิวริกค่อยๆ แตกตัวและไปจับกับแผ่นธาตุเกิดการสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างช้าๆ ซึ่งช่วยให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ลึกกว่า แต่ในทางกลับกัน หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าสูงจะทำให้เกิดสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างรวดเร็ว และทำให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ไม่ลึกพอดังนั้นในกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าของการคายประจุมากจึงต้องพยายามให้กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำ และใช้เวลานานขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตแบตเตอรี่จึงกำหนดค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะใดสภาวะหนึ่ง เช่น ค่าความจุแบตเตอรี่ที่กระแสคายประจุค่าหนึ่ง หรือที่เวลาในการคายประจุค่าหนึ่ง เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคายประจุกับค่าความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.26 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ

(2) กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากหลักการเดียวกันกับความจุของแบตเตอรี่ค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดหรือการคายประจุโดยค่ากระแสไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

- ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะอัดประจุ (Maximum Charge Current) $I_{20} = C_{20}/20h$

- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะอัดประจุ (Medium Charge Current) $I_{50} = C_{50}/50h$

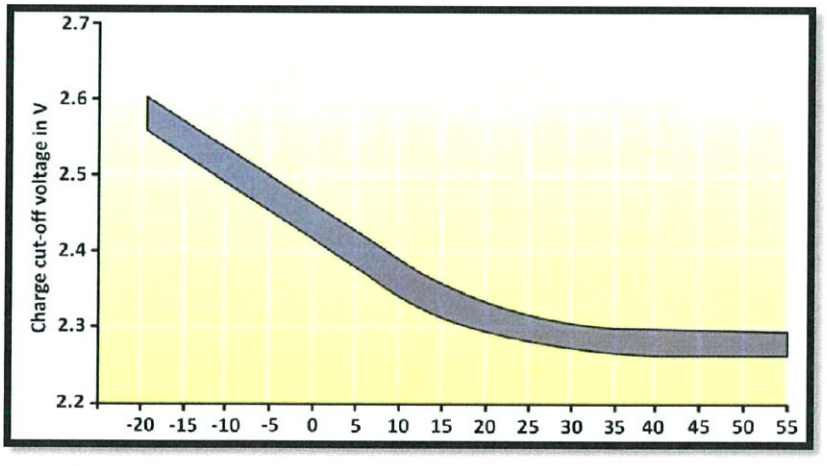
- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะคายประจุ (Medium Discharge Current) $I_{120} = C_{120}/120h$

(3) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ค่าแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดคือประมาณ 12 โวลต์ต่อแบตเตอรี่หนึ่งตัวและค่าแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงจะมีการเปลี่ยนแปลงเสมอขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน ซึ่งขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าหรือแรงดันวงจรเปิดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะไม่สามารถวัดได้ทันที ภายหลังจากการอัดหรือคายประจุเนื่องจากกระบวนการทางเคมีและความร้อนยังไม่เข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งค่าแรงดันวงจรเปิดนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการอัดประจุและชนิดของแบตเตอรี่โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.96 - 2.12 โวลต์ต่อเซลล์หรือแบตเตอรี่หนึ่งตัวมีค่า 12 - 12.7 โวลต์

(4) การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging)

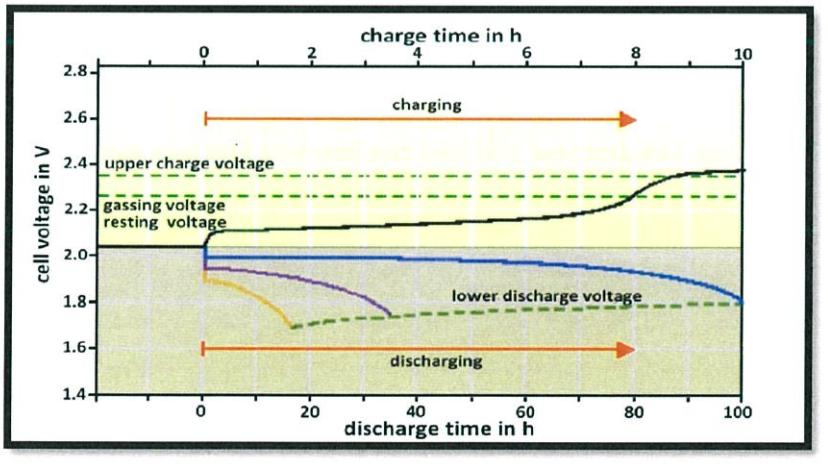
สำหรับกระบวนการอัดประจุค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่จะเริ่มเกิดก๊าซ (gassing voltage) นั่นคือน้ำถูกแยกตัวออกเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจนเรียกว่า oxyhydrogen gas ซึ่งสามารถจุดติดไฟและระเบิดได้ง่าย ผู้ผลิตเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่จึงควรจำกัดแรงดันไฟฟ้าตอนอัดประจุไม่ให้เกินค่าๆหนึ่งเป็นค่าแรงดันปลดออกเมื่ออัดประจุหรือ charge cut-off voltage นอกจากนี้เนื่องจากค่าแรงดันที่เริ่มเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ดังนั้นเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ควรต้องมีการวัดอุณหภูมิเพื่อนำมาคำนวณหาค่า charge cut-off voltage อย่างถูกต้องดังรูป



รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage

แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานครบรอบ หรือไซเคิลในหนึ่งวันคือ ช่วงกลางวันเป็นการอัดประจุและกลางคืนเป็นการคายประจุ โดยอาจคายประจุอยู่ระหว่าง 2 ถึง 20 % ของความจุแบตเตอรี่ การทำงานของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่นในฤดูหนาว (หรือฤดูฝน) แสงแดดมีน้อยทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้น้อยจึงไม่เพียงพอสำหรับการอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ให้เต็ม ส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC) ที่ต่ำมาก อาจจะประมาณ 20% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน แสงแดดมีมาก แผงเซลล์ผลิตพลังงานได้มากและเพียงพอสำหรับอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่จนเต็มหรือเกือบเต็ม ซึ่งอาจส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุที่สูงคือ อาจถึง 80 หรือ 100 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่ได้แต่ก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอัดประจุเกินพิกัด ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ โดยเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่บางรุ่น อาจกำหนดค่าแรงดันสูงกว่านี้ในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อเหตุผลจำเป็นบางประการ เช่น เพื่อการอัดประจุแบบ Equalization หรือการอัดประจุแบบรวดเร็ว เป็นต้น

กระบวนการคายประจุ เมื่อเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างทันทีเนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมบนตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการหรือจนถึงค่าแรงดันปลดออก เมื่อคายประจุ หรือ discharge cut-out voltage หากปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงต่อไปจนกระทั่งต่ำกว่าค่า discharge cut-out voltage จะทำให้ความเข้มข้นของกรดจะมีค่าสูงมากจนเกิดเป็นผลึกซัลเฟต หรือเรียกว่าเกิดซัลเฟชัน ซึ่งควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสภาวะนี้



รูปที่ 2.28 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ

ในรูปที่ 2.28 แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกระบวนการอัดและคายประจุรวมทั้ง charge cut-off voltage (หรือ upper charge voltage), discharge cut-out voltage (หรือ lower discharge voltage) และ gassing voltage

(5) สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC)

การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีแบตเตอรี่จำเป็นต้องทราบจำนวนเวลาที่ระบบยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ภาระทางไฟฟ้า ได้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแดดเพื่อประมาณการหรือเตรียมมาตรการรองรับหรือป้องกันการขาดแคลนไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบตลอดเวลาว่ามีปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่จะทำให้ทราบปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (State of charge)

วิธีที่ 1 สำหรับ unsealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลท์เป็นของเหลว สามารถทราบได้จากค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ซึ่งวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) โดยแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน

วิธีที่ 2 สำหรับ sealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลท์เป็นแบบเจลซึ่งไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ได้จึงต้องวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแทนอย่างไรก็ตามจำเป็นต้องทราบระดับแรงดันวงจรเปิดขณะเริ่มต้น (resting voltage) ก่อนทุกครั้งเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าเริ่มต้นที่สภาวะการประจุเป็น 0 % และต้องปล่อยแบตเตอรี่ไว้โดยไม่ต่อวงจรไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการวัดแรงดัน

(6) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Ageing Effect)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีจุดบกพร่องเนื่องจากอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น โดยที่การใช้งานระหว่าง 100 ถึง 800 รอบ จะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 ถึง 8 ปี แต่ในขณะที่แบตเตอรี่แบบStationary จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10 ถึง 15 ปี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอแม้ว่าจะไม่มีการคายประจุใดๆ จากแบตเตอรี่ กระบวนการทางเคมีก็ยังคงเกิดขึ้นและเป็นเหตุให้เกิดการคายประจุภายในตัวแบตเตอรี่เอง ทั้งนี้ไม่ควรให้เกิดการคายประจุเกิน 3% ต่อเดือน จากกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ประกอบด้วย การแบ่งชั้นของกรด (Acid stratification) การเกิดซัลเฟชัน (Sulfation) การกัดกร่อน (Corrosion) การเกิดเป็นตะกอน (Sludging) และการสูญเสียน้ำ (Drying out)

การแบ่งชั้นของกรด หรือ Acid stratification เป็นปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับได้ เนื่องจากการที่กรดมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ซึ่งความหนาแน่นของกรดบริเวณด้านล่างของแบตเตอรี่จึงมากกว่าด้านบน ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างกรดชั้นบนและชั้นล่าง เป็นเหตุให้เกิดการคายประจุบางส่วนวนอยู่ภายในตัวกล่องแบตเตอรี่ กระบวนการนี้เรียกว่า Acid stratification และในกรณีนี้ทำให้เกิดก๊าซบ้าง ทั้งนี้ในแต่ละช่วงเวลาของการบำรุงรักษาจึงควรช่วยให้เกิดการผสมของกรดชั้นบนและชั้นล่างโดยการเคลื่อนย้ายแบตเตอรี่เพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างกรดชั้นบนและชั้นล่างและช่วยลดการคายประจุภายในแบตเตอรี่

การเกิดซัลเฟชัน หรือ Sulfation เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ในกรณีที่แบตเตอรี่ไม่ได้รับการอัดประจุอย่างเพียงพอหลังจากที่คายประจุแล้ว จะทำให้เกิดผลึกของตะกั่ว

ซัลเฟตตกตะกอนสะสมอยู่ด้านล่าง ซึ่งไม่สามารถละลายกลับเข้าในสารอิเล็กโทรไลต์ได้อีก และการสูญเสียซัลเฟตนี้ทำให้ความสามารถในการอัดประจุครั้งต่อไปลดลง กระบวนการนี้เรียกว่า Sulfation

การกัดกร่อน หรือ Corrosion เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่กระบวนการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นกับแผ่นธาตุกริดที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันที่ขั้วบวกสูงเกินกว่าปกติจะทำให้ความต้านทานของแผ่นธาตุกริดเพิ่มขึ้น จนในที่สุดเมื่อเกิดการกัดกร่อนเป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในระหว่างขั้วบวกกับอิเล็กโทรด

การเกิดเป็นตะกอน หรือ Sludging เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่ปริมาตรขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอัดและคายประจุจะทำให้องค์ประกอบบางส่วนหายไป หากเกิดก๊าซขึ้นจะทำให้เกิดการสะสมเป็นตะกอนของตะกั่ว หรือตะกั่วซัลเฟตที่ด้านล่างแบตเตอรี่และเมื่อสะสมจนสูงมากพอจะทำให้เกิดการลัดวงภายใน

การสูญเสียน้ำ หรือ Drying out เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ หากเกิดก๊าซขึ้นในระหว่างการอัดประจุจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ ซึ่งต้องมีการเติมน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อชดเชยและไม่ให้แบตเตอรี่หยุดทำงาน

2.5.6 ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่

แฟคเตอร์ของการประจุ (charge factor) คือสัดส่วนระหว่างปริมาณของไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่แบตเตอรี่มีหน่วยเป็นแอมแปร์- ชั่วโมง (Ah) ต่อปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุออกมาได้โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 1.02 ถึง 1.2 ขึ้นอยู่กับค่าความลึกของการคายประจุ (discharge depth) และชนิดของแบตเตอรี่ประสิทธิภาพของการอัดประจุ (charge efficiency) คือส่วนกลับของ charge factor มีค่าอยู่ระหว่าง 83 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ซึ่งหากผู้ผลิตไม่ระบุค่า charge efficiency สามารถจะประมาณได้ โดยใช้วิธีดังนี้

- ที่สภาวะการอัดประจุ 90 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์

- ที่สภาวะการอัดประจุ 75 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

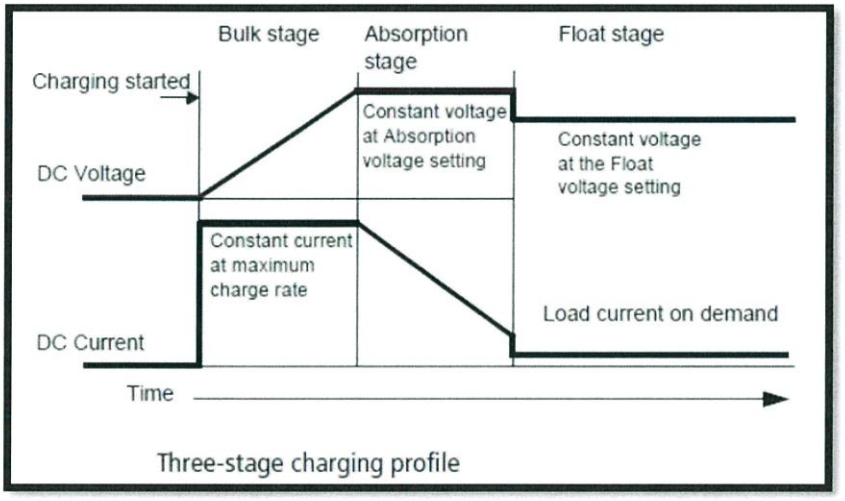
- ที่สภาวะการอัดประจุต่ำ กว่า 50 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของพลังงาน (energy efficiency) จะพิจารณาถึงความสูญเสียพลังงานจากการกักเก็บหรือเก็บสะสมสำหรับแบตเตอรี่ใหม่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 70 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ด้วย

2.6 การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

การทำงานหลักๆของตัวควบคุมการชาร์จประจุคือควบคุมการไหลของไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปที่แบตเตอรี่ ระบบแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์จะต้องสามารถป้องกันการเกิดโอเวอร์ชาร์จและสามารถรักษาสถานะแบตเตอรี่ให้เต็มได้ โดยตัวควบคุมจะใช้หลักการทำงานแบบ PWM (Pulse Width Modulation) เป็นวิธีที่ดีและปลอดภัยที่สุด

การทำงานจะอาศัยสัญญาณพัลลส์ On-Off ของพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ในการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีขั้นตอนในการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้



รูปที่ 2.29 แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three state charge [5]

ช่วงที่ 1 Bulk charge

ขั้นแรกของการประจุ จะใช้ระดับแรงดันและกระแสสูงสุดในระดับที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการโอเวอร์ฮีต หรือที่เรียกว่า Natural absorption rate สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ AGM ขนาด 24 โวลต์ทั่วไป แรงดันที่ใช้ในการประจุจะอยู่ที่ประมาณ 28.8-29.4 โวลต์ โดยค่ากระแสคงที่จะถูกใส่ที่แบตเตอรี่ค่าสูงสุด ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณ PWM ขณะนี้แบตเตอรี่กำลังถูกชาร์จ ที่ค่าแรงดันที่ไม่ทำให้เกิดการโอเวอร์ฮีต

ช่วงที่ 2 Absorption Charge

เครื่องประจุแบตเตอรี่ จะตรวจวัดค่าแรงดันและความต้านทานของแบตเตอรี่ เมื่อสภาวะการอัดประจุถึงประมาณ 80% หลังจากที่ค่าได้ระดับแรงดันถึงค่าที่กำหนดไว้ (ประมาณ 29.4 โวลต์ สำหรับระบบ 24 โวลต์) หลังจากนั้นระดับแรงดันจะถูกทำให้คงที่ ขณะที่แบตเตอรี่ยังคงชาร์จอยู่ที่แรงดันคงที่ กระแสชาร์จก็ลดลง แรงดันในการชาร์จจะอยู่ที่ค่าแรงดันในช่วง Bulk charge หลังจากนั้นจะเข้าสู่ช่วง Float Charge

ช่วงที่ 3 Float Charge

เครื่องควบคุมจะรักษาระดับแรงดันของแบตเตอรี่ไว้ที่ค่าๆหนึ่งประมาณ 95% หรือที่ระดับแรงดัน Float Charge เพื่อป้องกันการ self-discharge ของแบตเตอรี่ การประจุช่วงนี้เป็นการทำให้ประจุแบตเตอรี่ได้เต็มความจุ ระดับแรงดันจะลดลงไปคงที่ที่ประมาณ 27.0 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันสูงสุดที่แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์สามารถรับได้ กระแสก็จะลดลงไปเป็นค่าต่ำๆ ที่เรียกว่ากระแส trickle เพื่อชดเชยกระแสดิสชาร์จในตัวแบตเตอรี่จนกระทั่งประจุเต็มความจุ

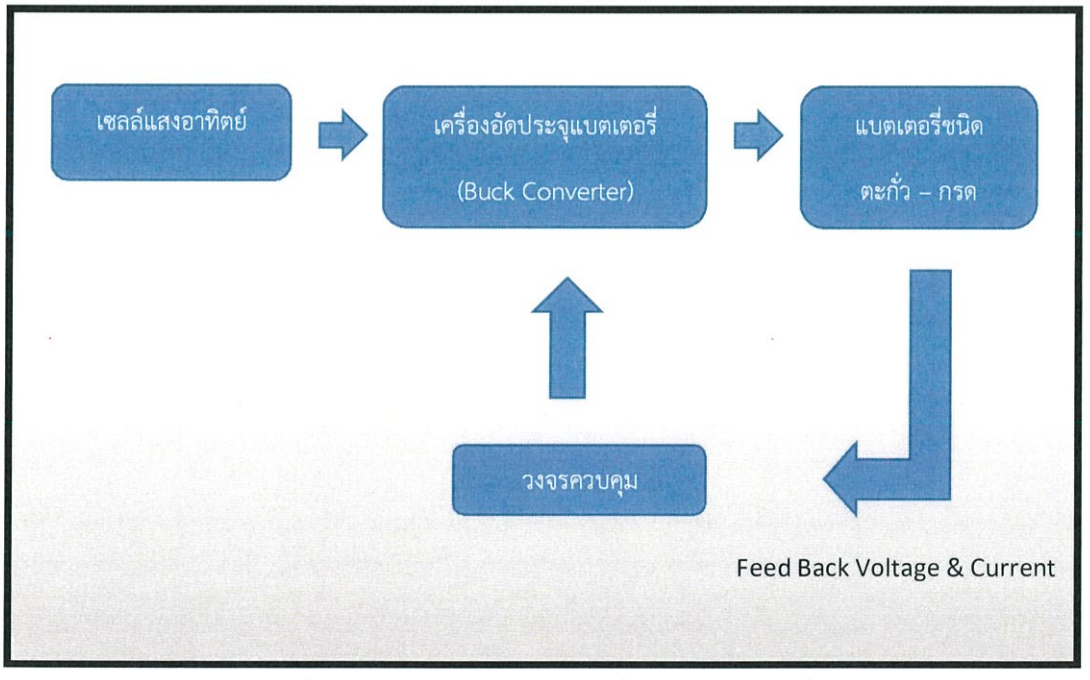
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่นั้นประกอบด้วยวงจรต่างๆ ได้แก่ วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) และวงจรควบคุม (Controller) โดยวงจรทั้งหมดต้องทำหน้าที่ในการประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 12V 7.5 Ah 2 ก้อนได้อย่างสมบูรณ์ การทำงานหลักๆของตัวควบคุมการชาร์จประจุคือควบคุมการไหลของไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปที่แบตเตอรี่ ระบบแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์จะต้องสามารถป้องกันการเกิดโอเวอร์ชาร์จและสามารถรักษาสถานะแบตเตอรี่ให้เต็มได้ ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอส่วนประกอบหลักของชุดวงจรดังกล่าว และวิธีการคำนวณ

