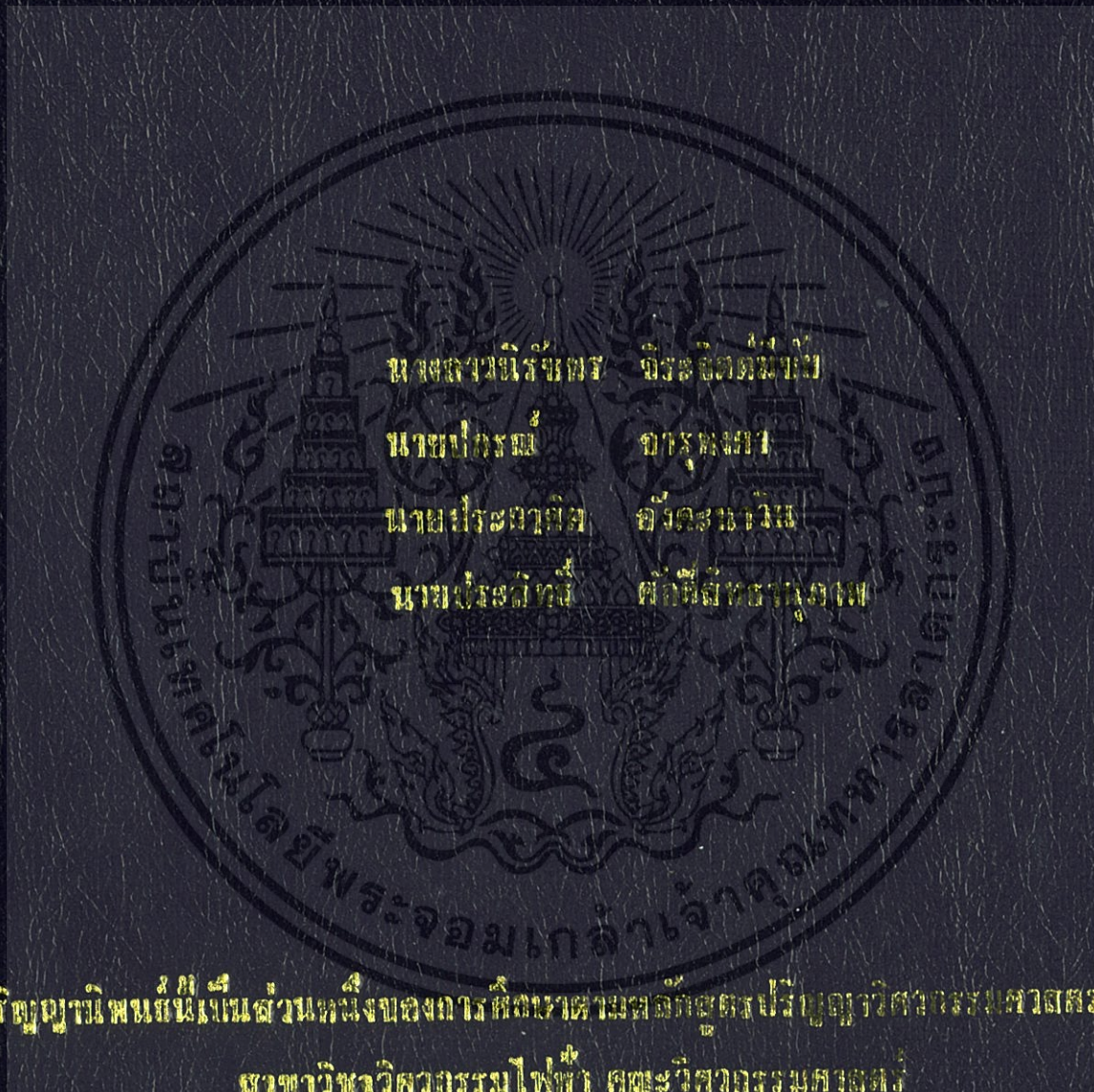


เครื่องประจําแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันซึ่งมีทั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์
CONSTANT CURRENT & VOLTAGE CHARGER FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS



ปฏิญญาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันคงที่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์
CONSTANT CURRENT & VOLTAGE CHARGER FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONSTANT CURRENT & VOLTAGE CHARGER FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS



A PAPER 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 TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันคงที่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์
CONSTANT CURRENT & VOLTAGE CHARGER FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบกระแสและแรงดันคงที่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนิรัชพร จิระจิตต์มีชัย
2. นายปกรณ์ จารุพงศา
3. นายประกาศิต อังคะนาวิน
4. นายประสิทธิ์ ศักดิ์สีทธานุภาพ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันคงที่
สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

นางสาวนิรัชพร จิระจิตต์มีชัย

นายปกรณ์ จารุงศา

นายประกาศิต อังคะนาวิน

นายประสิทธิ์ ศักดิ์สิทธิธานุภาพ

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการควบคุมแบบกระแสและแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการประจุแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดขนาด 12V 7.5Ah จำนวน 2 ก้อนและใช้เทคนิควิธีการควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral controller, PI) เพื่อออกแบบการควบคุมระบบแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

Constant Current and Voltage Charger for Solar Energy Systems

Nirachaporn Jirajitmechai

Pakorn Jarupongsa

Prakasit Aungkanawin

Prasit Saksithanuphab

Asst. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Supervisor

academic year 2012

ABSTRACT

This project presents the design of battery charger by using Constant Current Constant Voltage (CCCV) technique. The developed system is applied for charging two 12 V 7.5 Ah lead-acid batteries. The proposed control method adopts Proportional-Integral Controller (PI) in feedback control. The main advantage of this technique is that the voltage and current can be controlled to be suitable for each period of charging.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันคงที่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความมานะและอาศัยความร่วมมือกันของกลุ่มเป็นอย่างดีและได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านที่มีหน้าที่ให้ความรู้และเทคนิคต่างๆเกี่ยวกับการวิจัยเรื่องดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการให้ยืมอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ในการทำงานโครงการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยควบคุมและอัตโนมัติ (Control and Automation Research Unit) ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำโครงการ

ขอบคุณ คุณธนาชนท์ จันทร์ศรี, คุณพิพัฒน์ อังศุภมงคล และคุณฉัตรวรางค์ กัลยานุกิจ กลุ่มโครงการรุ่นที่ผู้เป็นเจ้าของเครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้เป็นแนวทางในการพัฒนาโครงการให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้กำลังใจ เสนอมุมมองที่แตกต่าง และคอยให้คำปรึกษาเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางด้านการศึกษ จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

นิรภัทร	จิระจิตต์มีชัย
ปกรณ์	จารุพงศา
ประกาศิต	อังคนาวิน
ประสิทธิ์	ศักดิ์สีธานุภาพ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญรูปภาพ		VI
สารบัญตาราง		VIII
บทที่	1 บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
	1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
	1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
	1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
	1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์	6
บทที่	2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
	2.1 บทนำ	7
	2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์	7
	2.2.1 ความสำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้งาน	7
	2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	7
	2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	8
	2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	9
	2.2.5 คุณสมบัติความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	11
	2.3 วงจรทระดับแรงดัน	13
	2.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)	18
	2.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)	24
	2.6 การควบคุมการประจุแบตเตอรี่	28
บทที่	3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	30
	3.1 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่	30
	3.2 วิธีออกแบบและวิธีการคำนวณวงจรทระดับแรงดัน	30
	3.2.1 ส่วนประกอบของวงจรทระดับแรงดัน (Boost Converter)	30
	3.2.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)	31
	3.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)	31
	3.3 ชุดขับมอสเฟต (Driving Mosfet)	32
	3.4 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	32
	3.4.1 ออกแบบลายวงจรสร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม Protel 99Se	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	3.4.2	วงจรสร้างสัญญาณ PWM ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	33
	3.4.3	ผลการทดลองการวัดสัญญาณของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	33
บทที่ 4	3.5	ไดอะแกรม(Flowchart)แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่	35
	4	ผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	37
	4.1	บทนำ	37
	4.2	การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) ในช่วงโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)	37
	4.3	การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) ในช่วงโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)	41
บทที่ 5	5	การทดสอบและผลการทดสอบ	44
	5.1	บทนำ	44
	5.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
	5.3	วงจรที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง	44
	5.4	ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่	45
	5.4.1	การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)	45
	5.4.2	การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)	48
	5.4.3	การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)	50
	5.4.4	ผลการทดลองคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่	52
บทที่ 6	6	บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	53
	6.1	บทสรุป	53
	6.2	ข้อเสนอแนะ	53
	5.3	แนวทางการพัฒนา	54
ภาคผนวก			
	ก	ตารางบันทึกผลการประจุแบตเตอรี่	
	ข	การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99 se	
	ค	บทความทางวิชาการ	
	ง	คู่มือแบตเตอรี่	
	จ	ประวัติผู้เขียน	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.2	การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำ	9
2.3	ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ	10 10
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ	10
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.6	แสดงการคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.7	วงจรสมมูลของวงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter)	13
2.8	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	14
2.9	ก) แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	15 15
2.10	วงจรสมมูลขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	15
2.11	ระบบวงจรปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี	19
2.12	กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่)	20
2.13	กราฟ PV ต่อเวลา, K_i กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่)	21
2.14	กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ K_d 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่)	22
2.15	โครงสร้างของแบตเตอรี่	24
2.16	ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ	25
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage	26
2.18	ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ	27
2.19	แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three State Charge	28
3.1	Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่	30
3.2	วงจรขับมอสเฟต เบอร์ TLP-250	32
3.3	ออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99Se	32
3.4	ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.5	ลักษณะของสัญญาณที่ออกจาก PIC 18F2620 เป็นสัญญาณ PWM	33
3.6	ลักษณะสัญญาณของตัวไอซี TLP 250 Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 KHz	34
3.7	สัญญาณที่ขาเกตของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 KHz	34
3.8	สัญญาณที่ขาเดรนของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 KHz	34
3.9	ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่	35
4.1	วงจรจำลองของแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกรณี Load $R = 20 \Omega$	37
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ได้จากวงจรชาร์จเจอร์ก่อนทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและหลังจากการใช้ กรณี Load $R = 20 \Omega$	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3	วงจรถ่ายค่าของแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีกรณี กำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 2 แอมป์ กรณีโหลดแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน	38
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 2 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)	39
4.5	วงจรถ่ายค่าของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ	39
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)	40
4.7	วงจรถ่ายค่าของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 14.6 โวลต์ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน	41
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 14.6 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)	41
4.9	วงจรถ่ายค่าของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ	42
4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ	43
5.1	วงจรถ่ายค่าแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่	44
5.2	จุดวัดแรงดัน และกระแสประจุแบตเตอรี่	45
5.3	ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 57,000 ลักซ์	45
5.4	ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 67,000 ลักซ์	46
5.5	ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 90,000 ลักซ์	46
5.6	ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 140,000 ลักซ์	47
5.7	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 78,000 ลักซ์	48
5.8	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวิตีไฮเคิล ณ ความเข้มแสง 95,000 ลักซ์	48

5.9	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิฟเฟอเรนเชียล ณ ความเข้มแสง 112,000 ลักซ์	49
5.10	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิฟเฟอเรนเชียล ณ ความเข้มแสง 55,000 ลักซ์	50
5.11	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิฟเฟอเรนเชียล ณ ความเข้มแสง 75,000 ลักซ์	50
5.12	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิฟเฟอเรนเชียล ณ ความเข้มแสง 80,000 ลักซ์	51
5.13	ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิฟเฟอเรนเชียล ณ ความเข้มแสง 126,000 ลักซ์	51
5.14	ภาพแสดงผลการทดลองคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่	52



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินโครงการ	4
2.1	ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ	23



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ภาวะโลกร้อนและราคาซื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมา ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนสะอาด (Renewable Energy) ได้รับความสนใจจากประเทศต่างๆ ทำให้มีการใช้ที่แพร่หลายขึ้น แม้ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ยังคิดเป็นสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานในรูปแบบอื่น แต่เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีพลังงานที่เติบโตเร็วที่สุดและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวได้อย่างต่อเนื่องทำให้อุตสาหกรรม การผลิตแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นอุตสาหกรรมอีกแห่งที่น่าจับตามอง[1] อีกทั้งยังมีการให้ความสำคัญของการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน และศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจ และ นโยบายเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐบาลในปัจจุบันอีกด้วย

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกส่วนของโลกและมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้แก่มนุษย์ใช้ประโยชน์มากมาย เช่น การนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการใช้โรงจักรดีเซลในการผลิตกระแสไฟฟ้าในอินเดีย พบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมในการใช้และมีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่า [2] เป็นต้น โดยกระบวนการของเซลล์แสงอาทิตย์คือการผลิตไฟฟ้าจากแสงได้โดยตรงทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบกับการลงทุนด้านวัตถุดิบต่ำซึ่งในกระบวนการดังกล่าวเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการจุดระเบิดและไม่มีการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดมลพิษและมลภาวะร้ายแรงต่อมนุษย์ เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำรองในการจัดเก็บพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั่นก็คือ แบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติแบตเตอรี่ทุกชนิดนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery) [3]

การเก็บสะสมพลังงานในรูปของแบตเตอรี่นั้นจะมีข้อจำกัดในหลายด้านเนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีแรงดันและกระแสไม่คงที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่นอุณหภูมิ, ฤดูกาลและความเข้มแสงที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในขณะทำการทดลองด้วย ดังนั้นในการประจักษ์จึงต้องใช้วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสแบบคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV) เพื่อควบคุมโหมดการทำงาน [4] พร้อมทั้งใช้เทคนิคอื่นๆร่วมด้วย เช่น การประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคการตามรอยกำลังสูงสุด (MPPT) และการปรับระดับขั้นของกระแสในการชาร์จ โดยใช้วงจร DC/DC คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้มีช่วงแรงดันที่กว้าง สามารถประจุในช่วงกระแสคงที่ และมีความสามารถในการป้องกันกระแสเอาท์พุทเกินสามารถส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ให้ลดลงได้ [5] และ DC/DC คอนเวอร์เตอร์หลายอินพุทสามารถควบคุมการประจุและการจ่ายไฟของแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] โดยเทคนิคในการประจุแบตเตอรี่มีหลายแบบด้วยกัน แต่มีผู้สนใจทำการเปรียบเทียบเทคนิคแบบ Intermittent (IC), Three Stage Charge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TSC) และ Interrupted Charge Control (ICC) ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าการประจุแบบขั้นตอน Three Stage Charge (TSC) จะเป็นเทคนิคการประจุที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดใน การนำไปใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ [7] ซึ่งวิธีการชาร์จแบบใช้วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสแบบ คงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8]

ส่วนขั้นตอนการประจุแรงดันคงที่สามารถควบคุมได้หลายแบบเช่นกันทั้งนี้ต้อง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและระบบที่ใช้งาน เช่น ควบคุมและโมเดลการประจุแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral Controller) ในระบบเซลล์ แสงอาทิตย์แบบแยกเดี่ยว [9] หรือมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมด้วยในการช่วยสั่งการควบคุมซึ่ง ปัจจุบันมีการนำ PIC16F72 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการประจุเพื่อป้องกันการประจุ แบตเตอรี่เกินและป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ [10] นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีการใช้ PIC16F877A ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมโดยมีการแสดงผลการประจุที่สถานะแบตเตอรี่โดยใช้จอ LCD ลำโพงขนาดเล็กและ หลอด LED อีกด้วย[11]

กลุ่มของผู้วิจัยจึงมีแบบแผนและแนวคิดในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบ ควบคุมกระแส และแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage , CCCV) และการควบคุม แบบพีไอ (Proportional Integral , PI) สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์



1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1.2.1 สร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยอาศัยหลักการควบคุมกระแสและแรงดันแบบคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV)
- 1.2.2 สามารถออกแบบวงจรควบคุมด้วยเทคนิคตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional Integral-Controller, PI) เพื่อควบคุมขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.3 ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

โครงการวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage , CCCV) เพื่อควบคุมแรงดันคงที่ในช่วง Three Stage Charge โดยเครื่องประจุแบตเตอรี่ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดวงจรทระดับแรงดันที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันตามแบตเตอรี่ที่ต้องการประจุได้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของเครื่องประจุแบตเตอรี่
- 1.4.2 ศึกษาวิธีการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่และเทคนิคในการควบคุมแบบพีไอ (Proportional Integral Controller , PI)
- 1.4.3 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ
- 1.4.4 จำลอง Schematic ของวงจรการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink
- 1.4.5 ทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยใช้การควบคุมวงจรด้วยวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (constant current constant voltage , CCCV) ซึ่งประกอบด้วย วงจรกำลัง (boost converter) , วงจรควบคุม และวงจรตรวจจิบกระแสและแรงดัน (current and voltage sensor)
- 1.4.6 บันทึกข้อมูลจากผลการทดลอง
- 1.4.7 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
- 1.4.8 สรุปผลการทดลอง
- 1.4.9 รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ พร้อมทั้งจำลองการทำงานของวงจรกำลังและวงจรควบคุมใน MATLAB/Simulink ทดลองควบคุมวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่								
2. ศึกษาการสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่ และเทคนิคควบคุมแรงดันและกระแสคงที่								
3. ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการจำลองวงจรประจุแบตเตอรี่								
4. จำลองคุณลักษณะของวงจรที่ใช้สำหรับประจุแบตเตอรี่								
5. จำลองคุณลักษณะของวงจรควบคุมด้วย PWM Controller ด้วย PID Controller และวงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน								
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน								
8. ออกแบบและสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้จริง								
9. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์								
10. ทดลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.ทดลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง กับวงจรกำลังและวงจรควบคุมของเครื่องประจุ								
11.เก็บผลการทดลองในแต่ละกรณีและ วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้								
12.สรุปผลงานวิจัย นำเสนอโครงการ								

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย/

- 1.6.1 บูรณาการความรู้ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในโครงการ
- 1.6.2 เพิ่มประสิทธิภาพในการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการประจุแบบ 3 stages of charge
- 1.6.3 ยืดอายุการใช้งานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้วยหลักการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV)
- 1.6.4 ความรู้ที่ได้รับเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

ปฏิญญาพันธฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาวัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการรวมถึงวิธีการดำเนินงานและแผนการดำเนินโครงการตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน ตัวควบคุมการทำงานแบบพีไอ (PI controller) วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสคงที่ (Constant Voltage Constant Current, CVCC)

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้าง เครื่องต้นแบบเกี่ยวกับเครื่องประจุไฟฟ้าส่วนประกอบหลักของชุด Converter ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟตรง วงจรขับมอสเฟต ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงผลการจำลอง (Simulation) เมื่อเริ่มทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง ในบทนี้จะได้นำเสนอผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ของเครื่องประจุไฟฟ้า การจำลองกราฟคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงต่างๆ กัน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ความเข้มแสงต่างๆ จากนั้นสรุปผลการทดลองเชิงวิเคราะห์และเชิงเปรียบเทียบ

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และจากการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่าง ๆ ทั้งหมด รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนบทความวิชาการ และโปสเตอร์นำเสนอผลงาน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ก่อนการวิจัยพัฒนาโครงการนี้สิ่งที่จำเป็นเป็นอันดับแรกคือความรู้ความเข้าใจในเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์, ทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด, วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า, การควบคุมแบบ PI Controller วิธีการควบคุมแรงดันและกระแสคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV) ซึ่งรายละเอียดดังนี้

2.2 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell)

2.2.1 ความสำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้งาน

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุดโดยทั่วไปพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถนำมาใช้งานมีทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยการใช้งานทางตรง ได้แก่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System หรือ PV System) โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแต่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแจ้งก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหว แต่พลังงานจากแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการใช้งานคือสามารถใช้ได้ในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นลักษณะการใช้งานจึงมีทั้งนำมาใช้งานโดยตรง และสามารถเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแสงได้ในรูปของแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งประเภทและหลักการเบื้องต้นจะได้กล่าวต่อไปในภายหลัง