3.2 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรรี่



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

3.2.1 วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

3.2.1.1 วงจร Buck Converter ประกอบด้วย

1. ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดันเพื่อกรองแรงดันด้านขาเข้าและขาออกให้เรียบ มีขนาดใหญ่ และทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดและรักษาระดับไฟฟ้าด้านขาออกให้คงที่

2. มอสเฟต (Mosfet) ทำหน้าที่ในการสวิชชิ่งไฟเข้าสู่โหลดโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณควบคุม โดยมอสเฟตที่ใช้เป็นพาวเวอร์มอสเฟต

3. ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลดช่วยกรองและป้องกันการกระชากของกระแสในช่วงที่ Mosfet turn off

4. ไดโอด (D) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ Free Wheeling Diode ในช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระทำให้กระแสวิ่งผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง

3.2.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$L = \frac{(V_S - V_o)DT}{\Delta i_L} = \frac{(V_S - V_o)D}{\Delta i_L f_S} \qquad (3.1)$$

เมื่อ $f_S = \frac{1}{T_S}$

f_s : ความถี่การสวิทช์

D : ดิวตี้ไซเคิ้ล

V_s : แรงดันของแหล่งจ่าย

V_o : แรงดันเอ้าท์พุท

Δi_L : อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ

L : ค่าความเหนี่ยวนำ

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลองมีดังนี้

f_s = 25 KHz

D = 0.5

V_s = 46 โวลต์

V_o = 29 โวลต์

Δi_L = 0.3 A

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.1 จะได้

$$L = \frac{(46-29)(0.5)}{(0.3)(25000)} = 1100\ \mu H$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า L= 1400 μH

3.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)

การหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของ Buck Converter สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C = \frac{1-D}{8Lrf_s^{\ 2}} \qquad (3.2)$$

เมื่อ

R : ค่าแฟกเตอร์คลื่นระลอก ($r = \frac{\Delta V_o}{V_o}$ และค่าปกติ r < 2%)

ในที่นี้กำหนดให้ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.1%

f_s : ความถี่การสวิทช์ (โดยที่ $f_s = \frac{1}{T_s}$)

D : ดิวตี้ไซเคิ้ล

L : ค่าความเหนี่ยวนำ

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลองมีดังนี้

f_s = 25 KHz

D = 0.5

R = 0.001

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

$$C = \frac{1-0.5}{8x0.001x1400x10^{-6}x25000^2} = 71.429\ \mu F$$

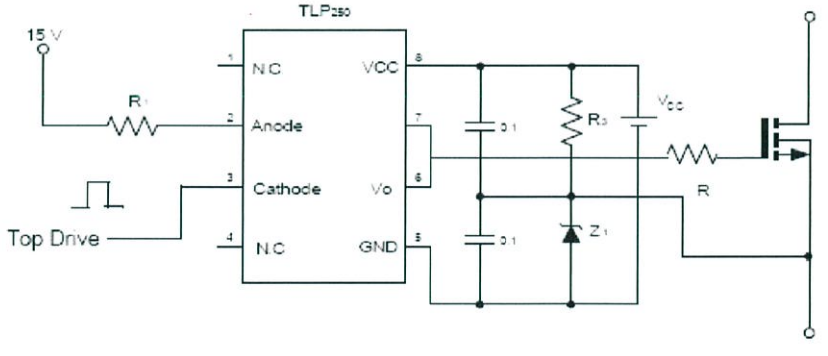
ในโครงงานนี้เลือกใช้ C = 143 μF

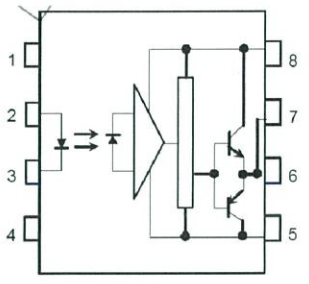
3.3 วงจรขับเกตแบบแยกกันทางไฟฟ้า

ในการทำงานวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดัน จึงเป็นต้องมีวงจรขับเกตเพื่อใช้ในการสวิตช์มอสเฟต ในช่วงที่สวิตช์ทำงานวงจรขับต้องสามารถให้พลังงานมากเพียงพอเพื่อให้สวิตช์ทำงานได้ตลอดช่วงการทำงาน (t_{on}) ในขณะเดียวกันวงจรขับต้องสามารถไบแอสกลับเพื่อควบคุมสวิตช์ให้หยุดทำงานตลอด

ซึ่งวงจรขับเกตจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมการปิด-เปิดของมอสเฟต นอกจากนี้วงจรขับจะเป็นตัวขยายสัญญาณควบคุมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่สามารถขับสวิตช์ได้

เพื่อลดความเสียหายภายในวงจรจึงใช้ไอซีเบอร์ TLP250 เป็นชนิด Opto Isolated Gate Drive มีหน้าที่แยกไฟแรงสูงกับแรงต่ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Opto Isolator กับส่วนที่เป็น current boost โดยใช้แสงเป็นตัวกลางในการเชื่อมระบบโดยใช้แสงที่ได้ไปขับในส่วนของ current boost เพื่อขยายกระแสนั้นให้มากขึ้นเพื่อขับมอสเฟตและขณะที่นำไปใช้งานต้องมีการต่อตัวต้านทานเพื่อกำจัดกระแสขาเข้า Opto Isolator ด้วย วงจรขับเกตแสดงดังรูป 3.2

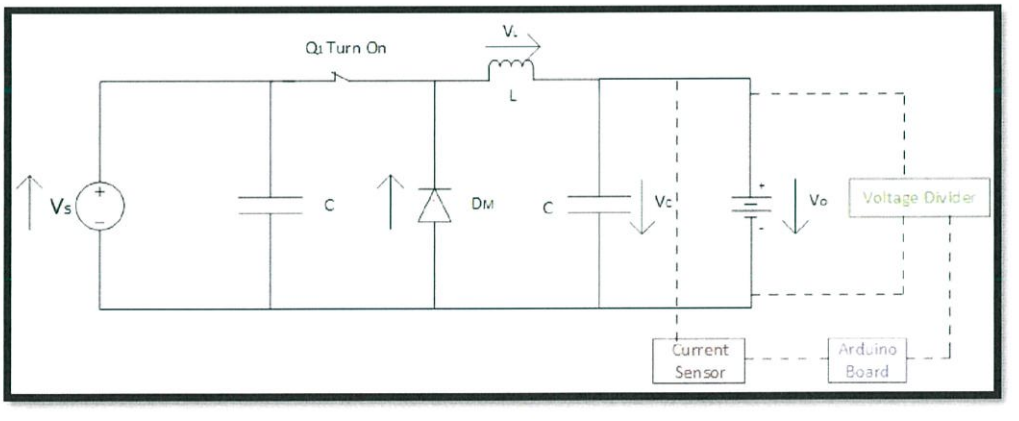




รูปที่ 3.2 วงจรขับเกต

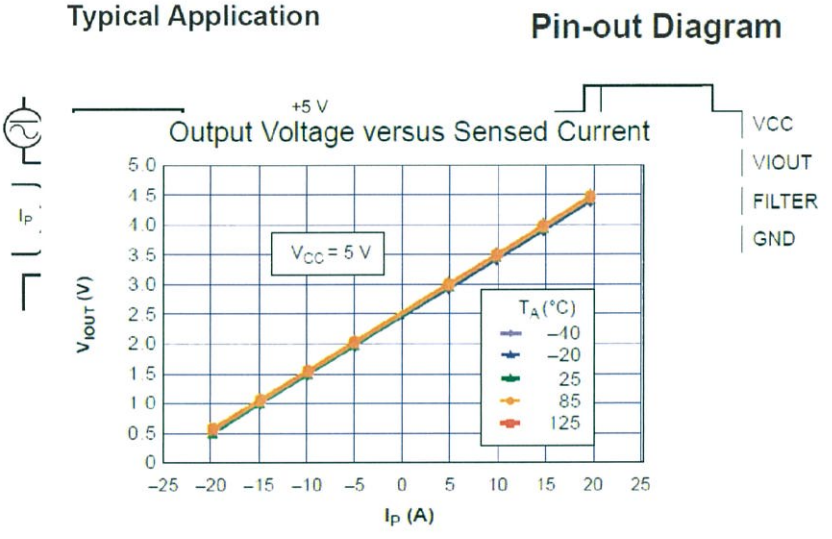
3.4 การวัดสัญญาณ (sensor)

ในการออกแบบการรับสัญญาณค่ากระแสและแรงดันสำหรับการควบคุมการชาร์แบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสอ้างอิงในการนำไปสร้างสัญญาณดิวตี้ไซเคิลสำหรับการทำงานของสวิตช์ของตัวแปลงผันแบบทอนระดับ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่สำหรับ Arduino ที่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน +5 โวลต์ สำหรับใช้ในการประมวลผล วิธีการวัดสัญญาณดังรูป



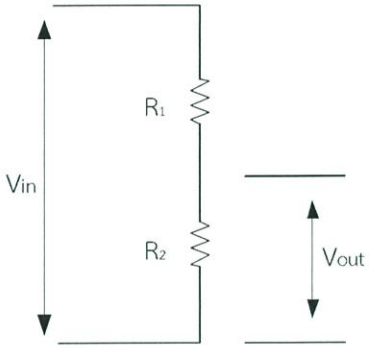
รูปที่ 3.3 วงจรการวัดกระแสและแรงดัน

3.4.1 การวัดค่ากระแสโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส (Current Sensor) ทำการวัดสัญญาณค่ากระแสโดยใช้ Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC (ACS712) ทำงานโดยอาศัยผลจาก Hall Effect เปลี่ยนค่ากระแสให้เป็นแรงดัน โดยไอซีนี้จะทำการวัดค่ากระแส (I_{in}) แล้วแปลงเป็นค่าแรงดัน (V_{out}) เพื่อนำค่าเข้าไปประมวลผลกับอุปกรณ์ไมโครคอลโทรลแบบ Arduino โดยมีค่าสัดส่วนของกระแสแปลงเป็นแรงดันดังตาราง ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับ ACS712 เป็น +5 V



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

3.4.2 การวัดสัญญาณแรงดัน จะทำการวัดโดยการต่อขนานตัวต้านทานที่แบตเตอรี่ เพื่อทำการลดอัตราส่วนแรงดันให้อยู่ระดับที่ต้องการ เพื่อเป็นอินพุตให้กับระบบควบคุมในการนำไปประมวลผล โดยจะใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

3.4.2.1 แรงดันขาออก (V_{out}) สำหรับวัดสัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นเอาท์พุต (V_{out}) ของแบตเตอรี่ให้กับตัวควบคุม โดยมีขนาดแรงดันสูงสุด 35 โวลต์ ต้องการแรงดันสำหรับตัวควบคุม 0 – 5 โวลต์ แทนค่าในสมการ

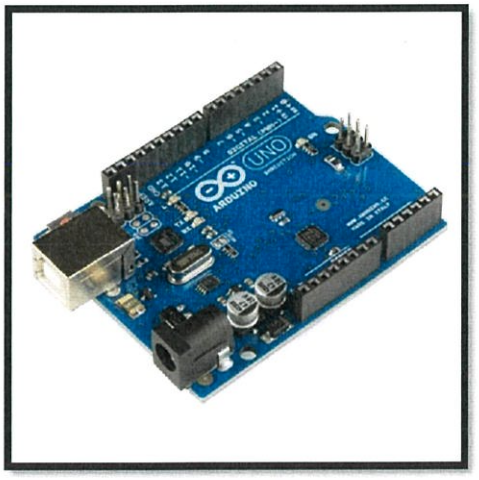
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{3.3}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ R_1 = 60 kΩ และ R_2 = 10 kΩ ซึ่งลดอัตาราส่วนแรงดันได้ประมาณ 5 V ที่แรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่

3.5 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5.1 การสร้างสัญญาณพัลส์(Pulse)

สร้างสัญญาณพัลส์จากการเขียนโปรแกรมผ่านไมโครคอลโทรลเลอร์ชนิด Arduino โดยจะสัญญาณที่ได้ออกมาจากการประมวลผลจะเป็นสัญญาณดิวตี้ไซเคิลโดยอาศัยการสร้างความถี่จากภายในของตัว Arduino เอง ซึ่งสามารถนำสัญญาณไปป้อนให้กับอุปกรณ์แยกกันทางไฟฟ้า (Isolation) ได้โดยตรง



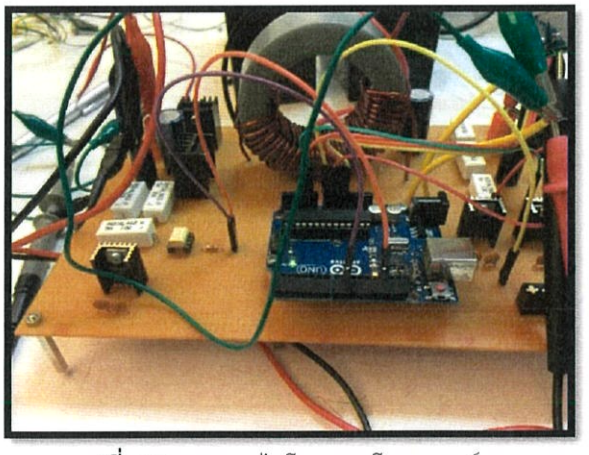
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Arduino

รูปที่ 3.6 ไมโครคอลโทลเลอร์ชนิด Arduino UNO R3

วงจรสร้างสัญญาณ PWM ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino UNO R30 ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

3.5.1.1 ประมวลผลสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณควมคุมส่งไปยังวงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

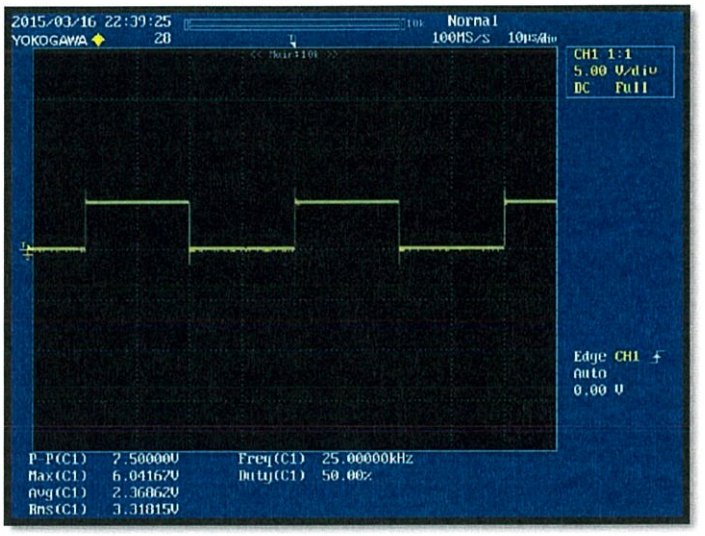
3.5.1.2 สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับมอสเฟตของตัวไอซี TLP250 ส่งไปยังวงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) ซึ่งวงจรชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงรูปดังนี้



รูปที่ 3.7 ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

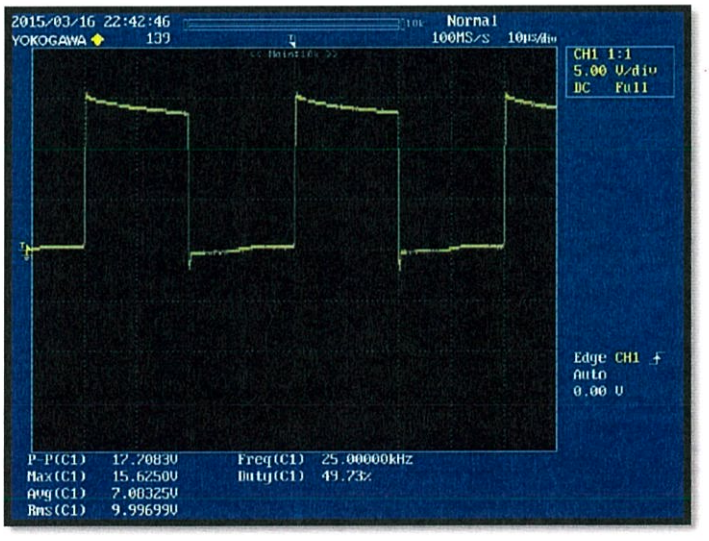
3.5.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5.2.1 สัญญาณ PWM จาก Arduino ดังรูป



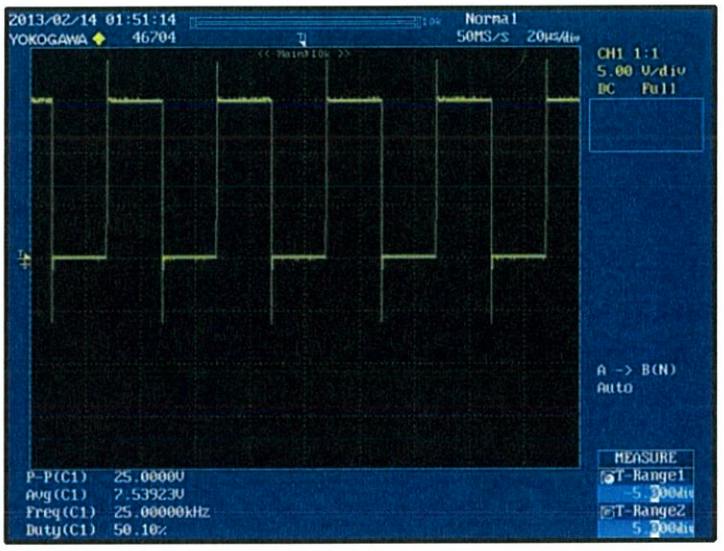
รูปที่ 3.8 ลักษณะของสัญญาณที่ออกจาก Arduino เป็นสัญญาณ PWM และกำหนดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.5.2.2 สัญญาณจากตัว TLP 250 เพื่อขับสัญญาณขาเกตที่มอสเฟต (Mosfet)



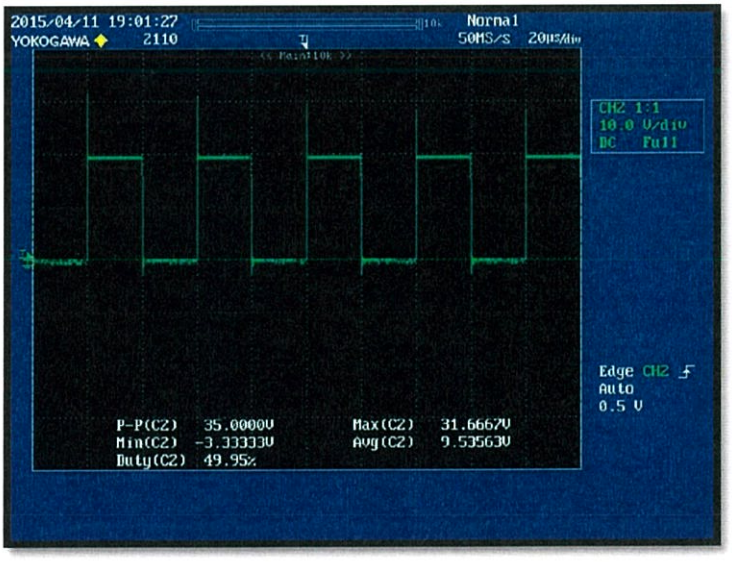
รูปที่ 3.9 ลักษณะสัญญาณของตัวไอซี TLP 250 Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.4.3.2 สัญญาณที่ตำแหน่งขาเกตของมอสเฟต



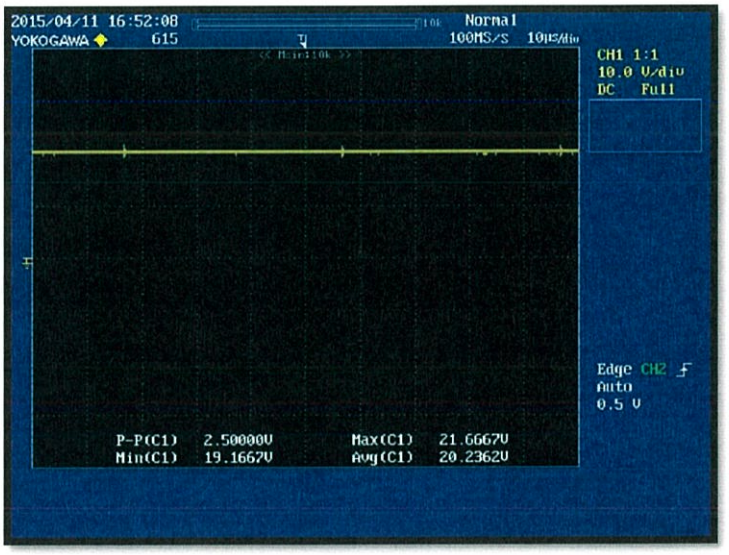
รูปที่ 3.10 ลักษณะของสัญญาณที่ขาเกตของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.4.3.3 สัญญาณที่ตำแหน่งขาซอสของมอสเฟต



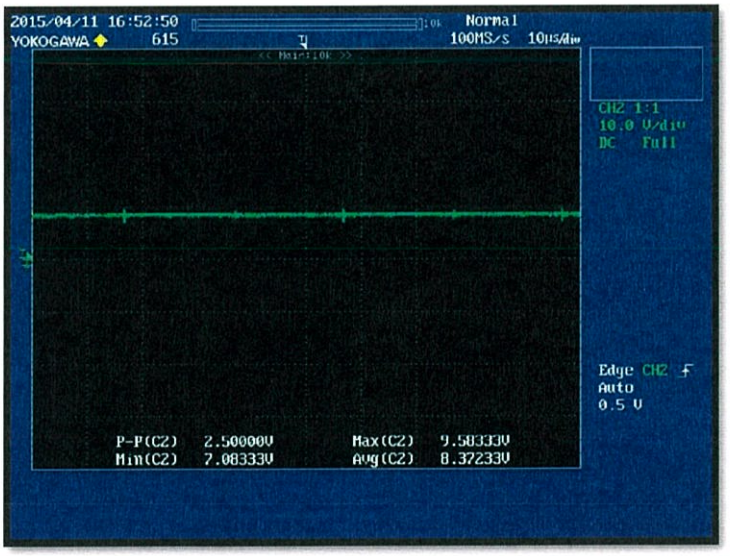
รูปที่ 3.11 ลักษณะของสัญญาณที่ขาซอสของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.4.3.3 แรงดันอินพุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน



รูปที่ 3.12 ลักษณะของสัญญาณแรงดันอินพุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน

3.4.3.3 แรงดันเอ้าท์พุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน



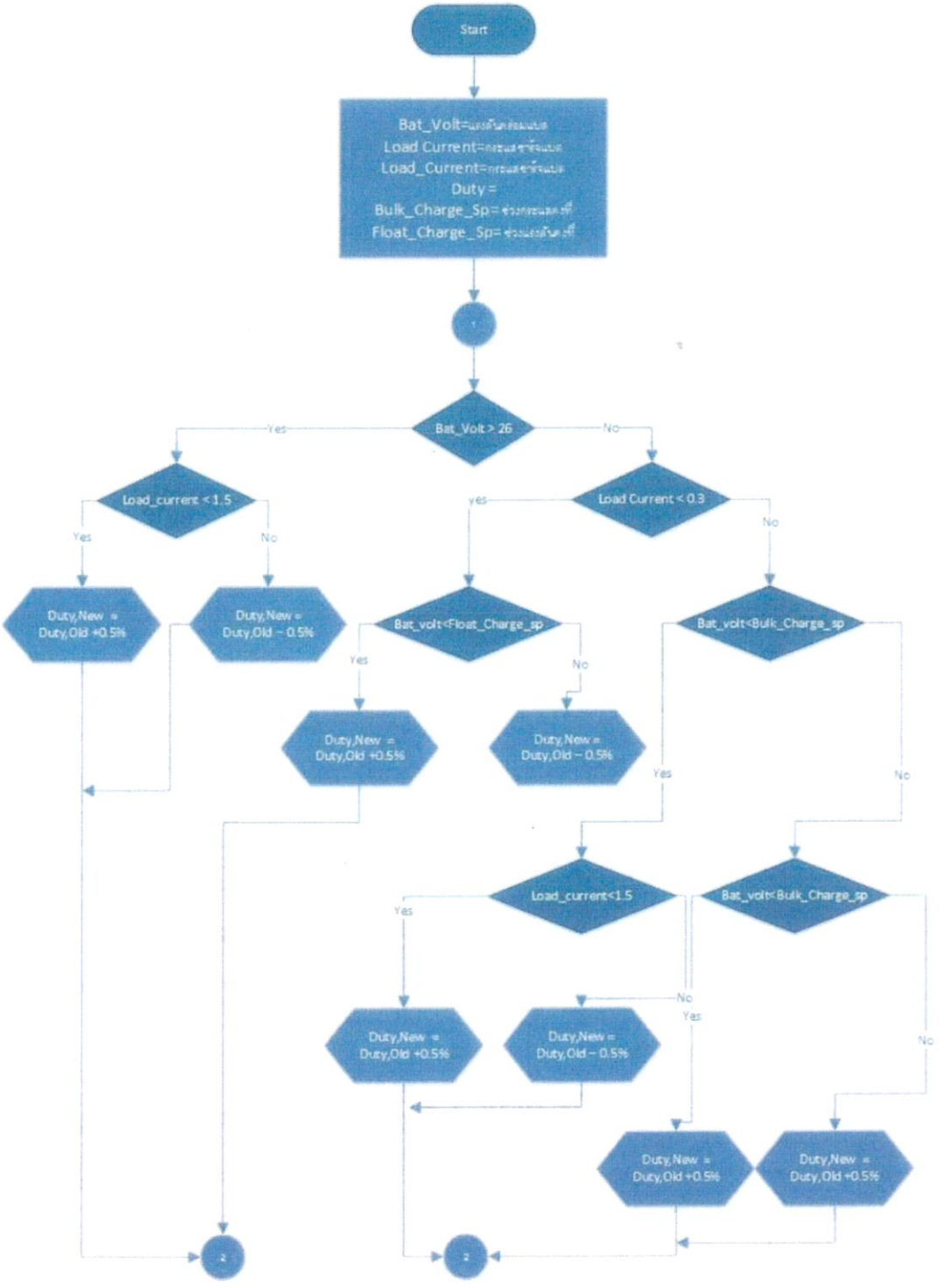
รูปที่ 3.13 ลักษณะของสัญญาณแรงดันเอ้าท์พุตที่วงจรทอนระดับแรงดัน

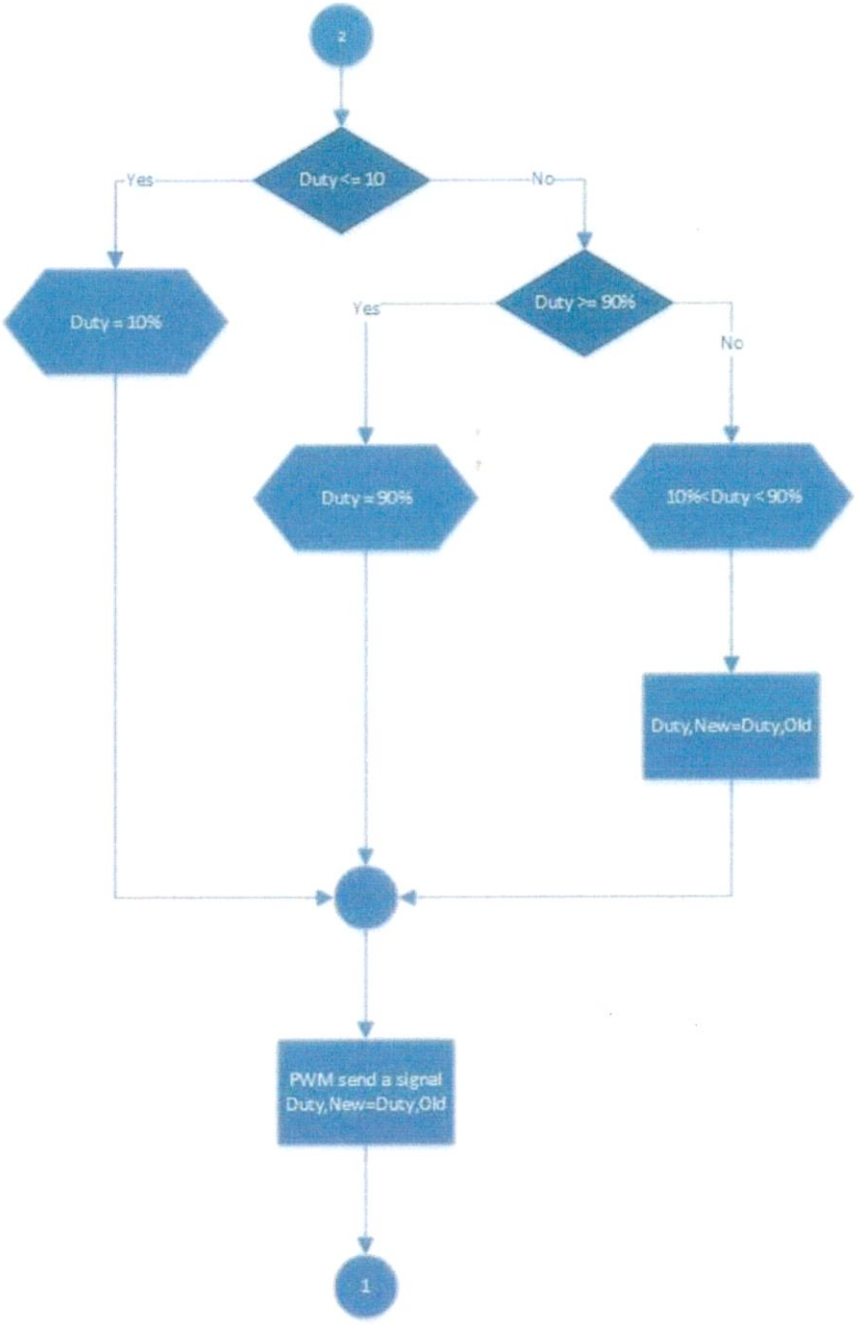
รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณ PWM ที่ออกมาจาก Arduino ซึ่งกำหนดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz โดยที่แรงดันสูงสุดคือ 5 โวลต์ และต่ำสุดคือ 0 โวลต์ ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปเข้าไอซี Photo coupler TLP250 เพื่อขยายสัญญาณ และการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าจากวงจรควบคุม

รูปที่ 3.9 แสดงสัญญาณ PWM ที่ผ่านไอซี TLP 250 แล้วจะได้สัญญาณที่มีความถี่เท่าเดิม แต่ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้น เพื่อขับขาเกตของมอสเฟตในวงจรกำลัง ส่วนรูปที่ 3.10 และ 3.11 จะเป็นการแสดงลักษณะสัญญาณที่ขาเกต และขาเดรนของมอสเฟต ตามลำดับ

รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 ได้ค่าแรงดันอินพุท คือ 20 V และค่าแรงดันเอ้าท์พุต คือ 8.3 V เมื่อนำมาคำนวณค่าตามสมการ $\frac{V_o}{V_i} = D$ เมื่อแทนค่าแรงดันอินพุตและค่า Duty ตามนี้ ควรจะได้ค่าแรงดันเอ้าท์พุตที่ 10 V ดังนั้นค่าแรงดันเอ้าท์พุตที่ได้จากวงจรจริงถือว่ามีค่าใกล้เคียง

3.6 ไดอะแกรม (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่





รูปที่ 3.14 ไดอะแกรม (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

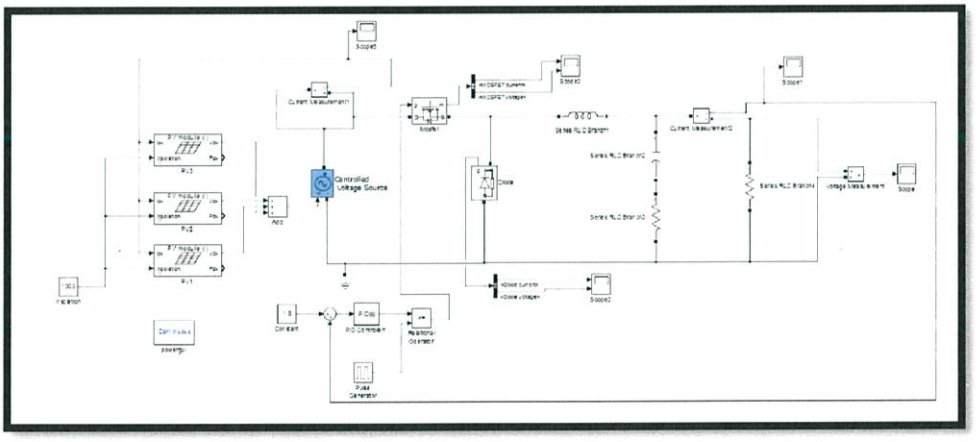
บทที่ 4

ผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 บทนำ

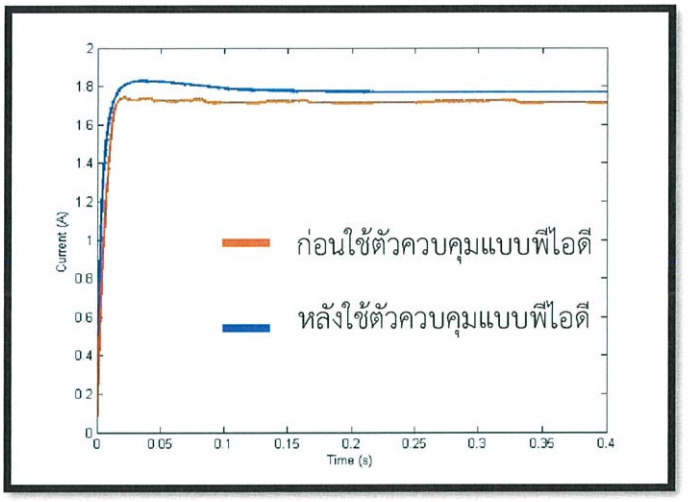
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทำงานของวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อทำการทดสอบการทำงานในสภาวะต่างๆก่อนนำไปสร้างเครื่องต้นแบบจริง เพื่อที่จะทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากชิ้นงานจริง โดยจะแบ่งการจำลองการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ตอนที่1 จำลองการควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) ที่ระดับความเข้มสงแตกต่างกัน และตอนที่ 2 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) ที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน

4.2 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)



รูปที่ 4.1 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load R = 20 โอห์ม

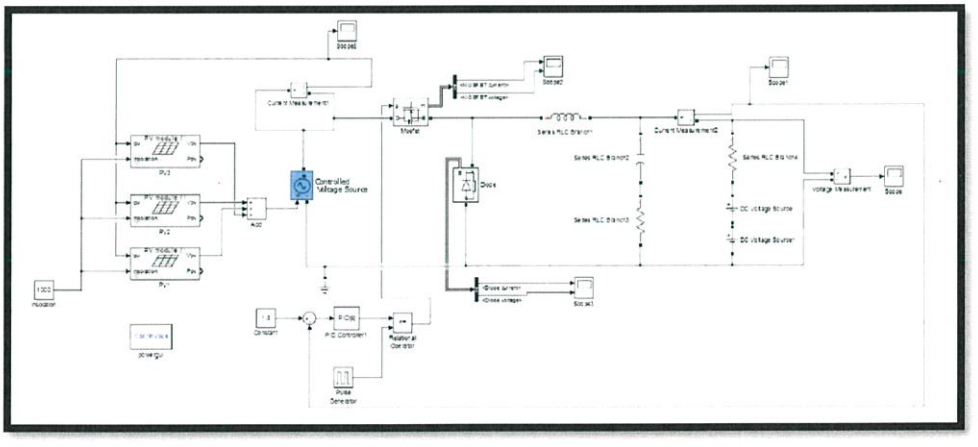
ในโหมดของกระแสคงที่นั้น จะเป็นการควบคุมกระแสขาออกจากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ หรือกระแสที่ใช้ประจุแบตเตอรี่เพื่อให้ได้กระแสขาออกตามที่ต้องการ โดยจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อทำการจูนค่า K_p K_i และ K_d ของตัวควบคุมด้วยการจูนมือ (Ultimate Tune) ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยในรูปที่ 4.2 จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกจากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ กับ เวลา ของระบบก่อนทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและระบบหลังทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ได้จากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ก่อนทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและหลังจากการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load R = 20 โอห์ม