2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

จากแผนภาพจะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน จะแบ่งออกเป็น 2

กลุ่มใหญ่ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

ซึ่งซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุด เพราะซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง และมีใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิคอนทั้งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกย่อย มีการผลิตออกใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเพราะมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12 - 15% ซึ่งเพียงพอต่อการประยุกต์แม้จะมีราคาแพงเมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าในระบบสายส่งการใช้งานจึงจำกัดอยู่ในพื้นที่เฉพาะ เช่น ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะมีราคาถูกที่สุด เพราะซิลิคอนที่ไม่เป็นผลึกแต่จะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ซึ่งไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่ำและผลิตได้ง่าย แต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนนี้มีประสิทธิภาพการแปรพลังงานไม่สูงนักคือ เพียง 5 - 10 % จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย มักใช้งานกับเครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

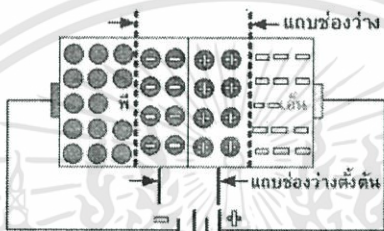
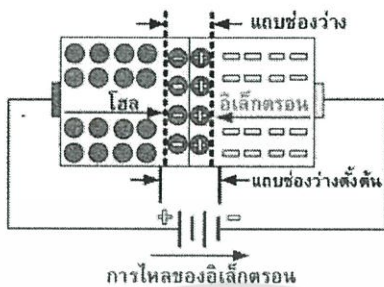
2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide: GaAs) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulphide : CdS) ทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide : CuInSe) ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำทั้งสิ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุแกลเลียมอาร์เซไนด์จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง 20 - 25 % ใช้งานกับแสงความเข้มสูงได้ดีทนทานกับรังสีอนุภาคที่มีพลังงานสูง จึงเหมาะกับงานด้านอวกาศ แม้จะมีราคาแพงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนถึง 50 เท่า ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์และทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์นั้น จะมีราคาถูกพอ ๆ กับซิลิคอน เพราะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง และเตรียมได้ง่าย

2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมาต่อเข้าด้วยกัน เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้กับอะตอมของสารกึ่งตัวนำ ทำให้สร้างพาหะนำไฟฟ้า ปะจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับพลังงานแสงด้วยว่าจะเพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนสามารถที่จะเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้หรือไม่ ถ้าพลังงานมากพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้และจะเหลือโฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็น จะทำหน้าที่ในการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก โดยการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอน และโฮลภายใต้สนามไฟฟ้าแสดงดังรูป 2.2



- สัญลักษณ์
- ช่องว่าง เรียกว่า โฮล
 - อิเล็กตรอนอิสระ
 - ⊕ อีออนประจุบวก
 - ⊖ อีออนประจุลบ

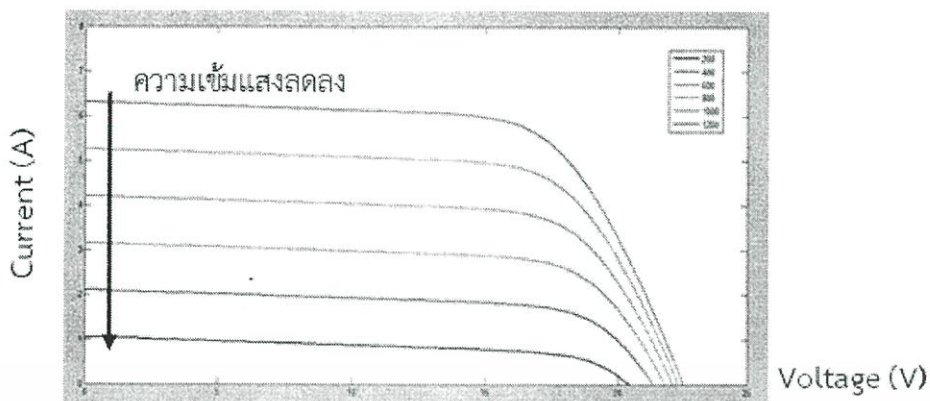
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

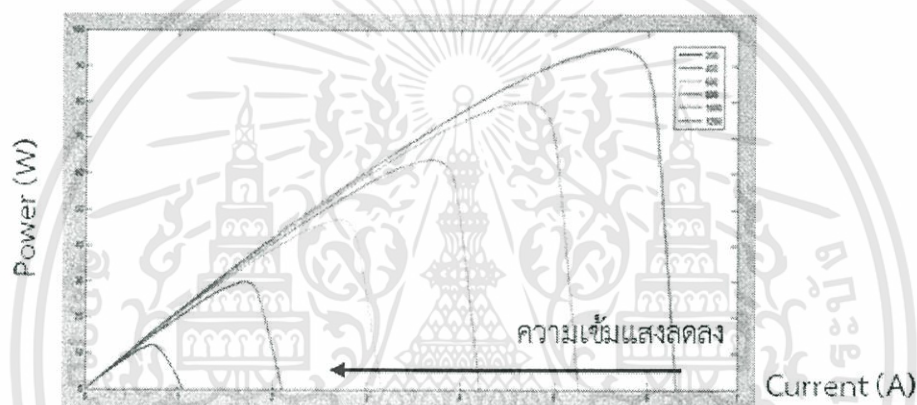
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยภายในและภายนอก ในที่นี้จะกล่าวเพียงปัจจัยภายนอกอันได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เซลล์ได้รับและอุณหภูมิของเซลล์ (Cell Temperature)

2.2.4.1 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยลง รวมถึงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดมีค่าลดลงเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่แรงดันจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังรูป 2.3

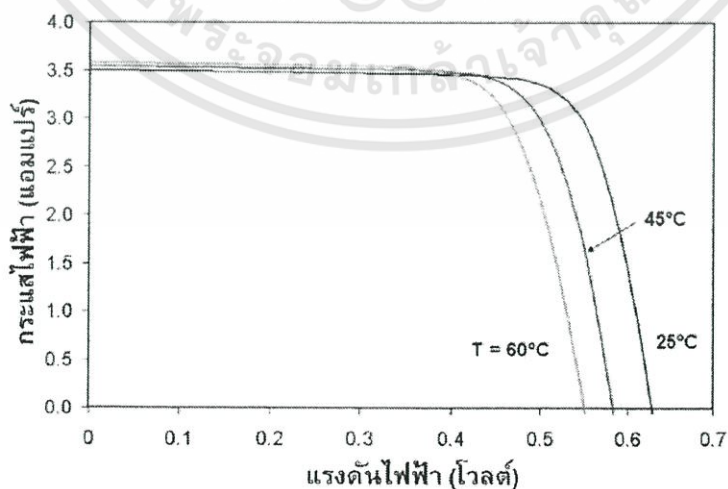


รูป 2.3 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ



รูป 2.3 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ

2.2.4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์



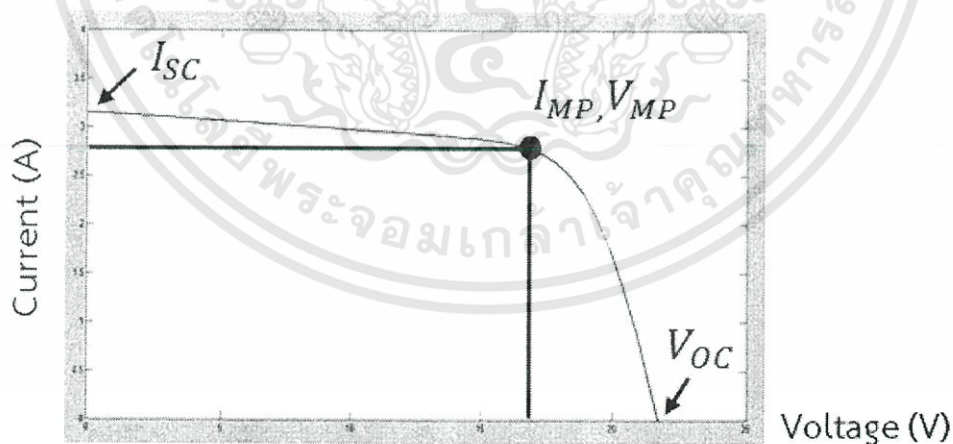
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อแรงดันและกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ ในสถานะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลง แต่เมื่อพิจารณาที่กระแสจะพบว่ากระแสลัดวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงดังรูป 2.4

2.2.5 คุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับปัจจัยดังที่ได้กล่าวมา รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อสังเกตจะพบว่า ค่ากระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้มีค่าสูงสุดที่ภาวะลัดวงจร (Short circuit current : I_{sc}) แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ และเซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดที่สภาวะเปิดวงจร (Open circuit voltage : V_{oc}) ซึ่งกระแสไฟฟ้า ณ ขณะนั้นจะเป็นศูนย์ด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากความสัมพันธ์ของผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันที่จุดทำงานต่างๆ จะพบว่าที่พิกัดกระแสและแรงดันค่าหนึ่งทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point : P_{MP}) โดยจะเรียกกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดว่า (current at maximum power point : I_{MP}) และเรียกแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดว่า (Voltage at maximum power point : V_{MP})

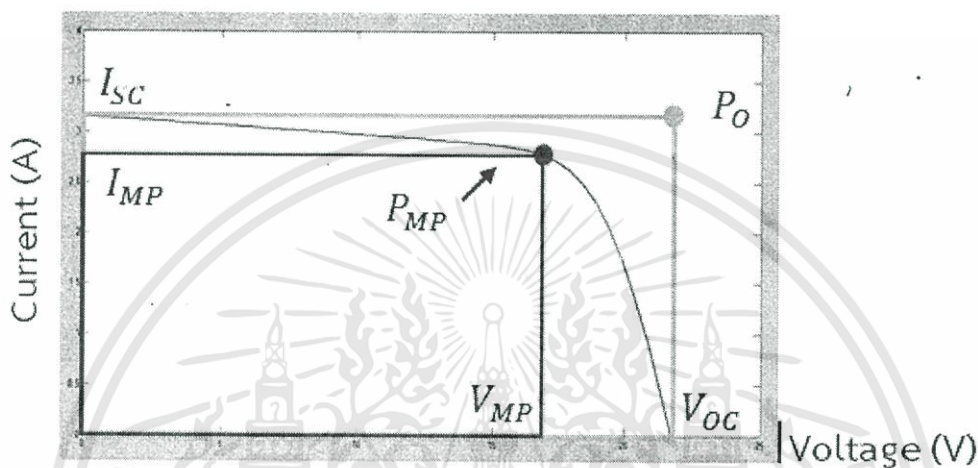


รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

หากนำจุด maximum point ไปใช้กับโหลดที่มีความพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่มีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_{MP} ต่อ I_{MP} (V_{MP}/I_{MP}) ผลคูณของแรงดันและกระแสที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากหรือน้อยขึ้นกับความชันกราฟ กล่าวคือ ถ้ากราฟชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของแรงดันและกระแสจึงจะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า “ฟิลแฟคเตอร์” (FF : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 แสดงการคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

$$FF = \frac{P_{MP}}{P_o} = \frac{I_{MP} \cdot V_{MP}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2.1)$$

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

ค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 หากค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V Curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายใต้สี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{MP}) กระแสสูงสุด (I_{MP}) และแรงดันสูงสุด (V_{MP}) ซึ่งในอุดมคติเซกต์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังสูงสุดนี้

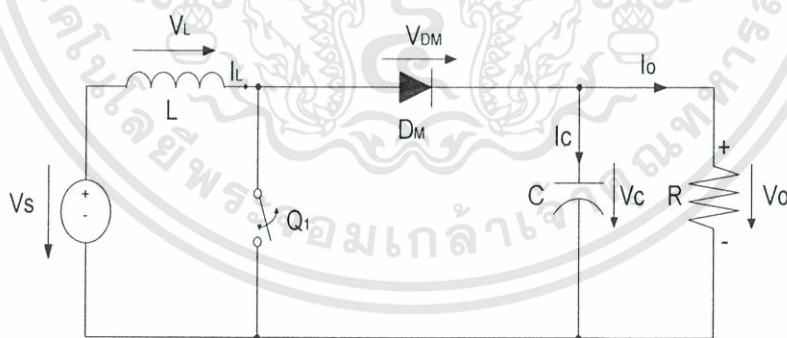
2.3 วงจรทบระดับแรงดัน

วงจรตีซีทุตีซีคอนเวอร์เตอร์สามารถนำมาใช้เป็นวงจรเพิ่มระดับแรงดันได้ ซึ่งในปริญญาณิพนธ์นี้เลือกใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในการทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตสูงกว่าแรงดันทางด้านอินพุต

2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost converter)

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่เพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งในร้อยเปอร์เซ็นต์



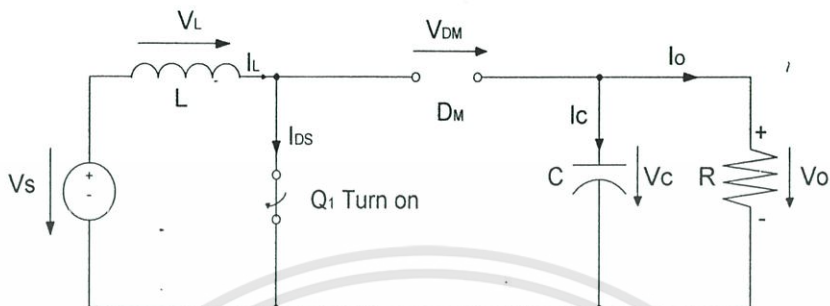
รูป 2.7 วงจรสมมูลของวงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter)

2.3.2 หลักการทำงานของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงานของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดคือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตซ์ในแต่ละโหมต ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

โหมดที่ 1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปด้านล่าง เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.2)$$

$$v_L = V_s + L \frac{di_L}{dt} \quad (2.3)$$

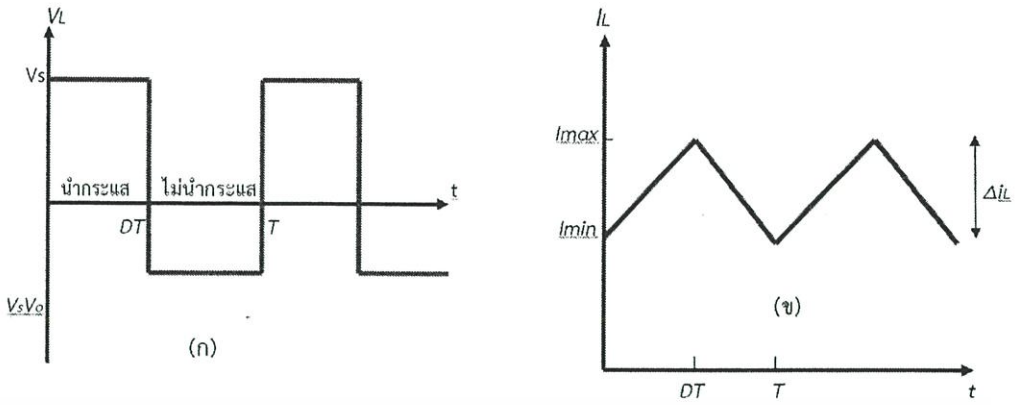
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.4)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่า การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.5)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.6)$$

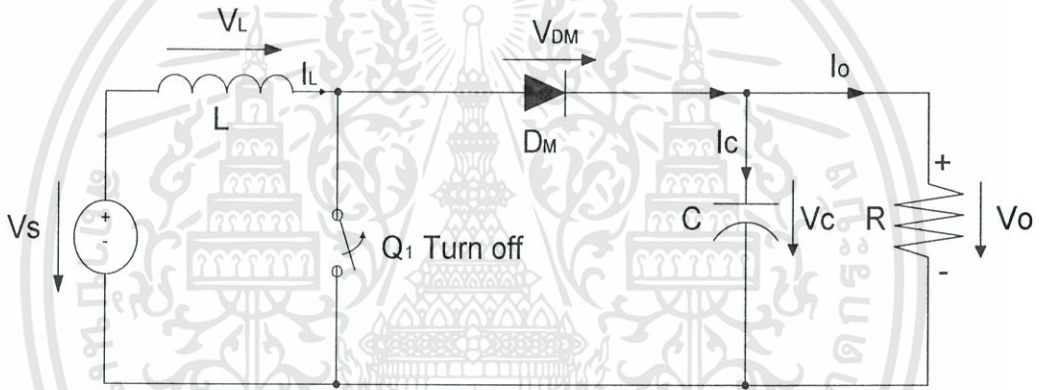
$\Delta i_{L,on}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



รูป 2.9 (ก) แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

(ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

โหมดที่ 2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูป 2.10 วงจรสมมูลขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแสจึงทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \tag{2.7}$$

$$v_L = V_s - V_o \tag{2.8}$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.9}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1 - D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่ และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right) (1 - D)T \quad (2.11)$$

ที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับ ศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.12)$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} = 0 \quad (2.13)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0 \quad (2.14)$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0 \quad (2.15)$$

$$V_s - V_o(1 - D) = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.17)$$

จากสมการ $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D}$ สามารถนำไปหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันด้านเอาต์พุต ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแรงดันด้านเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่า D (Duty Cycle) โดยหากปรับค่า D เป็นค่าต่างๆ จะได้อัตราการขยายแรงดันเอาต์พุต

2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า

สมมติการสูญเสียภายในวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.18)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.19)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.20)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.21)$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.22)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.23)$$

ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จาก $\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L}$ ขณะสวิตช์

นำกระแส

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.24)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.25)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.26)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.27)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กสุดที่ทำให้วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าทำงานได้ในขอบเขตระหว่าง โหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องได้ดังนี้

$$I_{L,\min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.28)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.29)$$

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

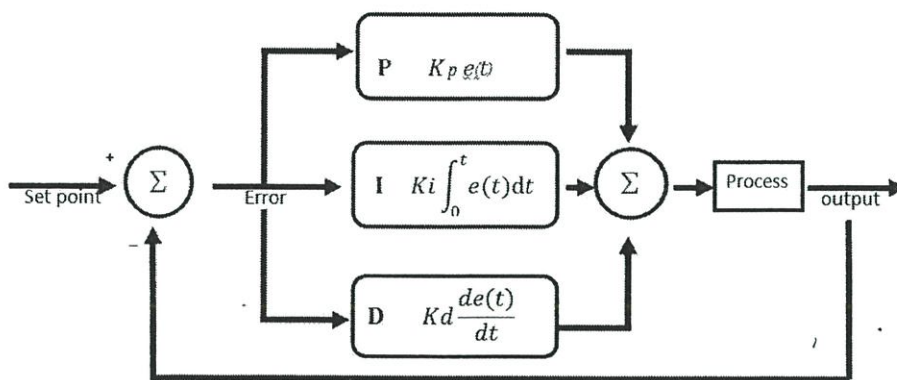
2.3.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่ หรือทำให้สัญญาณมีความเรียบมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากๆ ได้ เนื่องจากมีราคาแพงและต้องใช้พื้นที่มาก จึงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม โดยที่ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้สมการ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.31)$$

2.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivatives controller ,PID controller)

เมื่อทำงานเกี่ยวกับการประยุกต์ของการควบคุมเอาต์พุตของระบบ ในบางครั้ง อาจมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนค่าของตัวแปรอ้างอิง (Reference value) หรือ ตัวแปรสเตท (State value) หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนอัลกอริทึม เพื่อให้ได้ตามเอาต์พุตของระบบตามต้องการ ระบบควบคุมพีไอดี หรือ ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เป็นการควบคุมโดยการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเอาต์พุต (y) กับค่าของตัวแปรอ้างอิง (y_0) จะได้ค่าของความผิดพลาด (e) เพื่อที่จะนำเข้าสู่ตัวควบคุมพีไอดี และจะได้ค่าของตัวแปรใหม่ (u) ซึ่งตัวแปรนี้จะไปปรับแต่งให้ได้ค่าของเอาต์พุตตามต้องการ ตัวควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเสมือนกับตัวชดเชยเฟสสำหรับหน้าต่อผสมอนุกรมกับตัวชดเชยแบบเฟสล่าหลัง



รูปที่ 2.11 ระบบวงรอบปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

โดยตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถแยกออกเป็นตัวควบคุมได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.4.1 วิธีคำนวณของ PID

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพียงผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุม จนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

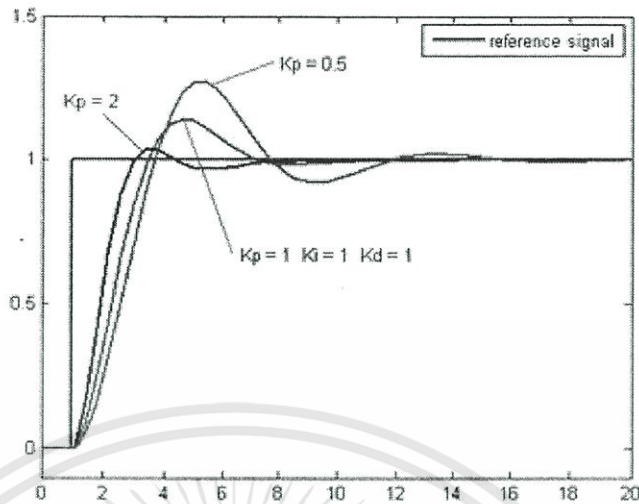
การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.33)$$

เมื่อ P_{out} , I_{out} , และ D_{out} เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

สัดส่วน



รูปที่ 2.12 กราฟ ผลตอบสนองต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_p และ K_d คงที่) เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p , หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน

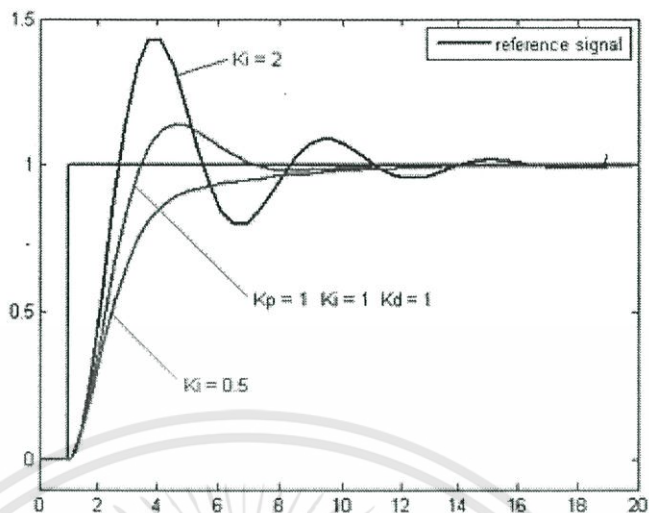
เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.34)$$

เมื่อ P_{out} สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน
 K_p อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้
 e ค่าความผิดพลาด = $SP - PV$
 t เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

ปริพันธ์



รูปที่ 2.13 กราฟ ผลตอบสนองต่อเวลา, K_i กำหนดเป็นสามค่า (K_p และ K_d คงที่)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, K_i

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.35)$$

เมื่อ I_{out} สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

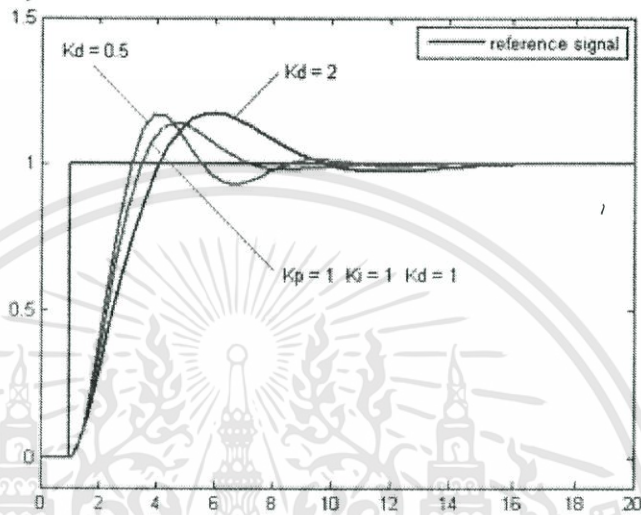
e ความผิดพลาด = SP - PV

t เวลา

T ตัวแปรปริพันธ์หุน

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการ และขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์ เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

อนุพันธ์



รูปที่ 2.14 กราฟ ผลตอบสนองต่อเวลา, สำหรับ K_d 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความสัมพันธ์ของความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วย อัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d

เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.36)$$

เมื่อ D_{out} สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

c ความผิดพลาด = $SP - PV$

t เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุม และด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

ผลรวมเทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dT + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.37)$$

2.4.2 เทคนิคการปรับจูน

2.4.2.1 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ชั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งสำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พักเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ไม่เสถียร สุดท้ายถ้าต้องการ ให้เพิ่มค่า K_d จนกระทั่งลูบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_p น้อยเกินไปก็ทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 2.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

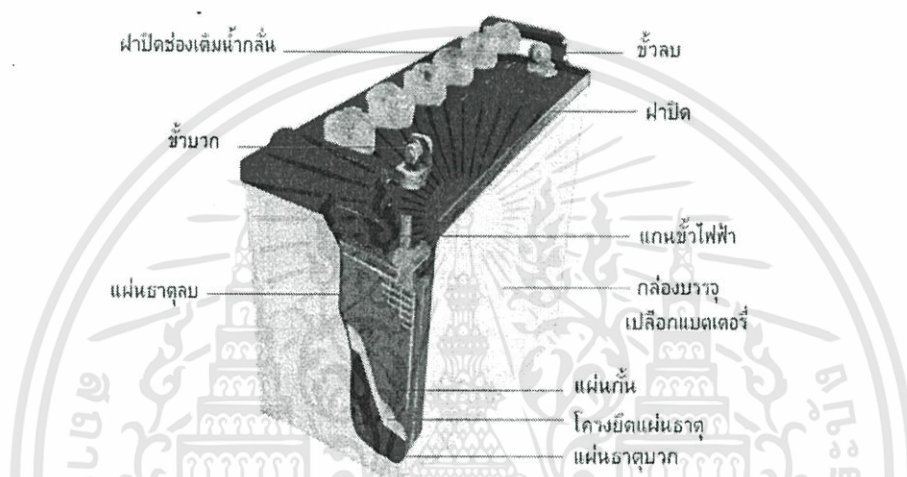
ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Setting time)	ความผิดพลาดสถานะ คงตัว (Steady-state error)
K_p	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล	ลดลง
K_i	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ไม่มี
K_d	ไม่มีผล	ลดลง	ลดลง	ไม่มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อให้มีการจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่องและนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปของปฏิกิริยาเคมี โดยมีค่าความจุพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Capacity) มีหน่วยเป็นแอมแปร์ชั่วโมง (Ah)

2.5.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของแบตเตอรี่ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

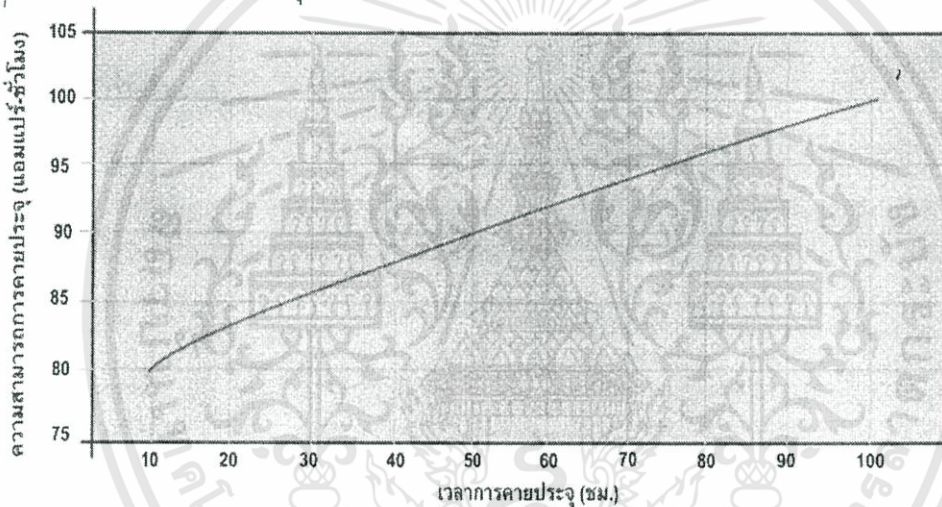
1. เปลือกและฝาแบตเตอรี่ สำหรับบรรจุกลุ่มแผ่นธาตุบวกและลบของแบตเตอรี่ทำจากยางแข็งหรือพลาสติกที่ทนทานต่อกรดกำมะถันแบตเตอรี่ชนิด 12 โวลต์
2. กลุ่มแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ เป็นโครงตะกั่วผสมระหว่างตะกั่วกับพลวงซึ่งจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำกรดแล้วเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมา
3. แผ่นกั้น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบสัมผัสกันและช่วยให้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบและกรดกำมะถันได้ดี
4. ฝาจุกแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รักษาแบตเตอรี่พร้อมระบายก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีจึงควรป้องกันและรักษาความสะอาดไม่ให้เกิดการอุดตัน

2.5.2 ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)

ความจุของแบตเตอรี่คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปหรือคายประจุได้จนกระทั่งหยุดจ่ายพลังงานหรือหยุดคายประจุโดยความจุปกติของแบตเตอรี่ (Nominal Capacity, C_n) มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ขณะคายประจุ (I_n) คูณด้วยเวลาทั้งหมดในการคายประจุทั้งหมด (t_n) ดังสมการที่ (2-7)

$$C_n = I_n \times t_n \quad (2.38)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่คงที่โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุทั้งหมดและกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ ทั้งนี้หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการกำลังไฟของการคายประจุมากจึงต้องพยายามให้กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำและใช้เวลานานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2-41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคายประจุกับความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่



รูป 2.16 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ
(กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

2.5.3 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากหลักการเดียวกันกับความจุของแบตเตอรี่ค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดหรือการคายประจุโดยค่ากระแสไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

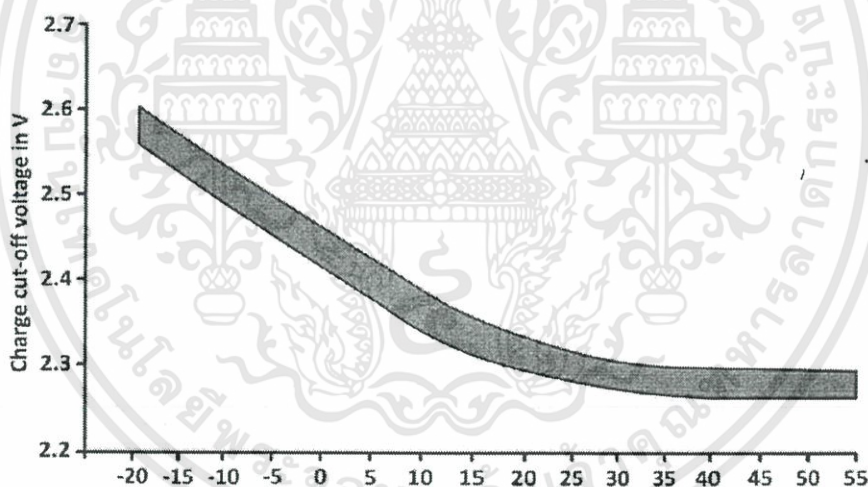
- ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะอัดประจุ (Maximum Charge Current) $I_{20} = C_{20}/20h$
- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะอัดประจุ (Medium Charge Current) $I_{50} = C_{50}/50h$
- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะคายประจุ (Medium Discharge Current) $I_{120} = C_{120}/120h$

2.5.4 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

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

2.5.5 การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging)

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



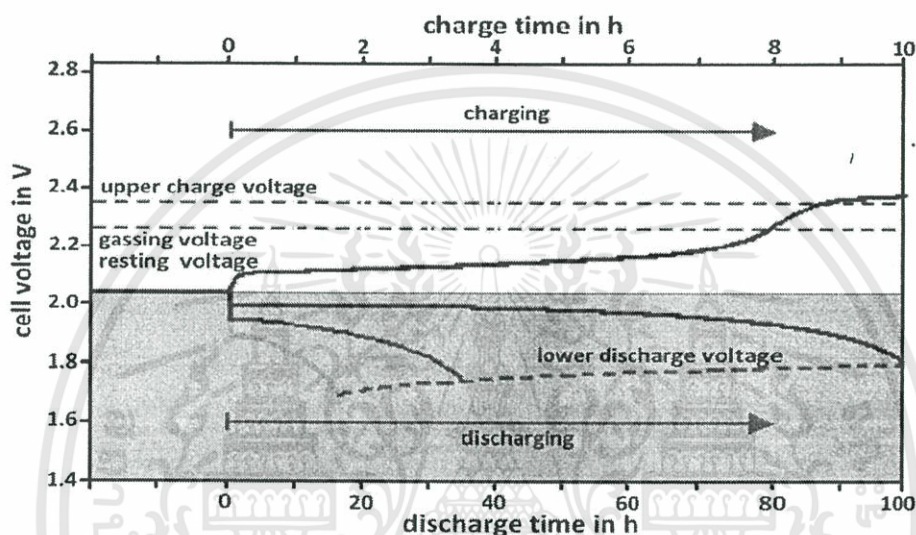
รูป 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage

(กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

สำหรับกระบวนการคายประจุเมื่อเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างทันทีเนื่องมาจากแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมบนตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรจากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการหรือจนถึงค่าแรงดันปลดออกเมื่อคายประจุหรือ discharge cut-out voltage หากปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงต่อไปจนกระทั่งต่ำกว่าค่า discharge cut-out voltage จะทำให้ความเข้มข้นของกรดจะมีค่าสูงมากจนเกิดเป็นผลึกซัลเฟตหรือเรียกว่าเกิดซัลเฟตชันซึ่งควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสภาวะนี้

2.5.6 สถานะการอัดประจุ (State of Charge, SOC)

ในการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีแบตเตอรี่จำเป็นต้องทราบจำนวนเวลาที่ระบบยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ภาระทางไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแดดเพื่อประมาณการหรือเตรียมมาตรการรองรับหรือป้องกันการขาดแคลนไฟฟ้าดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบตลอดเวลาว่ามีปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใดซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่จะทำให้ทราบปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ดังรูปแสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ



รูป 2.18 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

วิธีที่ 1 สำหรับ unsealed แบตเตอรี่หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลวสามารถทราบได้จากค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ซึ่งวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) โดยแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน

วิธีที่ 2 สำหรับ sealed แบตเตอรี่หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นแบบเจลซึ่งไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) และจำเป็นต้องทราบระดับแรงดันวงจรเปิดขณะเริ่มต้น (resting voltage) ก่อนทุกครั้งเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าเริ่มต้นที่สถานะการประจุเป็น 0 เปอร์เซนต์และต้องปล่อยแบตเตอรี่ไว้โดยไม่ต้องจรรวไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการวัดแรงดัน

2.5.7 ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

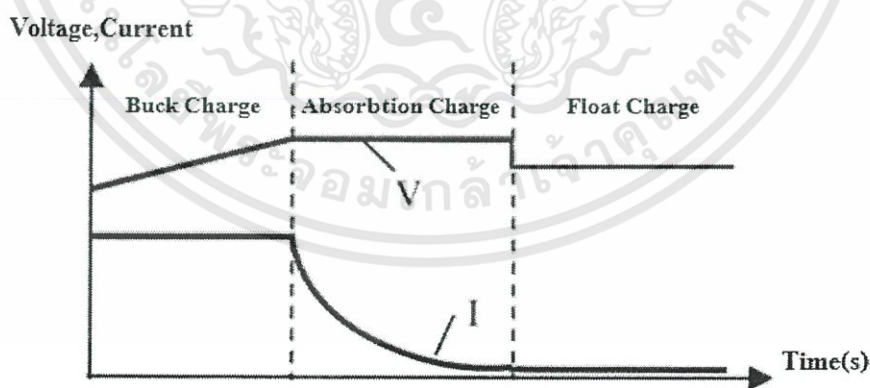
- ที่สภาวะการอัดประจุ 90 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์
- ที่สภาวะการอัดประจุ 75 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์
- ที่สภาวะการอัดประจุต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการอัดประจุมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของพลังงาน (energy efficiency) จะพิจารณาถึงความสูญเสียพลังงานจากการ กักเก็บหรือเก็บสะสมสำหรับแบตเตอรี่ใหม่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 70 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ด้วย

2.6 การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

เทคโนโลยีการประจุแบตเตอรี่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรกไม่มีความซับซ้อนโดยใช้การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ ในปัจจุบันเครื่องประจุแบตเตอรี่จะมีตัวควบคุมภายในเพื่อ สามารถแสดงผล แรงดันของแบตเตอรี่ , อุณหภูมิ และเวลาที่ต้องใช้ในการประจุเพื่อใช้ในการพิจารณากระแสชาร์จในขณะนั้น

หลักในการควบคุมระบบพลังงานแสงอาทิตย์คือ การประจุแบตเตอรี่ให้เต็มโดยไม่มี การประจุเกิน ในขณะที่มีการป้องกันกระแสไหลย้อนกลับในเวลากลางคืน ตัวควบคุมในปัจจุบันมักจะใช้หลักการทำงานแบบ PWM (Pulse width modulation) 70-80%แรกของความจุแบตเตอรี่จะง่ายในการชาร์จ แต่ 20-30% หลังต้องการการควบคุมที่ซับซ้อนขึ้น วงจรการประจุพื้นฐานที่ใช้คือ วงจร DC/DC คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.19 แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three State Charge

จากกราฟรูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสกับเวลาจะเห็นว่าสภาวะการประจุที่เหมาะสมมี 3 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 Bulk Charge

ขั้นแรกของการประจุ จะใช้ระดับแรงดันและกระแสสูงสุดในระดับที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการโอเวอร์ฮีต ที่เรียกว่า natural absorption rate สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบ AGM ขนาด 12 โวลต์ทั่วไป แรงดันที่ใช้ในการประจุจะอยู่ที่ประมาณ 14.6-14.8 โวลต์ ขณะที่แบตเตอรี่แบบน้ำกรดสามารถใช้แรงดันได้สูงกว่านี้ ส่วนแบตเตอรี่แบบเจลแรงดันที่ใช้ไม่ควรเกิน 14.2-14.3 โวลต์ ในช่วงนี้จะเป็นการประจุแบบกระแสคงที่

ช่วงที่ 2 Absorption Charge

เครื่องประจุแบตเตอรี่ จะตรวจค่าแรงดันและความต้านทานของแบตเตอรี่ เมื่อสถานะการอัดประจุถึงประมาณ 80% การประจุจะเข้าสู่ช่วง Absorption Charge ในช่วงนี้จะเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่ ในขณะที่กระแสจะลดลงเพื่อให้เกิดการชาร์จโดยไม่เกิดการโอเวอร์ฮีต การชาร์จในช่วงนี้จะใช้เวลานาน ยกตัวอย่างเช่น การประจุ 20% สุดท้ายของแบตเตอรี่จะใช้เวลานานกว่าการประจุ 20% แรกของแบตเตอรี่ในช่วง Bulk Charge โดยกระแสจะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งแบตเตอรี่ประจุเกือบเต็มความจุ