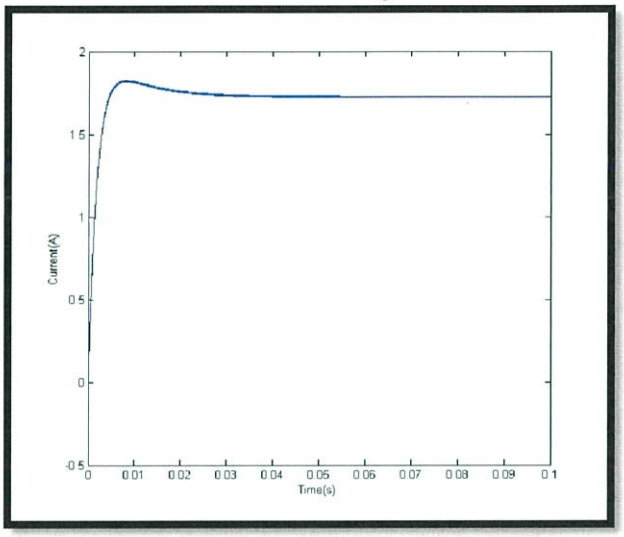
เหตุผลที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในโหมดของกระแสคงที่นั้นเนื่องมาจากกระแสขาออกที่ต้องการมีค่าไม่ถึงค่าที่ต้องการและระบบไม่มีความเสถียร จึงต้องใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี เพื่อควบคุมให้ระบบเป็นไปตามที่ต้องการให้มากที่สุด

จากนั้นทำการต่อแบตเตอรี่เข้าในวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ในระบบจำลองจะได้วงจรตามรูปที่ 4.3



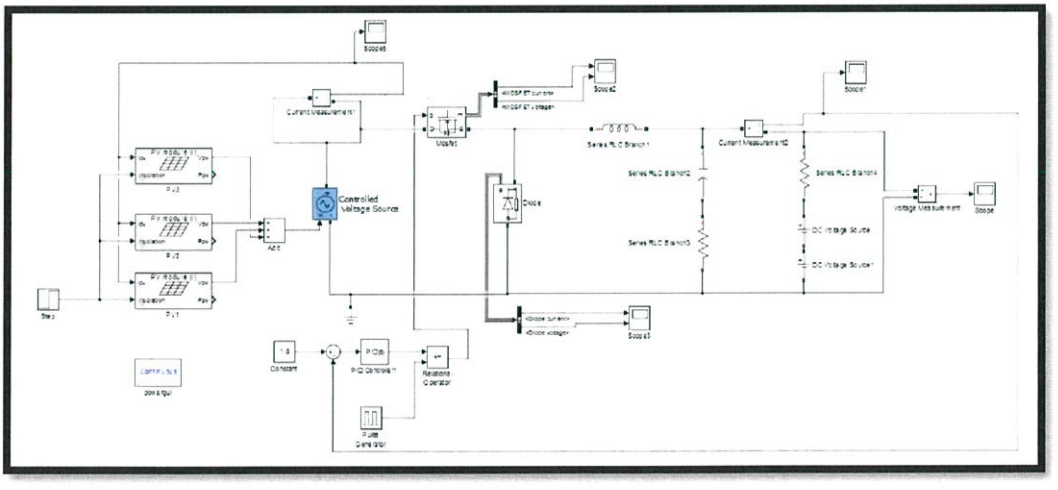
รูปที่ 4.3 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ กรณีโหลดแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม ในโหมดกระแสคงที่มีค่าคงที่ตามที่เราต้องการ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)

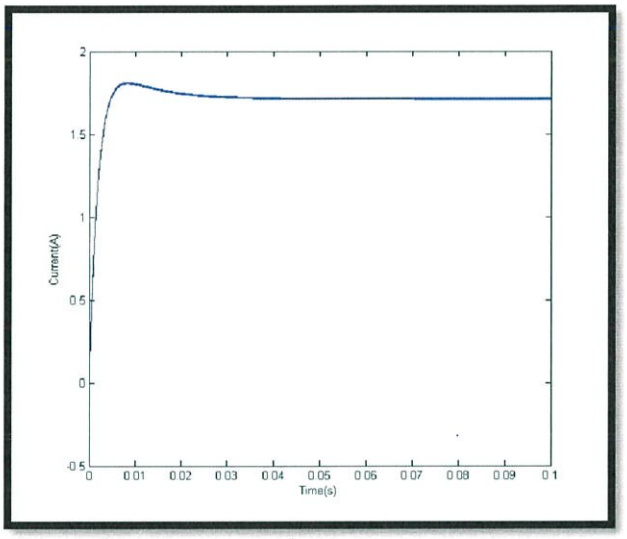
จากนั้นทำการจำลองเปลี่ยนค่าของความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้มีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน จะได้วงจรจำลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ

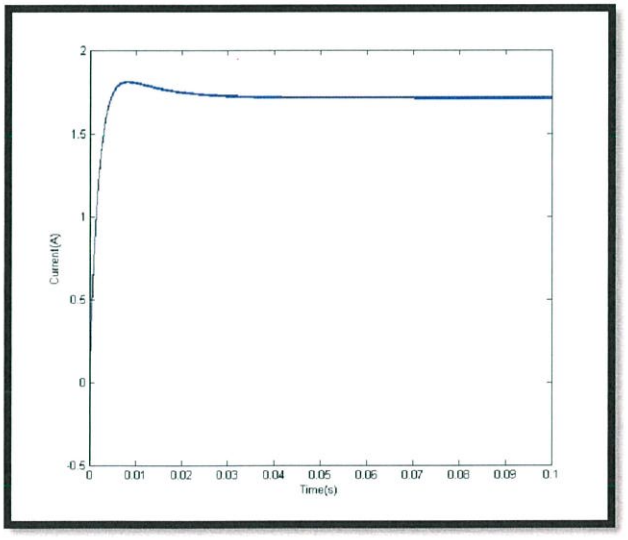
จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเป็นความเข้มแสงที่มีค่าแตกต่างกันดังนี้

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2



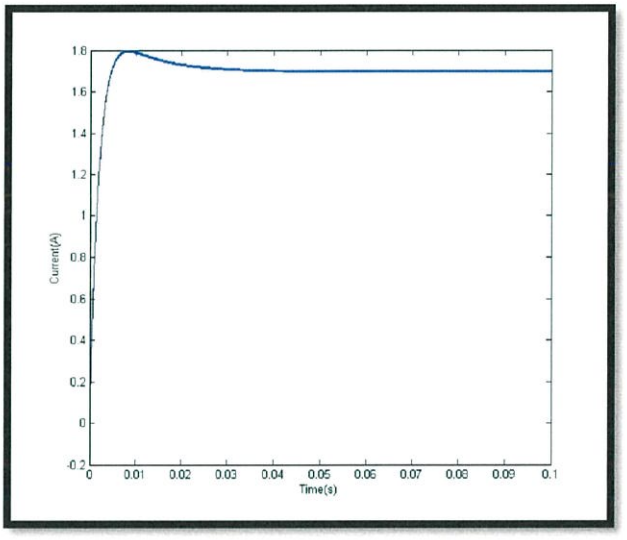
รูปที่ 4.6 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2



รูปที่ 4.7 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2

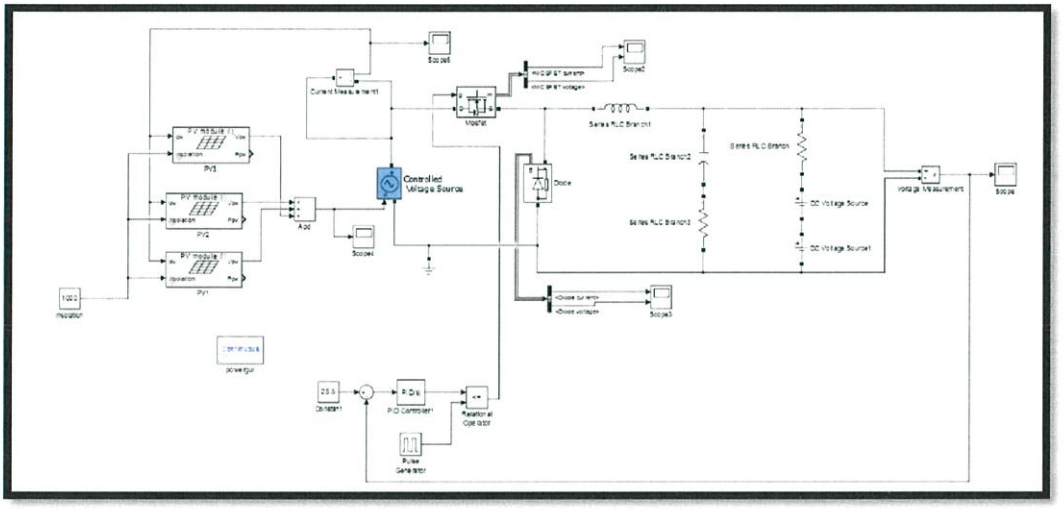


รูปที่ 4.8 กราฟกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2

ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไปนั้น ระบบยังคงที่จะสามารถควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีเพื่อให้กระแสขาออกที่ใช้ประจุมีค่าประมาณ 1.8 แอมป์

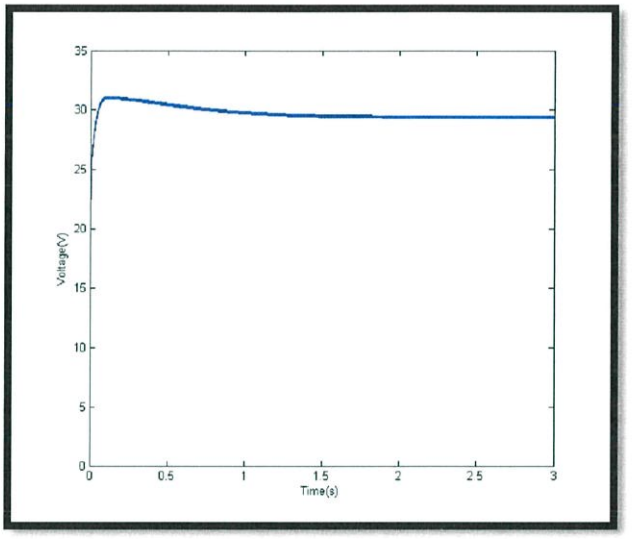
4.3 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอร์รี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) ในช่วงโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

จำลองวงจรการประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ โดยใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและทำการกำหนดแรงดันอ้างอิง (Vref) มีค่าเท่ากับ 29 โวลต์ เพื่อให้ได้แรงดันขาออกเพื่อประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 29 โวลต์ เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.9 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม

ทำการการจูนค่า K_p K_i และ K_d ของตัวควบคุมด้วยการจูนมือ (Ultimate Tune) ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่กับ เวลาของระบบดังรูป

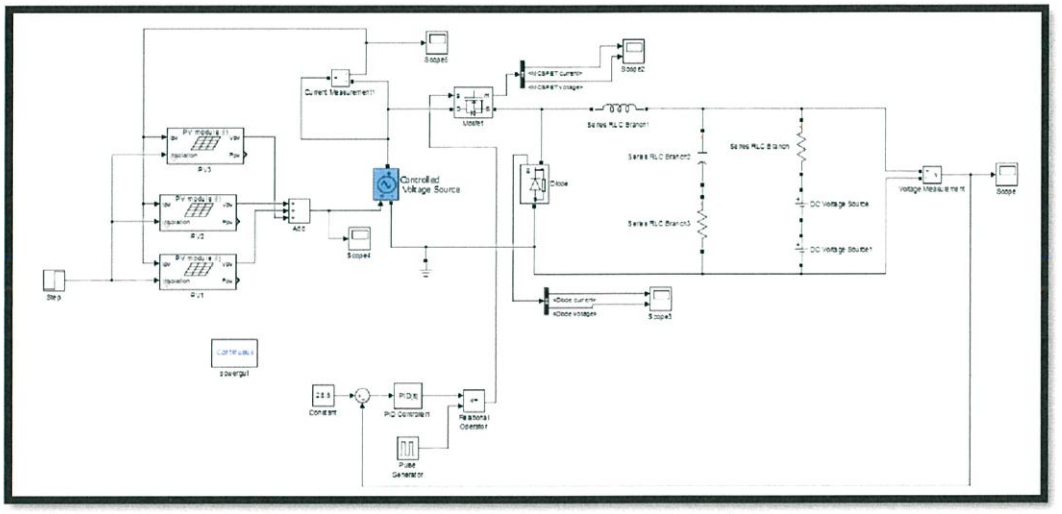


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

ในโหมดของแรงดันคงที่นั้น จะเป็นการควบคุมแรงดันขาออกจากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ หรือกระแสที่ใช้ประจุแบตเตอรี่เพื่อให้ได้แรงดันขาออกตามที่ต้องการ โดยจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อทำการจูนค่า K_p K_i และ K_d ของตัวควบคุมด้วยการจูนมือ (Ultimate Tune)

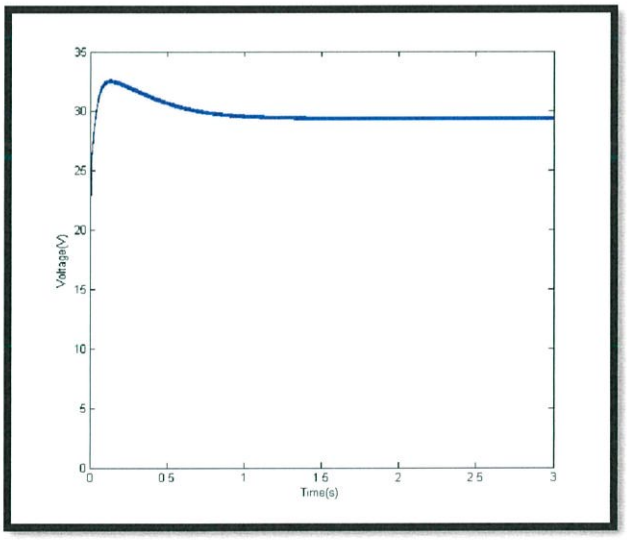
เหตุผลที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในโหมดของแรงดันคงที่นั้นเนื่องมาจากแรงดันขาออกที่ต้องการมีค่าไม่ถึงค่าที่ต้องการและระบบไม่มีความเสถียร จึงต้องใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี เพื่อควบคุมให้ระบบเป็นไปตามที่ต้องการให้มากที่สุด

จะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบพีไอจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยได้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 29 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแรงดันสำหรับประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม และเมื่อทำการจำลองเปลี่ยนค่าของความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้มีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน จะได้วงจรจำลองดังรูปที่ 4.11



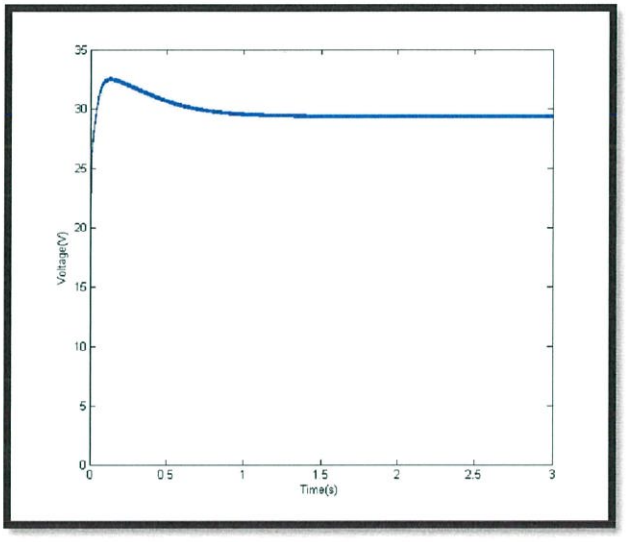
รูปที่ 4.11 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ

จะได้กราฟของแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2



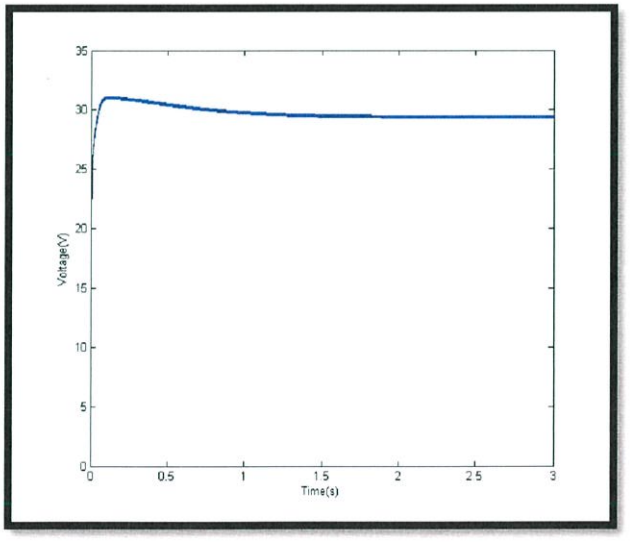
รูปที่ 4.12 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m^2

จะได้กราฟของแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2



รูปที่ 4.13 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 800 W/m^2

จะได้กราฟของแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2



รูปที่ 4.14 กราฟแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 2 ก้อน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุม แบบพีไอดีกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ที่ระดับความเข้มแสง 500 W/m^2

จะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบพีไอดีจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยให้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 29 โวลต์ เพื่อใช้สำหรับเป็นแรงดันสำหรับการประจุแบตเตอรี่

จากการจำลองกราฟที่มีแหล่งจ่ายเป็นค่าความเข้มแสงแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไป ระบบยังคงสามารถที่จะควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อให้แรงดันขาออกที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 29 โวลต์ ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