ช่วงที่ 3 Float Charge

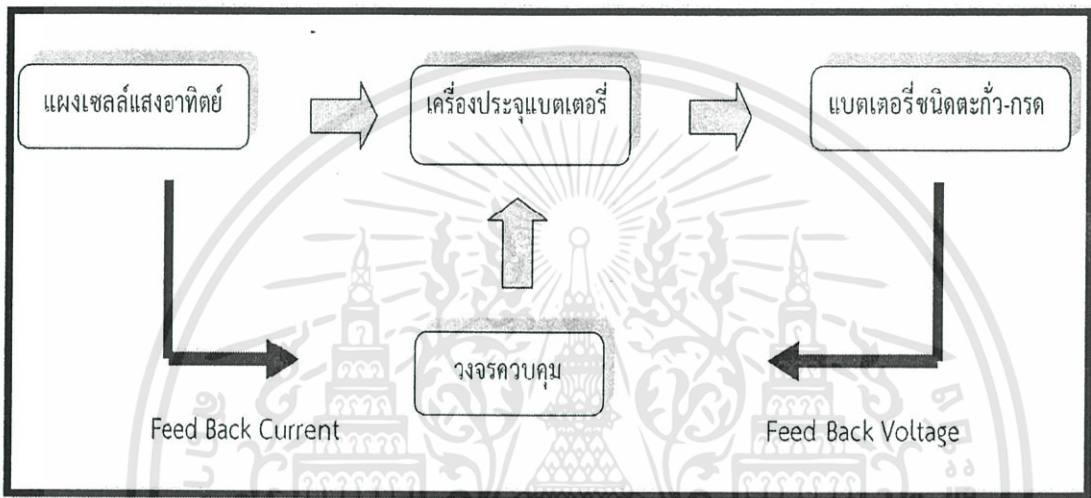
เครื่องชาร์จบางตัวจะเข้าสู่ช่วง Float Charge ที่สถานะการอัดประจุถึงประมาณ 85% แต่ส่วนใหญ่ จะอยู่ที่สถานะการอัดประจุประมาณ 95% การประจุช่วงนี้จะเป็นการทำให้ประจุแบตเตอรี่ได้เต็มความจุ ระดับแรงดันจะลดลงไปคงที่ที่ประมาณ 13.2-13.4 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันสูงสุดที่แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ สามารถรับได้ กระแสก็จะลดลง เป็นค่าต่ำๆที่เรียกว่ากระแส trickle เพื่อชดเชยกระแสดีสชาร์จในตัวแบตเตอรี่จนกระทั่งประจุเต็มความจุ

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อประจุแบตเตอรี่ประกอบด้วยวงจรหลัก ได้แก่ วงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter) และวงจรควบคุม (Controller) ที่สามารถรักษา ระดับแรงดันเอาต์พุตในการประจุแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดได้ ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอ ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรดังกล่าว วิธีการคำนวณ

3.1 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูป 3.1 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

3.2 วิธีออกแบบและวิธีการคำนวณวงจรทบทระดับแรงดัน

3.2.1 วงจร Boost Converter ประกอบด้วย

1. ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดันเพื่อกรองแรงดันด้านขาเข้าและขาออกให้เรียบ มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดและรักษาระดับไฟฟ้าด้านออกให้คงที่
2. มอสเฟต (Mosfet) ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ไฟเข้าสู่โหลดโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณควบคุม โดยมอสเฟตที่ใช้เป็นเพาเวอร์มอสเฟต เบอร์ IRFP450
3. ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลดช่วยกรองและป้องกันการกระชากของกระแสในช่วงที่ Mosfet turn off
4. ไดโอด (D) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ Free wheeling Diode ในช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระแสทำให้กระแสวิ่งผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง

3.2.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่า L ที่มีค่ามากกว่าค่า L_{\min} ได้จากการคำนวณนั้น ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

- f_s : ความถี่การสวิตช์
 D : ดิวตี้ไซเคิล
 R : โหลดความต้านทาน

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลองมีดังนี้

- $f_s = 25$ kHz
 $D = 0.3$
 $R = 10$ โอห์ม

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.1 จะได้

$$L_{\min} = \frac{\frac{1}{3} \times (1 - \frac{1}{3})^2 \times 10}{2 \times 25000} = 296 \mu\text{H}$$

จะเลือกใช้ $L = 800 \mu\text{H}$

3.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)

การหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของ Boost Converter สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C = \frac{D}{rRf_s} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$r = \frac{\Delta V_o}{V_o} \quad (3.3)$$

- r : ค่าแฟคเตอร์คลื่นละลอก (ปกติ $r < 2\%$)
กำหนดให้ r มีค่าเท่ากับ 1%

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

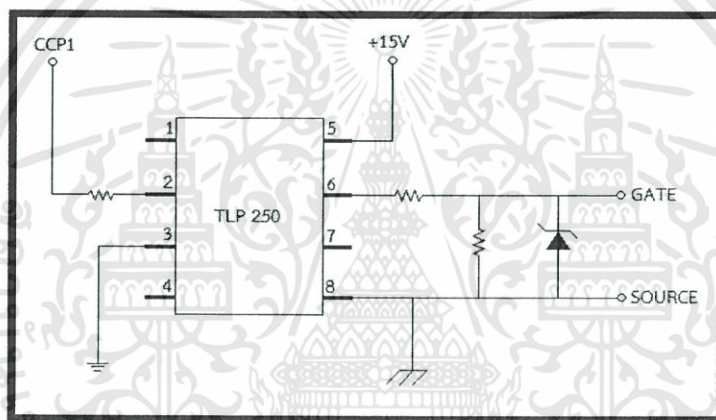
เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

$$C = \frac{1}{0.01 \times 10 \times 25000} = 133 \mu\text{F}$$

ในโครงการนี้เลือกใช้ $C = 470 \mu\text{F}$

3.3 ชุดขับมอสเฟต (Driving Mosfet)

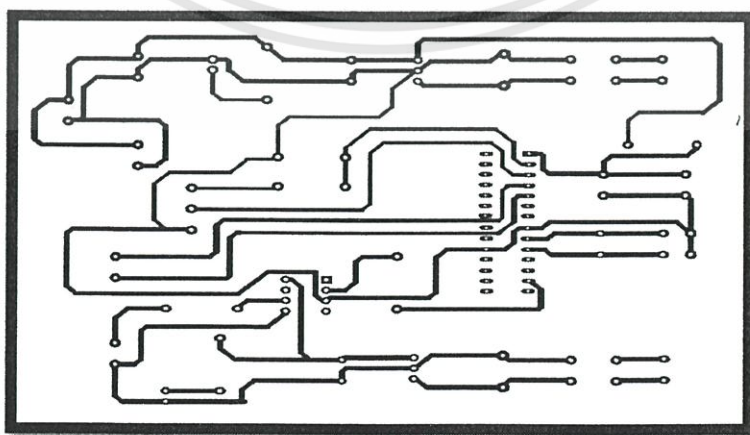
ชุดขับมอสเฟตนี้ใช้ IC เบอร์ TLP 250 จำนวน 8 ขา เป็นวงจรขับมอสเฟตชนิดหนึ่ง ซึ่งจะรับสัญญาณ Pulse (Duty cycle) ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่ขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งสัญญาณไปขับมอสเฟต



รูป 3.2 IC เบอร์ TLP 250

3.4 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4.1 ออกแบบลายวงจรสร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม Protel 99Se ดังรูป



รูป 3.3 ออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99Se

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 18F2620 ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

3.4.2.1 ประมวลผลสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมส่งไปยังวงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter)

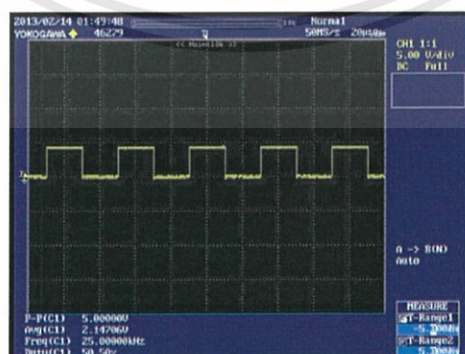
3.4.2.2 สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับมอเตอร์ของตัวไอซี TLP250 ส่งไปยังวงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter) ซึ่งวงจรชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงรูปดังนี้



รูป 3.4 ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4.3 ผลการทดลองการวัดสัญญาณของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

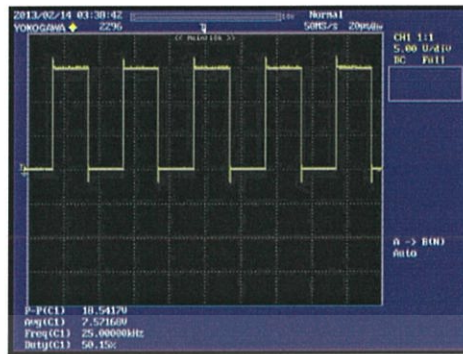
3.4.3.1 สัญญาณ PWM จาก PIC 18F2620 ดังรูป



รูป 3.5 ลักษณะของสัญญาณที่ออกจาก PIC 18F2620 เป็นสัญญาณ PWM และกำหนดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

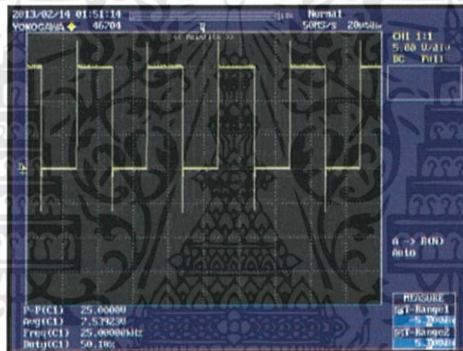
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.1 สัญญาณจากตัว TLP 250 เพื่อขับสัญญาณขาเกตที่มอสเฟต (Mosfet)



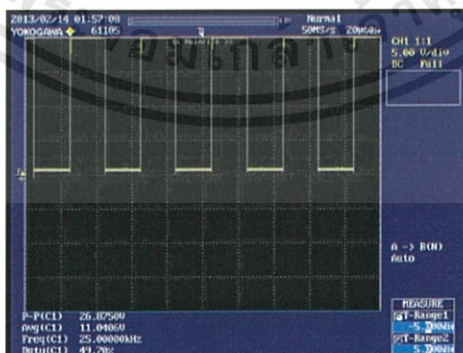
รูป 3.6 ลักษณะสัญญาณของตัวไอซี TLP 250 Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.4.3.2 สัญญาณที่ตำแหน่งขาเกตของมอสเฟต



รูป 3.7 ลักษณะของสัญญาณที่ขาเกตของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

3.4.3.3 สัญญาณที่ตำแหน่งขาเดรนของมอสเฟต

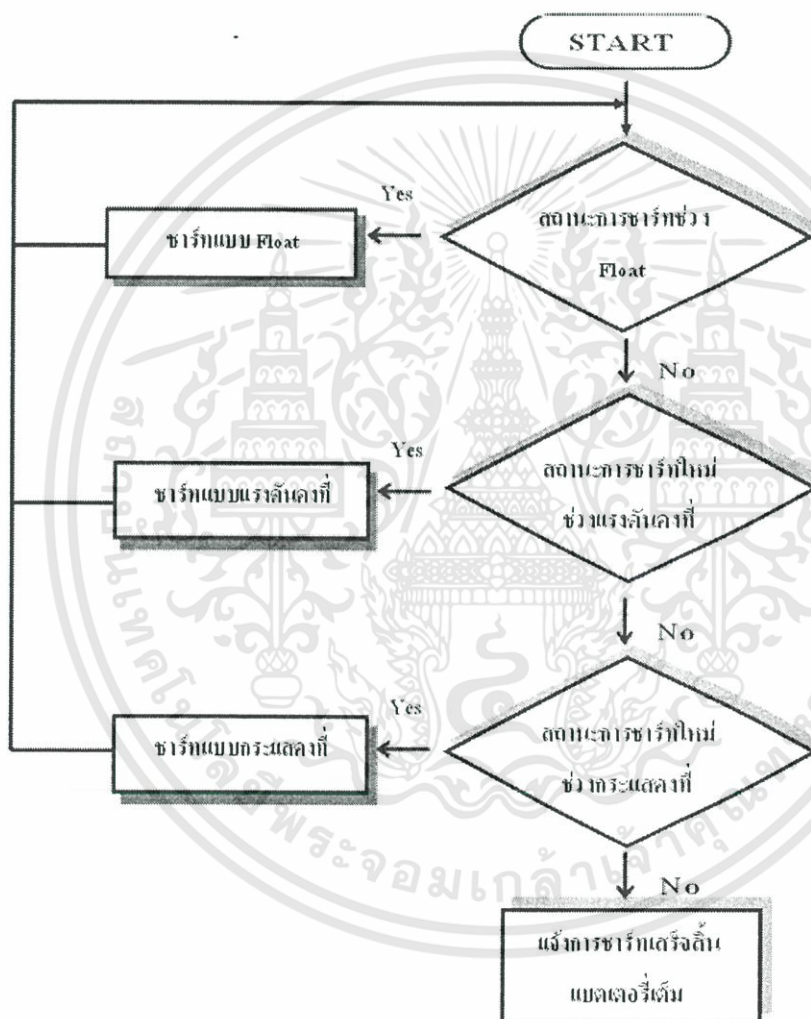


รูป 3.8 ลักษณะของสัญญาณที่ขาเดรนของมอสเฟต วัดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณ PWM ที่ออกมาจาก PIC 18F2620 ซึ่งกำหนดค่า Duty Cycle 50% ที่ความถี่ 25 kHz โดยที่แรงดันสูงสุดคือ 5 โวลต์ และต่ำสุดคือ 0 โวลต์ ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปเข้าไอซี Photocoupler TLP250 เพื่อขยายสัญญาณ และการแยกกราวด์ทางไฟฟ้าจากวงจรควบคุม

รูปที่ 3.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ผ่านไอซี TLP 250 แล้วจะได้สัญญาณที่มีความถี่เท่าเดิม แต่ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้น เพื่อขับขาเกตของมอสเฟตในวงจรกำลัง ส่วนรูปที่ 3.7 และ 3.8 จะเป็นการแสดงลักษณะสัญญาณที่ขาเกต และขาเดรนของมอสเฟต ตามลำดับ



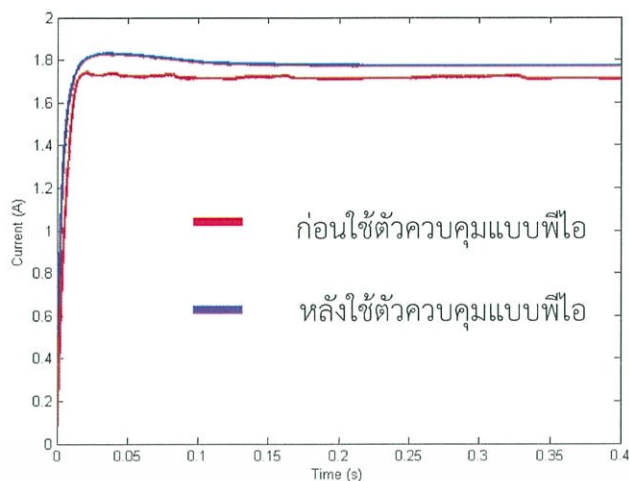
3.5 ไดอะแกรม (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

3.5.1 เริ่มต้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบเช็คขั้นตอนการทำงานในสถานการณ์ประจุช่วง Float Charge ก่อนโดยทำการเช็คเงื่อนไขว่าหากแรงดันอยู่ในช่วงดังกล่าวให้ทำการประจุแบบ Float Charge หากไม่ใช่ให้ทำงานในขั้นต่อไป

3.5.2 จากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจเช็คขั้นตอนการทำงานในสถานะการประจุช่วง โหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยทำการเช็คเงื่อนไขว่าหากแรงดันอยู่ในช่วงดังกล่าวให้ทำการประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage) หากไม่ใช่ให้ทำงานในขั้นตอนต่อไป

3.5.3 เมื่อโปรแกรมสั่งการให้ประจุในช่วง โหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) แล้วจะทำการตรวจสอบขั้นตอนการทำงานในสถานะการประจุช่วง โหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยทำการเช็คเงื่อนไขว่าหากกระแสและแรงดันอยู่ในช่วงดังกล่าวหรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำการประจุแบบ โหมดกระแสคงที่ (Constant Current) หากไม่ใช่ ระบบจะแจ้งการประจุเสร็จสิ้นแสดงว่าการประจุ แบตเตอรี่เต็มพิกัดแล้ว

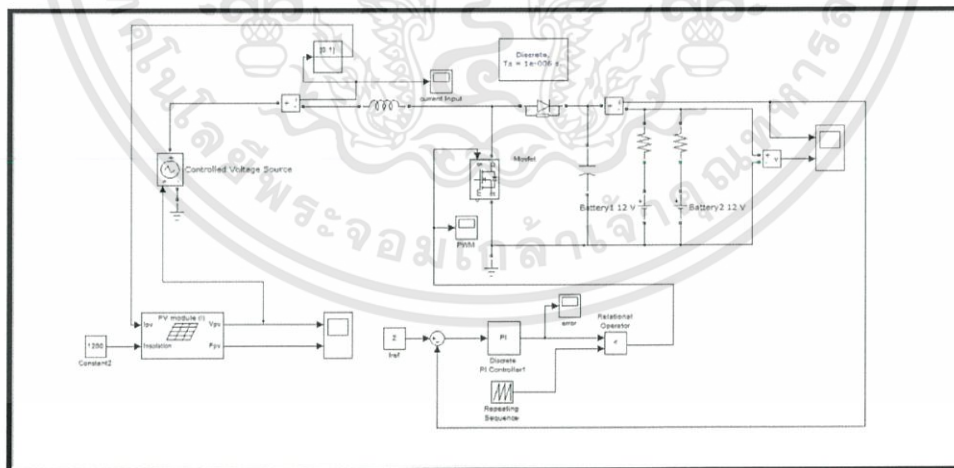




รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ได้จากวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ก่อนทำการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอและหลังจากการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ กรณี Load $R = 20$ โอห์ม

จะเห็นได้ว่า เหตุผลที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอในโหมดของกระแสคงที่นั้นเนื่องมาจากกระแสขาออกที่ต้องการมีค่าไม่ถึงค่าที่ต้องการและระบบไม่มีความเสถียร จึงต้องใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อควบคุมให้ระบบเป็นไปตามที่ต้องการให้ได้มากที่สุด และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (Steady state error) จะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไออีกด้วยทำให้ระบบหลังการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอมีความเสถียรและคงที่ ซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ที่เราต้องการ

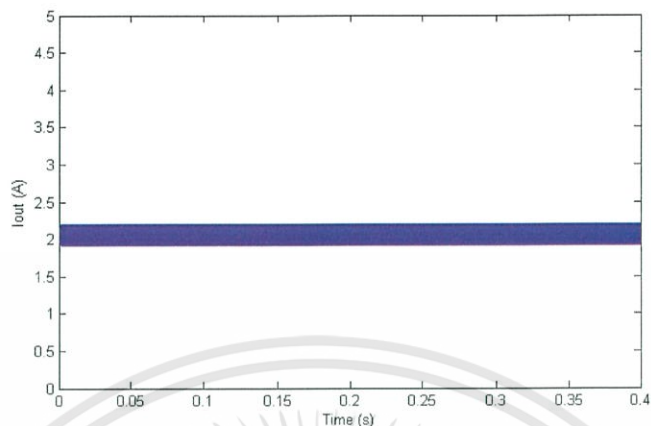
จากนั้นทำการต่อแบตเตอรี่เข้าในวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ในระบบจำลองจะได้วงจรตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 2 แอมป์ กรณีโหลดแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน

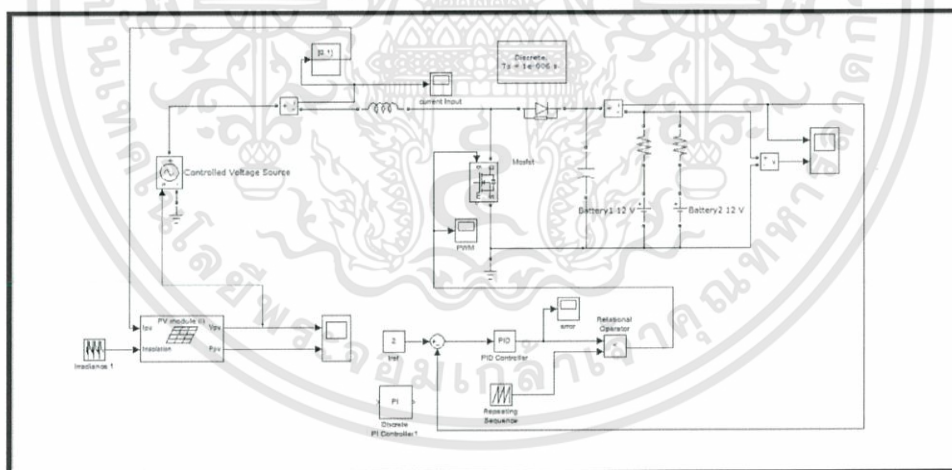
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน ในโหมดกระแสคงที่มีค่าคงที่ตามที่เรารต้องการ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 2 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)

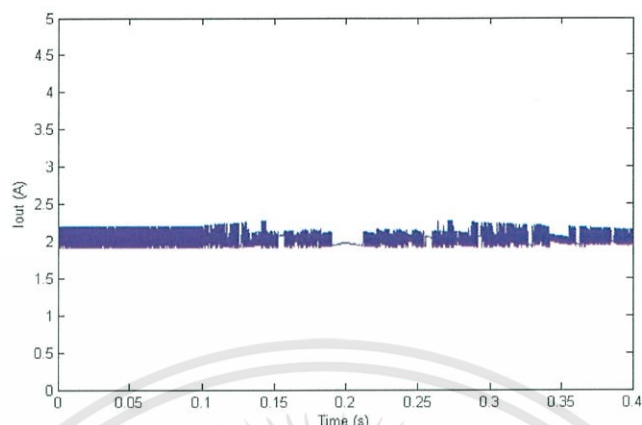
จากนั้นทำการจำลองเปลี่ยนค่าของความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนพลังงานแสง จากดวงอาทิตย์ให้มีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน จะได้วงจรจำลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กราฟของกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเป็นความเข้มแสงที่มีค่าแตกต่างกันดังนี้

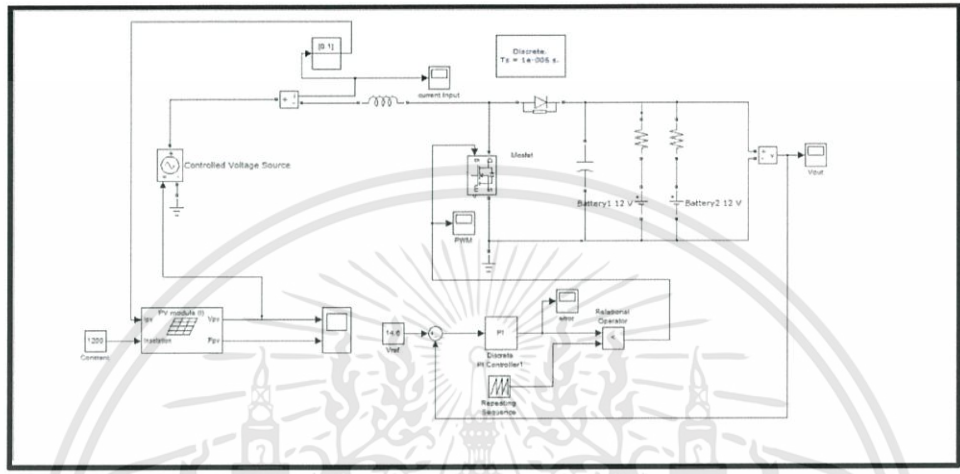


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับเวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current) และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไปนั้น ระบบยังสามารถที่จะควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อให้กระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 2 แอมป์

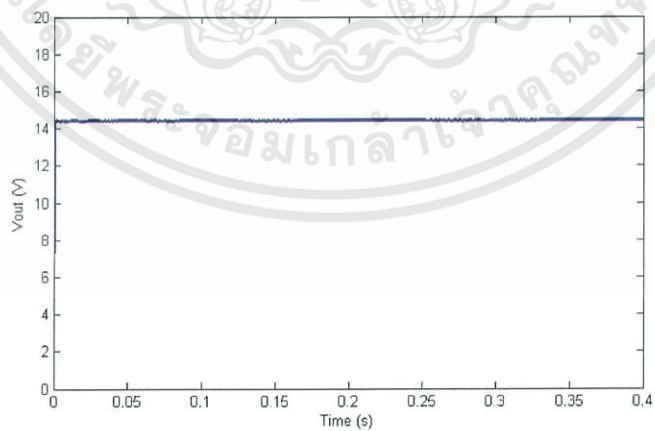
4.3 การควบคุมระบบวงจรประจุแบตเตอรี่โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

จำลองวงจรการประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ โดยใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอและทำการกำหนดแรงดันอ้างอิง (Vref) มีค่าเท่ากับ 14.6 โวลต์ เพื่อให้ได้แรงดันขาออกเพื่อประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 14.6 โวลต์ เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.7 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 14.6 โวลต์ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน

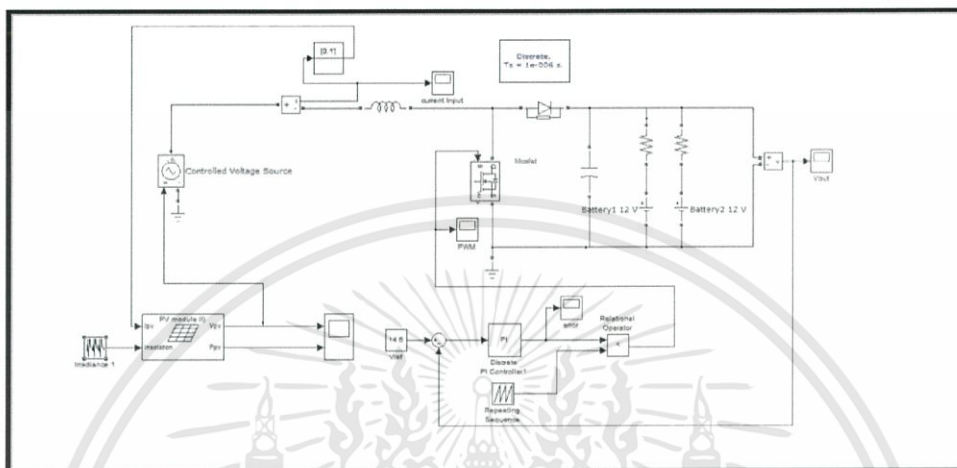
ทำการจูนค่า K_p และ K_i โดยใช้วิธีการจูนด้วยมือ ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ กับ เวลาของระบบดังรูป



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 14.6 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

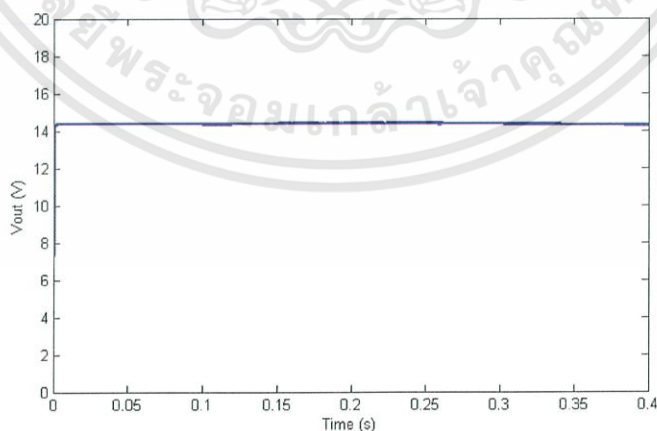
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบพีไอจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยได้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแรงดันสำหรับประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน และเมื่อทำการจำลองเปลี่ยนค่าของความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้มีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน จะได้วงจรจำลองดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 วงจรจำลองของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ กรณี Load Battery 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ

จะได้กราฟของแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเป็นความเข้มแสงที่มีค่าแตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage) และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไป ระบบยังสามารถที่จะควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อให้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบ

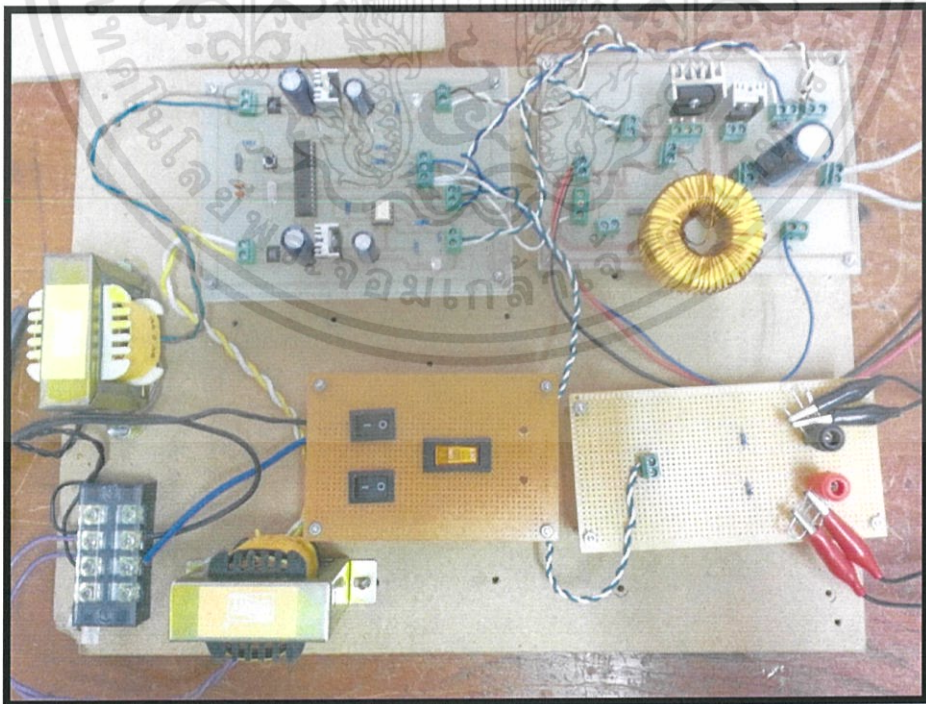
5.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 3 ช่วงของการประจุ คือในช่วงแรกการประจุโดยควบคุมกระแสคงที่ และช่วงที่ 2 และ 3 เป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบ

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | | |
|-------|---|-----------------|
| 5.2.1 | แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline 80 วัตต์ | จำนวน 1 แผง |
| 5.2.2 | เครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับประจุแบตเตอรี่
ด้วยวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุม | จำนวน 1 บอร์ด |
| 5.2.3 | แบตเตอรี่ PANASONIC ชนิดตะกั่ว-กรด
พิกัดแรงดัน 12 V 7.5 Ah/20 HR | จำนวน 2 ก้อน |
| 5.2.4 | Digital Oscilloscope รุ่น DT 1620 พร้อมกับ
โพรบวัดกระแส (Probe Current) | จำนวน 1 เครื่อง |
| 5.2.5 | มัลติมิเตอร์รุ่น Fluke | จำนวน 1 เครื่อง |

5.3 วงจรที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลอง



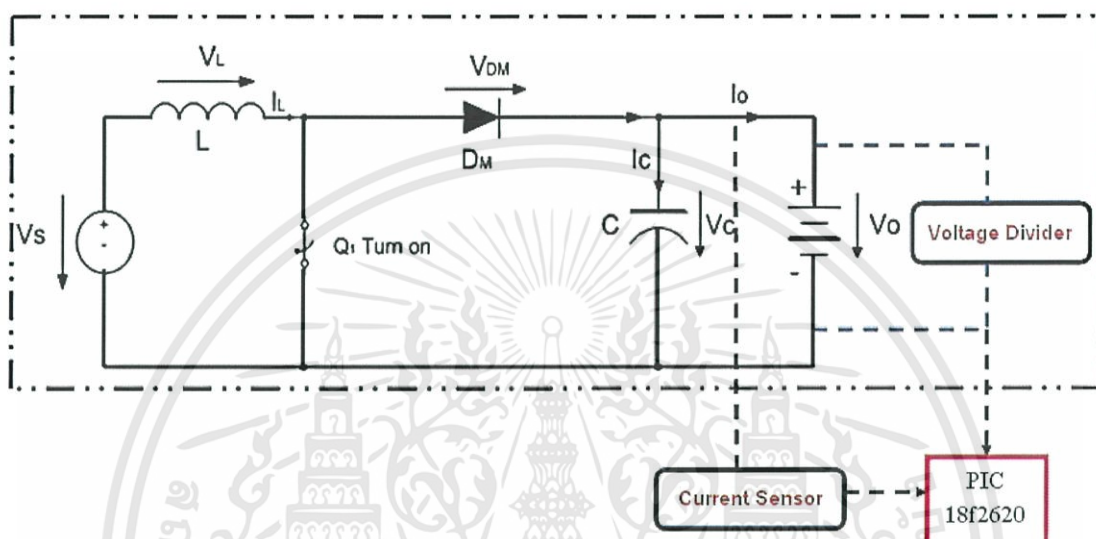
รูปที่ 5.1 วงจรต้นแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่

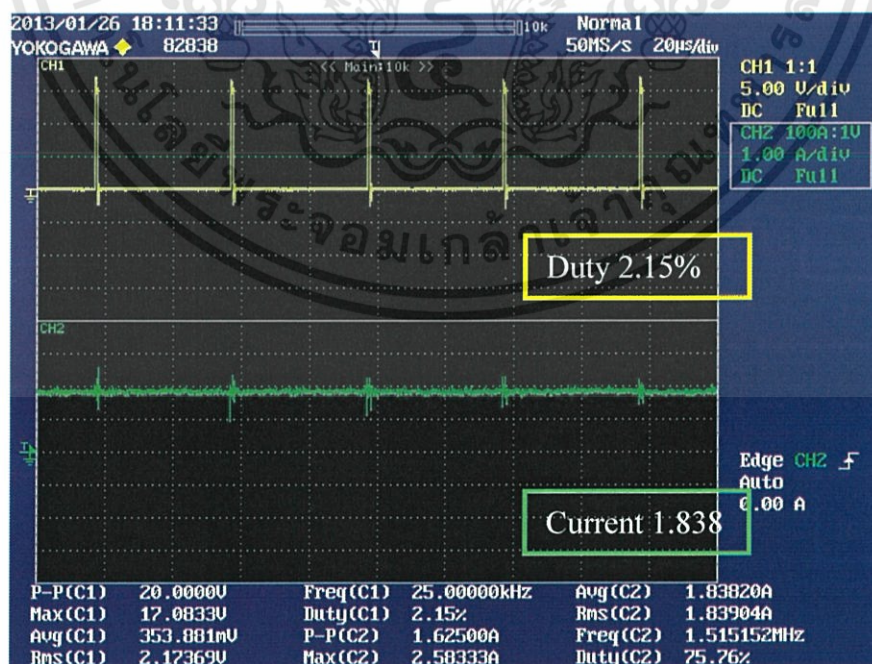
5.4.1 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)

การประจุในโหมดนี้เป็นการประจุในโหมดเริ่มต้นของการประจุ โดยจะจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 2 แอมป์ ในช่วงของแรงดันของแบตเตอรี่ขณะประจุไม่เกิน 14 โวลต์ ในทุกๆ ความเข้มแสง



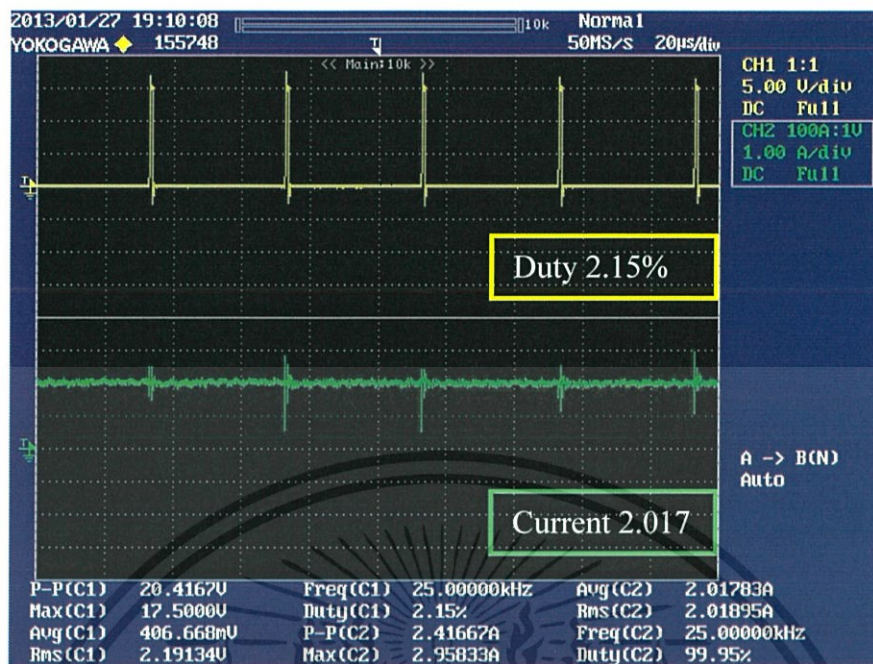
รูปที่ 5.2 จุดวัดแรงดัน และกระแสประจุแบตเตอรี่

5.4.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ Constant Current

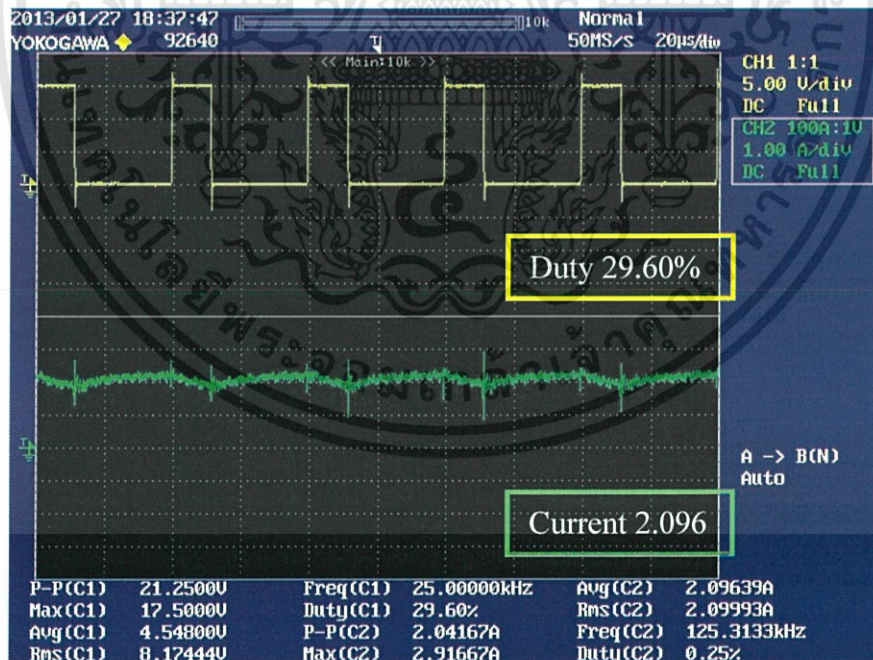


รูปที่ 5.3 ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไซเคิล ณ ความเข้มแสง 57,000 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