บทที่ 5
การทดสอบและผลการทดสอบ

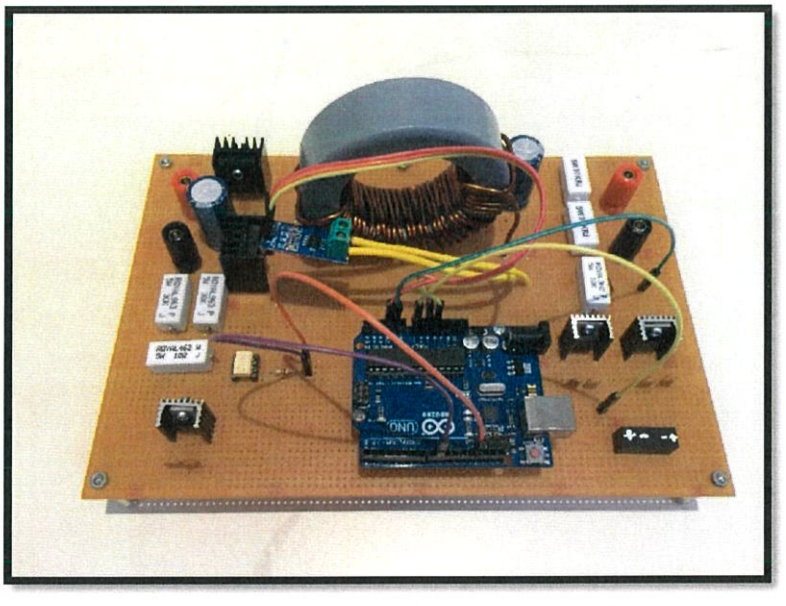
5.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 3 ช่วงของการประจุ คือในช่วงแรกการประจุโดยควบคุมกระแสคงที่ และช่วงที่ 2 และ 3 เป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบ

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrytalline 130 วัตต์	จำนวน 3 แผง
5.2.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับประจุแบตเตอรี่ ด้วยวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุม	จำนวน 1 บอร์ด
5.2.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด SPA พิกัดแรงดัน 12 V 7.5 Ah/20 HR	จำนวน 2 ก้อน
5.2.4 Digital Oscilloscope รุ่น DT	จำนวน 1 เครื่อง
5.2.5 มัลติมิเตอร์รุ่น Fluke	จำนวน 1 เครื่อง
5.2.6 Current Probe	จำนวน 1 เส้น
5.2.7 Lux meter	จำนวน 1 เครื่อง

5.3 วงจรที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง

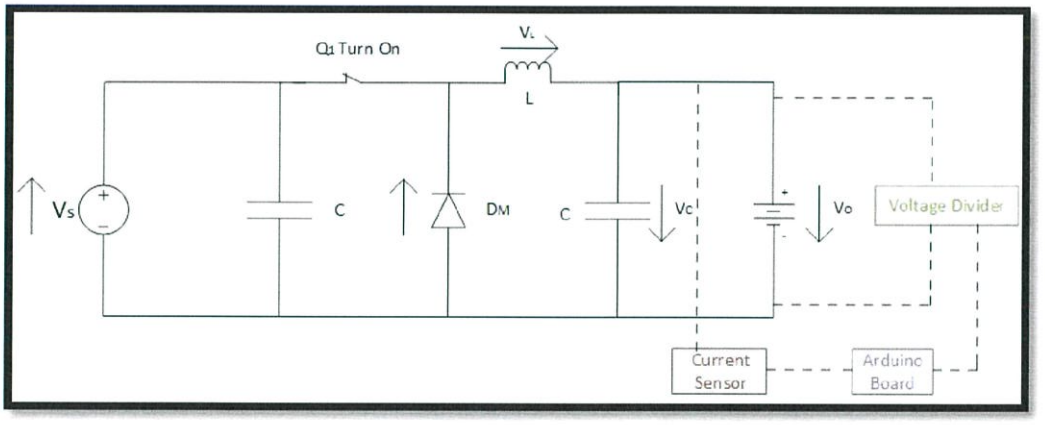


รูปที่ 5.1 วงจรต้นแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่

5.4 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่

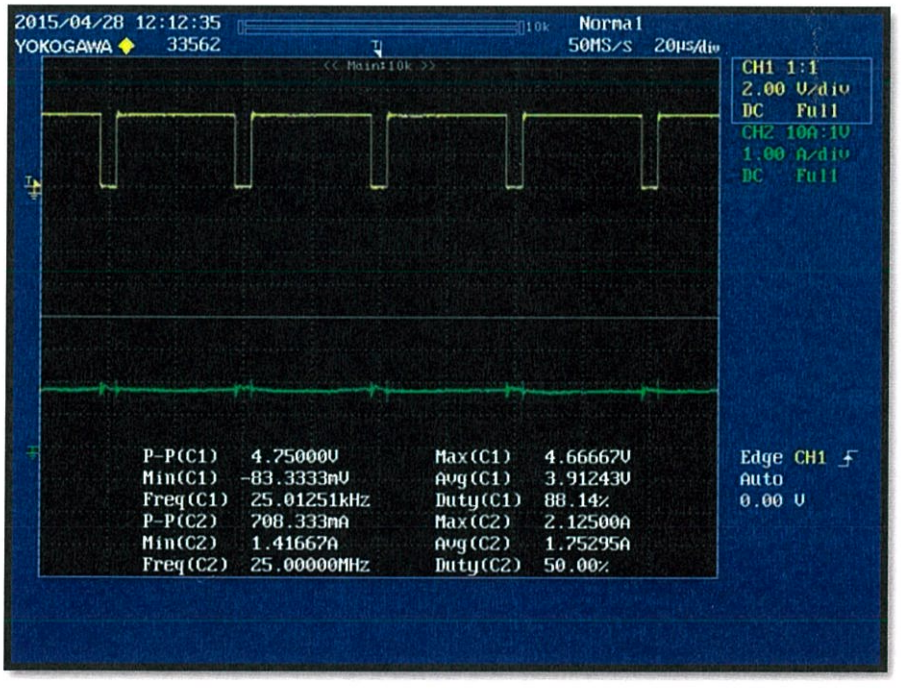
5.4.1 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)

การประจุในโหมดนี้เป็นการประจุในโหมดเริ่มต้นของการประจุ โดยจะจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 1.8 แอมป์ ที่ช่วงของแรงดันของแบตเตอรี่ขณะประจุไม่เกิน 29 โวลต์ ในทุกๆ ความเข้มแสง

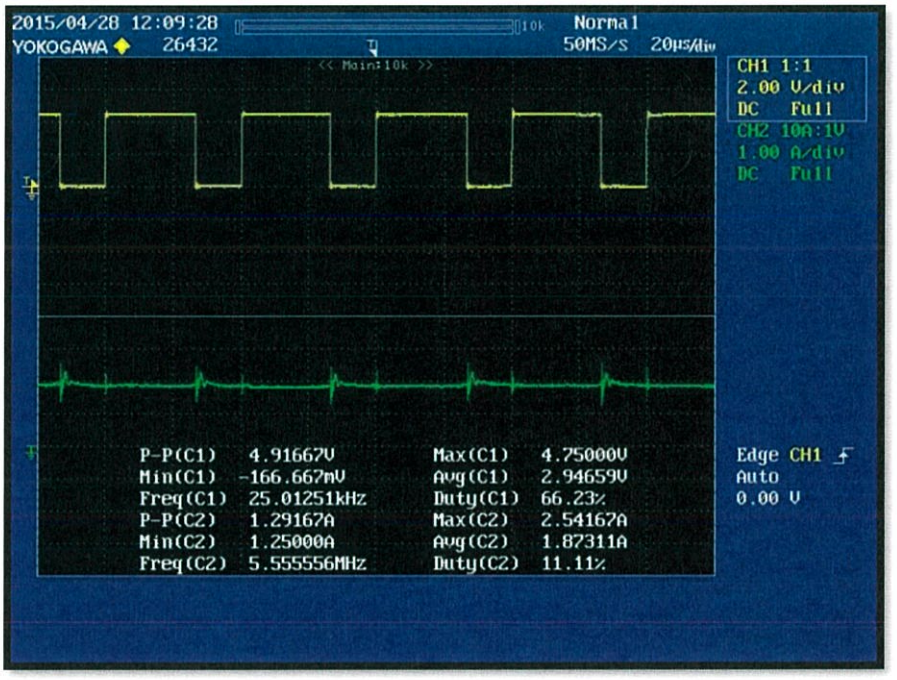


รูปที่ 5.2 จุดวัดแรงดัน และกระแสในการประจุแบตเตอรี่

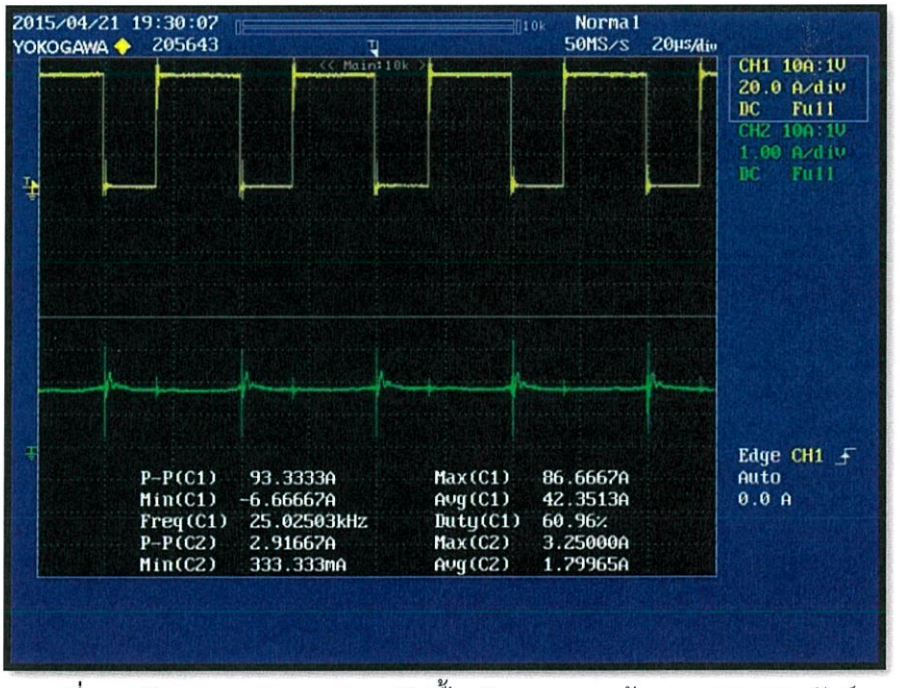
5.4.2.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ Constant Current



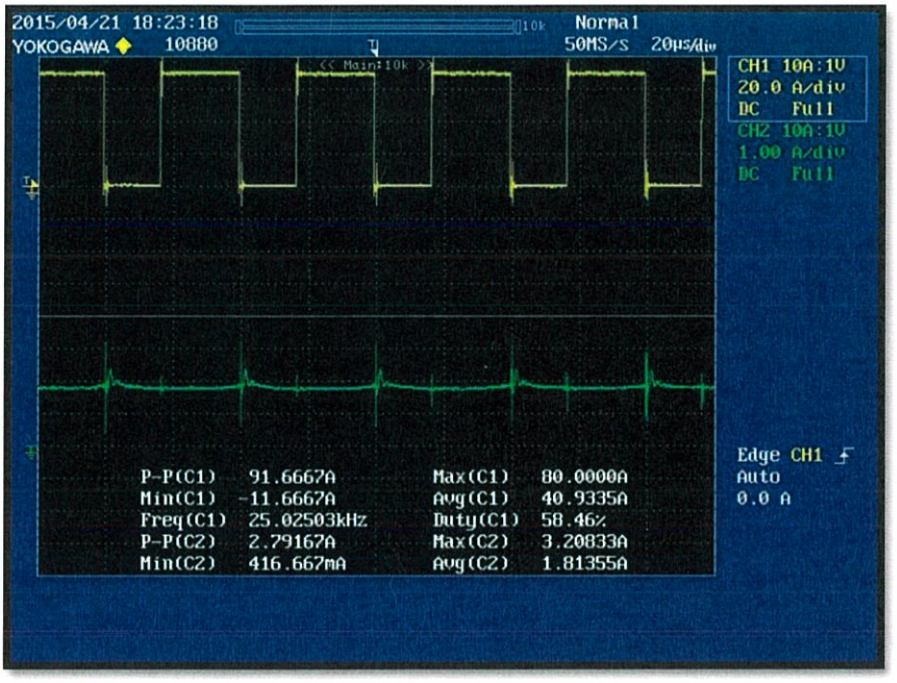
รูปที่ 5.3 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 48,400 ลักซ์



รูปที่ 5.4 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 105,600 ลักซ์



รูปที่ 5.5 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 127,800 ลักซ์



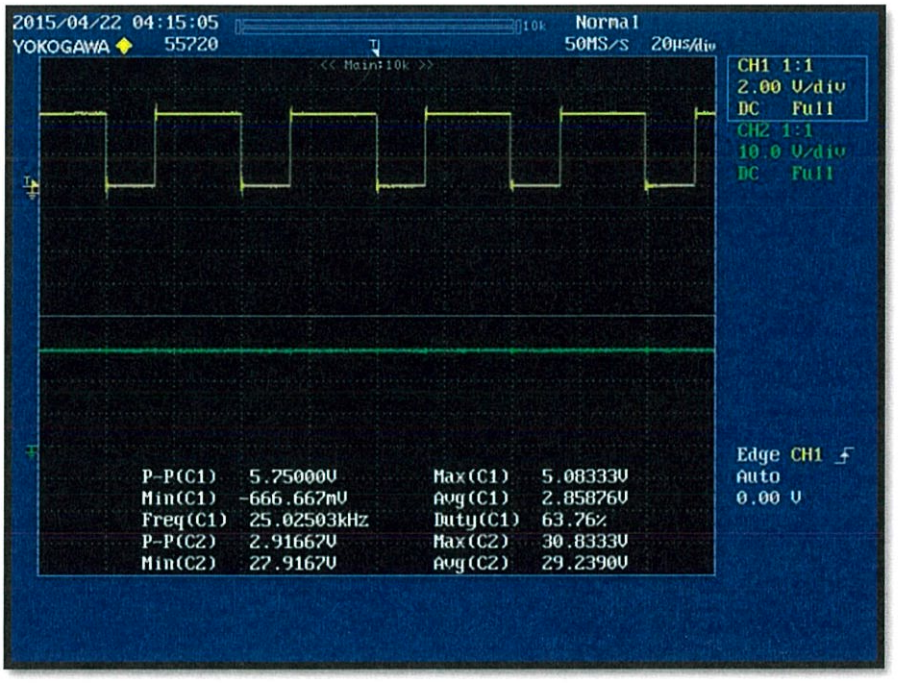
รูปที่ 5.6 สัญญาณของกระแสและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 132,200 ลักซ์

สรุปผลการทดลองในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)

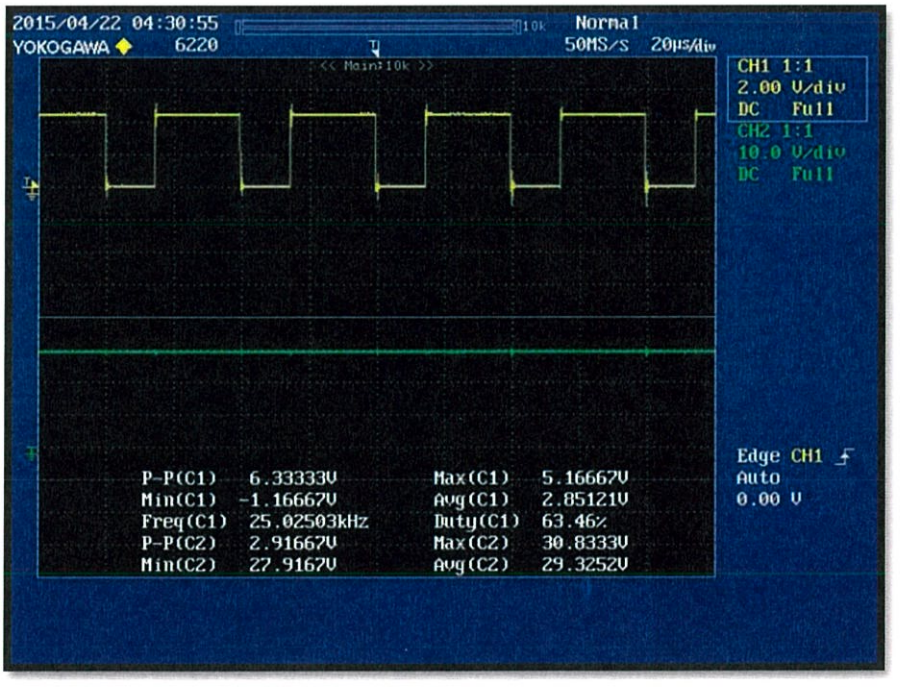
จากกราฟผลการทดลองในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับ กระแสขาออกของวงจรประจุแบตเตอรี่ ที่ค่าความเข้มแสง 48,400 , 105,600 , 127,800 และ 132,200 ลักซ์ ตามลำดับ สรุปได้ว่า เมื่อค่าความเข้มแสงลดลง มีผลทำให้ค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้นดังสมการ $V_o = DV_s$ ซึ่งทำให้เห็นว่าเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเป็นผลให้ค่ากระแสขาออกมีค่าลดลง ดังนั้น เมื่อความเข้มแสงมีค่ามากขึ้นดิวตี้ไซเคิลจะลดลงเพื่อไม่ให้กระแสขาออกจากวงจรประจุแบตเตอรี่มีค่ามากเกินกว่า 1.8 แอมป์ ในทางกลับกันเมื่อความเข้มแสงมีค่าน้อย จะทำให้ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อควบคุมให้กระแสขาออกที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่โดยมีค่าประมาณ 1.8 แอมป์ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน

5.4.2 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

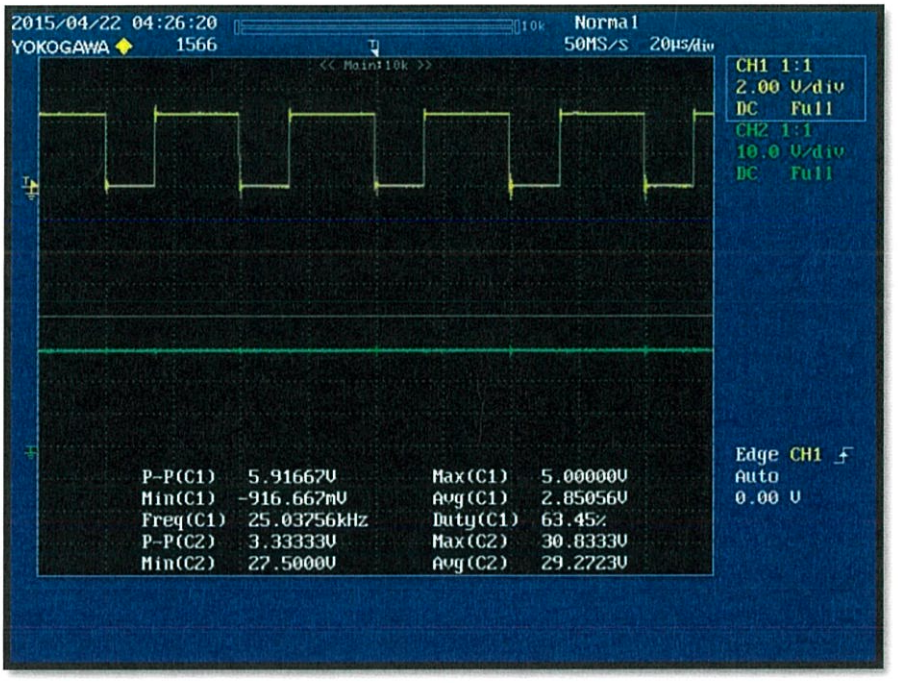
การประจุแบตเตอรี่ในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะประจุมีค่า 29 โวลต์ และทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 29 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง



รูปที่ 5.7 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 113,900 ลักซ์



รูปที่ 5.8 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 122,900 ลักซ์



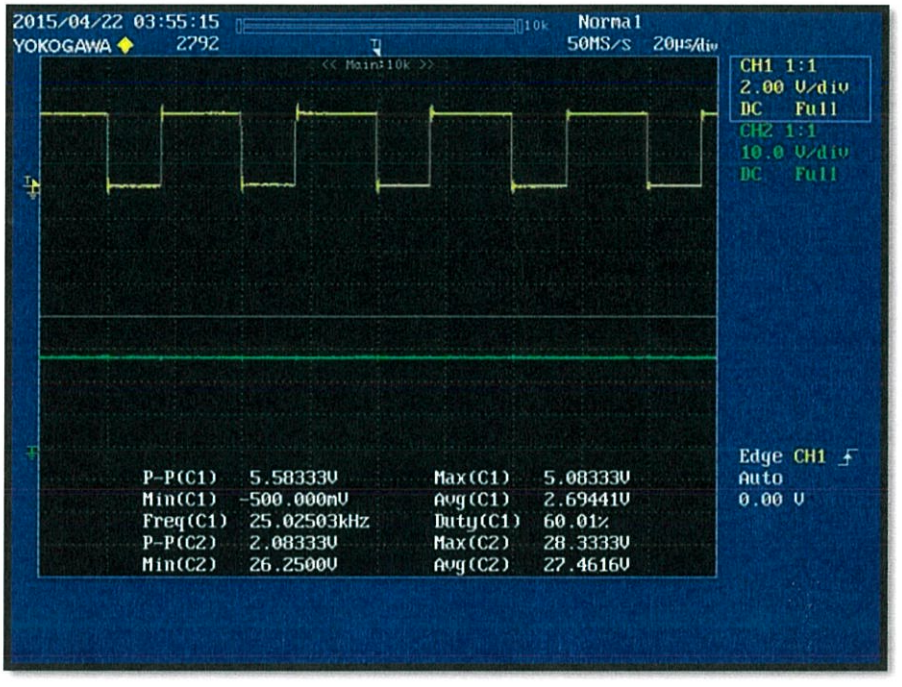
รูปที่ 5.9 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 124,500 ลักซ์

สรุปผลการทดลองในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

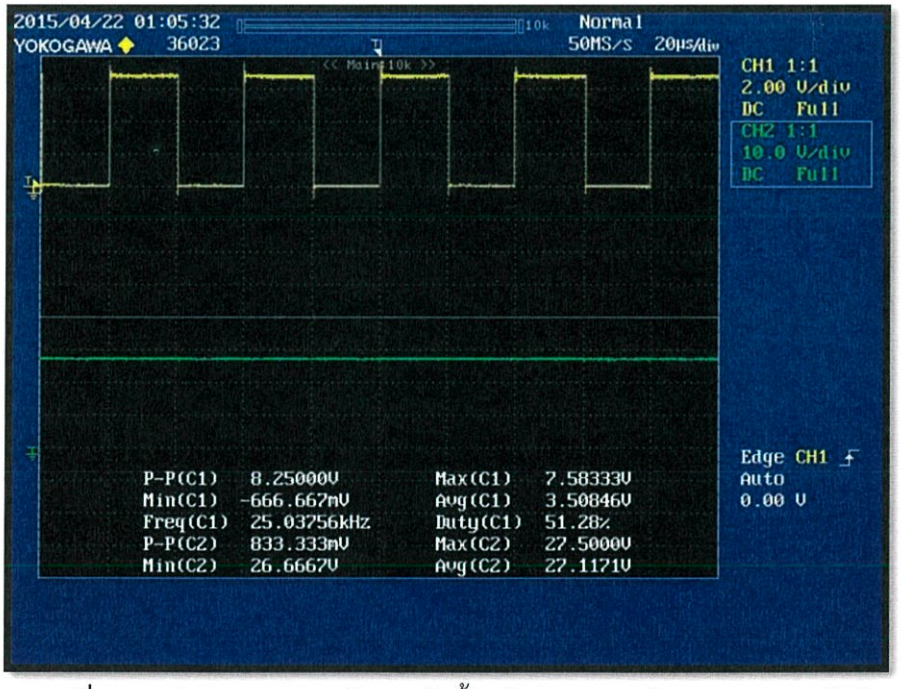
จากกราฟผลการทดลองในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับ แรงดันขาออกของวงจรประจุแบตเตอรี่ ในช่วงความเข้มแสง 113,900 , 122,900 , 124,900 ลักซ์ ตามลำดับพบว่า เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการ $V_o = V_s D$ ทำให้เห็นว่าเมื่อ ค่าของดิวตี้ไซเคิล มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่เนื่องจากคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช่แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ ซึ่งถ้าค่าของดิวตี้ไซเคิลมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_s) มีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเมื่อดิวตี้ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_s) จะลดลง ส่งผลให้แรงดันลดลงด้วยจนถึงค่าดิวตี้ไซเคิลค่าหนึ่งที่ทำให้ได้แรงดันมีค่าประมาณค่าของแรงดันอ้างอิงจากการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งมีค่าประมาณ 29 โวลต์

5.4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)

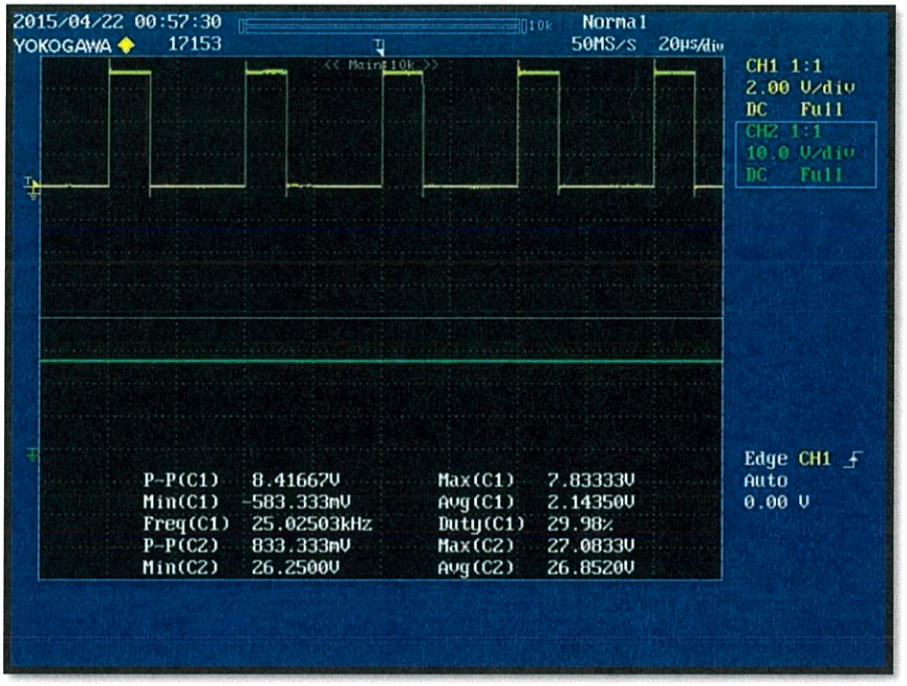
ประจุในโหมดนี้จะทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 27 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง กระแสที่ใช้ในการประจุจะมีค่าลดลงจนกระทั่ง 0.2 แอมป์ และจะประจุด้วย state นี้จนแบตเตอรี่เต็ม



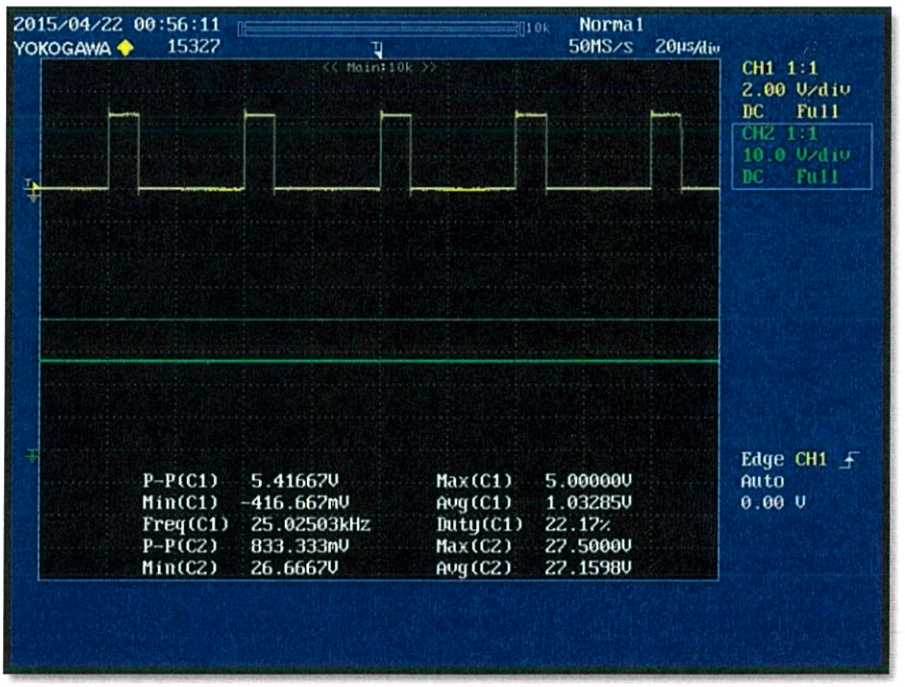
รูปที่ 5.10 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 85,300 ลักซ์



รูปที่ 5.11 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 97,900 ลักซ์



รูปที่ 5.12 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 103,700 ลักซ์



รูปที่ 5.13 สัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 113,200 ลักซ์

สรุปผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)

การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้ที่ค่าความเข้มแสง 85,300 , 97,900 , 103,700 , 113,200 ลักซ์ ตามลำดับ แรงดันที่ได้ในช่วงค่าความเข้มแสงดังกล่าว มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งมีค่าประมาณ 27.1 โวลต์ โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้ตัวควบคุมพีไอควบคุมให้มีค่าแรงดันประมาณ 27 โวลต์ ยกเว้นในกรณีที่ค่าความเข้มแสงมีค่าน้อยมาก จะทำให้ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) เพิ่มขึ้น เพื่อควบคุมให้ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าประมาณ 27 โวลต์

บทที่ 6
บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบกระแสและแรงดันคงที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแบตเตอรี่ประเภท ตะกั่ว-กรด ขนาด 12V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนนั้น มีขั้นตอนการประจุดังนี้

1. การประจุช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) จะมีการจำกัดกระแสสำหรับการประจุที่พิกัด 1.8 A และทำการประจุแรงดันภายในช่วงนี้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะเปลี่ยนช่วงการประจุต่อไปในขณะที่กระแสจะต้องไม่เกินพิกัดและมีค่าคงที่ตลอดช่วงการประจุของขั้นตอนนี้

2. การประจุช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) แรงดันในการประจุมีค่าประมาณ 29 โวลต์ ในขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

3. การประจุช่วงแรงดันปกติ (Float Charge) การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้เป็นการอัดประจุประจุในช่วงสุดท้ายเพื่อรักษาค่าระดับแรงดันและกระแสให้มีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของแบตเตอรี่ขนาดขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อน โดยแรงดันและกระแสในช่วงนี้มีค่าประมาณ 27 โวลต์

4. การควบคุมขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่โดยอาศัยวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมจะเห็นว่าการที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ทำให้สามารถเพิ่มฟังก์ชั่นการทำงานที่ช่วงการประจุกระแสและแรงดันในแบตเตอรี่ได้ง่ายโดยการโปรแกรมข้อมูลด้วยภาษาซีเพื่อควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละช่วง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 จากผลการทดลอง กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสจากการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) พบว่า กราฟของกระแสที่ค่าประมาณ 1.8 แอมป์ จะเกิดกระแสระลอกคลื่น (Ripple) เนื่องจากความถี่สวิตชิ่ง (Switching frequency) ในโครงงานที่ใช้มีค่าเท่ากับ 25 KHz ถ้าต้องการให้กระแสในขณะประจุแบตเตอรี่มีค่ากระแสระลอกคลื่น (Ripple) น้อยลงสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุ (Capacitor)

6.2.2 ในขณะที่ทำการทดลองเครื่องประจุแบตเตอรี่ควรตรวจสอบขั้นตอนการทำงาน กระแสและแรงดัน จากเครื่องประจุแบตเตอรี่ให้แน่ชัดเพื่อไม่ส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายเนื่องจากกระแสและแรงดันเกินจากพิกัดของขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้

6.2.3 การทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ควรเริ่มการทำงานที่วงจรภาคควบคุมก่อน จากนั้นจึงเปิดการทำงานของวงจรภาคกำลังตามลำดับเพื่อป้องกันการลัดวงจรภายใน

6.2.4 ระบบระบายความร้อนในตัวอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์กำลัง ต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเหมาะสมกับขนาดของอุปกรณ์ เนื่องจากการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานานจึงควรมีการติดตั้งตัวระบายความร้อน (Heat sink) ในโครงงาน

6.2.5 ในขณะที่นำแบตเตอรี่จากการทดลองมาทำการคายประจุ (Discharge) ออก เพื่อใช้ในการทดลองอีกครั้ง ควรตรวจสอบแรงดันในการคายประจุให้เหมาะสมเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป

6.2.6 การเก็บรูปกราฟจากการทดลองควรเว้นช่วงระยะเวลาที่เก็บกราฟจะได้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละรูปกราฟ

6.3 แนวทางในการพัฒนา

6.3.1 จากโครงงาน ผู้ที่จะนำไปพัฒนาต่อควรเพิ่มระบบป้องกันอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ เพราะในขณะทำการทดลองในที่โล่งแจ้งจะส่งผลให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงเกินไป เป็นเหตุให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

6.3.2 จากการทดลองของผู้วิจัย ชุดตรวจจับกระแสที่ใช้คือ ACS 712 เป็นชุดตรวจจับกระแสเพื่อส่งผ่านข้อมูลกลับไปยังหน่วยประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต A/D ยังมีค่าคลาดเคลื่อนบ้างและอ่านค่าไม่ละเอียดพอ ดังนั้นกลุ่มของผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้ชุดตรวจจับกระแสแบบอื่นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.3.3 สามารถนำไปดัดแปลงและพัฒนาเป็นเครื่องประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงได้ด้วยการวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุทและและเอ้าท์พุท

เอกสารอ้างอิง

[1] Govinda R. Timilsina, Lado Kurdgelashvili ,Patrick A. Narbel , " A Review of Solar Energy Markets, Economics and Policies" Policy Research Working Paper 5845.

[2] Mohanlal Kolhe,"Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India" Energy Economics 24 , 2002.

[3] Ouyang Mingsan."Study one the batteries management in standalone photovoltaic system'' [D] Hefei, Hefei University of Technology, 2004 pp.49–59.

[4] Shi-Cheng Zheng, Liang Yu Wang, "Research on Charging Control for Battery in Photovoltaic System" Key Lab of Power Electronics & Motion Control, Anhui University of Technology.,2008, China

[5] Abd El-Shafy A. Nafeh, "An effective and safe charging algorithm for lead-acid batteries in PV systems" *Internatlonal journal of energy research*.,Int. J. Energy Res. 2011; 35:733–740

[6] Shengyong Liu , Xing Zhang , Haibin Guo , Jun Xie ,"Multiport DC/DC Converter for stand-alone photovoltaic lighting system with battery storage" *International Conference on Electrical and Control Engineering*.,2010 pp.3894-3897.

[7] S. Armstrong , M.E. Glavin , W.G. Hurley , Comparison of Battery Charging Algorithms for Stand Alone Photovoltaic Systems , *IEEE International* 2008, pp.1469-1475

[8] Chun-Wei Lin, Jian-Min Wang, Frank Shih "A Battery Charger with Maximum Power Point Tracking Function for Low-Power Photovoltaic System Applications" PEDS2009, pp.204-209

[9] James P. Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application" Sandia National Laboratories Photovoltaic Systems Applications Dept, January15,1997, pp.12-15

[10] Jaya N. Ingole, Madhuri A. Choudhary, Dr. R.D. Kanphade, "PIC BASED SOLAR CHARGING CONTROLLER FOR BATTERY" *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).*, Vol. 4 No.02 February 2012, pp. 384-390

[11] Mohamad A. S. Masoum, Seyed Mahdi Mousavi Badejani, and Ewald F. Fuchs, "Microprocessor-Controlled New Class of Optimal Battery Chargers for Photovoltaic Applications" *IEEE Transactions on energy conversion*,vol. 19, no. 3, September 2004, pp. 599-605

[12] 3 Stage Battery Charger. Battery tech Solution. วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤษจิกายน 2557, เว็บไซต์ : http://www.batterytechsolutions.com/product/3-Stage-Battery

[13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2557, จาก กระทรวงพลังงาน เว็บไซต์ : http://www.energy.go.th/

[14] ความรู้พลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ฉบับเรียบง่าย. เครื่องควบคุมการชาร์จ. วันที่ค้นข้อมูล 1 พฤศจิกายน 2557, เว็บไซต์ : http://solarsmileknowledge.wordpress.com/charge-controller/

[15] เครื่องควบคุมการชาร์จ. หาดใหญ่ โซล่าร์. วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2557, เว็บไซต์ : http://www.hatyaisolar.com/charger.htm

[16] โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์. บริษัท บางจากปิโตรเลียม จากัด (มหาชน). วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2557, เว็บไซต์ : http://www.bangchak.co.th/sunny-bangchak/