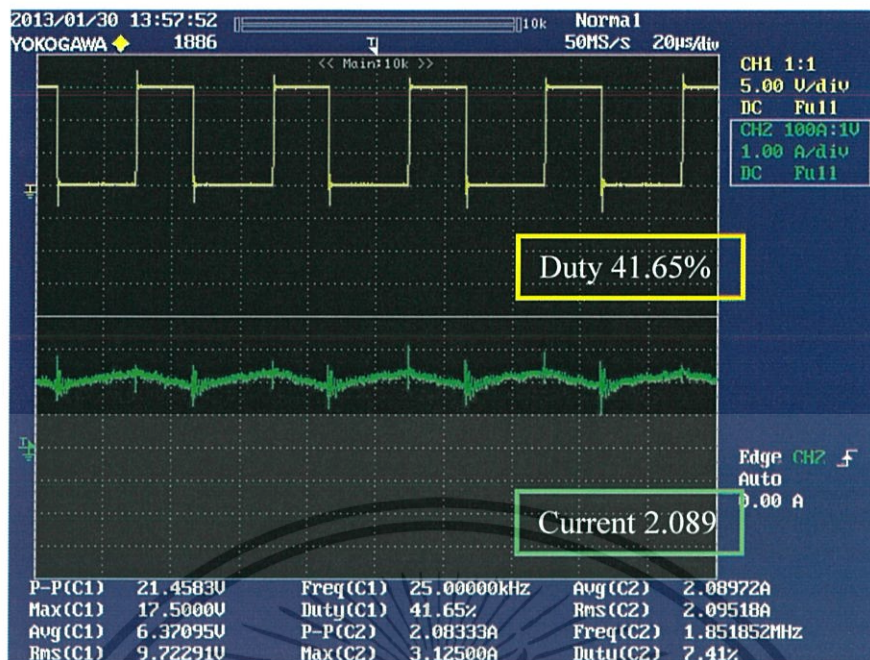


รูปที่ 5.4 ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิฟฟิเฟนเชียล ณ ความเข้มแสง 67,000 ลักซ์



รูปที่ 5.5 ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิฟฟิเฟนเชียล ณ ความเข้มแสง 90,000 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



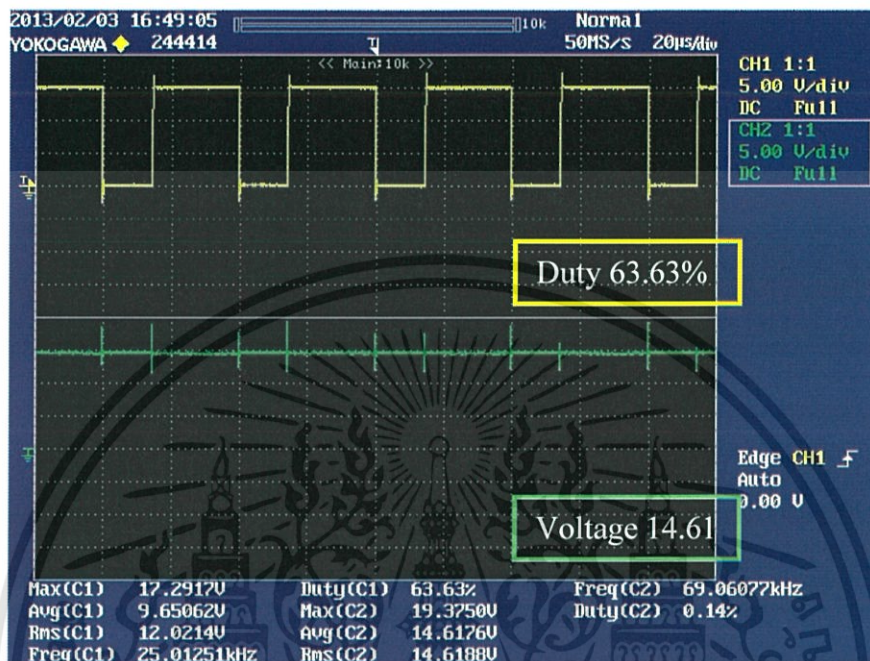
รูปที่ 5.6 ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตีไซเคิล ณ ความเข้มแสง 140,000 ลักซ์

สรุปผลการทดลองในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)

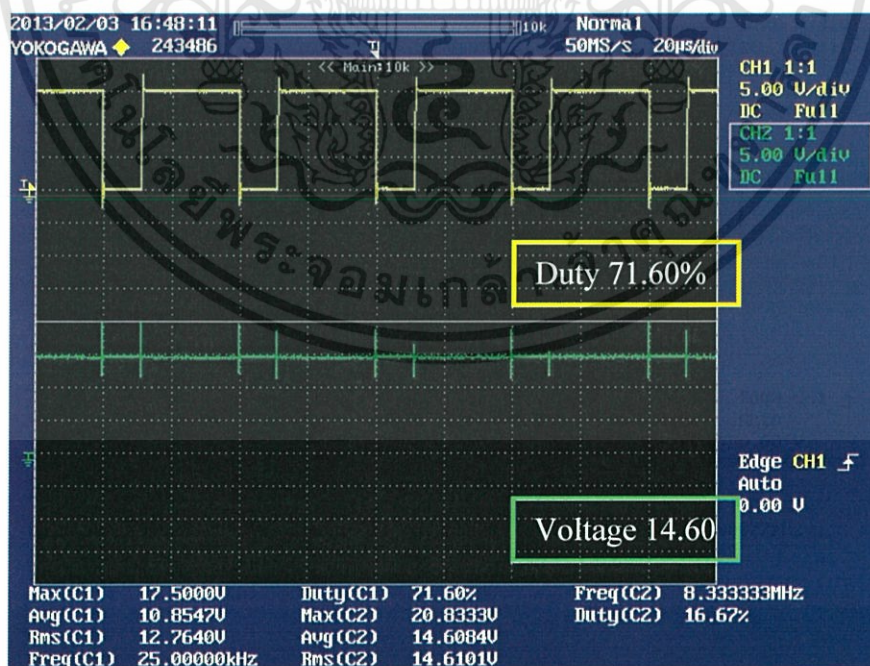
จากกราฟผลการทดลองในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับกระแสขาออกของวงจรประจุแบตเตอรี่ ที่ค่าความเข้มแสง 57,000 , 67,000 , 90,000 และ 140,000 ลักซ์ ตามลำดับ สรุปได้ว่า เมื่อค่าความเข้มแสงลดลง มีผลทำให้ค่าดิวิตีไซเคิลมีค่าน้อยลงดังสมการ $V_o = \frac{V_s}{1-D}$ ซึ่งทำให้เห็นว่าเมื่อค่าดิวิตีไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่ากระแสขาออกมีค่าลดลง ดังนั้น เมื่อความเข้มแสงมีค่ามากดิวิตีไซเคิลจะเพิ่มขึ้นเพื่อไม่ให้กระแสขาออกจากวงจรประจุแบตเตอรี่มีค่ามากเกินไปกว่า 2 แอมป์ ในทางกลับกันเมื่อความเข้มแสงมีค่าน้อย จะทำให้ดิวิตีไซเคิลมีค่าน้อยลงเพื่อควบคุมให้กระแสขาออกที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่โดยมีค่าประมาณ 2 แอมป์ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

5.4.2 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

การประจุแบตเตอรี่ในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะประจุมีค่า 14.6 โวลต์ และทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 14.6 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง

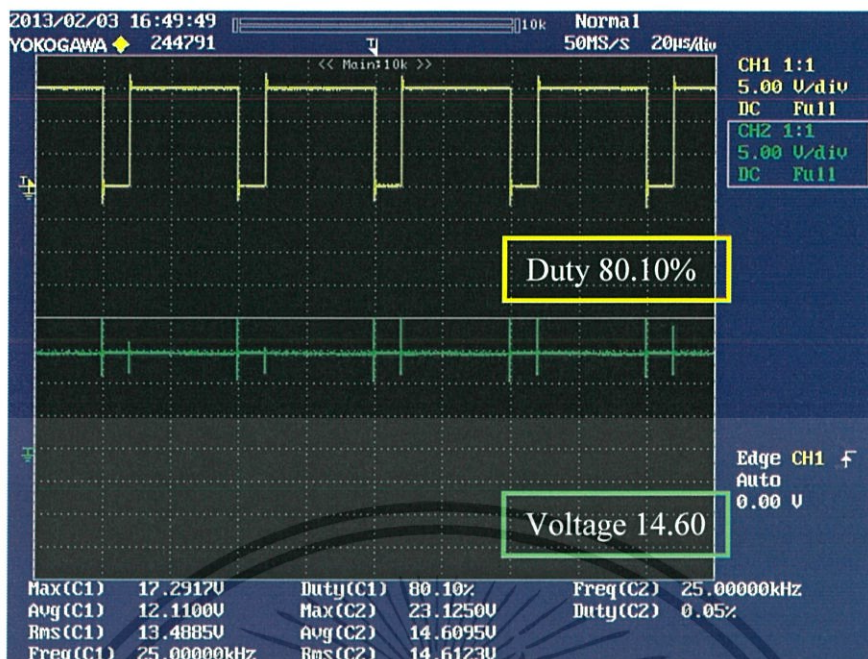


รูปที่ 5.7 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 78,000 ลักซ์



รูปที่ 5.8 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวตี้ไซเคิล ณ ความเข้มแสง 95,000 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



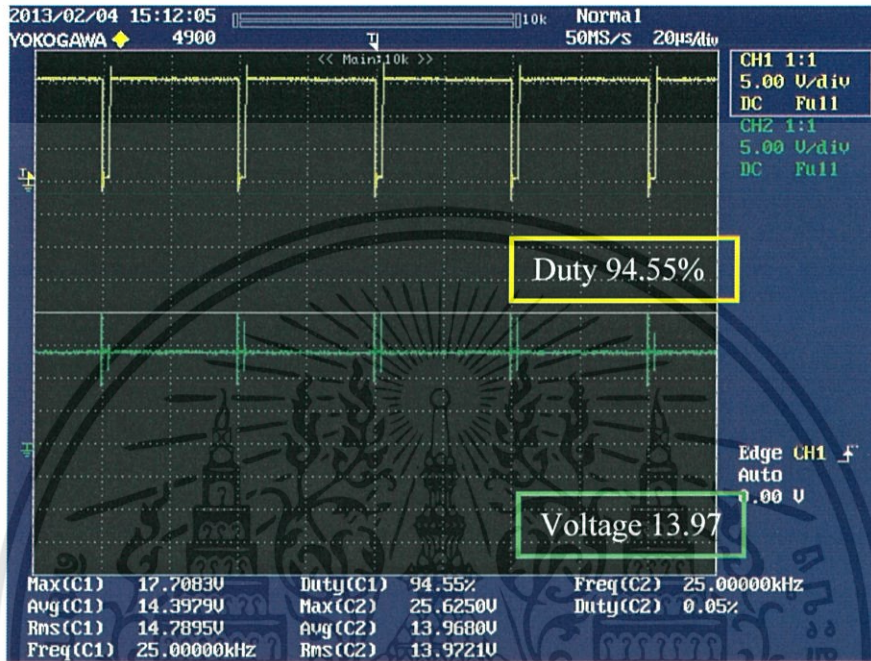
รูปที่ 5.9 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวิตีไซเคิล ณ ความเข้มแสง 112,000 ลักซ์

สรุปผลการทดลองในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

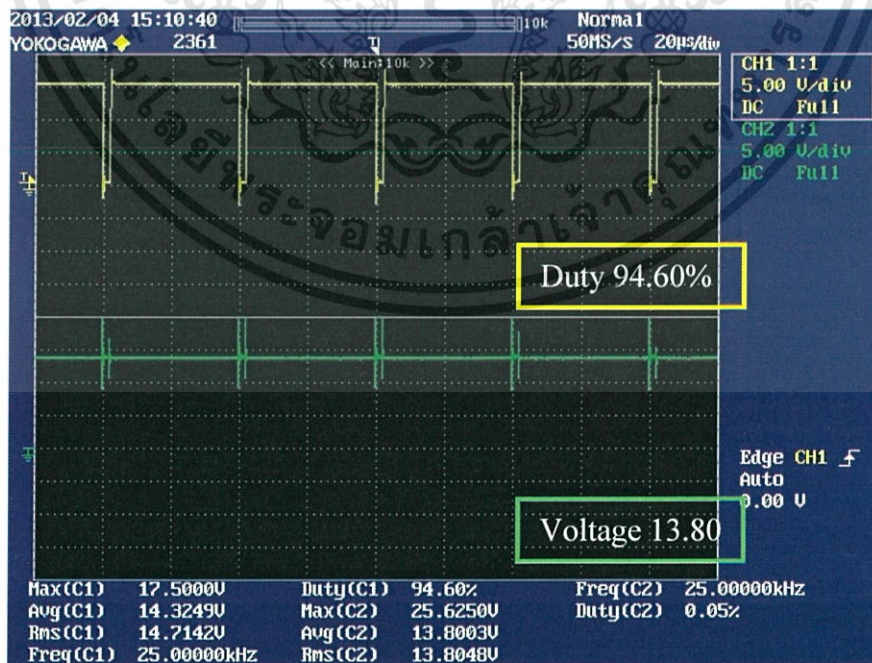
จากกราฟผลการทดลองในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับแรงดันขาออกของวงจรประจุแบตเตอรี่ ในช่วงความเข้มแสง 78,000 , 95,000 , 112,000 ลักซ์ ตามลำดับพบว่า เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง มีผลให้ค่าดิวิตีไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการ $V_o = \frac{V_s}{1-D}$ ทำให้เห็นว่าเมื่อ ค่าของดิวิตีไซเคิล มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เนื่องจากคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช่แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ ซึ่งถ้าค่าของดิวิตีไซเคิลมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_s) มีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเมื่อของดิวิตีไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_s) จะลดลง ส่งผลให้แรงดันลดลงด้วย จนถึงค่าดิวิตีไซเคิลค่าหนึ่งที่ทำให้ได้แรงดันมีค่าประมาณค่าของแรงดันอ้างอิงจากการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งมีค่าประมาณ 14.6 โวลต์

5.4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)

ประจุในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันกระแสขณะประจุมีค่าน้อยกว่า 0.2 แอมป์ โดยแรงดันขณะประจุจะลดลงจึงทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 13.83 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง และประจุด้วย state นี้จนแบตเตอรี่เต็ม



รูปที่ 5.10 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและคิวิตซ์เคิล ณ ความเข้มแสง 55,000 ลักซ์



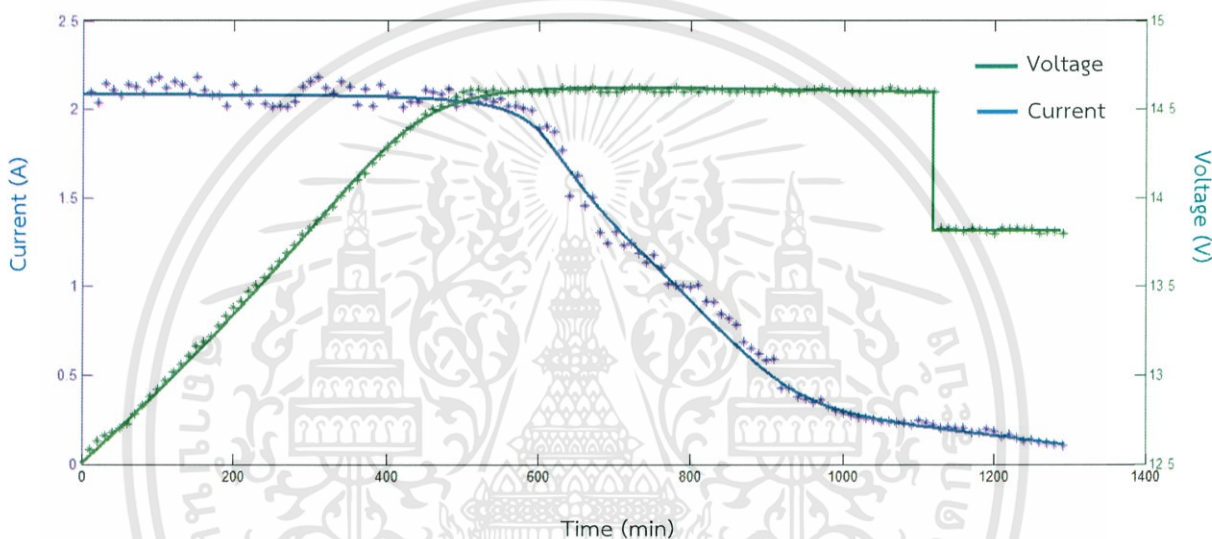
รูปที่ 5.11 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและคิวิตซ์เคิล ณ ความเข้มแสง 75,000 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)

การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้ที่ค่าความเข้มข้น 55,000 , 75,000 , 80,000 , 126,000 ลักซ์ตามลำดับ แรงดันที่ได้ในช่วงค่าความเข้มข้นดังกล่าว มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งมีค่าประมาณ 13.83 โวลต์ โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้ควบคุมพีไอควบคุมให้มีค่าแรงดันประมาณ 13.8 โวลต์ ยกเว้นในกรณีที่ค่าความเข้มข้นมีค่าน้อยมาก จะทำให้ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ลดลงเพื่อควบคุมให้ได้แรงดันอ้างอิงมีค่าประมาณ 13.8 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามสมการคุณลักษณะของ กราฟ I-V Curve

5.4.4 ผลการทดลองคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 5.14 ภาพแสดงผลการทดลองคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่ที่ต้องการมีทั้งสิ้น 3 ช่วงของการประจุ โดยจากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่า การประจุในช่วงแรกจะควบคุมกระแสประจุให้คงที่ที่ 2 แอมป์ เมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าได้ 14.6 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปลี่ยนช่วงการประจุไปในช่วงที่ 2 คือการควบคุมที่แรงดันคงที่ที่ 14.6 โวลต์คงที่จนกระทั่งแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ประจุ ส่งผลให้กระแสประจุลดลงจนมีค่าน้อยมาก และเมื่อกระแสประจุมีค่าเหลือเพียง 0.2 แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมจะเปลี่ยนช่วงการประจุเป็นช่วงที่ 3 คือควบคุมให้แรงดันขณะประจุมีค่าคงที่ที่ 13.8 โวลต์ คงที่จนกระทั่งกระแสประจุมีค่าลดลงจนเหลือเพียง 0.1 แอมป์ จึงสิ้นสุดการประจุ

บทที่ 6

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

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

1. การประจุช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) จะมีการจำกัดกระแสสำหรับการประจุที่พิกัด 2 Ah และทำการประจุแรงดันภายในช่วงนี้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะเปลี่ยนช่วงการประจุต่อไปในขณะที่กระแสจะต้องไม่เกินพิกัดและมีค่าคงที่ตลอดช่วงการประจุของขั้นตอนนี้

2. การประจุช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) แรงดันในการประจุมีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ในขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

3. การประจุช่วงแรงดันปกติ (Float Charge) การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้เป็นการอัดประจุประจุในช่วงสุดท้ายเพื่อรักษาระดับแรงดันและกระแสให้มีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อน โดยแรงดันและกระแสในช่วงนี้มีค่าประมาณ 13.8 โวลต์

4. การควบคุมขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่โดยอาศัยวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมจะเห็นว่าการที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ทำให้สามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำงานในช่วงการประจุกระแสและแรงดันในแบตเตอรี่ได้ง่ายโดยการโปรแกรมข้อมูลด้วยภาษาซีเพื่อควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละช่วง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 จากผลการทดลอง กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสจากการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) พบว่า กราฟของกระแสที่ค่าประมาณ 2 แอมป์ จะเกิดกระแสระลอกคลื่น (Ripple) เนื่องจากความถี่สวิตซิง (Switching frequency) ในโครงงานที่ใช้มีค่าเท่ากับ 25KHz ถ้าต้องการให้กระแสในขณะที่ประจุแบตเตอรี่มีค่ากระแสระลอกคลื่น (Ripple) น้อยลงสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุ (Capacitor)

6.2.2 ในขณะที่ทำการทดลองเครื่องประจุแบตเตอรี่ควรตรวจสอบขั้นตอนการทำงาน กระแส และแรงดัน จากเครื่องประจุแบตเตอรี่ให้แน่ชัดเพื่อไม่ส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายเนื่องจากกระแสและแรงดันเกินจากพิกัดของขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้

6.2.3 การทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ควรเริ่มการทำงานที่วงจรภาคควบคุมก่อน จากนั้นจึงเปิดการทำงานของวงจรภาคกำลังตามลำดับเพื่อป้องกันการลัดวงจรภายใน

6.2.4 ระบบระบายความร้อนในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเหมาะสมกับขนาดของอุปกรณ์ เนื่องจากการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานานจึงควรมีการติดตั้งตัวระบายความร้อน (Heatsink) ในโครงการ

6.2.5 ในขณะที่นำแบตเตอรี่จากการทดลองมาทำการคายประจุ (Discharge) ออก เพื่อใช้ในการทดลองอีกครั้ง ควรตรวจสอบแรงดันในการคายประจุให้เหมาะสมเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป

6.3 แนวทางในการพัฒนา

6.3.1 จากโครงการ ผู้ที่จะนำไปพัฒนาต่อควรเพิ่มระบบป้องกันอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ เพราะในขณะที่ทำการทดลองในที่โล่งแจ้งจะส่งผลให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงเกินไป เป็นเหตุให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

6.3.2 จากการทดลองของผู้วิจัย ชุดตรวจจับกระแสที่ใช้คือ ACS 712 เป็นชุดตรวจจับกระแสเพื่อส่งผ่านข้อมูลกลับไปยังหน่วยประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต A/D ยังมีค่าคลาดเคลื่อนบ้างและอ่านค่าไม่ละเอียดพอ ดังนั้นกลุ่มของผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้ชุดตรวจจับกระแสแบบอื่นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

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” *International 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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่ 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อนต่อขนานกัน จำกัดกระแส 2 A

Time (minute)	Voltage terminal (V _{avg})	Current (A _{avg})	Lighting (Lux)
10	12.58	2.098	987
20	12.63	2.035	1010
30	12.66	2.146	958
40	12.68	2.110	870
50	12.70	2.080	960
(1hr) 60	12.73	2.140	920
70	12.78	2.130	740
80	12.83	2.090	810
90	12.88	2.160	604
100	12.92	2.180	592
110	12.92	2.120	640
(2hr) 120	12.97	2.160	614
130	13.02	2.140	620
140	13.06	2.090	650
150	13.11	2.180	697
160	13.16	2.110	690
170	13.19	2.082	870
(3hr) 180	13.22	2.078	820
190	13.28	2.016	872
200	13.33	2.140	850
210	13.38	2.080	980
220	13.42	2.030	1003
230	13.47	2.110	850
(4hr) 240	13.51	2.031	990
250	13.55	2.014	978
260	13.60	2.021	820
270	13.64	2.010	860
280	13.69	2.045	780
290	13.73	2.130	787
(5hr) 300	13.79	2.160	920
310	13.83	2.180	850
320	13.87	2.120	956
330	13.91	2.090	940

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (minute)	Voltage terminal (Vavg)	Current (Aavg)	Lighting (Lux)
340	14.01	2.160	860
350	14.06	2.130	874
(6hr) 360	14.10	2.023	850
370	14.14	2.114	860
380	14.20	2.019	920
390	14.24	2.140	1003
400	14.29	2.078	1020
410	14.32	2.090	1060
(7hr) 420	14.36	2.014	1058
430	14.40	2.040	1035
440	14.43	2.045	1136
450	14.47	2.110	1039
460	14.50	2.097	1008
470	14.52	2.086	1085
(8hr) 480	14.55	2.114	980
490	14.57	2.021	996
500	14.60	2.034	1004
เข้าสู่การเปลี่ยนโหมดการประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage)			
510	14.61	2.086	1022
520	14.61	2.040	1006
530	14.60	2.062	820
(9hr) 540	14.61	2.045	930
550	14.60	2.064	980
560	14.60	2.021	1027
570	14.60	2.018	1002
580	14.61	2.006	920
590	14.60	1.992	990
(10hr) 600	14.60	1.890	860
610	14.60	1.901	872
620	14.60	1.875	1023
630	14.62	1.768	1035
640	14.61	1.509	1024
650	14.61	1.623	1027
(11hr) 660	14.61	1.453	996
670	14.62	1.505	1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (minute)	Voltage terminal (Vavg)	Current (Aavg)	Lighting (Lux)
680	14.60	1.302	794
690	14.60	1.245	820
700	14.60	1.309	943
710	14.61	1.233	976
(12hr) 720	14.62	1.244	1020
730	14.62	1.189	850
740	14.61	1.132	990
750	14.60	1.175	1002
760	14.60	1.103	820
770	14.60	1.012	860
(13hr) 780	14.62	1.009	780
790	14.60	1.001	978
800	14.61	0.998	820
810	14.60	1.005	697
820	14.61	0.917	780
830	14.61	0.908	874
(14hr) 840	14.61	0.845	990
850	14.60	0.823	1010
860	14.60	0.786	976
870	14.61	0.687	954
880	14.60	0.653	1024
890	14.60	0.619	1035
(15hr) 900	14.61	0.583	1020
910	14.62	0.592	920
920	14.60	0.429	740
930	14.60	0.426	810
940	14.60	0.378	1028
950	14.61	0.367	964
(16hr) 960	14.61	0.346	840
970	14.62	0.359	930
980	14.61	0.325	997
990	14.60	0.302	940
1000	14.60	0.288	1022
1010	14.60	0.276	1020
(17hr) 1020	14.60	0.266	1017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (minute)	Voltage terminal (Vavg)	Current (Aavg)	Lighting (Lux)
1030	14.60	0.257	1023
1040	14.60	0.251	1002
1050	14.61	0.238	987
1060	14.62	0.241	930
1070	14.61	0.233	860
(18hr) 1080	14.60	0.231	787
1090	14.60	0.220	997
1100	14.61	0.243	940
1110	14.60	0.232	958
1120	14.60	0.221	877
1130	13.83	0.200	787
เข้าสู่การเปลี่ยนโหมดการประจุแบบแรงดันปกติ (Float)			
(19hr) 1140	13.83	0.209	964
1150	13.82	0.203	1023
1160	13.81	0.200	1002
1170	13.83	0.180	980
1180	13.82	0.178	997
1190	13.81	0.194	930
(20hr) 1200	13.80	0.187	960
1210	13.83	0.156	940
1220	13.82	0.165	890
1230	13.83	0.148	960
1240	13.82	0.130	882
1250	13.82	0.135	787
(21hr) 1260	13.80	0.126	840
1270	13.81	0.118	780
1280	13.81	0.110	780
End Charge	13.80	0.103	780

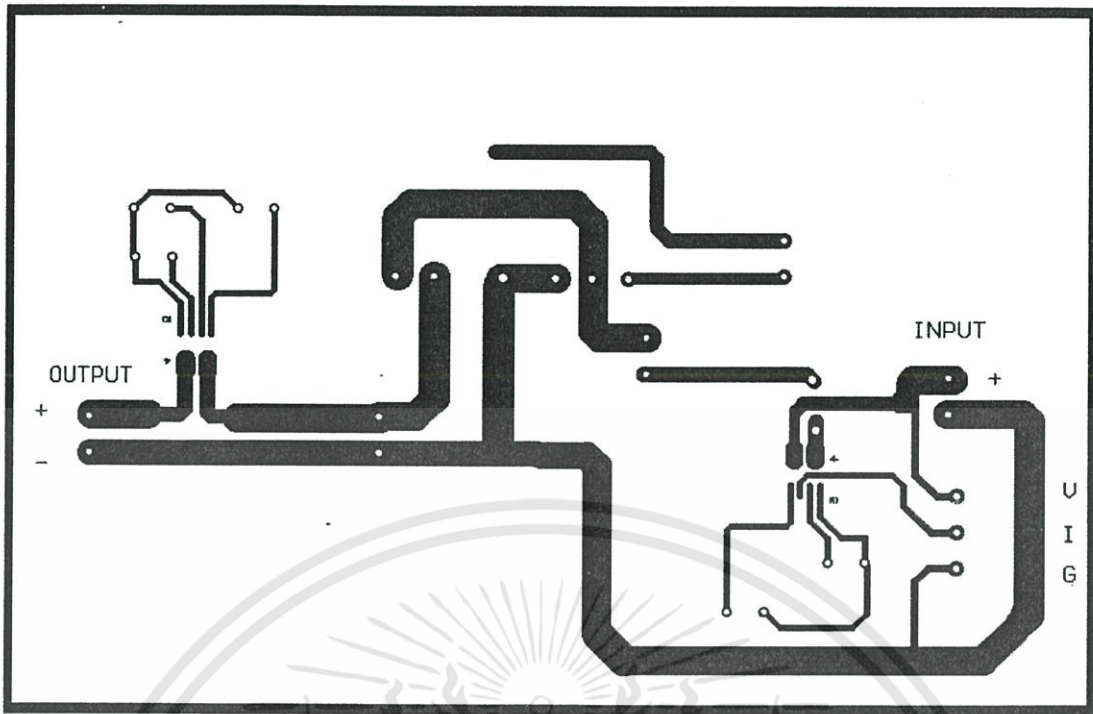
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



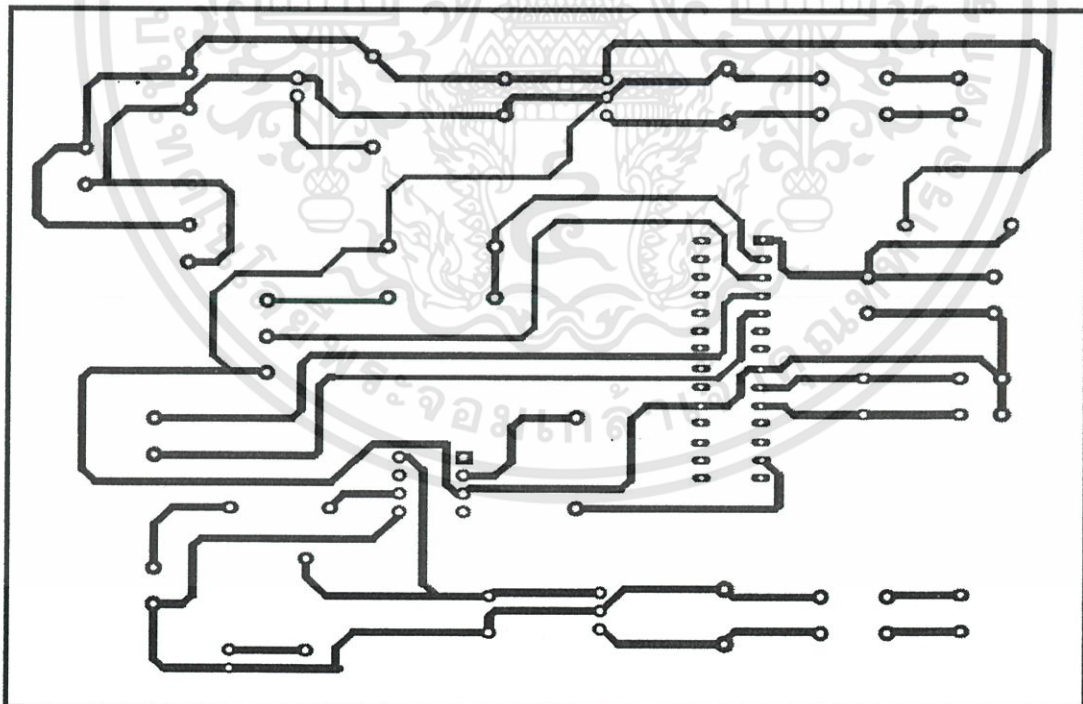
ภาคผนวก

ข การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99 se

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การออกแบบวงจรภาคกำลังด้วยโปรแกรม Protel 99 Se



การออกแบบวงจรภาคควบคุมด้วยโปรแกรม Protel 99 Se

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมกระแสและแรงดันคงที่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

Constant Current and Voltage Charger for Solar Energy Systems

นิรันพร จิระจิตต์มีชัย ปรกรณ์ จารุพงศา ประภาศิต อังคะนาวิณ ประสิทธิ์ ศักดิ์สิทธิ์านภาพ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: sua-ss@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการควบคุมแบบกระแสและแรงดันคงที่ (Constant Current Constant Voltage, CCCV) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการประจุแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดขนาด 12V7.5Ah จำนวน 2 ก้อนและใช้เทคนิคการควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral controller, PI) เพื่อออกแบบควบคุมระบบแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

Abstract

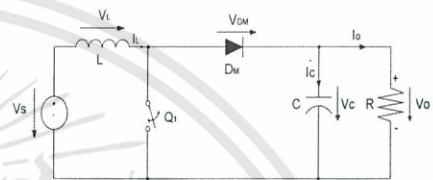
This project presents the design of battery charger by using Constant Current Constant Voltage (CCCV) technique. The developed system is applied for charging two 12 V 7.5 Ah lead-acid batteries. The proposed control method adopts Proportional-Integral Controller (PI) in feedback control. The main advantage of this technique is that the voltage and current can be controlled to be suitable for each period of charging.

1. บทนำ

จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการสะสมพลังงานในแบตเตอรี่เนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีกระแสและแรงดันไม่คงที่ในโครงการนี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมกระแสและแรงดันให้คงที่และเหมาะสมในโหมดการประจุของแบตเตอรี่ในแบบ three stage charge [1] ซึ่งเป็นเทคนิคการประจุที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ PI [2] เทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการประจุแบตเตอรี่และส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้นกว่าการประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรตามรอยกำลังสูงสุดโดยใช้วงจรทระดับแรงดัน (Boost Converter)



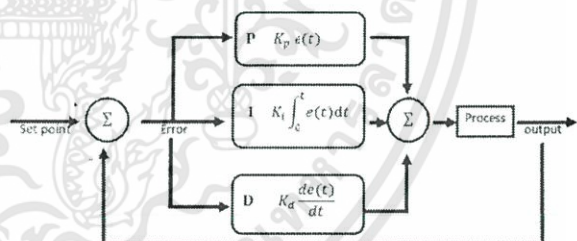
รูปที่ 1 วงจรสมมูลของวงจรทระดับแรงดัน

หลักการการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าตามต้องการ ณ สภาวะคงตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับศูนย์และสามารถหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันด้านเอาต์พุต ดังสมการ

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

(1)

2.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative Controller)



รูปที่ 2 ระบบวงรอบปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเอาต์พุตจากตัวแปรอ้างอิงจะได้ค่าความผิดพลาดเพื่อนำเข้าสู่ตัวควบคุมเพื่อให้ได้ตัวแปรใหม่ไปปรับแต่งค่าเอาต์พุตตามต้องการ

ในโครงการนี้จะใช้เทคนิคการปรับจูนด้วยมือในการควบคุมข้างต้น

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

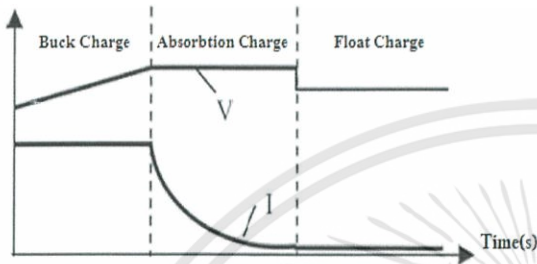
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \quad (3.1)$$

2.4 การควบคุมการประจุแบตเตอรี่

เทคโนโลยีการประจุแบตเตอรี่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรกไม่มีความซับซ้อน โดยใช้การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ ในปัจจุบัน เครื่องประจุแบตเตอรี่จะมีตัวควบคุมภายในเพื่อสามารถแสดงผล แรงดันของแบตเตอรี่ , อุณหภูมิ และเวลาที่ต้องใช้ในการประจุเพื่อใช้ในการพิจารณากระแสและแรงดันในขณะนั้น

Voltage, Current



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่แบบ Three State Charge

ช่วงที่ 1 Bulk Charge

ขั้นแรกของการประจุ จะใช้ระดับแรงดันและกระแสสูงสุดในระดับที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการโอเวอร์ฮีต(Overheat)

ช่วงที่ 2 Absorption Charge

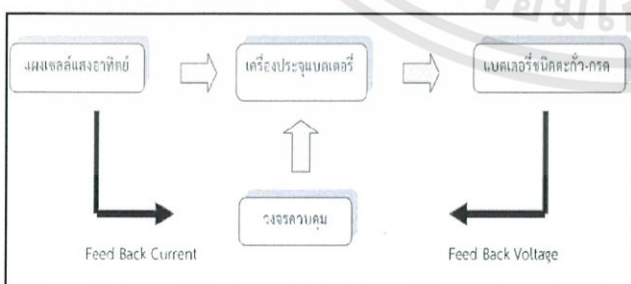
เครื่องประจุแบตเตอรี่ จะวัดค่าแรงดันและความต้านทานของแบตเตอรี่ เมื่อสถานะการอัดประจุถึงประมาณ 80% การประจุจะเข้าสู่ช่วง Absorption Charge ในช่วงนี้จะเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่ ในขณะที่กระแสจะลดลงเพื่อทำให้เกิดการประจุ โดยไม่เกิดการโอเวอร์ฮีต

ช่วงที่ 3 Float Charge

เครื่องประจุบางตัวจะเข้าสู่ช่วง Float Charge ที่สถานะการอัดประจุถึงประมาณ 85% แต่ส่วนใหญ่ จะอยู่ที่สถานะการอัดประจุประมาณ 95% การประจุช่วงนี้จะเป็นการทำให้ประจุแบตเตอรี่ได้เต็มความจุ

3. การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 ส่วนประกอบหลักของชุดวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 4 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่า L ที่มีค่ามากกว่า L_{min} ได้จากการคำนวณนั้น ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

เมื่อ D : คิวดีไซเคิล

R : โหลดความต้านทาน โดยที่ค่าต่างๆ ในการทดลอง มีดังนี้

$f_s = 25 \text{ kHz}$

$D = 0.3$

$R = 10 \text{ โอห์ม}$

$L_{min} = \frac{\frac{1}{3} \times (1 - \frac{1}{3})^2 \times 10}{2 \times 25000} = 296 \mu\text{H}$ เลือกใช้ $L = 800 \mu\text{H}$

3.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ

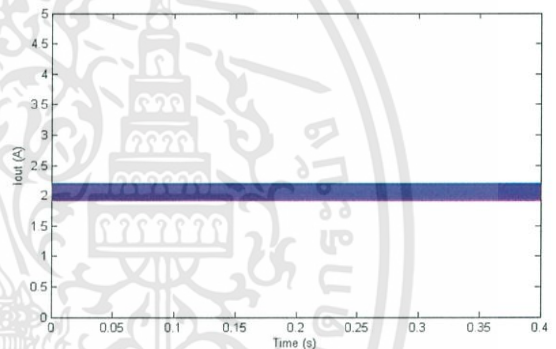
$$C = \frac{D}{rRf_s} \quad (3.2)$$

เมื่อ r : ค่าเฟคเตอร์คลื่นระลอกมีค่าเท่ากับ 1 %

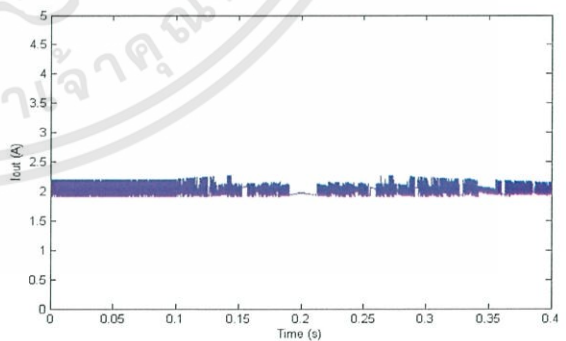
ดังนั้นการคำนวณค่า C ที่ได้จะเท่ากับ $133 \mu\text{F}$ เลือกใช้ $C = 470 \mu\text{F}$

4. ผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ในช่วงการประจุแบบกระแสคงที่(Constant Current)



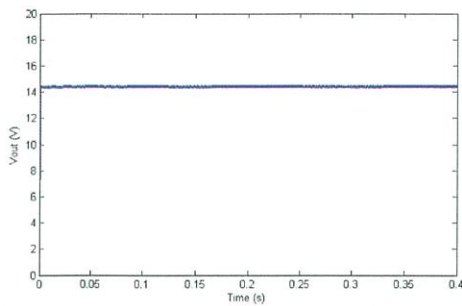
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดกระแสอ้างอิงเท่ากับ 2 แอมป์ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current)และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ

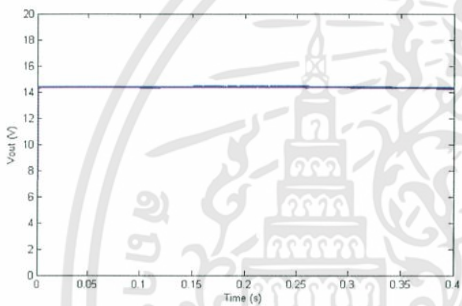
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกำหนดแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 14.6 โวลต์ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage)

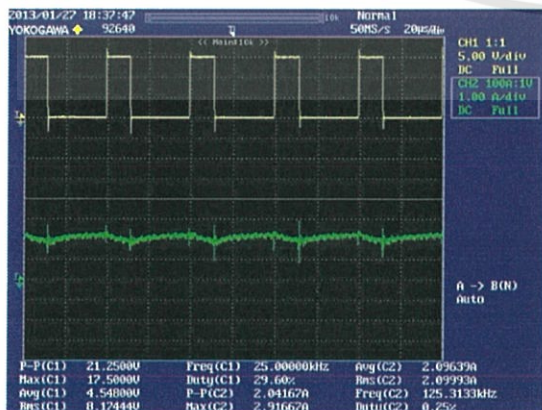
จากรูปจะเห็นว่าระบบที่ใช้การควบคุมแบบพีไอจะได้อผลตอบสนองตามที่ต้องการ โดยได้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแรงดันสำหรับประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ต่อกันแบบขนาน กับ เวลา โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) และกำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายแทนแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 85,000 ลักซ์ , 110,000 ลักซ์ , 90,000 ลักซ์ และ 70,000 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถึงแม้ว่าค่าความเข้มแสงที่เป็นแหล่งจ่ายมีค่าแตกต่างกันไป ระบบยังสามารถที่จะควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อให้แรงดันขาออกที่ใช้ประจุแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

5. ผลการทดลองการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

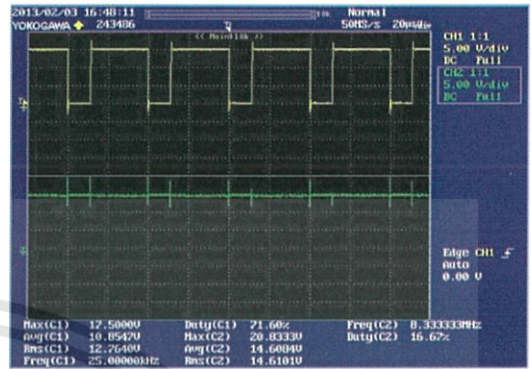
5.1 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงกระแสคงที่ (Constant Current)



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงสัญญาณของกระแสและดิวิตซ์เซลล์ ความเข้มแสง 90,000 ลักซ์

การประจุในโหมดนี้เป็นการประจุในโหมดเริ่มต้นของการประจุ โดยจะจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 2 แอมป์ ที่ช่วงของแรงดันของแบตเตอรี่ขณะประจุไม่เกิน 14 โวลต์ ในทุกๆความเข้มแสง

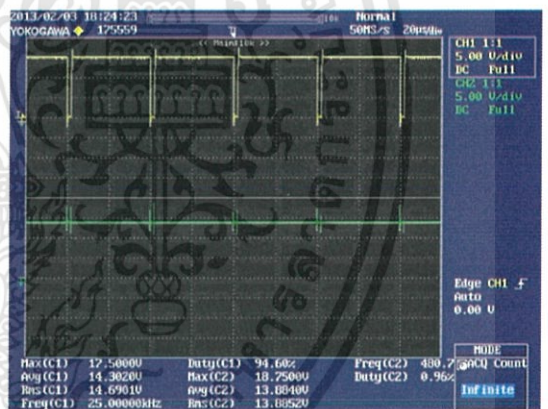
5.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage)



รูปที่ 5.2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวิตซ์เซลล์ ความเข้มแสง 95,000 ลักซ์

การประจุแบตเตอรี่ในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะประจุมีค่า 14.6 โวลต์ และทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 14.6 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสง

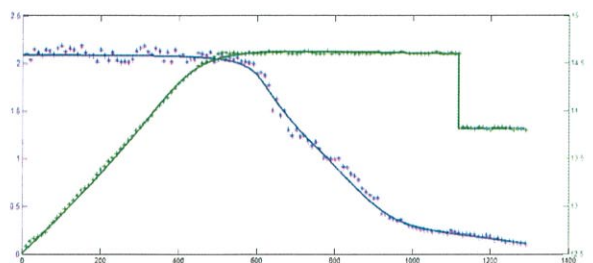
5.2 ผลการทดลองการประจุแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันปกติ (Float Charge)



รูปที่ 5.3 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดันและดิวิตซ์เซลล์ ความเข้มแสง 80,000 ลักซ์

ประจุในโหมดนี้จะเริ่มเมื่อแรงดันกระแสขณะประจุมีค่าน้อยกว่า 0.2 แอมป์ โดยแรงดันขณะประจุจะลดลงจึงทำการจำกัดแรงดันประจุแบตเตอรี่ให้คงที่ที่ 13.83 โวลต์ ทุกช่วงของความเข้มแสงและประจุด้วย state นี้จนแบตเตอรี่เต็ม

5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่ที่ต้องการมีทั้งสิ้น 3 ช่วงของการประจุ โดยจากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่า การประจุในช่วงแรกจะควบคุมกระแสประจุให้คงที่ที่ 2 แอมป์ เมื่อแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าได้ 14.6 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปลี่ยนช่วงการประจุไปในช่วงที่ 2 คือการควบคุมที่แรงดันคงที่ที่ 14.6 โวลต์ คงที่จนกระทั่งแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ประจุ ส่งผลให้กระแสประจุลดลงจนมีค่าน้อยมาก และเมื่อกระแสประจุมีค่าเหลือเพียง 0.2 แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการควบคุมจะเปลี่ยนช่วงการประจุเป็นช่วงที่ 3 คือควบคุมให้แรงดันขณะประจุมีค่าคงที่ที่ 13.8 โวลต์ คงที่จนกระทั่งกระแสประจุมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.1 แอมป์ จึงสิ้นสุดการประจุ

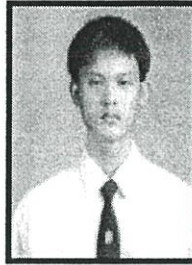
6. บทสรุป

1. การประจุช่วงกระแสคงที่ (Constant Current) จะมีกาจำกัดกระแสสำหรับการประจุที่พิกัด 2 Ah และทำการประจุแรงดันภายในช่วงนี้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะเปลี่ยนช่วงการประจุต่อไปในขณะที่กระแสต้องไม่เกินพิกัดและมีค่าคงที่ตลอดช่วงการประจุของขั้นตอนนี้
2. การประจุช่วงแรงดันคงที่ (Constant Voltage) แรงดันในการประจุมีค่าประมาณ 14.6 โวลต์ ในขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ
3. การประจุช่วงแรงดันปกติ (Float Charge) การประจุแบตเตอรี่ในช่วงนี้เป็นการอัดประจุในช่วงสุดท้ายเพื่อรักษาระดับแรงดันและกระแสให้มีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.5 Ah จำนวน 2 ก้อน โดยแรงดันและกระแสในช่วงนี้มีค่าประมาณ 13.8 โวลต์

บรรณานุกรม

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

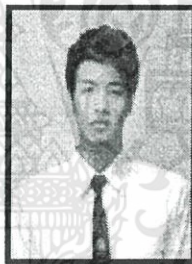
ประวัติผู้เขียน



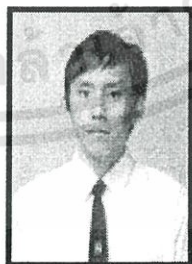
ชื่อ - นามสกุล นายปรกรณ์ จารุพงศา
วัน เดือน ปีเกิด 23 มิถุนายน พ.ศ. 2534
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นางสาวนิรัชพร จิระจิตต์มีชัย
วัน เดือน ปีเกิด 9 ตุลาคม พ.ศ. 2533
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นายประกาศิต อังคะนาวิน
วัน เดือน ปีเกิด 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นายประสิทธิ์ สักดิ์สีทาณภาพ
วัน เดือน ปีเกิด 20 กันยายน พ.ศ. 2533
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย 2
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LC-RA127R2

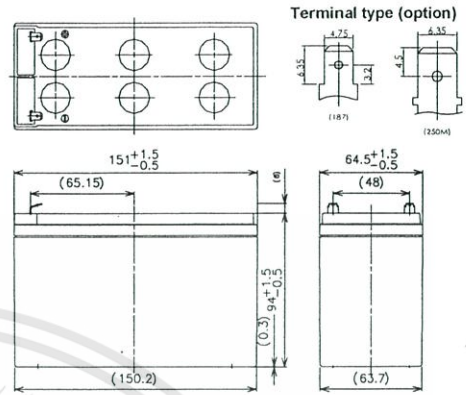
For standby power supplies

Expected trickle life: Approx. 3-5 years at 25°C, approx. 5 years at 20°C



Contents indicated (including the recycle marking, etc) are subject to change without notice.

■ Dimensions(mm)

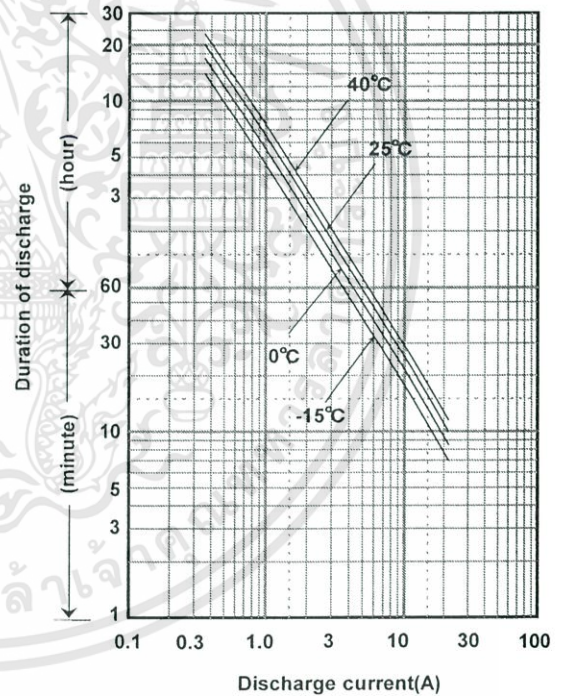


Battery case resin: standard(UL94HB)

■ Specification

Nominal Voltage		12V
Rated Capacity(20HR)		7.2Ah
Dimensions	Length	151 mm
	Width	64.5 mm
	Height	94 mm
	Total height	100 mm
Approx. Mass		2.35 kg
Terminal		Faston 187 & 250M

■ Duration of discharge vs. discharge current



■ Characteristics

Capacity (25 °C)	20 hour rate	7.2Ah
	10 hour rate	6.8Ah
	5 hour rate	6.3Ah
	1 hour rate	4.9Ah
Internal Resistance	Fully charged battery (25 °C)	24 mΩ
Temperature Dependency of Capacity (20 hour rate)	40 °C	102%
	25 °C	100%
	0 °C	85%
	-15 °C	65%
Self Discharge (25 °C)	After 3 months	91%
	After 6 months	82%
	After 12 months	64%

■ Watt Table(25°C)

(Wattage/Battery)

Cut-off V	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	20h	24h
9.6V	433	341	223	170	143	106	75.1	60.1	41.3	32.0	23.8	18.3	15.1	12.1	8.04	4.36	3.64
9.9V	401	320	218	169	140	105	74.7	60.1	40.5	31.7	23.7	18.2	15.0	12.1	8.00	4.34	3.62
10.2V	370	300	213	166	138	104	74.0	58.9	39.7	30.9	23.4	18.0	14.9	12.0	7.92	4.33	3.61
10.5V	329	269	197	154	131	102	72.8	57.7	38.9	29.8	23.1	17.9	14.7	11.8	7.88	4.32	3.60
10.8V	278	237	176	144	128	98	71.6	56.5	37.8	28.4	22.6	17.7	14.4	11.7	7.80	4.30	3.58

■ Ampere Table(25°C)

(Ampere/Battery)

Cut-off V	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	20h	24h
9.6V	38.9	30.6	19.9	14.8	12.3	9.10	6.40	5.10	3.50	2.70	2.00	1.53	1.26	1.01	0.67	0.363	0.303
9.9V	36.1	28.7	19.5	14.7	12.1	9.00	6.36	5.10	3.43	2.68	1.99	1.52	1.25	1.01	0.67	0.362	0.302
10.2V	33.3	26.9	19.0	14.4	11.9	8.90	6.30	5.00	3.36	2.61	1.97	1.51	1.24	1.00	0.66	0.361	0.301
10.5V	29.6	24.1	17.6	13.4	11.3	8.70	6.20	4.90	3.29	2.52	1.94	1.50	1.23	0.99	0.66	0.360	0.300
10.8V	25.0	21.3	15.7	12.5	11.0	8.40	6.10	4.80	3.20	2.40	1.90	1.48	1.20	0.97	0.65	0.358	0.298

โปรดอ่านข้อมูลและข้อกำหนดการใช้งานก่อนใช้ทุกครั้ง และปฏิบัติตามข้อควรระวังอย่างเคร่งครัด

■ Charging Method

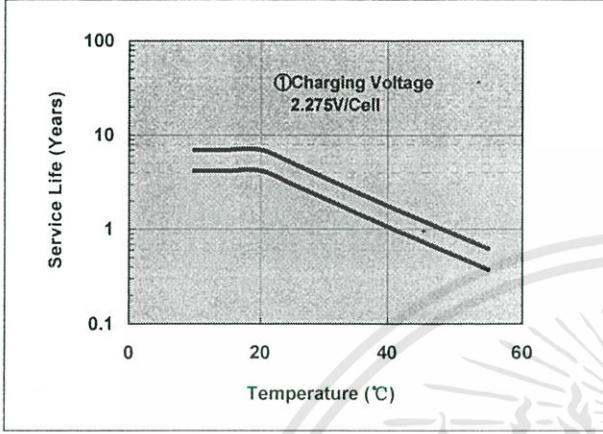
(25°C)

Trickle use	Control voltage:13.6-13.8V;Initial current:1.08A or smaller
-------------	---

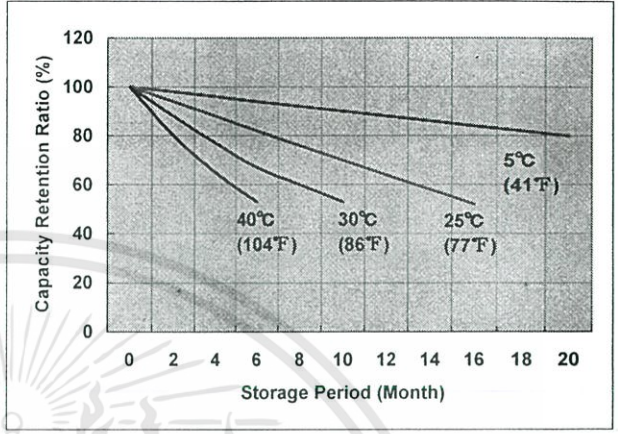
■ Cut off voltage

Discharge current	0.36A-1.44A	1.44A-3.6A	3.6A-7.2A	7.2A-14.4A	14.4A-21.6A
Cut off voltage (V)	10.5	10.2	9.9	9.3	8.7

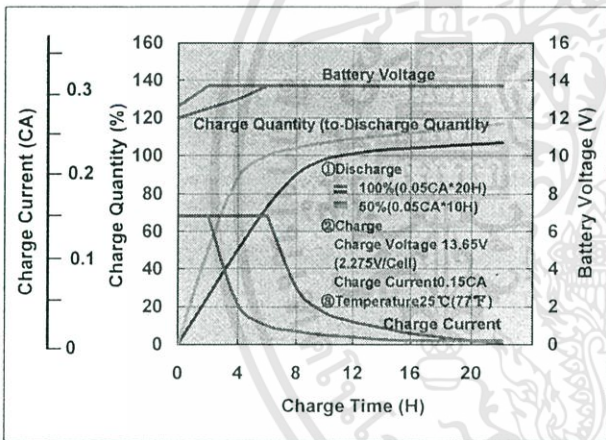
■ Influence of Temperature on Trickle life



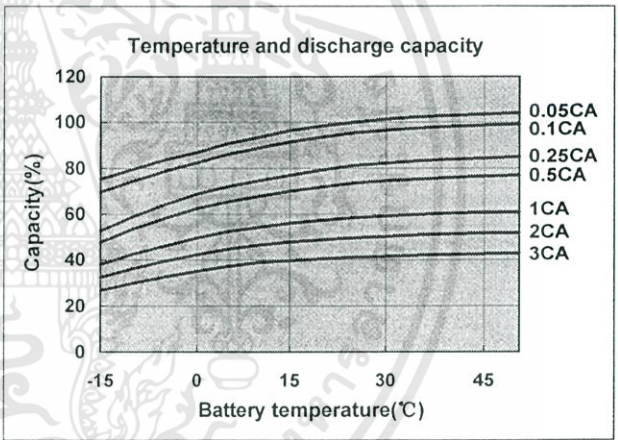
■ Residual capacity test result



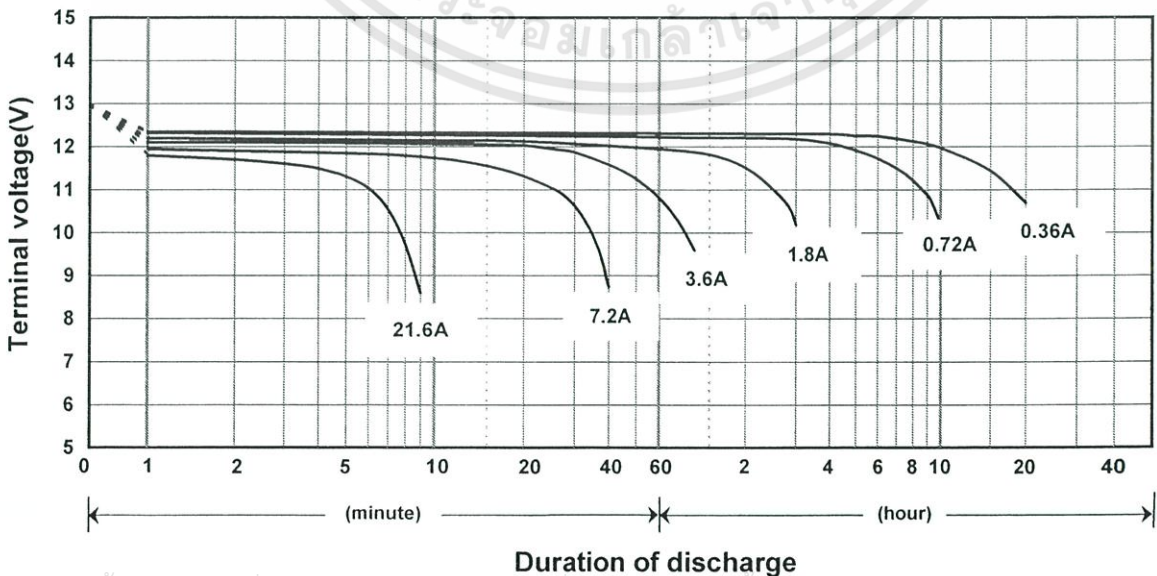
■ Constant-voltage and constant-current charge characteristics



■ Discharge capacity by temperature and by discharge current



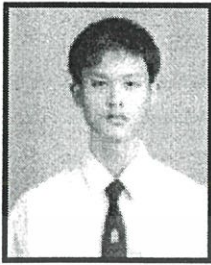
■ Discharge characteristics (25°C)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล นายปรกรณ์ จารุพงศา
วัน เดือน ปีเกิด 23 มิถุนายน พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นางสาวนริชพร จิระจิตต์มีชัย
วัน เดือน ปีเกิด 9 ตุลาคม พ.ศ. 2533

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นายประกาศิต อังคนาวิน
วัน เดือน ปีเกิด 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล นายประสิทธิ์ ศักดิ์สีธาณุภาพ
วัน เดือน ปีเกิด 20 กันยายน พ.ศ. 2533

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย 2

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้