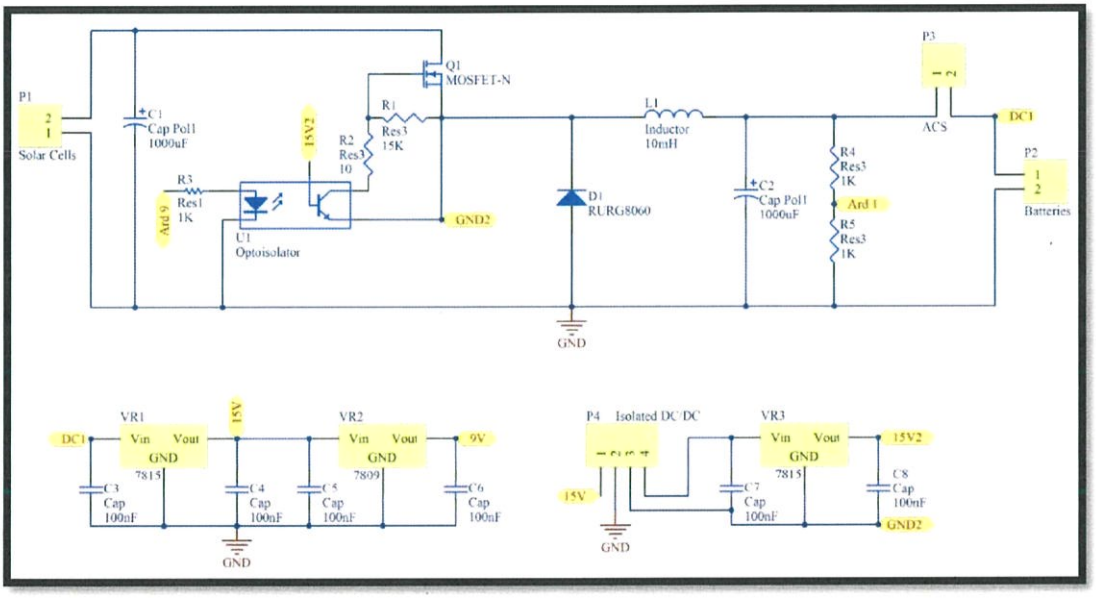
[17] ผศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ. (2554). แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตช์ชิ่ง: Switch-Mode Power Supplies. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: มีน เซอร์วิส ซัพพลาย

[18] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน. (2553). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง: Power Electronics. (พิมพ์ครั้งที่ 10) กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

[19] หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์. บ.กันหา โซล่าร์พาวเวอร์. วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤษจิกายน 2557, เว็บไซต์:http://www.kanhasolar.com/index.php?lay

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แผนผังวงจรเครื่องอัดประจุไฟฟ้า



แผนผังวงจรเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการประจุแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 คุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่ 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนต่ออนุกรม จำกัดกระแส 1.8 A

Time (minute)	Voltage terminal (V_{avg})	Current (A_{avg})	Lighting (Lux)
10	26.32	1.81	83,700
20	26.44	1.78	85,400
30	26.56	1.83	89,200
40	26.62	1.81	91,900
50	27.02	1.76	103,700
(1hr) 60	27.18	1.80	94,200
70	27.25	1.82	106,300
80	27.31	1.79	105,600
90	27.47	1.85	124,300
100	27.75	1.83	123,400
110	28.18	1.86	127,800
(2hr) 120	28.26	1.84	128,900
130	28.53	1.85	132,200
140	28.68	1.78	117,300
150	28.75	1.81	125,900
160	28.82	1.75	48,400
170	29.01	1.82	134,700
เข้าสู่การเปลี่ยนโหมดการประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage)			
(3hr) 180	29.13	1.81	124,300
190	29.13	1.74	110,300
200	29.15	1.65	120,200
210	29.14	1.58	52,500
220	29.22	1.52	113,900
230	29.15	1.43	114,100
(4hr) 240	29.11	1.39	61,300
250	29.27	1.35	124,500
260	29.14	1.24	122,900
270	29.13	1.17	116,900
280	29.12	0.89	119,400
290	29.12	0.76	97,500
(5hr) 300	27.05	0.71	55,300
เข้าสู่การเปลี่ยนโหมดการประจุแบบแรงดันปกติ (Float)			
310	27.11	0.67	103,700
320	27.08	0.63	63,800

Time (minute)	Voltage terminal (Vavg)	Current (Aavg)	Lighting (Lux)
330	27.15	0.56	85,300
340	26.85	0.53	68,700
350	27.08	0.52	95,500
(6hr) 360	27.14	0.49	97,900
370	27.18	0.47	102,600
380	27.24	0.41	126,400
390	27.13	0.39	103,300
400	27.05	0.38	112,500
410	27.11	0.37	86,300
(7hr) 420	27.18	0.36	96,400
430	27.22	0.35	103,700
440	27.04	0.35	113,200
450	27.13	0.34	104,100
460	27.11	0.33	98,800
470	27.07	0.33	97,900
(8hr) 480	27.12	0.32	52,600
490	26.97	0.31	81,700
500	26.95	0.29	87,500
510	27.19	0.28	72,000
520	27.13	0.26	68,400
530	27.11	0.25	59,500
(9hr) 540	27.08	0.23	44,700
550	27.03	0.21	44,100
End Charge	27.01	0.20	43,700

ภาคผนวก ค
บทความทางวิชาการ

ตัวอัดประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียม

HIGH–EFFICIENCY CHARGER FOR BUANGKRATEAM POWER PLANT

นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล นายพิสิษฐ์ เหล่าอรรถปรีชา นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์ นายภัทรพล คนซื่อ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: meen_pattarapon@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับระบบไฟฟ้าบึงกระเทียมโดยใช้วิธีการประจุแบตเตอรี่แบบ 3 ขั้น (3 stage charge) เพื่อนำไปใช้สำหรับการประจุแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนต่ออนุกรมกัน และใช้เทคนิควิธีการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-integral-derivative controller, PID) เพื่อออกแบบการควบคุมระบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป เพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับการควบคุมพลังงานให้มีความเหมาะสมในการที่จะใช้จ่ายภาระทางไฟฟ้า สำหรับสวนสาธารณะบึงกระเทียม เพื่อจัดการให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และพัฒนาชุมชนให้ยั่งยืน

Abstract

This project presents the procreation of building high-performance electrostatic charged for electrical system of Bungkrateam by not only using the 3-stage battery charge in order to recharge packs of 12 V 7.5 Ah lead-acid battery, but also the Proportional-Integral-Derivative controller (PID) method to design the Feedback Control. Notwithstanding the foregoing, this technique has the advantage of controlling current and voltage of the battery to be appropriate in each of the battery charging as well as extending the lifetime of the battery to be longer than a typical ordinary battery. This project are created under the notion of making the new innovation to be applied for the purpose of controlling the power to be appropriate in order to spend the electrical load for Bungkrateam park, including, to manage the system to be more efficient and sustainably develop the community.

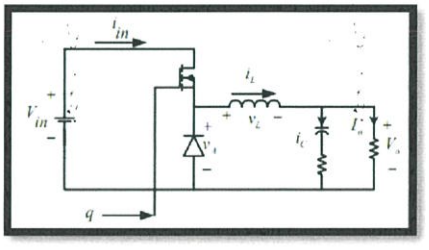
Keyword: Three stage Charge, PID Controller

1.บทนำ

จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการสะสมพลังงานในแบตเตอรี่เนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีกระแสและแรงดันไม่คงที่ในโครงงานนี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันให้คงที่ และเหมาะสมในโหมดการประจุของแบตเตอรี่ ในแบบ three stage charge ซึ่งเป็นเทคนิคการประจุที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ PID เทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า โดยใช้วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

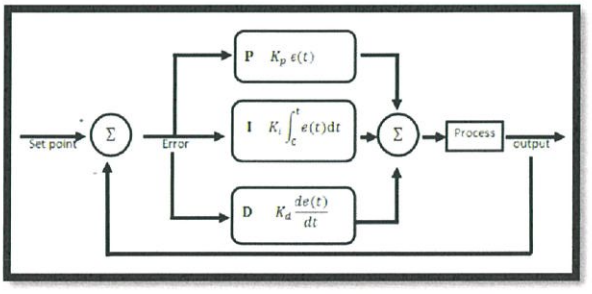


รูปที่ 1 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดัน

หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันด้านเอาท์พุตมีค่าตามต้องการ ณ สภาวะคงตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับศูนย์และสามารถหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันด้านเอาท์พุต ดังสมการ

$$\frac{V_o}{V_s} = D \qquad (1)$$

2.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative Controller)



รูปที่ 2 ระบบวงรอบปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเอาท์พุตจากตัวแปรอ้างอิงจะได้ค่าความผิดพลาดเพื่อนำเข้าสู่ตัวควบคุมเพื่อให้ได้ตัวแปรใหม่ไปปรับแต่งค่าเอาท์พุตตามต้องการ

ในโครงงานนี้จะใช้เทคนิคการปรับจูนด้วยมือในการควบคุมข้างต้น

2.3 เทคนิคการปรับจูนด้วยมือ (Trial and error)

ตารางที่ 1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Setting time)	ค่าผิดพลาด (Steady state error)
K_p	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล	ลดลง
K_I	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ไม่มี
K_d	ไม่มีผล	ลดลง	ลดลง	ไม่มีผล

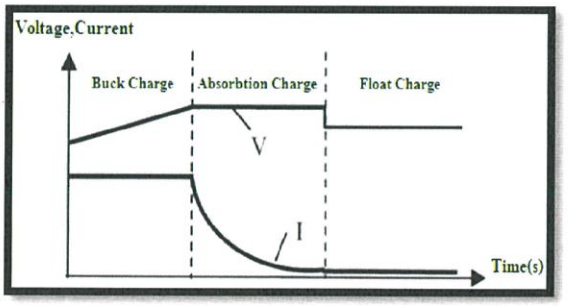
2.4 วิธีการ Ziegler–Nichols

ตารางที่ 2 การหาตัวแปร

Ziegler–Nichols method			
Control Type	K_p	K_i	K_d
P	$0.50\ K_u$	-	-
PI	$0.45\ K_u$	$1.2K_p/P_u$	-
PID	$0.60\ K_u$	$2K_p/P_u$	$K_pP_u/8$

2.5 การควบคุมการประจุแบตตอรี่

เทคโนโลยีการประจุแบตเตอรี่ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรกไม่มีความซับซ้อนโดยใช้การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ ในปัจจุบัน เครื่องประจุแบตเตอรี่จะมีตัวควบคุมภายในเพื่อสามารถแสดงผล แรงดันของแบตเตอรี่, อุณหภูมิ และเวลาที่ต้องใช้ในการประจุเพื่อใช้ในการพิจารณากระแสและแรงดันในขณะนั้น



รูปที่ 3แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three State Charge

ช่วงที่ 1 Bulk Charge

ขั้นแรกของการประจุ จะใช้ระดับแรงดันและกระแสสูงสุดในระดับที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการโอเวอร์ฮีต (Overheat)

ช่วงที่ 2 Absorption Charge

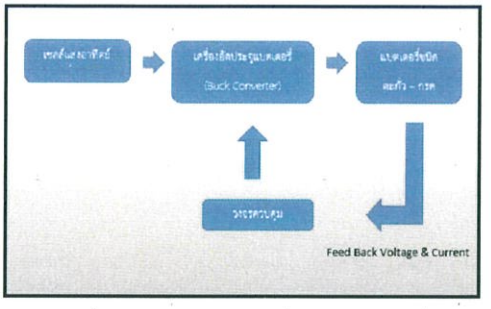
เครื่องประจุแบตเตอรี่ จะวัดค่าแรงดันและความต้านทานของแบตเตอรี่ เมื่อสภาวะการอัดประจุถึงประมาณ 80% การประจุจะเข้าสู่ช่วง Absorption Charge ในช่วงนี้จะเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่ ในขณะที่กระแสจะลดลงเพื่อทำให้เกิดการประจุโดยไม่เกิดการโอเวอร์ฮีต

ช่วงที่ 3 Float Charge

เครื่องประจุบางตัวจะเข้าสู่ช่วง Float Charge ที่สภาวะการอัดประจุถึงประมาณ 85% แต่ส่วนใหญ่ จะอยู่ที่สภาวะการอัดประจุประมาณ 95% การชประจุช่วงนี้จะเป็นการทำให้ประจุแบตเตอรี่ได้เต็มความจุ

3. การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 4 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$L = \frac{(V_S - V_O)DT}{\Delta i_L} = \frac{(V_S - V_O)D}{\Delta i_L f_S} \quad (3.1)$$

เมื่อ D : ดิวตี้ไซเคิล

R: โหลดความต้านทาน

f_s: ความถี่การสวิทช์

v_s: แรงดันของแหล่งจ่าย

v_o: แรงดันเอ้าท์พุท

Δi_L: อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ

L: ค่าความเหนี่ยวนำ

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลอง มีดังนี้

f_s = 25 kHz

D = 0.5

V_s = 46 โวลต์

V_o = 29 โวลต์

Δi_L = 0.3 แอมป์

ดังนั้นจึงได้

$$L = \frac{(46-29)(0.5)}{(0.3)(25000)} = 1100\ \mu H$$ เลือกใช้ L= 1400 µH

3.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ

$$C = \frac{1-D}{8Lrf_s^2} \quad (3.2)$$

เมื่อ r : ค่าแฟคเตอร์กลิ่นระลอก มีค่าเท่ากับ 0.1 %

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลอง มีดังนี้

f_s = 25 KHz

D = 0.5

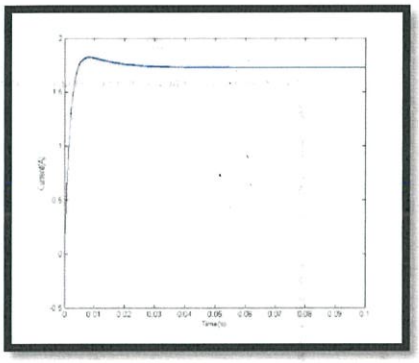
r = 0.001

L = 1400 µH

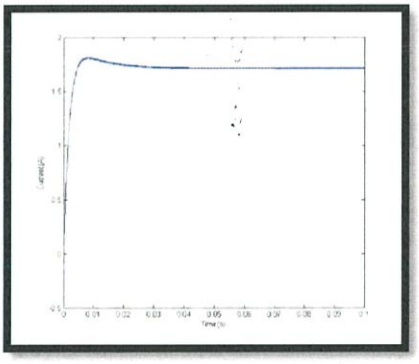
ดังนั้นการคำนวณค่า C ที่ได้จะเท่ากับ 71.429 µF เลือกใช้ C = 143 µF

4. ผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ในช่วงการประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current)



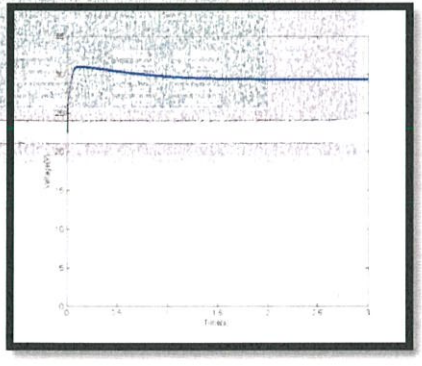
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 1.8 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)



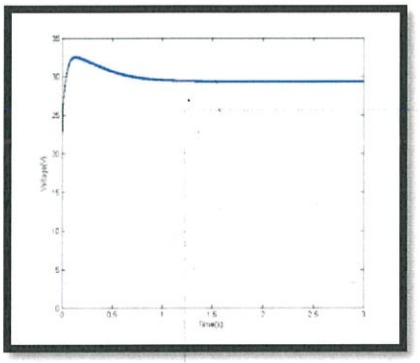
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ

จากรูปจะเห็นว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบพีไอดีจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยได้กระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 1.8 แอมป์ เพื่อใช้เป็นกระแสสำหรับประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม

4.2 การประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรมม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 29 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)



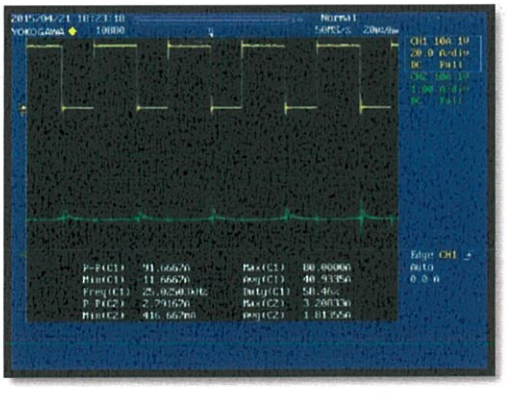
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบอนุกรม กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 500 w/m^2 800 w/m^2 1000 w/m^2 ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไป ระบบยังสามารถที่จะควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อให้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 29 โวลต์ ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

5. ผลการทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

5.1 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)

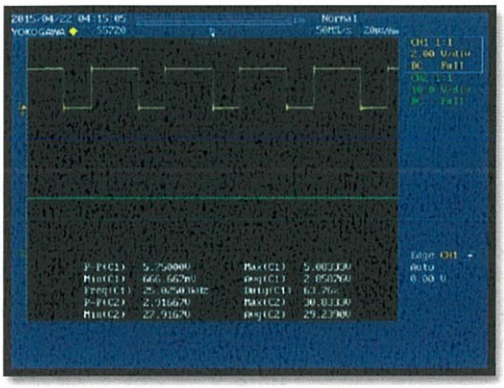
การประจุในโหมดนี้เป็นการประจุในโหมดเริ่มต้นของการประจุ โดยจะจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 1.8 แอมป์ ที่ช่วงของแรงดันของแบตเตอรี่ขณะประจุไม่เกิน 29 โวลต์ ในทุกๆ ความเข้มแสง



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงสัญญาณของกระแส และดิวตี้ไซเกิล ณ ความเข้มแสง 1250,000 ลักซ์

5.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant - Voltage)

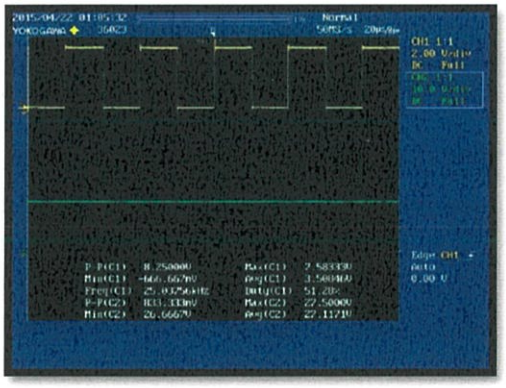
การประจุแบตเตอรี่ในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะประจุมีค่า 29 โวลต์ และทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 29 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง



รูปที่ 5.2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดัน และคิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 73,000 ลักซ์

5.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)

ประจุในโหมดนี้จะทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 27 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง กระแสที่ใช้ในการประจุจะมีค่าลดลงจนกระทั่ง 0.2 แอมป์ และจะประจุด้วย state นี้จนแบตเตอรี่เต็ม



รูปที่ 5.3 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและคิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 72,000 ลักซ์

การประจุแบตเตอรี่ที่ต้องการมีทั้งสิ้น 3 ช่วงของการประจุ โดยจากผลการทดลองข้างต้นจะได้ว่าการประจุในช่วงแรกจะควบคุมกระแสประจุให้คงที่ที่ 1.8 แอมป์ เมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าได้ 29 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปลี่ยนช่วงการประจุไปในช่วงที่ 2 คือการควบคุมที่แรงดันคงที่ที่ 29 โวลต์ คงที่จนกระทั่งแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ประจุ ส่งผลให้กระแสประจุลดลงจนมีค่าน้อยมาก และเมื่อกระแสประจุมีค่าเหลือเพียง 0.7 แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการควบคุมจะเปลี่ยนช่วงการประจุเป็นช่วงที่ 3 คือควบคุมให้แรงดันขณะประจุมีค่าคงที่ที่ 27 โวลต์ คงที่จนกระทั่งกระแสประจุมีค่าลดลงจนเหลือเพียง 0.2 แอมป์ จึงสิ้นสุดการประจุ

6. บทสรุป

1. การประจุช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) จะมีการจำกัดกระแสสำหรับการประจุที่พิกัด 1.8 Ah และทำการประจุแรงดันภายในช่วงนี้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะเปลี่ยนช่วงการประจุต่อไปในขณะที่กระแสต้องไม่เกินพิกัดและมีค่าคงที่ตลอดช่วงการประจุของขั้นตอนนี้

2. การประจุช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) แรงดันในการประจุมีค่าประมาณ 29 โวลต์ ในขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

3. การประจุช่วงแรงดันปกติ (Float Charge) การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้เป็นการอัดประจุในช่วงสุดท้ายเพื่อรักษาค่าระดับแรงดันและกระแสให้มีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนต่อกันแบบอนุกรม โดยแรงดันและกระแสในช่วงนี้มีค่าประมาณ 27 โวลต์

บรรณานุกรม

[1] Govinda R. Timilsina, Lado Kurdgelashvili ,Patrick A. Narbel , " A Review of Solar Energy Markets, Economics and Policies" Policy Research Working Paper 5845.

[2] Mohanlal Kolhe , "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India" Energy Economics 24 , 2002.

[3] Ouyang Mingsan. "Study one the batteries management in standalone photovoltaic system'' [D] Hefei, Hefei University of Technology, 2004 pp. 49–59.

[4] Shi-Cheng Zheng, Liang Yu Wang, "Research on Charging Control for Battery in Photovoltaic System" Key Lab of Power Electronics & Motion Control, Anhui University of Technology.,2008, China

[5] Abd El-Shafy A. Nafeh, "An effective and safe charging algorithm for lead-acid batteries in PV systems" *Internatlonal journal of energy research.*,Int. J. Energy Res. 2011; 35:733–740

[6] Shengyong Liu , Xing Zhang , Haibin Guo , Jun Xie ,"Multiport DC/DC Converter for stand-alone photovoltaic lighting system with battery storage" *International Conference on Electrical and Control Engineering.*,2010 pp.3894-3897.

[7] S. Armstrong , M.E. Glavin , W.G. Hurley , Comparison of Battery Charging Algorithms for Stand Alone Photovoltaic Systems , *IEEE International* 2008, pp.1469-1475

[8] Chun-Wei Lin, Jian-Min Wang , Frank Shih "A Battery Charger with Maximum Power Point Tracking Function for Low-Power Photovoltaic System Applications" PEDS2009, pp.204-209

[9] James P. Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application" Sandia National Laboratories Photovoltaic Systems Applications Dept, January15,1997, pp.12-15

ภาคผนวก ง
โปรแกรมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

โปรแกรมควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบ Three Stage Charge

```
#include <TimerOne.h>
#include <Wire.h>
#define BAT_ADC A1    // Battery side voltage divider is connected to pin A1
#define CURRENT_ADC A2  // ACS 712 current sensor is connected to pin A2
#define AVG_NUM 10    // number of iterations of the adc routine to average the adc readings

float bat_volt=0;
float bat_volt_real=0;
float k = 0;
float load_current=0;
float bulk_charge_sp=28.5;
float float_charge_sp=27;
float i_check;
float sum_i=0;
long duty_old = 500;
long duty_new = 500;
int x;
int count_float = 0 ;
int a;
void setup()
{
```

```
  Serial.begin(9600);
  Timer1.initialize(40); // Period of frequency (uS)
}

void loop()
{
  read_data();          // read different sensors data from analog pin of arduino
  show_data();
  charge_cycle();       // pwm charging of battery
  check_duty();
}

float read_adc(float adc_parameter)
{
  float sum = 0;
  float sample ;
  for (int i=0; i<AVG_NUM; i++)
  {                                  // loop through reading raw adc values AVG_NUM
number of times
    sample = analogRead(adc_parameter);    // read the input pin
    sum += sample;                   // store sum for averaging
    delayMicroseconds(50);
  }
  return(sum / AVG_NUM);             // divide sum by AVG_NUM to get average and
return it
```

```
}

void read_data(void)
{
  //5V = ADC value 1024 => 1 ADC value = (5/1024)Volt= 0.0048828Volt
  // Vout=Vin*R2/(R1+R2) => Vin = Vout*(R1+R2)/R2   R1=60000 and R2=10000
   bat_volt   = read_adc(BAT_ADC)*0.00545*(68000/9970);
   load_current = (read_adc(CURRENT_ADC)*0.0048675 -2.4927)*16;
}

void charge_cycle(void)
{
  if (bat_volt <= 26)
   {
        if (load_current < 1.8)
         {
           duty_new = duty_old + 5;
           duty_old = duty_new;
         }
        else
         {
           duty_new = duty_old - 5;
           duty_old = duty_new;
         }
```

```
        check_duty();
        Timer1.pwm(9,duty_new);
        x = 1;
        read_data();
        show_data();
        Serial.println("  ");
  }
else
{
   if (i_check < 0.2)
     {
       sum_i = 0 ;
       for (int a=0; a<200 ; a++)
         {
           if ( bat_volt < float_charge_sp)
            {
              duty_new = duty_old + 5;
              duty_old = duty_new;
            }
           else
            {
              duty_new = duty_old - 5;
              duty_old = duty_new;
```

```
        }
        if ( a>189 )
        {
          sum_i += load_current ;
          Serial.print("  ");
          Serial.print(sum_i);
        }
      check_duty();
      Timer1.pwm(9,duty_new);
      Serial.println("  ");
      Serial.print(a);
      Serial.print("  ");
      x = 4;
      read_data();
      show_data();
    }
  i_check = sum_i / 10 ;
  Serial.print("  3333  ");
  Serial.print(i_check);
  count_float = count_float + 1 ;
  Serial.print("  ");
  Serial.print(count_float);
  Serial.print("  ");
}
```

```
if ( i_check > 0.2 && bat_volt <= bulk_charge_sp )
 {
   sum_i = 0 ;
    for (int a=0; a<200 ; a++)
      {
          if (load_current < 1.8 )
            {
              duty_new = duty_old + 5;
              duty_old = duty_new;
            }
          else
            {
              duty_new = duty_old - 5;
              duty_old = duty_new;
            }
          if ( a>189 && a <1000 )
            {
              sum_i += load_current ;
              Serial.print("  ");
              Serial.print(sum_i);
            }
          check_duty();
          Timer1.pwm(9,duty_new);
          Serial.println("  ");
```

```
            Serial.print(a);
            Serial.print("  ");
            x = 2;
            read_data();
            show_data();
        }
      if ( a < 1000 )
      {
      . i_check = sum_i / 10 ;
       Serial.print("  3333  ");
       Serial.print(i_check);
       Serial.println("  ");
      }
    }
  else if (( i_check > 0.2 && bat_volt > bulk_charge_sp)  || (count_float > 10))
   {
     sum_i = 0 ;
     count_float = 0 ;
     for (int a=0; a<200 ; a++)
       {
          if ( bat_volt < 29)
           {
             duty_new = duty_old + 5;
             duty_old = duty_new;
```

```
  }
else
  {
    duty_new = duty_old - 5;
    duty_old = duty_new;
  }
if ( load_current > 3.5 )
  {
   .a = 10000;
  }
if ( a>189 && a <1000 )
  {
     sum_i += load_current ;
     Serial.print("  ");
     Serial.print(sum_i);
  }
check_duty();
Timer1.pwm(9,duty_new);
Serial.println("  ");
Serial.print(a);
Serial.print("  ");
x = 3;
read_data();
show_data();
```

```
            }
          if ( a < 1000 )
          {
            i_check = sum_i / 10 ;
            Serial.print("  3333  ");
            Serial.print(i_check);
            Serial.println("  ");
          }
        }
    }
}

void show_data(void)
{
   float DutyPer=((duty_new)*50)/512;
   Serial.print(x);
   Serial.print("  ");
   Serial.print(bat_volt);
   Serial.print("  ");
   Serial.print(DutyPer);
   Serial.print("  ");
   Serial.print(load_current);
   delay(100);
}
```

```
void check_duty(void)
{
  if ( duty_new < 100)
   {
      duty_old = 100;
   }
  else if ( duty_new > 900)
   {
    duty_old = 900;
   }
  else
   {
      Timer1.pwm(9,duty_new);
   }
}
```

ภาคผนวก จ
คู่มือแบตเตอรี่

SL12-7.5 (12V7.5AH)

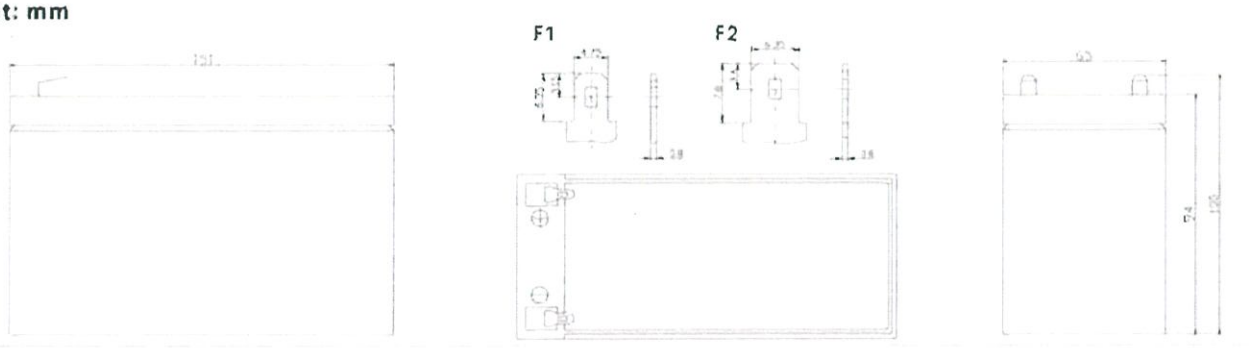


Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	7.5Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 2.15 Kg
Size (L x W x H x Total H)	151 x 65 x 95 x 101 mm.
Max. Discharge Current	72 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 25 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C ~60°C Charge: 0°C ~50°C Storage: -20°C ~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	2.16 A
Equalization and Cycle Service	14.5 to 14.9 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	SPA batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Please charge batteries before using. For higher temperature, the time interval will be shorter.
Terminal	Faston Tab 187(F1)/Faston tab 250(F2)
Constainer Material	A.B.S. (UL94-HB) Flammability resistance of UL94-V2 can be available upon request.

Dimensions

Unit: mm



Constant Current Discharge Characteristics Unit: A(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	31.1	20.8	16.0	8.80	5.21	3.12	1.92	1.58	1.27	0.93	0.74	0.41
1.67V	29.1	19.4	15.0	8.66	5.18	3.10	1.91	1.57	1.26	0.93	0.73	0.40
1.70V	27.6	18.8	14.7	8.60	5.14	3.09	1.91	1.56	1.25	0.93	0.72	0.39
1.75V	24.9	17.6	13.9	8.40	5.06	3.05	1.90	1.55	1.25	0.93	0.71	0.38
1.80V	22.2	16.4	13.2	8.20	4.99	3.00	1.88	1.55	1.24	0.92	0.70	0.36
1.85V	19.6	15.2	12.4	8.00	4.92	2.96	1.87	1.54	1.23	0.92	0.69	0.35

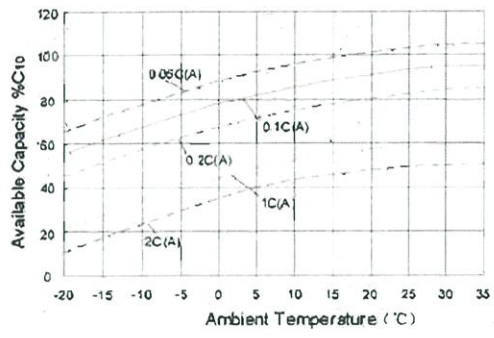
Constant Power Discharge Characteristics Unit: W(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	60.0	39.0	31.7	17.6	10.4	6.23	3.83	3.14	2.98	1.87	1.46	0.82
1.67V	56.3	37.5	30.1	17.3	10.4	6.20	3.83	3.13	2.96	1.87	1.45	0.79
1.70V	55.1	36.4	29.4	17.2	10.4	6.18	3.82	3.13	2.95	1.85	1.43	0.77
1.75V	49.8	34.9	27.8	16.8	10.2	6.08	3.80	3.11	2.94	1.85	1.42	0.74
1.80V	44.5	32.6	26.3	16.4	10.0	6.00	3.77	3.08	2.93	1.84	1.40	0.72
1.85V	39.2	30.4	24.8	16.0	9.8	5.91	3.74	3.06	2.93	1.84	1.37	0.70

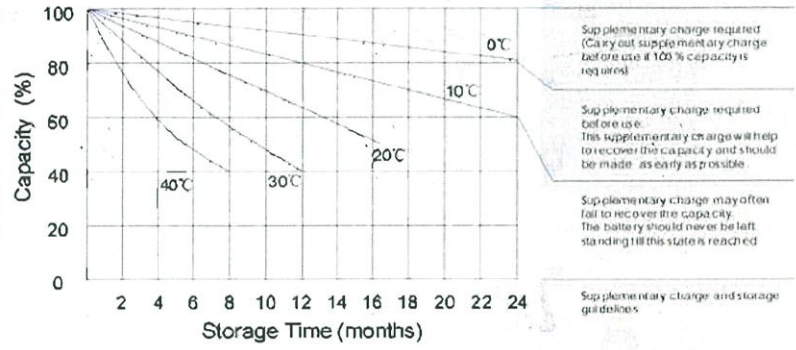
All mentioned values are average values.

SL12-7.5 (12V7.5AH)

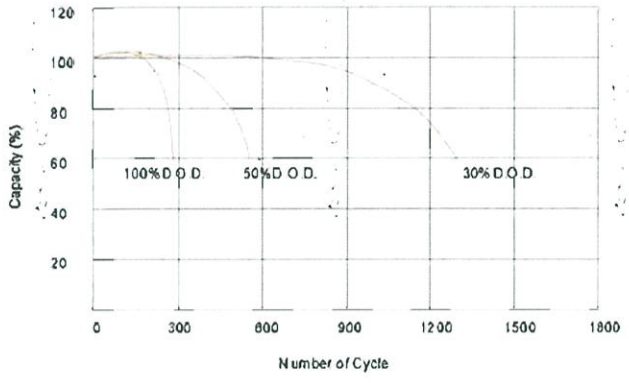
Temperature effects curve



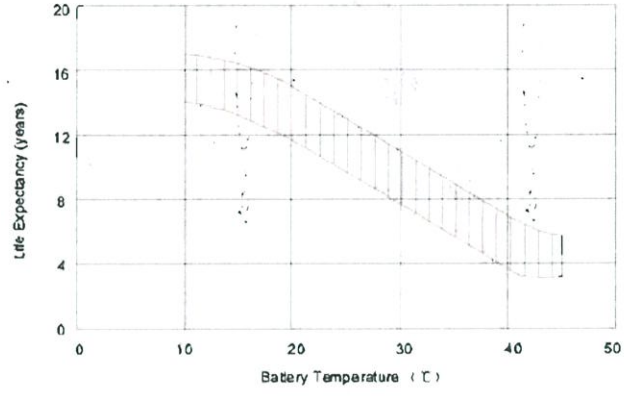
Storage characteristic



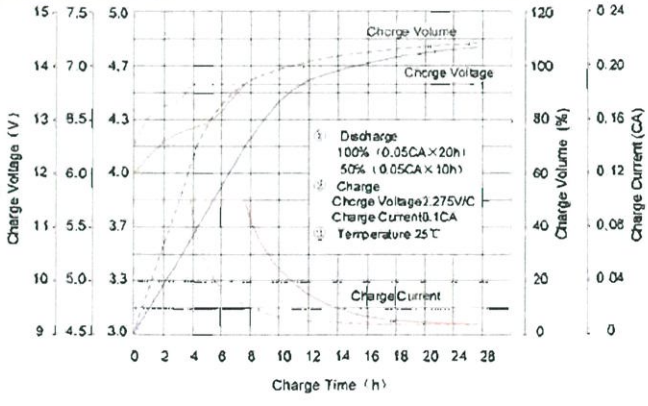
Life characteristics of cyclic use



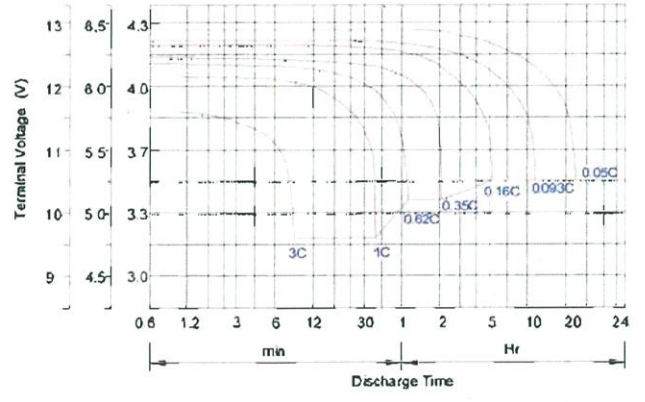
Effect of temperature on long term float life



Charge characteristic Curve for standby use



Discharge characteristic Curve



Charging Procedures

Application	Charge Voltage (V)			Max. Charge Current
	Temperature	Set point	Allowable range	
Cycle Use	25°C	14.7	14.5~14.9	0.3C
Standby	25°C	13.7	13.6~13.8	0.3C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	14.5~14.9V, 5~11h, Max. Current 0.3CA

Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V/cell	1.75V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤0.2C	0.2C< (A) <1.0C	(A) ≥1.0C

ประวัติผู้เขียน



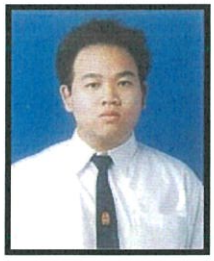
ชื่อ – นามสกุล นางสาวพัชรพร ก่อเกียรติตระกูล
วัน เดือน ปีเกิด 5 ตุลาคม พ.ศ. 2536

ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบวิทยาลัย สมุทรปราการ
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ – นามสกุล นายพิสิฐษ์ เหล่าอรรถปรีชา
วัน เดือน ปีเกิด 5 สิงหาคม พ.ศ. 2535

ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ – นามสกุล นายพุฒิวีร์ บุราพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด 15 ตุลาคม พ.ศ. 2536

ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ – นามสกุล นายภัทรพล คนซื่อ
วัน เดือน ปีเกิด 21 ธันวาคม พ.ศ. 2535

ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง