

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าไร้ถังประเภทเสียบปลั๊ก
CHARGER FOR SUPPORTING PLUG-IN PUBLIC ELECTRIC MOTORCYCLES



ปริญญาโทขั้นต้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2554

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก
CHARGER FOR SUPPORTING PLUG – IN PUBLIC ELECTRIC MOTORCYCLES



T121822



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 121822
วัน,เดือน,ปี..... 23 ก.ค. 2555

b 12A10299
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARGER FOR SUPPORTING PLUG – IN PUBLIC ELECTRIC MOTORCYCLES



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2554

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก
CHARGER FOR SUPPORTING PLUG – IN PUBLIC ELECTRIC MOTORCYCLES



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย
รศ.ประภาส ไพรสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2554

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าประเภทเสียบปลั๊ก

ผู้จัดทำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ประภาส ไพรสุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก

นายชาคริต	ทรัพย์เอนกนันต์	
นายเชิดศักดิ์	ยันตะบุศย์	
นายฐิติพงษ์	พองวิฑู	
ผศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ประภาษ	ไพโรสุวรรณา	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง โดยใช้เทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ โดยอาศัยการทำงานของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างพัลส์ด้านบวกและลบ โดยพัลส์ด้านบวกใช้ลักษณะกระแสสูง เพื่อลดระยะเวลาในการชาร์จ สำหรับพัลส์ด้านลบและช่วงพักการชาร์จ จะช่วยให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการชาร์จระหว่างการชาร์จแบบพัลส์ และการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ ซึ่งการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ โดยอาศัยการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อวิเคราะห์การทำงานและเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบขนาด 500 วัตต์ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ช่วยลดระยะเวลาการชาร์จลงได้จาก 720 นาที เหลือ 250 นาที โดยใช้ความถี่ในการชาร์จ 25 เฮิรท์ และ ดิวตี้ไซเคิล 0.75 โดยมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าประมาณ $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และเหมาะสมสำหรับการสร้างสถานีชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง

Charger for supporting plug-in public electric motorcycles

Chakrit Sap-aneklan

Cherdsak Yuntaboot

Thitipong Fongwitoo

Asst. Prof. Dr. Surin Khomfoi Supervisor

Assoc.Prof. Prapart Prisuwana Supervisor

Year 2011

Abstract

Pulse charging technique of public electric motorcycle is proposed in this thesis. Pulse charging technique can offer quicker battery charger comparing to conventional constant current technique and lower temperature rise. The half bridge converter configuration is used to perform pulse charging with both positive and negative pulse. The positive pulse charge permits the high peak current charge this will lead to quick charging mode; whereas, the negative pulse and idle state can offer low battery temperature rise. PSIM 9.0.3 is utilized for simulation study and 500w prototype is developed to validate the proposed notion. The simulation and experimental results illustrate that the proposed pulse charging technique requires shorter time to fully charge battery comparing with conventional constant current and constant voltage technique about 3 times at same average charging current. The temperature rise of pulse charging technique is less than a conventional one about $1\text{ }^{\circ}\text{C}$: these can lead to quick charge and long battery lifetime. The results suggest that the proposed technique can be applied for quick public motorcycle charger station.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าไร้จาง สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะ รวมถึงการสนับสนุนจากบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายๆฝ่าย ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและเป็นเกียรติอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และ รศ.ประภาช ไพรสวรรณา ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทางวิจัยทั้งสองท่าน ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ ปรเมษฐ์ จิตเจนการ และพี่ๆปริญญาโท ที่ได้แนะนำและคอยช่วยเหลือในการทำโครงการวิจัยตั้งแต่เริ่มจนจบโครงการวิจัยนี้ จึงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณกระทรวงพลังงานที่ได้ส่งเสริมโครงการนี้ โดยสนับสนุนด้านเงินทุนมูลค่า 40,000 บาท เพื่อใช้ในการศึกษาโครงการนี้ จึงประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy Application Laboratory: REAL) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำโครงการวิจัย ตลอดจนพี่ๆ และเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษา

ท้ายที่สุดนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมาทั้งทางด้านการเงิน คำปรึกษา และให้กำลังใจ จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	X
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน.....	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานพนธ์.....	8
บทที่ 2	10
ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องและผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย.....	10
2.1 บทนำ.....	10
2.2 การทบทวนวรรณกรรม.....	10
2.2.1 วงจรสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบต่างๆ	10
2.2.1.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter)	10
2.2.1.2 วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter).....	11
2.2.1.3 วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse charge).....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 วิธีชาร์จแบตเตอรี่	13
2.2.2.1. ชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current charging)....	13
2.2.2.2. ชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage)	14
2.2.2.3. ชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current –Constant Voltage)	14
2.3 หลักการทำงานของวงจรชาร์จสำหรับงานวิจัย.....	17
2.3.1 วงจรพัลส์ชาร์จ(Pulse charge)	17
2.3.1.1 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ชาร์จด้านบวก (Positive pulse charging mode) ช่วง T_1 - T_2	18
2.3.1.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode) ช่วง T_2 - T_3	20
2.3.1.3 ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode) ช่วง T_3 - T_4	20
2.3.1.4 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode) ช่วง T_4 - T_5	21
2.3.2 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	22
2.3.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	22
2.3.2.2 หลักการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	23
2.3.2.3 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต	28
2.3.3 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์	30
2.3.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.3.3.2 หลักการทำงานของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.3.3.3 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต.....	35
2.4 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส.....	36
2.5 การควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์.....	37
2.5.1 การกำเนิดสัญญาณ PWM.....	37
2.5.2 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การควบคุมการทำงานของวงจรตีซี-ตีซีคอนเวอร์เตอร์.....	40
2.7 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่.....	43
2.7.1 การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยมีการกำหนดขอบเขต.....	43
2.8 ผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย.....	44
2.9 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด.....	50
2.10 ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่.....	53
2.11 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด.....	53
2.11.1 ระดับแรงดันปกติ (Float Charge).....	53
2.11.2 ระดับแรงดันรูนแรง (Equalize Charge).....	54
2.12 ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ (Depth of Discharge: DOD).....	55
2.13 บทสรุป.....	56
บทที่ 3.....	57
การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	57
3.1 บทนำ.....	57
3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	57
3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	58
3.3.1 การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ.....	58
3.3.2 การจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ.....	62
3.3.3 การชาร์จแบบพัลส์.....	66
3.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	70
บทที่ 4.....	71
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ.....	71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 บทนำ.....	71
4.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง.....	71
4.2.1 การออกแบบวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส	71
4.2.2 การออกแบบวงจรกรองของ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส (Filter).....	73
4.2.3 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ สำหรับของเครื่องชาร์จแบบ สองทิศทาง.....	75
4.2.3.1 การออกแบบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์	76
4.2.3.2 การออกแบบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์	77
4.2.4 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์ (Pulse Charge).....	79
4.2.4.1 การเลือกกระแสและแรงดันพัลส์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่.....	83
4.3 การออกแบบวงจรควบคุม.....	83
4.3.1 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง.....	85
4.3.2 ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	86
4.4 ส่วนประกอบวงจรควบคุม.....	87
4.4.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	87
4.4.1.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์.....	87
4.4.1.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์	88
4.4.2 การออกแบบการเขียนโปรแกรม.....	89
4.4.2.1 โหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้ เกิน 8 แอมป์.....	89
4.4.2.2 โหมดอินเวอร์เตอร์.....	89
4.4.2.3 โหมดการชาร์จแบบพัลส์.....	89
4.5 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมดการชาร์จแบบธรรมดา	90

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมดการชาร์จแบบพัลส์.....	92
4.7 ไดอะแกรมการทำงาน (Flow Chart).....	94
4.7.1 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัด กระแสชาร์จไม่เกิน 8 แอมป์.....	94
4.7.2 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ	95
4.7.3 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดชาร์จแบบพัลส์	96
4.5 บทสรุป.....	97
บทที่ 5	99
ผลการทดลอง	99
5.1 บทนำ.....	99
5.2 ผลการทดสอบ	99
5.2.1 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ	99
5.2.2 ผลการทดลองการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ.....	104
5.2.3 ผลการทดลองการชาร์จแบบพัลส์	110
5.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ ระหว่างการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ กับ การชาร์จแบบพัลส์.....	117
5.3.1 เปรียบเทียบการทดลอง.....	117
5.3.2 เปรียบเทียบเวลาในการคายประจุ.....	120
บทที่ 6	122
บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	122
6.1 บทสรุป.....	122
6.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	122
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	123

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	124
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก.....	127
ภาคผนวก ข.....	146
ภาคผนวก ค.....	149
ภาคผนวก ง.....	166
ประวัติผู้เขียน	173



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell) และเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....	2
รูปที่ 1.2	ลักษณะปลั๊กอินแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ของมาตรฐาน “CHAdemo”	4
รูปที่ 2.1	วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter)	11
รูปที่ 2.2	วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter)	11
รูปที่ 2.3	วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse charge).....	12
รูปที่ 2.4	วงจรในงานวิจัย.....	13
รูปที่ 2.5	คุณลักษณะของการชาร์จแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่.....	15
รูปที่ 2.6	วงจรพัลส์ชาร์จ.....	18
รูปที่ 2.7	วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ทำงาน	19
รูปที่ 2.8	วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ไม่ทำงาน	19
รูปที่ 2.9	วงจรดีสชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ทำงาน	21
รูปที่ 2.10	วงจรดีสชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ไม่ทำงาน	21
รูปที่ 2.11	วงจรบูคคอนเวอร์เตอร์.....	22
รูปที่ 2.12	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	23
รูปที่ 2.13	วงจรสมมูลเมื่อไม่นำกระแส.....	24
รูปที่ 2.14	รูปคลื่นการทำงานของวงจรบูคคอนเวอร์เตอร์.....	27
รูปที่ 2.15	รูปคลื่นการทำงานของวงจรบูคคอนเวอร์เตอร์.....	29
รูปที่ 2.16	วงจรบูคคอนเวอร์เตอร์.....	31
รูปที่ 2.17	วงจรสมมูลเมื่อนำกระแส.....	32
รูปที่ 2.18	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	33
รูปที่ 2.19	กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุ.....	35
รูปที่ 2.20	อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์	37
รูปที่ 2.21	การสวิตชิงแบบไบโพลาร์.....	39

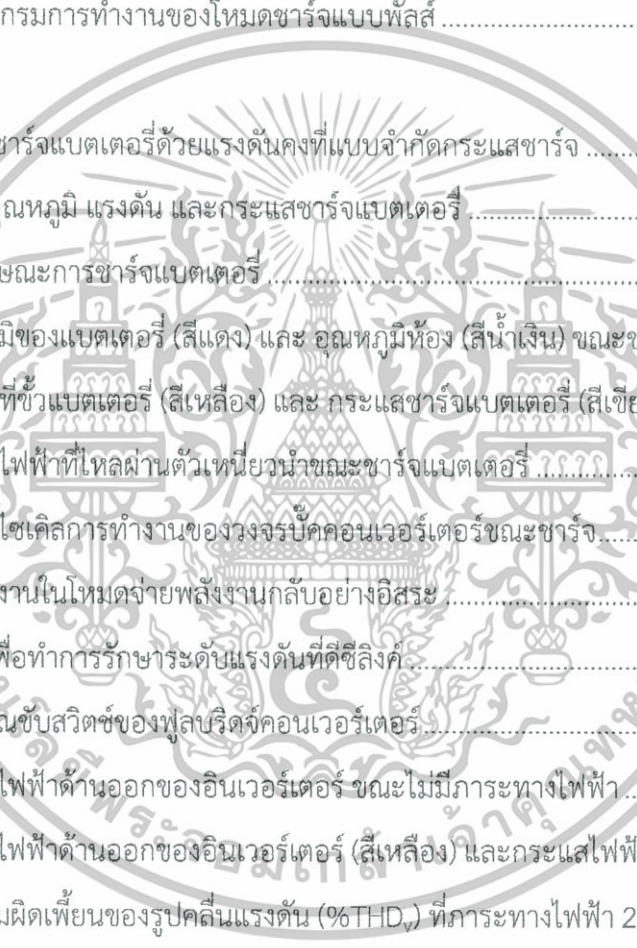
สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.22 วงจรตีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์	42
รูปที่ 2.23 ไดอะแกรมควบคุมวงจรถีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์	42
รูปที่ 2.24 สัญญาณการสวิตซ์ที่ได้จากฮิสเตอร์รีซิส	44
รูปที่ 2.25 สถานีขาร์จพลังงานที่สร้างขึ้นในต่างประเทศ(Solar station).....	48
รูปที่ 2.26 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่	50
รูปที่ 2.27 คุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด.....	51
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก.....	52
รูปที่ 2.29 จำนวนรอบการใช้งานกับค่าความลึกในการคายประจุ.....	55
รูปที่ 2.30 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	56
รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ..	58
รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ	59
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	60
รูปที่ 3.4 อัตราสละรอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่	60
รูปที่ 3.5 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (สีแดง) และตัวเก็บประจุ (สีน้ำเงิน)	60
รูปที่ 3.6 กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่	61
รูปที่ 3.7 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ	63
รูปที่ 3.8 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ	64
รูปที่ 3.9 แรงดันไฟฟ้าที่ตีซีลิ่งค์	64
รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง	65
รูปที่ 3.11 แรงดันไฟฟ้าด้านปฏุมุมของหม้อแปลง (สีน้ำเงิน) และกระแสไฟฟ้า (สีแดง) ที่ภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์	65
รูปที่ 3.12 สเปกตรัมแสดงฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านปฏุมุมของหม้อแปลง	65
รูปที่ 3.13 วงจรที่ใช้ในการจำลองการชาร์จแบบพัลส์.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 การสร้างสัญญาณควบคุมการทำงาน	67
รูปที่ 3.15 ผลการจำลองการชาร์จแบบพัลส์.....	68
รูปที่ 3.16 การสร้างสัญญาณขับสวิตช์.....	68
รูปที่ 3.17 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจร	69
รูปที่ 4.1 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส	72
รูปที่ 4.2 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส.....	72
รูปที่ 4.3 วงจรกรองของดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับโหมดการชาร์จปกติ	74
รูปที่ 4.4 โหมดการทำงานของวงจร ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์ สำหรับของเครื่องชาร์จแบบสองทิศทาง	75
รูปที่ 4.5 ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องชาร์จแบบสองทิศทาง	79
รูปที่ 4.6 ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์ โดยรับแรงดันด้านอินพุทจากแผงเซลล์	80
รูปที่ 4.7 ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์	81
รูปที่ 4.8 ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์.....	82
รูปที่ 4.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท dsPIC เบอร์ 30F4011.....	83
รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	84
รูปที่ 4.11 โครงสร้างวงจรขับเคลื่อน	84
รูปที่ 4.12 วงจรขับเคลื่อน	85
รูปที่ 4.13 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง.....	86
รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง.....	87
รูปที่ 4.15 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์.....	87
รูปที่ 4.16 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์.....	88

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบแบบสองทิศทาง	90
รูปที่ 4.18 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบแบบพัลส์.....	92
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ ไม่ให้เกิน 8 แอมป์	94
รูปที่ 4.20 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ	95
รูปที่ 4.21 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดชาร์จแบบพัลส์	96
	
รูปที่ 5.1 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ	99
รูปที่ 5.2 จุดวัดอุณหภูมิ แรงดัน และกระแสชาร์จแบตเตอรี่	100
รูปที่ 5.3 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่	100
รูปที่ 5.4 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จ	101
รูปที่ 5.5 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ (สีเหลือง) และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (สีเขียว)	102
รูปที่ 5.6 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะชาร์จแบตเตอรี่	102
รูปที่ 5.7 ค่าวัดประสิทธิภาพการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะชาร์จ	103
รูปที่ 5.8 การทำงานในโหมดจ่ายพลังงานกลับอย่างอิสระ	104
รูปที่ 5.9 จุดวัดเพื่อทำการรักษาระดับแรงดันที่ติดตั้ง	104
รูปที่ 5.10 สัญญาณชีพจรของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	105
รูปที่ 5.11 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	106
รูปที่ 5.12 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)	106
รูปที่ 5.13 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD _v) ที่ภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์	107
รูปที่ 5.14 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)	107
รูปที่ 5.15 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD _v) ที่ภาระทางไฟฟ้า 500 วัตต์	108
รูปที่ 5.16 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)	108
รูปที่ 5.17 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD _v) ที่ภาระทางไฟฟ้ามอเตอร์ 1 เฟส 200 วัตต์	109

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.18 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์	110
รูปที่ 5.19 ลักษณะการควบคุมการทำงานของเครื่องชาร์จแบบพัลส์	110
รูปที่ 5.20 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์.....	111
รูปที่ 5.21 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)	111
รูปที่ 5.22 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์.....	112
รูปที่ 5.23 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์).....	112
รูปที่ 5.24 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์.....	113
รูปที่ 5.25 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 25 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)	113
รูปที่ 5.26 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์.....	114
รูปที่ 5.27 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)	114
รูปที่ 5.28 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 50 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.5	115
รูปที่ 5.29 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 50 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75	115
รูปที่ 5.30 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 25 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75	116
รูปที่ 5.31 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	116
รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ	119
รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่.....	119
รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบระหว่างการชาร์จทั้งสองแบบ โดยพิจารณาที่ SOC 20%	120
รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบระยะเวลาในการคายประจุ.....	120

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานในระยะเวลา 1 ปี.....	6
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบเทคนิคการชาร์จแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเดียวกัน ..	16
ตารางที่ 2.2	ผลสำรวจสำหรับลูกค้าทั่วไปที่ใช้รถจักรยานยนต์รับจ้าง	45
ตารางที่ 2.3	ผลสำรวจสำหรับคนขี่รถจักรยานยนต์รับจ้าง	47
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	48
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....	49
ตารางที่ 2.6	ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน.....	53
ตารางที่ 2.7	ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	54
ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ.....	59
ตารางที่ 3.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ	63
ตารางที่ 3.3	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานการชาร์จแบบพัลส์.....	67
ตารางที่ 5.1	ผลการทำงานในโหมดจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ	105
ตารางที่ 5.2	ระยะเวลาและอุณหภูมิของเงื่อนไขการชาร์จแบบต่างๆ.....	117
ตารางที่ 5.3	เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์ที่ความถี่ 50 Hz.....	118
ตารางที่ 5.4	เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิขณะทำการชาร์จที่ความถี่ต่างๆกัน.....	118
ตารางที่ ก - 1	คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยจำกัดกระแส 8 แอมป์.....	128
ตารางที่ ก - 2	คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์).....	134
ตารางที่ ก - 3	คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์).....	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก - 4 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 25 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์).....	139
ตารางที่ ก - 5 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์).....	141
ตารางที่ ก - 6 เปรียบเทียบเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ที่กระแส 8 แอมป์.....	144



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สังคมเมืองในปัจจุบันการดำเนินชีวิตมีแต่ความเร่งรีบ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสาร ด้านเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ ผู้ที่มีความรวดเร็วก็ย่อมได้เปรียบในการดำเนินกิจกรรมนั้น ปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญในการบรรลุเป้าหมายของแต่ละองค์กรคือ ความรวดเร็วในการทำงานของบุคคลภายในองค์กร ซึ่งสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยให้บุคคลภายในองค์กรสามารถดำเนินการไปด้วยความรวดเร็ว นั้น เป็นการคมนาคมขนส่ง จะพบว่าพาหนะในการคมนาคมที่มีความสะดวกและผู้คนในสังคมเมืองนิยมใช้บริการกันมากจะเป็นการเดินทางโดยใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง เนื่องจากมีความคล่องตัว รวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถใช้บริการได้ง่าย มีการบริการอยู่ตามสถานที่ทั่วไป และกรุงเทพมหานครยังมีนโยบายจัดระเบียบรถจักรยานยนต์รับจ้างในเขตกรุงเทพมหานครทั้ง 50 เขต โดยมีการจัดสถานที่จอดรถจักรยานยนต์รับจ้างให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ออกแบบให้เป็นศาลาที่พัก ผู้ใช้บริการ มีหลังคากันแดดและฝน มีป้ายแสดงข้อมูลต่างๆ

การคมนาคมขนส่งทุกประเภทจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณลดน้อยลง เป็นสาเหตุให้ราคาพลังงานเชื้อเพลิงดังกล่าวมีมูลค่าสูงขึ้น ในอนาคตอันใกล้ จึงต้องมีการสรรหาพลังงานที่จะนำมาทดแทน โดยมีการวิจัยและพัฒนาพลังงานเชื้อเพลิงชนิดใหม่ขึ้นมาตลอด ปัจจุบันมีการนำพลังงานไฟฟ้าเข้ามาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน สังเกตได้จากรถยนต์รุ่นใหม่ จะมีการนำพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแทนพลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และยังส่งผลให้เกิดวิกฤติการณ์โลกร้อนอีกด้วย รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเป็นพาหนะประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานและมลภาวะได้เป็นอย่างดี รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีการขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนไฟฟ้า จะไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ ทำให้สังคมเมืองมีความน่าอยู่มากขึ้น นอกจากนี้ความดังของเสียงที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนไฟฟ้าเบากว่าการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้ลดมลภาวะทางเสียงได้อีกด้วย รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกับรถจักรยานยนต์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงแต่จะใช้พลังงานไฟฟ้าแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน ซึ่งเมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หมด สามารถชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ได้ โดยใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

ในปัจจุบันปริมาณการใช้บริการจักรยานยนต์รับจ้างมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทำให้ผู้ขับขี่จักรยานยนต์รับจ้างมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงได้เล็งเห็นความสำคัญ ณ จุดนี้ ถ้ารถจักรยานยนต์รับจ้างเปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ลดค่าบริการจักรยานยนต์รับจ้างอีกด้วย แต่หากว่าพฤติกรรมการใช้รถจักรยานยนต์ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์รับจ้าง จะมีลักษณะการขับขี่ที่ต่างไปจากการขับขี่รถจักรยานยนต์โดยทั่วไปคือต้องเดินทางแข่งกับเวลา ต้องมีการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ให้เหมาะกับจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง และเพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายของกรุงเทพมหานครที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยมีการสนับสนุนการสร้างศาลาที่พักสำหรับรถจักรยานยนต์รับจ้าง ณ สถานที่ต่างๆ จึงสามารถใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นหลังคาแทนหลังคาที่ใช้กันทั่วไปได้ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) จะใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนอีกแหล่งหนึ่ง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างและผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไป ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องชาร์จแบตเตอรี่จะติดตั้งตามสถานีบริการรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง สถานีชาร์จแบตเตอรี่ริมถนน ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ



รูปที่ 1.1 หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง ประกอบด้วย คุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ปริมาณมากในเวลาอันสั้นโดยใช้หลักการชาร์จแบบไฟฟ้ากระแสตรงคงที่(Constant-Current) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับช่วงที่รถจักรยานยนต์รับจ้างมีอัตราการใช้บริการสูง และใช้หลักการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่(Constant-Voltage)โดยจำกัดกระแสไฟฟ้า สำหรับช่วงที่มีอัตราการใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างต่ำ
2. สามารถชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์(Pulse Charge) เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell) เพื่อที่จะชาร์จได้ในเวลาอันสั้น และทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น เมื่อเทียบกับการชาร์จแบบไฟฟ้ากระแสตรงคงที่(Constant-Current)
3. เนื่องจากเครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง(Bi-directional Power Flow) ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ต่อเข้ากับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่จ่ายพลังงานกลับคืน เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า(Load) เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดปัญหา
4. สามารถเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งสองระบบ คือแหล่งจ่ายพลังงานจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell)

ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่กับพาหนะไฟฟ้านั้น ต้องมีการเชื่อมต่อที่มีลักษณะเดียวกันและเป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นจึงมีการจัดตั้งองค์กรเกี่ยวกับมาตรฐานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่และยานพาหนะไฟฟ้าระดับสากลภายใต้ชื่อว่า “CHAdeMO”

CHAdeMO เป็นองค์กรที่ก่อตั้งเพื่อสร้างมาตรฐานให้แก่เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว โดยทำตามมาตรฐาน SAE J1772, IEC62196-2 Type1, UL/CE/PSE มีเครือข่ายอยู่ทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นทวีปอเมริกา ทวีปยุโรป และทวีปเอเชีย ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มสมาชิกหรือองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่และพาหนะไฟฟ้า เช่น ค่ายรถยนต์ต่างๆ บริษัทที่เกี่ยวกับการผลิตอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เป็นต้น หลักการสำคัญของ CHAdeMO คือเพื่อกำหนดการสร้างและออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่และพาหนะไฟฟ้าให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่มาตรฐานการติดตั้งเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ พาหนะที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ จะต้องทำตามมาตรฐานของ CHAdeMO ที่ได้กำหนดไว้[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Station-side DC charging connector usable in Japan, America, and Europe.
Charging is done by inserting it into a vehicle-side inlet conforming to CHAdeMO specifications.

Connector on the side of a DC charging stand for EV

(conforming to CHAdeMO specifications)



รูปที่ 1.2 ลักษณะปลั๊กอินแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ของ มาตรฐาน “CHAdeMO”

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง ที่นำไปใช้งานได้
2. เพื่อรองรับการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ที่จะมีกำลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น
3. เพื่อลดปริมาณการนำเข้าของเชื้อเพลิง ทำให้ลดภาระค่าใช้จ่ายของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง
4. เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมของสังคมเมืองให้น่าอยู่ โดยการลดมลพิษทางเสียงและอากาศ
5. เพื่อศึกษาหลักการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (Pluse Charge) และวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบไหลได้สองทิศทาง (Bi-directional Power Flow)

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง โดยมีแหล่งจ่ายพลังงานสองแหล่งคือแหล่งจ่ายพลังงานจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell) ศึกษาหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบพลังงานไหลได้สองทิศทาง เพื่อใช้สำหรับชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ อีกทั้งใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานกลับคืน เพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้า(Load) รวมทั้งมีการใช้วงจรการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์(Pluse Charge) เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานเป็นพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 ในการจำลองการทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์(Full-bridge Converter) วงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Full-bridge Inverter) และวงจรดีซี – ดีซีคอนเวอร์เตอร์(DC-DC Converter) ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้

- การชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 56 โวลต์ (แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33แอมป์ชั่วโมง) การชาร์จแบบกระแสตรงคงที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 8 แอมป์
- ในโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่และการชาร์จแบบกระแสตรงคงที่สามารถปรับได้ เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

สำหรับวงจรการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์(Pulse Charge) จะมีหลักการทำงานดังนี้

- การชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 56 โวลต์ การชาร์จแบบกระแสตรงคงที่สามารถปรับค่าแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าทางด้านซีกบวกและลบของลูกคลื่นได้ ตามความเหมาะสม
- ในออกแบบโปรแกรมการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ สามารถปรับความกว้างของลูกคลื่นทางด้านบวก ลบ และความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่ได้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ และวงจรของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง
2. สำรวจพฤติกรรมผู้บริโภคของผู้ขับขี่จักรยานยนต์รับจ้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงถึงปริมาณของการใช้เชื้อเพลิง
3. วิเคราะห์ผลที่สำรวจ และออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง
4. จำลองวงจรชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง โดยผ่านโปรแกรม PSIM 9.0.3
5. จัดหาอุปกรณ์สร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
6. จัดสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองโปรแกรม PSIM 9.0.3
7. บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ และปรับปรุงชิ้นงาน
8. สรุปผล นำเสนอผลงานและจัดทำปฏิญานินพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตั้งแต่คณะผู้จัดทำงานวิจัยได้เริ่มทำงานวิจัยโดยมีการวางแผนการดำเนินงานมีระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม 2554 ถึง 27 เมษายน 2555 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานในระยะเวลา 1 ปี

การดำเนินงาน	พ.ศ.2554						พ.ศ.2555				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ	■	■									
2. สัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้ใช้บริการและผู้ขับขี่จักรยานยนต์รับจ้าง	■	■									
3. วิเคราะห์ผลที่สำรวจเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง	■	■									
4. จำลองเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบโดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3			■	■							
5. จัดหาอุปกรณ์สำหรับจัดสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ				■	■						
6. จัดทำเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบตามที่ได้ออกแบบและจำลองไว้ใน PSIM 9.0.3					■	■	■	■			
7. บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ผลและปรับปรุงชิ้นงาน							■	■	■	■	
8. สรุปผลงานวิจัย นำเสนอผลงานและจัดทำปฏิญานិพนธ์									■	■	■

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดค่าใช้จ่ายของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างและช่วยลดการใช้พลังงานของประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันมีราคาสูงขึ้น ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างจึงมีต้นทุนที่สูงด้วย ส่งผลทำให้ผู้ใช้บริการต้องจ่ายค่าบริการเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การนำพลังงานไฟฟ้ามาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน สามารถลดการใช้พลังงานได้และยังทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น มลภาวะลดน้อยลง
2. ช่วยลดมลภาวะทางเสียงและมลภาวะอากาศ ในปัจจุบันมีการนำรถจักรยานยนต์ไปแต่งเครื่องและเปลี่ยนท่อไอเสีย ทำให้ท่อมีเสียงดังรบกวนผู้อื่นและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศด้วย แต่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นไม่มีท่อไอเสีย เสียงเครื่องไม่ดัง ไม่เกิดมลภาวะทางเสียงรบกวนผู้อื่น ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั่วไป ถ้ารถจักรยานยนต์ทั่วไปเปลี่ยนมาใช้เป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด จะทำให้สภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศดีขึ้นและลดการนำเข้าน้ำมันของประเทศได้
4. สนับสนุนแผนพลังงานทดแทน 15 ปี (Green PDP 2010) ที่สนับสนุนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนเป็น 20% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด
5. งานวิจัยนี้นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จพลังงานแบตเตอรี่และสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนสู่ระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น
6. สามารถทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น เมื่อมีการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์เมื่อเทียบกับการชาร์จแบตเตอรี่แบบกระแสตรงสูงคงที่

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

ปฏิญญาพันธฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา คุณลักษณะของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ วิธีการดำเนินงานและแผนการดำเนินโครงการ รวมถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างนั้นจะประกอบไปด้วยวงจรในการชาร์จแบบต่างๆ ซึ่งเราต้องศึกษาหลักการการทำงานเพื่อทำความเข้าใจในการออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งในหัวข้อนี้จะนำเสนอบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้เกี่ยวกับวงจรต่างๆตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หลักการทำงานของแต่ละวงจร วิธีชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงความรู้พื้นฐานของแบตเตอรี่ และจากความรู้ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับวงจรงานวิจัยชิ้นนี้

บทที่ 3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางและการชาร์จแบบพัลส์ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อตรวจสอบการทำงานที่สภาวะต่างๆ และหาค่าพารามิเตอร์ของวงจร ก่อนที่จะสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นงานจริง

บทที่ 4 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างนั้น จะอาศัยหลักการการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง และวงจรเพิ่ม-ลดระดับแรงดันเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่จะนำมาประกอบรวมกัน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ สองส่วนคือส่วนของวงจรกำลัง และส่วนของวงจรควบคุม ที่มีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 5 ผลการทดลอง ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองในโหมดการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ การจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ และการชาร์จแบบพัลส์ เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาความถี่และ ดิวตี้ไซเคิลของการชาร์จที่เหมาะสม สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง

บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา เป็นการสรุปผลที่ได้จากการ
ทดลอง

ภาคผนวก ในส่วนของภาคผนวกประกอบไปด้วยข้อมูลการทดลอง คู่มือคุณสมบัติ
ของแบตเตอรี่ อีกทั้งบทความทางวิชาการ โปสเตอร์นำเสนอผลงาน และแบบสำรวจความคิดเห็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย

2.1 บทนำ

การออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างนั้นจะประกอบไปด้วยวงจรในการชาร์จแบบต่างๆ ซึ่งเราต้องศึกษาหลักการการทำงานเพื่อทำความเข้าใจในการออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งในหัวข้อนี้จะนำเสนอบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้เกี่ยวกับวงจรต่างๆตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หลักการทำงานของแต่ละวงจร วิธีชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงความรู้พื้นฐานของแบตเตอรี่ และจากความรู้ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับวงจรงานวิจัยชิ้นนี้

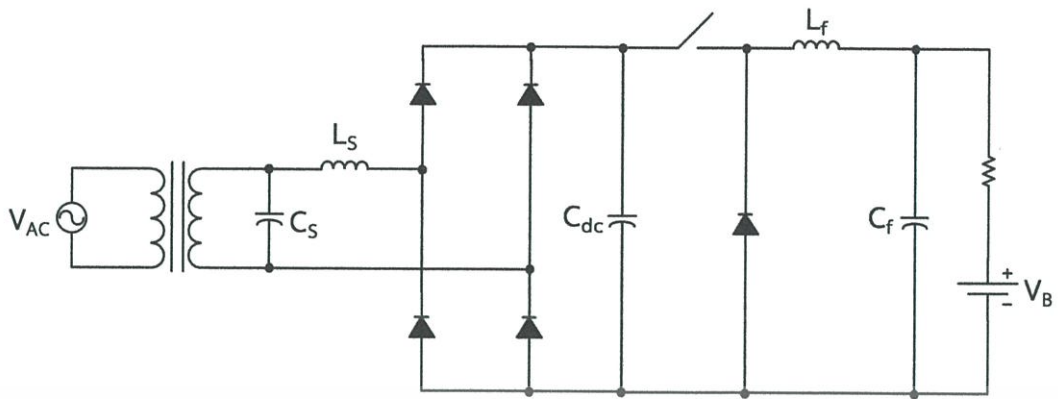
2.2 การทบทวนวรรณกรรม

บทนี้จะนำเสนอบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิธีชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของแต่ละวงจรสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ วงจรในการชาร์จแบตเตอรี่จากบทความที่ได้ศึกษามานี้ วงจรสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ได้มีการพัฒนารูปแบบวงจรอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

2.2.1 วงจรสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบต่างๆ

2.2.1.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter)

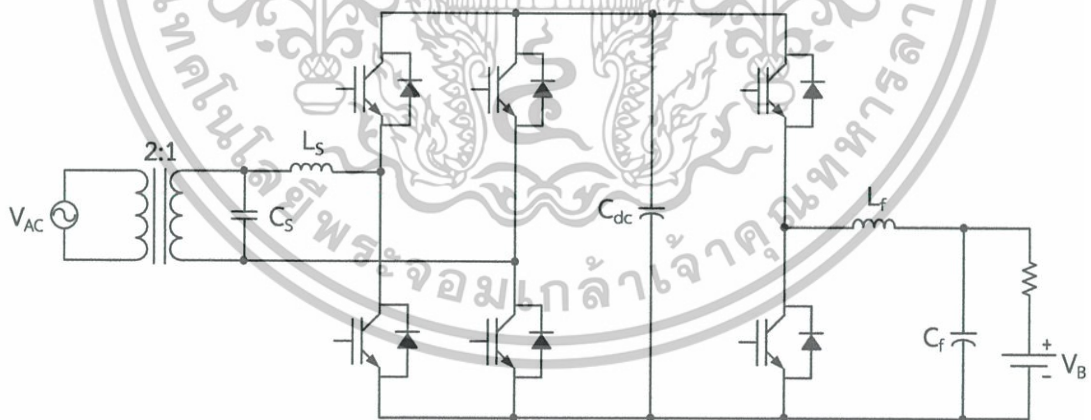
วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์[2,3] ดังรูปที่ 2.1 คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่มีกระแสสูงซึ่งเป็นกระแสตรง มีการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) เพราะมี อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนผกผันกับกำลังสองของความถี่ เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้อย่างเดียว ไม่สามารถจ่ายกลับได้ สามารถใช้กับวิธีการชาร์จได้ 3 แบบคือควบคุมกระแสคงที่ ควบคุมแรงดันคงที่ และควบคุมกระแสคงที่และแรงดันคงที่



รูปที่ 2.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter) [4,5]

2.2.1.2 วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter)

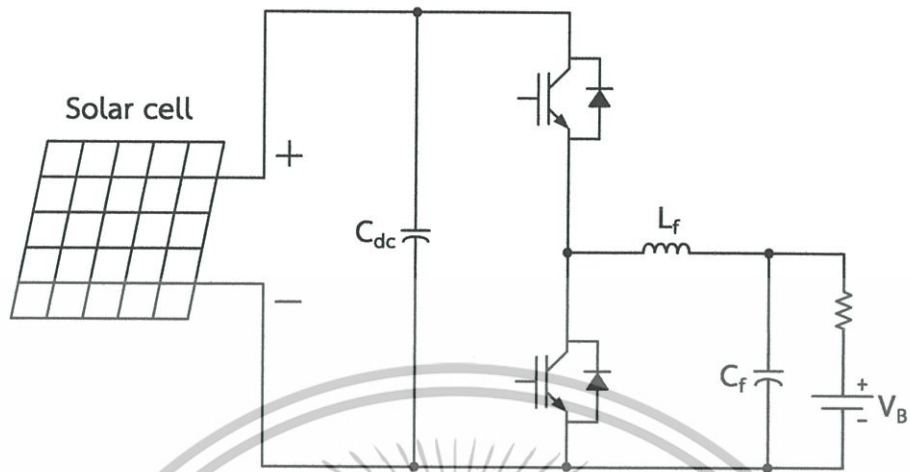
วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter) [6,7] ดังรูปที่ 2.2 คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต เหมือนวงจรลดระดับแรงดัน แต่วงจรนี้สามารถจ่ายกลับได้ เนื่องจากมีวงจรเพิ่มระดับแรงดันโดยเบตเตอร์สามารถดีสชาร์จออกมาจ่าย เพื่อให้ได้ระดับแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ สามารถควบคุมวิธีการชาร์จได้ 3 แบบคือควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ ควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่และควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 2.2 วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter)

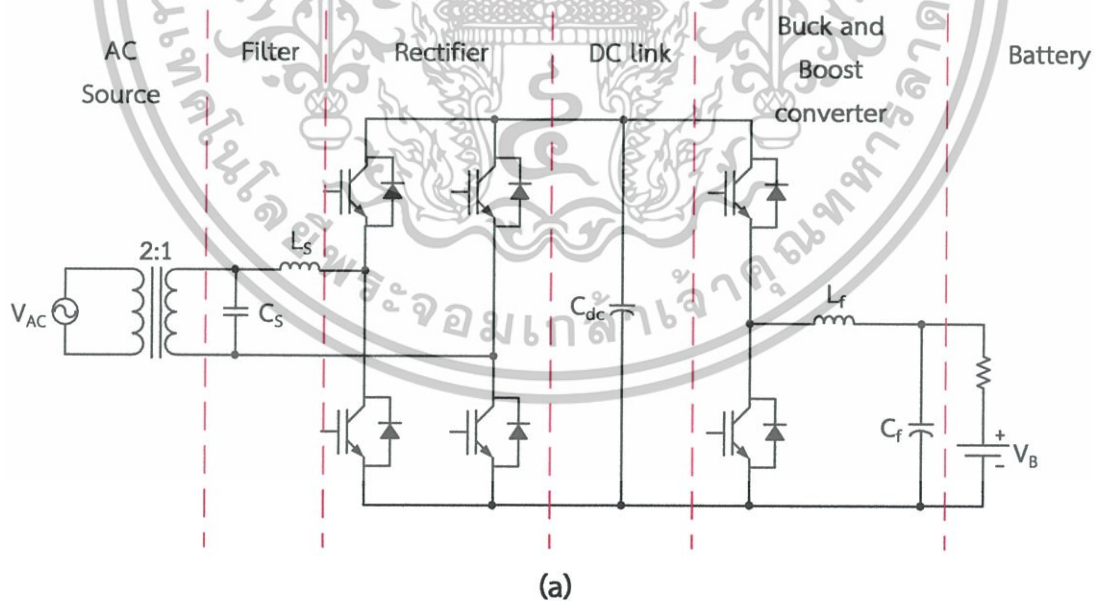
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse charge)

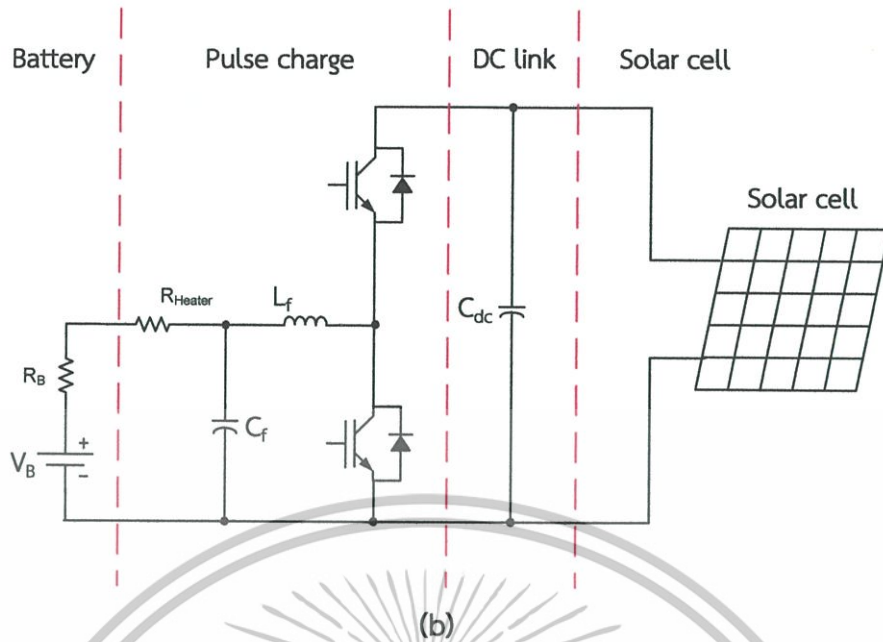


รูปที่ 2.3 วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse charge)

ส่วนวงจรงานวิจัยนี้เราใช้วงจรสองวงจรคือวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรพัลส์ชาร์จ ดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 วงจรในงานวิจัย (a) วงจรเพิ่มลดระดับแรงดัน (Buck – Boost converter)
(b) วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse charge)

2.2.2 วิธีชาร์จแบตเตอรี่

จากบทความที่ได้ศึกษามานั้นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ จะแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

2.2.2.1. ชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current charging)

การชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นั้นเป็นการชาร์จที่มีประสิทธิภาพกว่าการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ และการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นี้จะใช้ระยะเวลาในการชาร์จน้อยกว่าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพราะการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ จะถูกจำกัดปริมาณการชาร์จของกระแสไฟฟ้าจากเครื่องชาร์จเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสไฟฟ้าในการชาร์จเป็นไปตามที่กำหนด ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการชาร์จน้อยลง แต่ถ้าหากกระแสไฟฟ้าในการชาร์จสูงเกินไป จะเกิดผลเสียร้ายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่คือความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ชาร์จ และในที่สุดแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอ แตกหรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดระเบิดได้ การชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่มีข้อดีคือ จะทำให้เซลล์ทุกเซลล์

ในชุดของแบตเตอรี่ได้รับการชาร์จกระแสไฟฟ้าในสัดส่วนเท่าๆกันทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ทำให้การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวก เช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 35 แอมป์ชั่วโมง ต้องการชาร์จในเวลา 5 ชั่วโมง จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการชาร์จเท่ากับ 7 แอมป์

2.2.2.2. ชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage)

การชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะใช้เวลาในการชาร์จมากกว่าการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ ระยะเวลาในการชาร์จนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องชาร์จว่าจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาถึงวงจร แบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องชาร์จจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 50 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการชาร์จ แต่ในการชาร์จต้องมีการจำกัดกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมได้ การชาร์จแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องชาร์จเป็นตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องชาร์จอาจมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ เรียกว่า วงจรเรกกูเลเตอร์แรงดัน (Voltage regulator) ถ้าหากวงจรเรกกูเลเตอร์เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้องเกิดความเสียหายได้ ในการชาร์จโดยทั่วไปนั้น การตั้งวงจรเรกกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าใด ให้ดูคู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆเป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือข้อมูลให้ใช้หลักการดังนี้ คือ ให้ใช้จำนวนแรงดันไฟฟ้าในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์ จะปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าของเครื่องชาร์จเท่ากับ 2.15×24 เท่ากับ 51.6 โวลต์ ขณะที่ทำการชาร์จปกติ

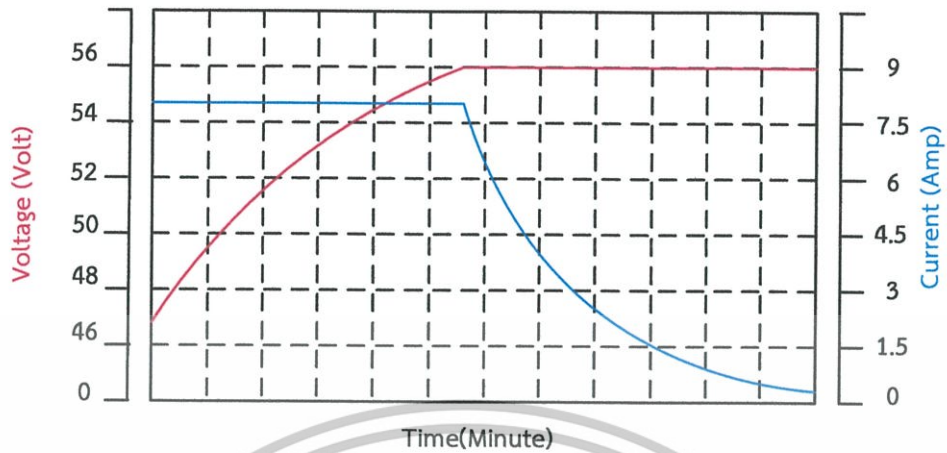
2.2.2.3. ชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage)

วิธีนี้บางทีเรียกว่า Two-step หรือ Two-rate เกิดจากการรวม 2 วิธี คือการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่กับการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่เข้าด้วยกัน โดยกระบวนการชาร์จ จะแบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1: การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าเต็มที่ (current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ (ใกล้เต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการชาร์จในอัตราเร่ง

ระยะที่ 2: การชาร์จให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) คล้ายๆกับการค่อยๆเติมประจุ ในระยะนี้กระแสไฟฟ้าของเครื่องชาร์จที่เข้า เซลล์จะลดลง และจะตัดการชาร์จเมื่อกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 3% ของอัตราระแสเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คุณลักษณะของการชาร์จแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทคนิคการชาร์จแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเดียวกัน

การชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่	การชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่	การชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ	การชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์
<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> – ยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้นานขึ้น – สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็ม 100% ของความจุแบตเตอรี่ – ไม่ต้องตรวจสอบอุณหภูมิ ค่า parameter ของแบตเตอรี่ 	<ul style="list-style-type: none"> – ใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ในระยะเวลาอันสั้น 	<ul style="list-style-type: none"> – สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็ม 100% ของความจุแบตเตอรี่ – ไม่ต้องตรวจสอบอุณหภูมิ และค่า parameter ของแบตเตอรี่ – ใช้ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ที่เหมาะสม 	<ul style="list-style-type: none"> – สามารถชาร์จแบตเตอรี่เต็ม 100% ของความจุแบตเตอรี่ – ไม่ต้องตรวจสอบอุณหภูมิค่าparameter ของแบตเตอรี่ – เวลาการชาร์जन้อยกว่าการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ
<p>ข้อเสีย</p> <ul style="list-style-type: none"> – ใช้เวลานานสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็ม 	<ul style="list-style-type: none"> – สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียง 80% ของความจุแบตเตอรี่ – ต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิ ค่า parameter ของแบตเตอรี่ – ระยะเวลาใช้งานแบตเตอรี่ลดลง 	<ul style="list-style-type: none"> – ใช้ระยะเวลาในการชาร์जनานกว่าการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ 	<ul style="list-style-type: none"> – ใช้ระยะเวลาในการชาร์जनานกว่าการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ – ใช้พลังงานไฟฟ้าในการชาร์จนานกว่าการชาร์จปกติ

จากตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบเทคนิคการชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละแบบซึ่งจะพบว่า ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ต้องขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน รวมทั้งในการชาร์จแบตเตอรี่อาจทำให้เกิดการชาร์จด้วยแรงดันเกิน(Overcharge) ได้ ในสภาวะนี้อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ "Thermal runaway" เนื่องจากความร้อนภายในแบตเตอรี่ทำให้เกิดการกระจายความร้อนและเกิดก๊าซไหล ออกมาทางวาล์ว ซึ่งจะทำให้แผ่นธาตุบวกลูกหรือในเวลาอันสั้น แบตเตอรี่หมดอายุได้โดยเร็ว

ในงานวิจัยนี้จะมีวิธีการชาร์จแบตเตอรี่เหมือนที่กล่าวมาข้างต้น แต่จะมีการเพิ่มวิธีการชาร์จแบบพัลส์ชาร์จเพิ่มเข้ามา จากตารางที่ 2.1 การชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์(Pulse charge) จะลดระยะเวลาการชาร์จให้สั้นลงจากการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะชาร์จมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และสามารถเลือกแหล่งจ่ายที่จะนำมาชาร์จแบตเตอรี่ได้ 2 แหล่งคือระบบจำหน่ายจากการไฟฟ้าและพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

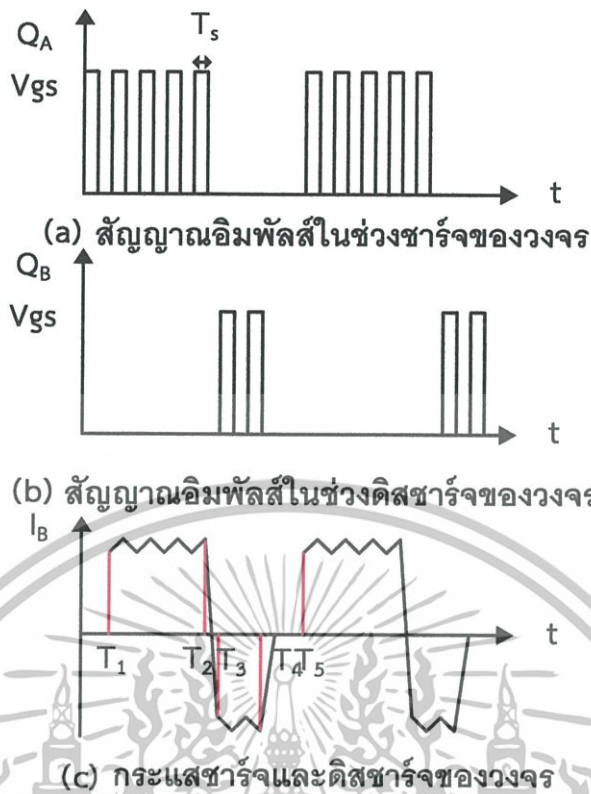
หมายเหตุ ปรากฏการณ์ Thermal runaway เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่อาจคายประจุได้ไม่สม่ำเสมอ และอาจจะไม่สามารถแก้ไขได้

2.3 หลักการทำงานของวงจรชาร์จสำหรับงานวิจัย

จากการศึกษาวงจรชาร์จแบบต่างๆมานั้น ได้นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยนำจะอาศัยหลักการทำงานของวงจรเพิ่ม-ลด ระดับแรงดัน(Buck-Boost Converter) และวงจรชาร์จแบบพัลส์ชาร์จ(Pulse charge) สามารถเลือกแหล่งจ่ายที่จะนำมาชาร์จแบตเตอรี่ได้ 2 แหล่งคือระบบจำหน่ายจากการไฟฟ้าและพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell)

2.3.1 วงจรพัลส์ชาร์จ(Pulse charge)

วิธีการชาร์จแบบพัลส์ชาร์จนั้นจะเป็นการชาร์จแบบอิมพัลส์สามารถชาร์จได้เร็วกว่าชาร์จแบบแรงดันคงที่ และใช้เวลาใกล้เคียงกับการชาร์จแบบกระแสคงที่ แต่มีข้อดีว่าการชาร์จแบบกระแสคงที่ ตรงที่ช่วยระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุในการใช้งานมากขึ้นกว่าเดิม[8,9] โดยมีพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถู่วงจรได้ดังรูปที่ 2.3 การชาร์จแบบพัลส์ชาร์จนั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือ



รูปที่ 2.6 วงจรพัลส์ชาร์จ [9,10]

2.3.1.1 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ชาร์จด้านบวก (Positive pulse charging mode) ช่วง

T_1-T_2

เมื่อทำการชาร์จในช่วงนี้จะใช้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์โดยให้ สวิตช์ Q_A ทำงาน และ สวิตช์ Q_B ไม่ทำงาน สามารถปรับดิวิตซ์ไซเคิลได้ที่สวิตช์ Q_A ดูรูปวงจรถูกในรูปที่ 2.7 เมื่อสวิตช์ Q_A หยุดทำงาน แต่ D_B ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันไฟฟ้าที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมา ดูรูปวงจรถูกในรูปที่ 2.8 จะได้สมการ

$$Q_A \text{ on} : V_L = V_{dc} - V_R \quad (2.1)$$

$$Q_A \text{ off} : V_L = -V_B - V_R \quad (2.2)$$

อินทิเกรตค่าของ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลาหนึ่งคาบจะมีค่าเป็น 0

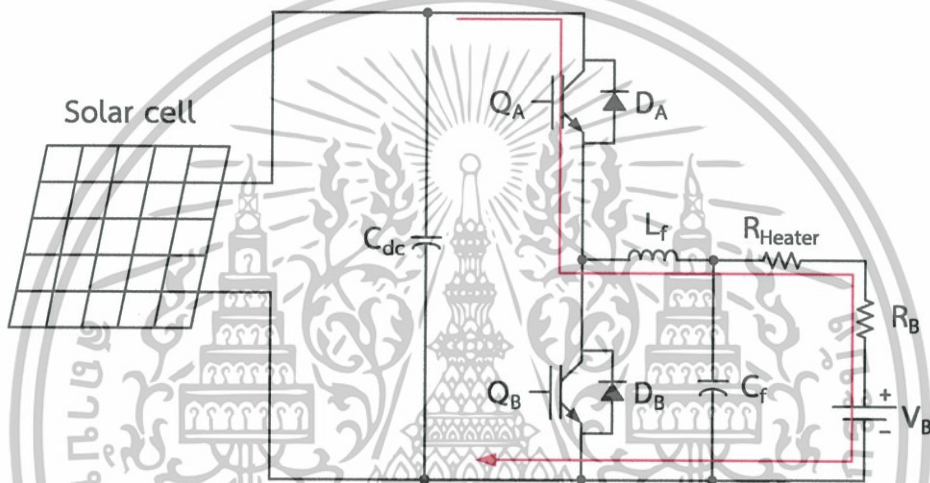
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (2.3)$$

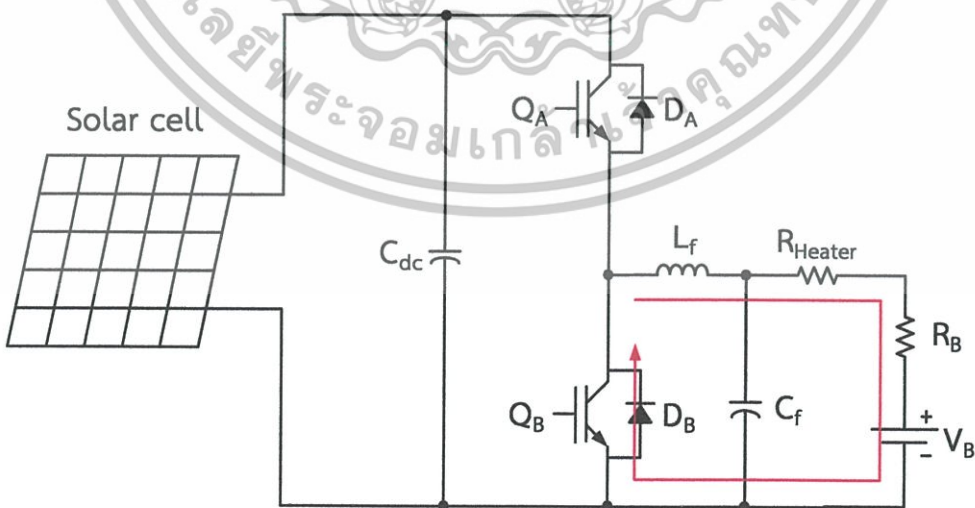
$$\therefore V_B = D_1 V_{dc} \quad (2.4)$$

กระแสไฟฟ้าชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT_1} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.7 วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ทำงาน [10,11]



รูปที่ 2.8 วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ไม่ทำงาน [10,11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode) ช่วง T_2 - T_3

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงานการชาร์จในช่วงนี้กระแสไฟฟ้า I_B จะลดลงเป็นศูนย์ โดย free - wheeling diode ของ D_B หลังจากเข้าสู่โหมดนี้ไป $10 \mu s$ จะเข้าเงื่อนไขสวิตช์ Q_B สวิตช์ Q_B ดำเนินงานจนกว่ากระแสไฟฟ้าดิสชาร์จสูงสุดในด้านลบแล้วสวิตช์ Q_B จะทำงานในช่วงดิสชาร์จพัลส์ชาร์จด้านลบต่อไป

2.3.1.3 ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode) ช่วง T_3 - T_4

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้แบตเตอรี่จะเกิดกระแสไฟฟ้าดิสชาร์จ ช่วงนี้และพลังงานที่เก็บสะสมจะออกไปยังตัวเก็บประจุของวงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ การดิสชาร์จในช่วงนี้จะใช้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์โดยให้ สวิตช์ Q_A ไม่ทำงาน และสวิตช์ Q_B ทำงาน ดังรูปที่ 2.9 ต่อมาแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไปสะสมที่ตัวเหนี่ยวนำ เวลานี้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปแหล่งจ่ายเมื่อสวิตช์ Q_B หยุดทำงาน แต่ D_A ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมา ดูรูปวงจรได้ในรูปที่ 2.10 จะได้สมการดังนี้

$$Q_B \text{ on} : V_L = V_B - V_R \quad (2.6)$$

$$Q_B \text{ off} : V_L = V_B - V_{dc} - V_R \quad (2.7)$$

อินทิเกรตค่าของ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลาหนึ่งคาบจะมีค่าเป็น 0

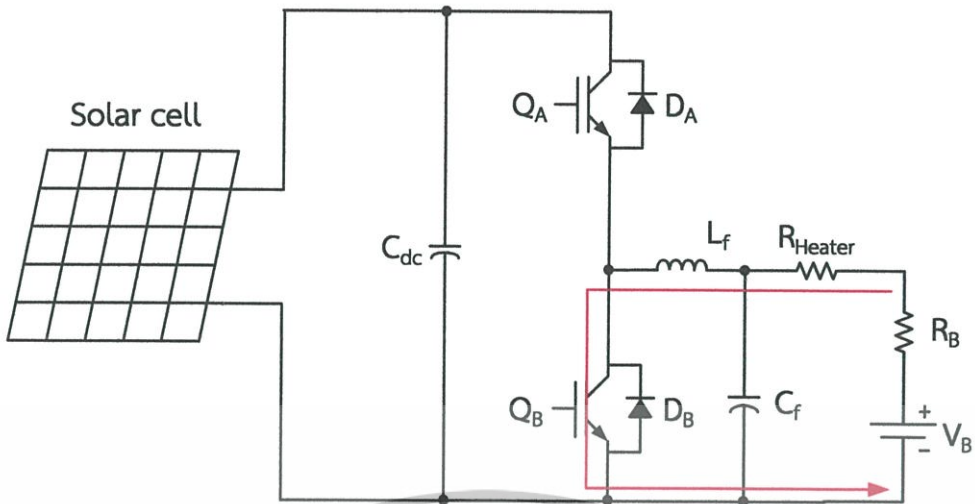
$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (2.8)$$

$$\therefore V_{dc} = \frac{V_B}{1-D_2} \quad (2.9)$$

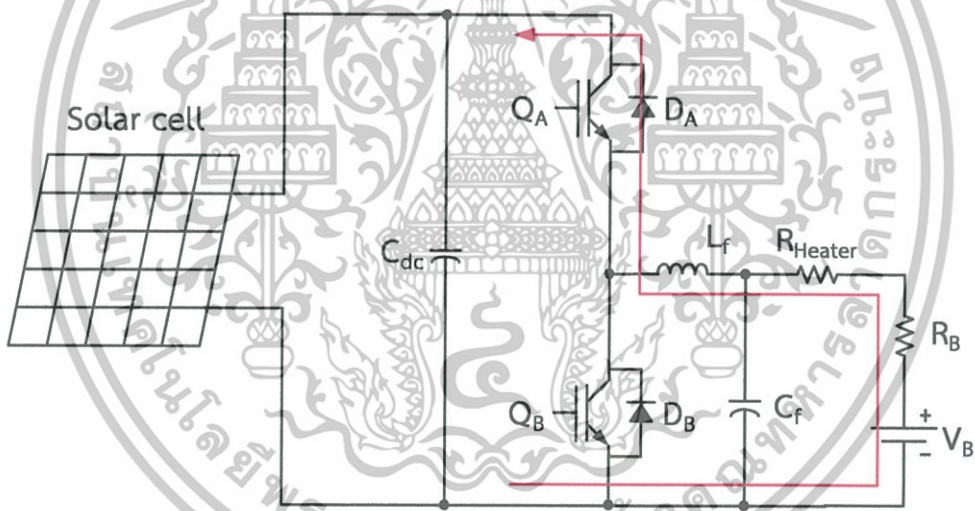
กระแสไฟฟ้าดิสชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_3}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT_3} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรดิสชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ทำงาน [10,11]



รูปที่ 2.10 วงจรดิสชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ไม่ทำงาน [10,11]

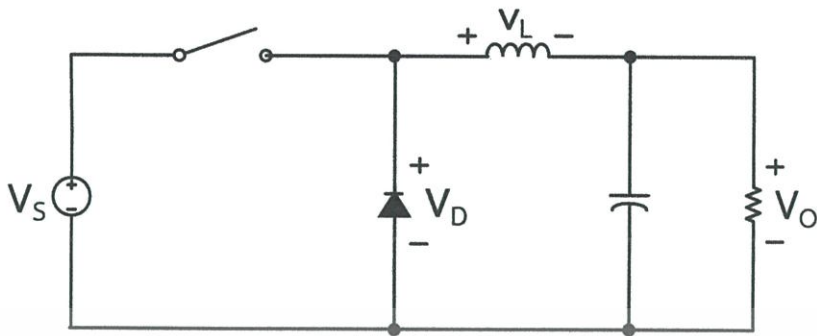
2.3.1.4. ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode) ช่วง T_4 - T_5

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงาน กระแสชาร์จ I_B จะกลับไปที่ศูนย์

โดย free - wheeling diode ของ D_A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ [12]



รูปที่ 2.11 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนหนึ่งของวงจรเพิ่ม-ลดระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีแหล่งจ่ายมาจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ซึ่งวงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จะเป็นโหมดการชาร์จ

วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.11 คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่มี ความเป็นกระแสไฟฟ้าตรงมากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งเพราะมี อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนผกผันกับกำลังสองของความถี่

2.3.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (Steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t+T) = i_L(t) \quad (2.11)$$

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_c = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_c(t) dt \quad (2.13)$$

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_s = P_o \quad (2.14)$$

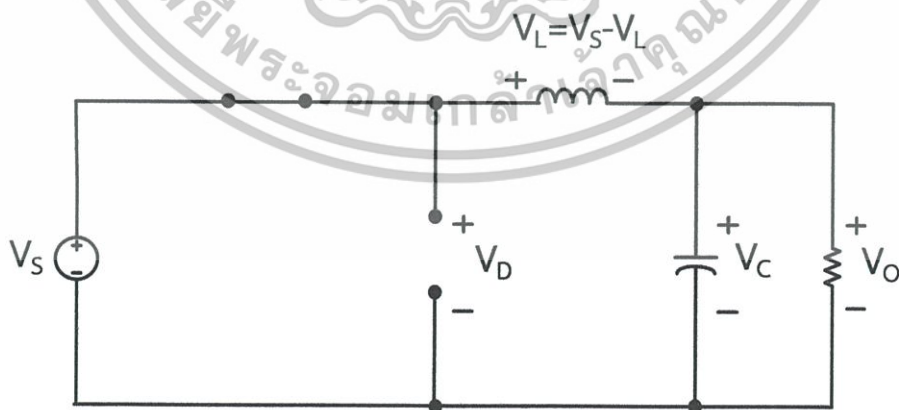
กรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร ประสิทธิภาพของวงจรจึงเท่ากับ 100%

2.3.2.2 หลักการทำงานของวงจรบิ๊คคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบิ๊คคอนเวอร์เตอร์ จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตได้ตามที่ต้องการคือต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลา มีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ 2.18 การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.12 กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ ดังนี้



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_L = V_s - V_o \quad (2.15)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.16)$$

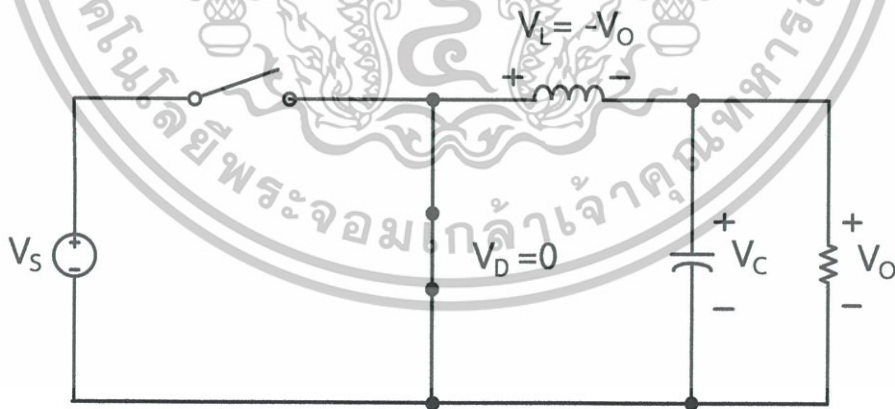
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.17)$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ $dt = DT$

$$\therefore \Delta i_{L, on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.18)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูปที่ 2.13 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลเมื่อไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.19)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L, \text{off}}}{\Delta t} = -\frac{V_o}{L} \quad (2.20)$$

ความหมายของสมการที่ (2.20) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเวลาที่มีค่าเป็นลบ

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแสคือ $dt = (1-D)T$ ดังนั้นจากสมการที่ (2.20) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L, \text{off}} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.21)$$

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงสุทธิของกระแส i_L ใน 1 คาบเวลา การสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L, \text{on}} + \Delta i_{L, \text{off}} = 0 \quad (2.22)$$

แทนสมการที่ (2.18) และ (2.21) ลงในสมการที่ จะได้

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.23)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.24) จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรบิ๊คคอนเวอร์เตอร์ ขึ้นอยู่กับค่า แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตและค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle: D) โดยแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตเสมอ เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ค่ากระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเฉลี่ย (I_C) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์ (T) มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย (I_L) จะเท่ากับ ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเฉลี่ย (I_o) ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.25)$$

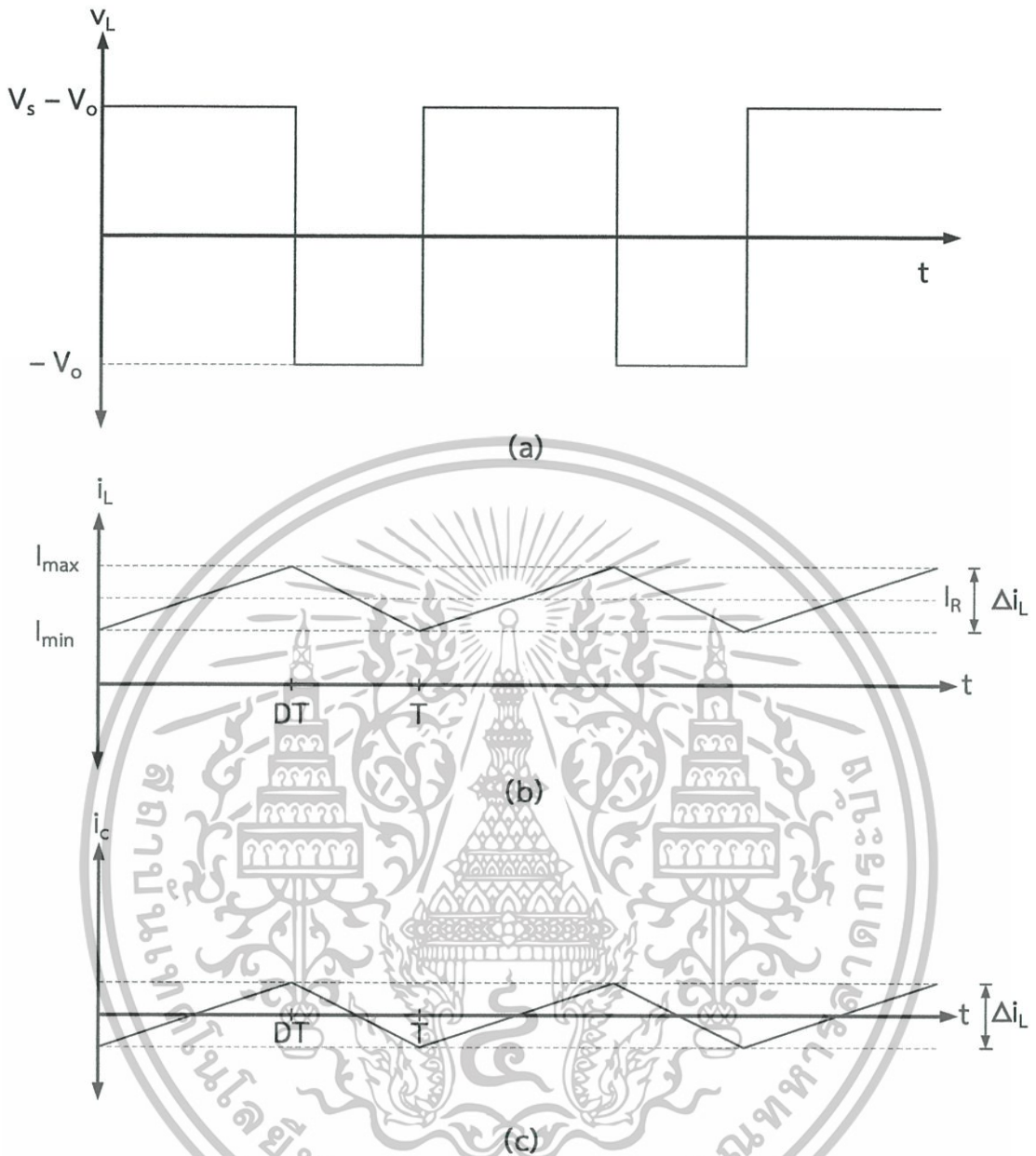
การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (2.18) และ (2.21) ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.26)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D)T \right] \quad (2.27)$$

$$\therefore I_{L,max} = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.28)$$





รูปที่ 2.14 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

- (a) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ
- (b) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
- (c) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_L = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.29)$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D)T \right] \quad (2.30)$$

$$I_L = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.31)$$

จากสมการที่ (2.31) หากค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด (L_{\min}) ที่ยังคงทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด CCM โดยกำหนดให้ $I_{L,\min}$ มีค่าเท่ากับศูนย์

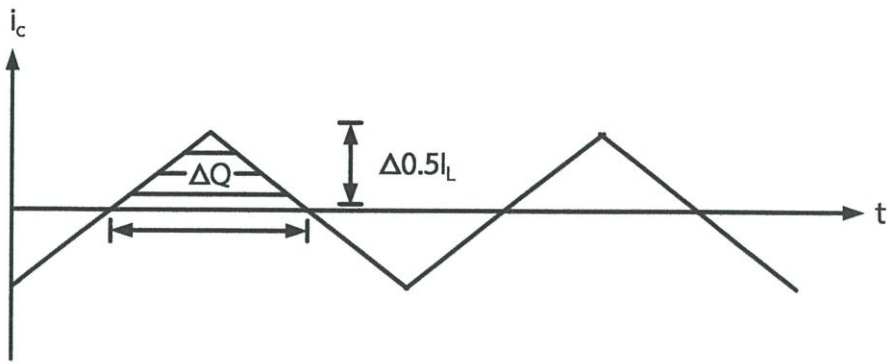
$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.32)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานของโหลด

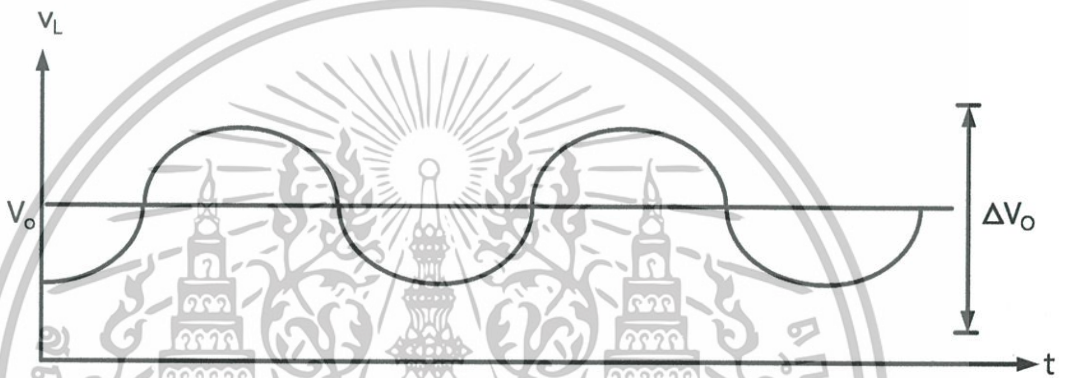
2.3.2.3 ค่าอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

สำหรับการคำนวณหาอัตราการลอกคลื่นของแรงดันด้านเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 2.15 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$i_C = I_L - i_R \quad (2.33)$$



(a)



(b)

รูปที่ 2.15 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

(a) กระแสตัวเก็บประจุ

(b) ระลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวกซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณจาก

$$Q = CV_o \quad (2.34)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_o \quad (2.35)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ΔQ คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

ΔV คือ ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกที่เปลี่ยนแปลงน้อยระหว่างยอดถึงยอด

หาค่า ΔQ ได้จากพื้นที่แรเงาในรูปที่ ดังสมการ (2.37)

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.37)$$

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.38)$$

จากสมการที่ (2.22) แทนค่า $\Delta i_{L,off}$ ลงในสมการที่ (2.38) จะได้ว่า

$$\Delta V_o = \left(\frac{T}{8C} \right) \left(\frac{V_o}{L} \right) (1-D) T \quad (2.39)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \left(\frac{T}{8C} \right) \left(\frac{1}{L} \right) (1-D) T \quad (2.40)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \left(\frac{T^2}{8C} \right) \left(\frac{1}{L} \right) (1-D) \quad (2.41)$$

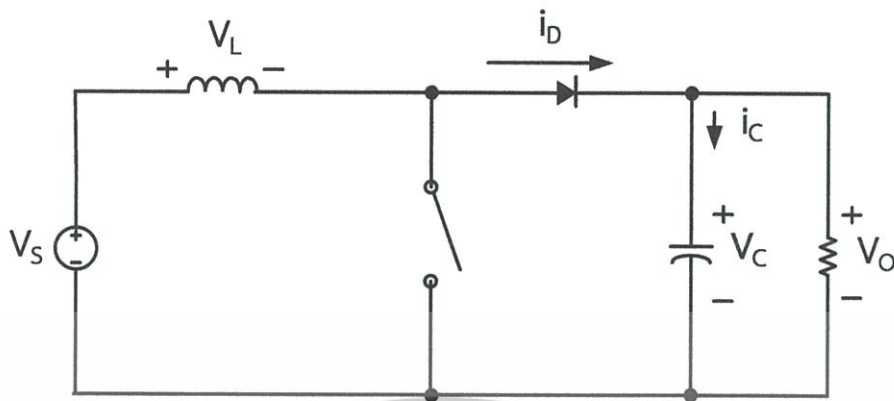
ดังนั้นจะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.42)$$

2.3.3 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ [12]

วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.16 คือวงจรที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต

2.3.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.16 วงจรถูกคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

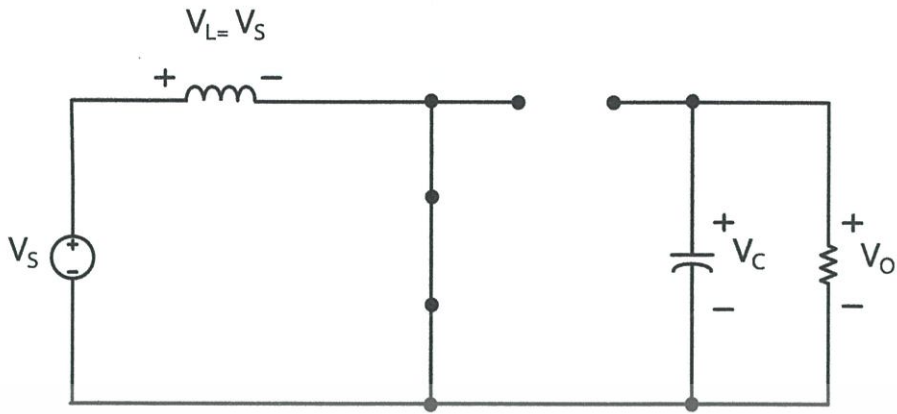
1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านอินพุตเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต

2.3.3.2 หลักการทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์ จะออกแบบให้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตได้ตามที่ต้องการคือต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์ การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมต จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกรีเวิร์สไบอัสทำให้ไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 2.17 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลเมื่อนำกระแส

$$-V_s + V_L = 0 \quad (2.43)$$

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.44)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.45)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

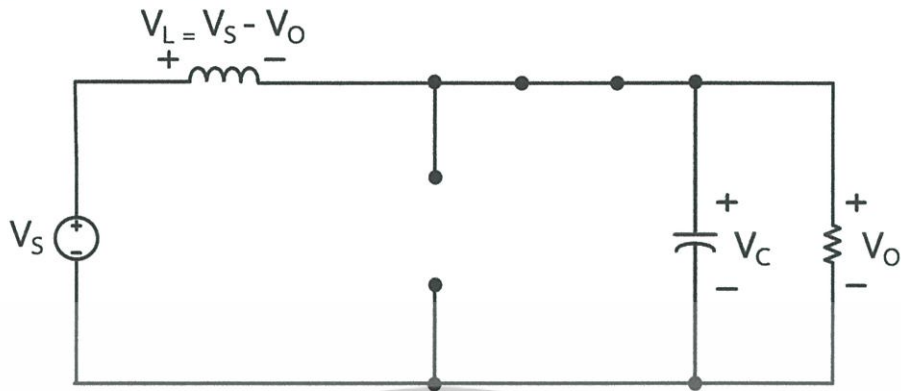
$$\frac{\Delta i_{L,on}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.46)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.47)$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูปที่ 2.18 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัสให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + V_L + V_o = 0 \quad (2.48)$$

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.49)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.50)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงสุทธิของกระแส i_L ใน 1 คาบเวลา การสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.52)$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT - \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.53)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.54)$$

สมมติการสูญเสียภายในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจาก แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.55)$$

$$P_s = V_s i_s = V_o i_o \quad (2.56)$$

$$i_L = \frac{V_s}{(1-D)R} \quad (2.57)$$

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการที่ (2.47)

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

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_s DT}{L} \right] \quad (2.59)$$

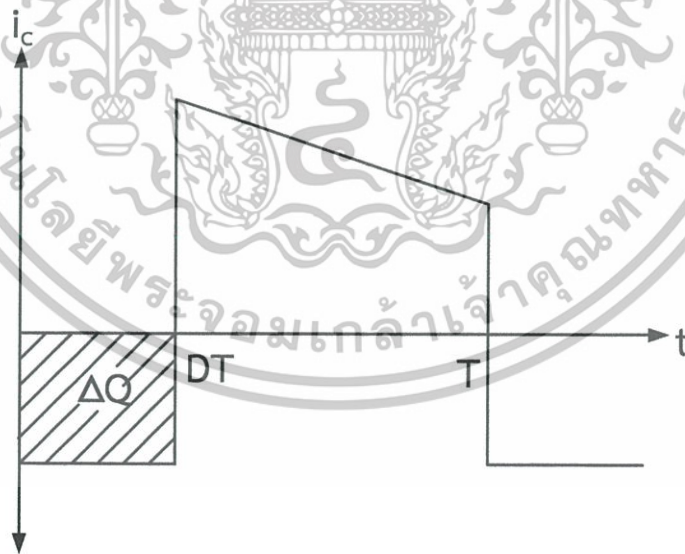
$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_s DT}{L} \right] \quad (2.60)$$

จากสมการที่ (2.60) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด (L_{min}) ที่ยังคงทำให้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด CCM โดยกำหนดให้ $I_{L,min}$ มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.61)$$

2.3.3 ค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจากยอดถึงยอดสามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta Q = C\Delta V_o = I_o\Delta t_{on} \quad (2.62)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.63)$$

$$\Delta t_{on} = DT \quad (2.64)$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o\Delta t_{on}}{C} = \frac{V_oDT}{RC} \quad (2.65)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} \quad (2.66)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.67)$$

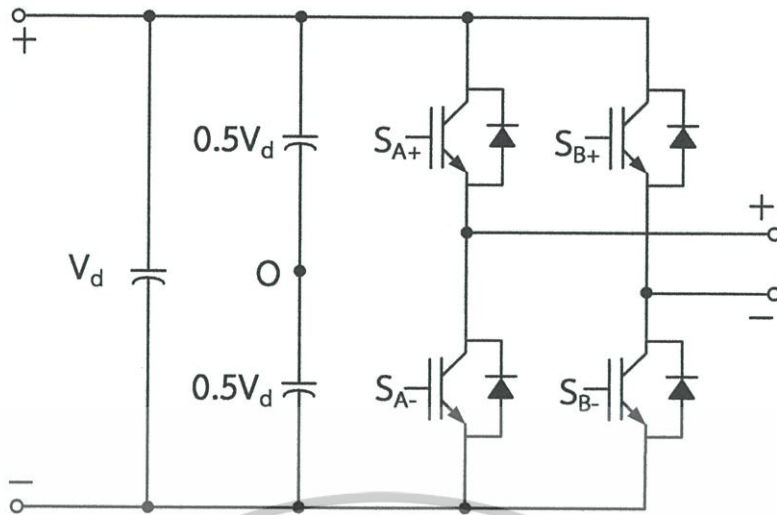
เมื่อต้องการลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต สามารถทำได้โดย

1. การลดค่า D ให้เข้าใกล้ศูนย์
2. การเพิ่มค่าโหลด
3. การเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุ
4. เพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

2.4 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

อินเวอร์เตอร์ คือ คอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคอนเวอร์เตอร์คือวงจรกลับสัญญาณหรือแปลงระบบสัญญาณ จากระบบหนึ่งเป็นอีกระบบหนึ่ง ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวจะแบ่งออกเป็นสองชนิดคือแบบฮาล์ฟบริดจ์(half-bridge) และแบบฟูลบริดจ์(full-bridge) แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบฟูลบริดจ์(full-bridge) ดังรูปที่ 2.20 ในการทำงานเนื่องจากแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟที่สูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์เป็นสองเท่า จึงเหมาะสมกับการจ่ายโหลดสูงขึ้น

เงื่อนไขสำคัญของอินเวอร์เตอร์คือการทำงานของสวิตซ์ S_{A+} และ S_{A-} ต้องทำงานไม่พร้อมกันทุกช่วงเวลา ถ้าทำงานพร้อมกันจะทำให้เกิดการลัดวงจร จึงต้องช่วงเวลาที่ทั้งสองไม่นำกระแส ซึ่งเรียกว่าเดดไทม์ (deadtime) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะของสวิตซ์ โดยงานวิจัยนี้ใช้เดดไทม์อยู่ที่ 2 ไมโครต่อวินาที



รูปที่ 2.20 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

2.5 การควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

ในการควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ จะใช้การควบคุม PWM แบบไบโพลาร์ (bipolar) ซึ่งมีทฤษฎีพื้นฐานดังนี้

2.5.1 การกำเนิดสัญญาณ PWM

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ที่ต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal control signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular waveform) ความถี่ของการสวิตช์ (f_s) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

$$m_a = \frac{\hat{v}_{\text{control}}}{\hat{v}_{\text{tri}}} \quad (2.68)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.69)$$

เมื่อ \hat{v}_{control} คือ ค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์

\hat{v}_{tri} คือ ค่ายอดของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

f_1 คือ ความถี่หลักมูลทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_s คือ ความถี่การสวิตชิงของอินเวอร์เตอร์

m_a คือ อัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด

m_f คือ อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

ในกรณี $0 \leq m_a \leq 1.0$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (Fundamental – frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ในกรณี $m_a > 1.0$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น

2.5.2 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์

การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ (Bipolar voltage switching) คือการควบคุมให้สวิตช์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ เช่นในรูปที่ 2.20 การทำงานของสวิตช์ S_{A+} และ S_{B-} จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตช์ S_{A-} และ S_{B+} ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของกิ่ง A จะเท่ากับ

$$\hat{V}_{\text{control}} > \hat{V}_{\text{tri}} \quad \text{สวิตช์ } S_{A+} \text{ และ } S_{B-} \text{ จะนำกระแส } V_{AO} = \frac{1}{2} V_d \quad (2.70)$$

$$\hat{V}_{\text{control}} < \hat{V}_{\text{tri}} \quad \text{สวิตช์ } S_{A-} \text{ และ } S_{B+} \text{ จะนำกระแส } V_{AO} = -\frac{1}{2} V_d \quad (2.71)$$

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์นั้นแรงดันที่ขาออกของกิ่ง B จะเท่ากับด้านลบของแรงดันขาออกของกิ่ง A ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกระหว่างกิ่ง A กับ กิ่ง B คือ

$$V_0 = V_{AO} - V_{Bo} = 2V_{AO} \quad (2.72)$$

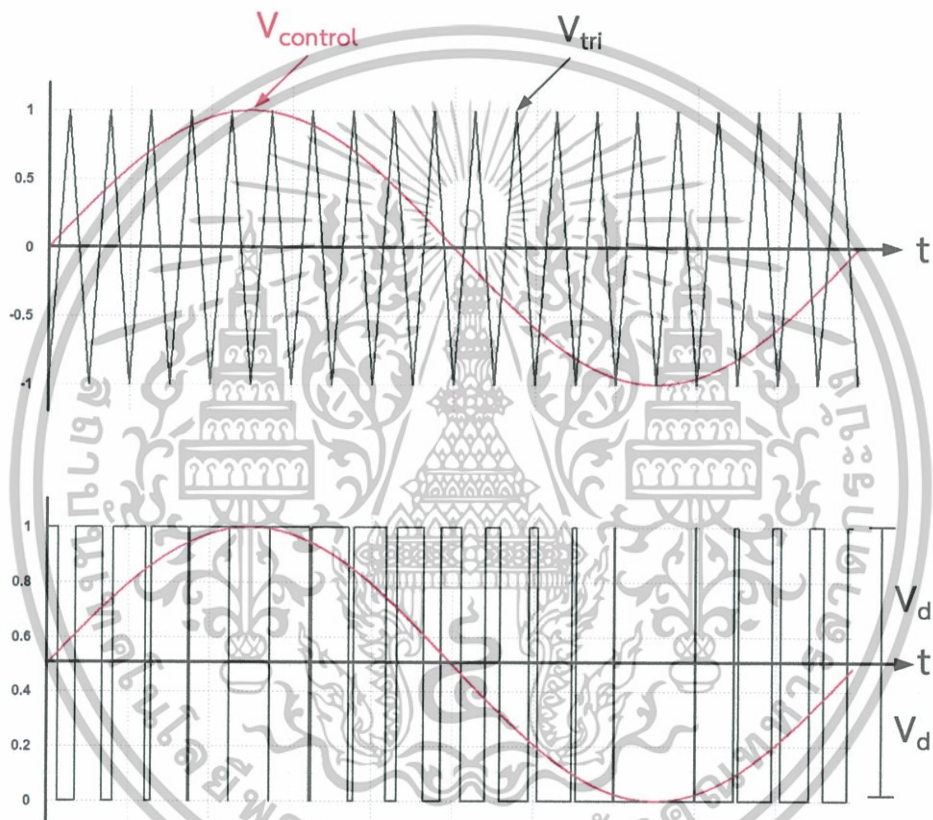
$$\hat{V}_{o1} = m_a V_{dc} \quad \text{เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.73)$$

$$V_{dc} < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad \text{เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.74)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้ายอดด้านเอาต์พุตจะเท่ากับสมการที่ (2.73) เมื่อ m_a อยู่ในย่านเชิงเส้น และแรงดันไฟฟ้ายอดด้านเอาต์พุตจะเท่ากับสมการที่ (2.74) เมื่อ m_a อยู่ในช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน

โดยที่แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะสวิตช์อยู่ระหว่าง $+V_{dc}$ กับ $-V_{dc}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ส่วนไซด์แบนฮาร์โมนิกจะเกิดขึ้นรอบๆ mf, 2mf, 3mf ... เช่น หากความถี่สวิตช์เท่ากับ 20 kHz ไซด์แบนฮาร์โมนิกก็จะเกิดขึ้นที่ 20 kHz, 40 kHz และ 60 kHz



รูปที่ 2.21 การสวิตช์แบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตชิงแบบไปโพลาร์นั้น จะมีลักษณะการสวิตซ์ของแรงดันระหว่างสายจะเป็น
 ขั้วบวกกับขั้วลบ และความถี่ของพัลส์ที่ไหลจะเท่ากับความถี่ของ \hat{V}_{tri}

2.6 การควบคุมการทำงานของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าและ
 ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าในการถ่ายโอนพลังงาน โดยวงจรจะประกอบไปด้วย ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บ
 ประจุ และสวิตซ์กำลังจำนวน 2 ตัว ซึ่งมีรูปโครงสร้างวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.22 เมื่อเริ่มทำการชาร์จ
 แบตเตอรี่สวิตซ์ S_A จะหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่การนำไปชาร์จแบตเตอรี่โดย
 ในช่วงการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ สวิตซ์ S_B จะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีปริมาณ
 แรงดันไฟฟ้าที่สามารถจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณที่กำหนดไว้ โดยปริมาณแรงดันไฟฟ้าสามารถ
 ปรับเปลี่ยนได้ตามค่าตัวดีไซเคิลที่จ่ายให้แก่สวิตซ์ S_B ซึ่งค่าตัวดีไซเคิลของวงจรบ้คคอนเวอร์เตอร์
 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.75

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (2.75)$$

และสามารถคำนวณขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่องในการ
 ทำงานแบบบ้คคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 2.76

$$L_{min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.76)$$

และสามารถหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับวงจรบ้คคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 2.77

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (2.77)$$

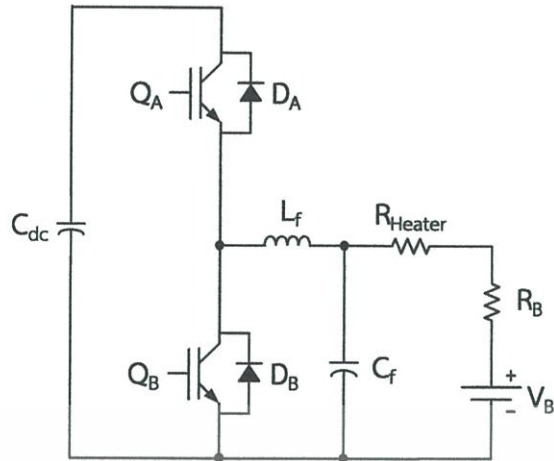
โดยที่	L_{\min}	คือ	ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำที่สุด
	D	คือ	ค่าดิวตี้ไซเคิล
	f	คือ	ความถี่สวิตชิง
	V_s	คือ	แรงดันไฟฟ้าอินพุท
	V_o	คือ	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท
	I_o	คือ	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
	ΔV_o	คือ	อัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท

และเมื่อวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทำงานจ่ายกลับซึ่งวงจรจะทำงานเป็นบัสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยสามารถควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ด้วยสวิตช์ S_{boost} โดยสามารถเพิ่มปริมาณแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.78

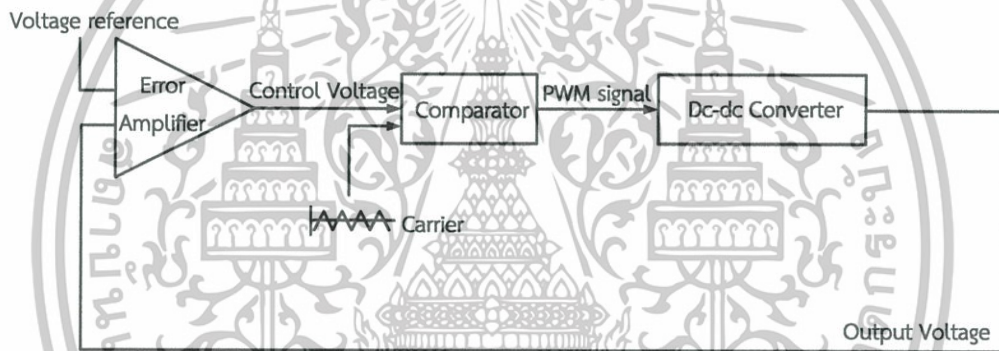
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.78)$$

และสามารถคำนวณขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่องในการทำงานแบบบัสคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 2.79

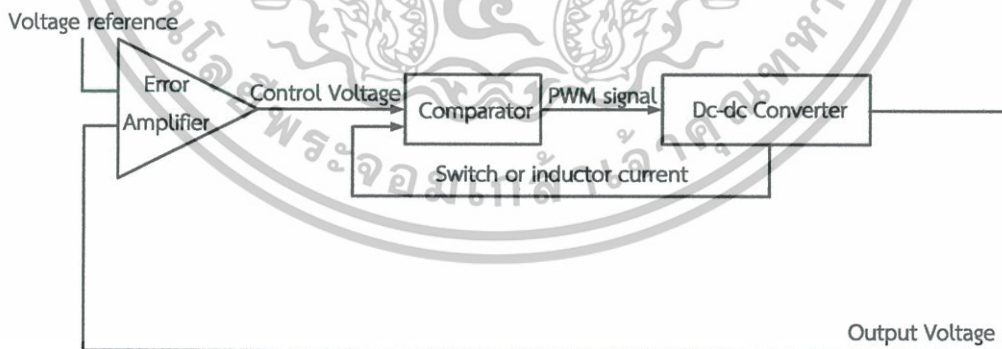
$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.79)$$



รูปที่ 2.22 วงจรตีซี - ตีซี คอนเวอร์เตอร์



(a)



(b)

รูปที่ 2.23 ไดอะแกรมควบคุมวงจรถีซี - ตีซี คอนเวอร์เตอร์

(a) โหมดควบคุมแรงดัน

(b) โหมดควบคุมกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.23 (a) อัตราขยายของค่าผิดพลาดจะส่งผลต่อแรงดันเอาต์พุตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการควบคุมแรงดันจะต้องเหมาะสมกับโหลด ในการควบคุมแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับการหาค่าดิฟเฟอเรนเชียล โดยแรงดันอ้างอิงที่ป้อนเข้าจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงหรือมีค่าความผิดพลาดเข้าใกล้ศูนย์

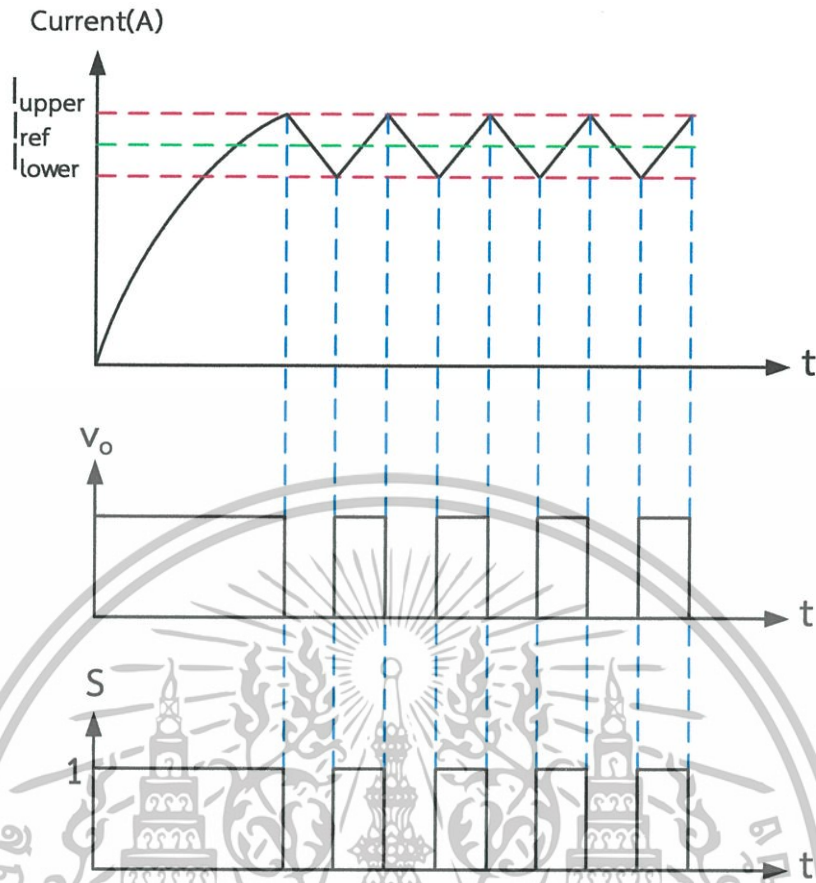
การควบคุมกระแสจะมีการเพิ่ม loop เข้ามาดังรูปที่ 2.23 (b) เพื่อจะได้มีการป้อนกลับของกระแส เมื่อป้อนกลับมาแล้วจะต้องเปลี่ยนจากกระแสเป็นแรงดัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับลูปคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อนำมาปรับปรุ้งค่าของดิฟเฟอเรนเชียล

2.7 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่จะทำการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จไว้ที่ 8 แอมป์ โดยใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จ จะควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 8 แอมป์ ใช้เทคนิคการกำหนดขอบเขต (Tolerance band control, Hysteresis band control)

2.7.1 การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยมีการกำหนดขอบเขต

การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยกำหนดขอบเขตจะใช้ความผิดพลาดของสัญญาณกระแสไฟฟ้า (error) บังคับให้ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิด 8 แอมป์ ซึ่งความถี่สวิตชิ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ ΔI_L รวมถึงค่าพารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยมีการกำหนดขอบเขตจะใช้ได้นโหมดของกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง



รูปที่ 2.24 สัญญาณการสวิตชิ่งที่ได้จากฮิสเตอร์รีซิส

จากรูปที่ 2.24 แสดงถึงการทำงานของฮิสเตอร์รีซิส โดยช่วงแรกกระแสไหลจะขึ้นไปทีกระแसा้างอิงที่ตั้งไว้ แต่เมื่อใดทีกระแสไหลสูงกว่ากระแसा้างอิงจนถึงขอบบนของฮิสเตอร์รีซิสทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ ทีเอาท์พุทฮิสเตอร์รีซิสในทางกลับกันเมื่อใดทีกระแสไหลต่ำกว่ากระแसा้างอิงจนถึงขอบล่างของฮิสเตอร์รีซิส จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบวกทีเอาท์พุทของฮิสเตอร์รีซิส และนำสัญญาณนี้ไปขับสวิตช์

2.8 ผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากได้มีการวางแผนการดำเนินงานจัดทำเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า จึงได้จัดทำแบบสอบถามความคิดเห็นการใช้รถจักรยานยนต์รับจ้างจากลูกค้าทั่วไปเพื่อที่จะได้ทราบความคิดเห็นในด้านต่างๆ ซึ่งจากการตอบแบบสอบถามสำหรับลูกค้าทั่วไปที่ใช้รถจักรยานยนต์รับจ้างนั้นได้นำผลมาวิเคราะห์พบว่า อัตราการใช้รถจักรยานยนต์รับจ้างโดยใช้บริการขึ้นก่อนหรือหลังการใช้รถโดยสารประจำทาง ด้านอัตราการใช้บริการเฉลี่ยอยู่ที่ 1-2 วัน กับ 3-4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกัน ด้านความเร็วสูงสุดของรถที่ลูกค้าต้องการมีอัตราความเร็วอยู่ในช่วงที่มากกว่า 70 ขึ้นไป เนื่องจากผู้ใช้บริการรถจักรยานยนต์นั้นต้องการความเร่งรีบในการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ ซึ่งจะแตกต่างกับผู้ใช้ที่เน้นความปลอดภัยต้องการให้มีอัตราความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 50-60 เท่านั้น ซึ่งลูกค้าทั้งกลุ่มที่ต้องการความเร่งรีบและความปลอดภัยมีความใกล้เคียงกัน ด้านตัวรถจักรยานยนต์และยี่ห้อที่ผู้ใช้บริการให้ความนิยมนั้น คือ Honda click ด้านอัตราค่าบริการนั้นเราได้สอบถามลูกค้าโดยเปรียบเทียบราคาระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าคิดว่าอัตราค่าบริการของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกต่ำกว่ารถจักรยานยนต์เครื่องยนต์ จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากแบบสอบถามนี้ พบว่ากลุ่มลูกค้ามีความต้องการมากถึงมากที่สุด ที่อยากให้เปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 2.2 ผลสำรวจสำหรับลูกค้าทั่วไปที่ใช้รถจักรยานยนต์รับจ้าง

แบบสอบถาม	ผลการสำรวจ
อัตราการใช้รถจักรยานยนต์รับจ้างโดยใช้บริการขึ้นก่อนหรือหลังการใช้บริการ	รถประจำทาง
ด้านความเร็วสูงสุดของรถที่ลูกค้าต้องการ	อัตราความเร็วอยู่ในช่วงที่มากกว่า 70 กมต่อ ชม. ขึ้นไปกับอัตราความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 50-60 กมต่อ ชม.
ด้านตัวรถจักรยานยนต์และยี่ห้อที่ผู้ใช้บริการให้ความนิยมนั้น	Honda click
ด้านอัตราค่าบริการนั้นเราได้สอบถามลูกค้าโดยเปรียบเทียบราคาระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	อัตราค่าบริการของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกต่ำกว่ารถจักรยานยนต์เครื่องยนต์
ความต้องการรถจักรยานยนต์รับจ้างไฟฟ้าของกลุ่มลูกค้า	กลุ่มลูกค้ามีความต้องการมากถึงมากที่สุด ที่อยากให้เปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในส่วนการตอบแบบสอบถามความคิดเห็นการคนขับซีรจกัรยานยนต์ เราได้นำผลมาวิเคราะห์ในด้านต่างๆพบว่า ด้านรายได้จากการขับซีรจกัรยานยนต์อยู่ที่ช่วง 400-500 บาท/วัน และรายจ่ายสำหรับผู้ขับขึ้นนั้นจะอยู่ที่ 100-200 บาท /วัน ด้านอัตราความคุ้มทุนของรถจักรยานยนต์ที่ใช้นั้นส่วนใหญ่จะเฉลี่ยอยู่ที่มากกว่า 5 ปีสำหรับในการใช้รถแต่ละคัน ด้านชนิดของน้ำมันผู้ขับจะเลือกใช้ แก๊สโซฮอล์ 91 เป็นส่วนใหญ่และราคาน้ำมันที่ใช้เติมใน 1วัน เฉลี่ยอยู่ที่ 101-150 บาท/วันสามารถขับได้ระยะทางประมาณ 101-150 kmด้านอัตราเร็วในการขับซีรจกัรยานยนต์สูงสุดจะอยู่ที่ช่วงมากกว่า70km/hr อัตราการเสียค่าบำรุงรักษารถจักรยานยนต์ต่อปีอยู่ที่ 1000-2000 บาท และ 2001-3000 บาท ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของรถและการขับซีรจกัรยานยนต์แต่ละคน ได้สอบถามเกี่ยวกับกรณีมีการเปลี่ยนมาใช้เป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ในด้านเครื่องชาร์จแบตเตอรี่นั้นเมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็มครั้งหนึ่งๆควรจะวิ่งได้อยู่ที่ประมาณ 101-120 km ด้านราคาที่ยอมรับได้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งนั้นอยู่ที่ราคาประมาณ 20 และ 30 บาทใกล้เคียงกัน ด้านอายุการใช้งานของแบตเตอรี่น่าจะมียอายุการใช้งาน 1-2 ปี กับ 2-4 ปีใกล้เคียงกัน จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากแบบสอบถามนี้ พบว่า ผู้ขับซีรจกัรยานยนต์รับจ้างมีความต้องการปานกลางที่อยากจะเปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากผู้ขับซีรจกัรยานยนต์อยากเห็นตัวรถจริงๆและมีการทดลองขับจริง ถึงจะมั่นใจได้ว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นดีกว่ารถจักรยานยนต์เครื่องยนต์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลสำรวจสำหรับคนขี่รถจักรยานยนต์รับจ้าง

แบบสอบถาม	ผลการสำรวจ
ด้านรายได้จากการขี่รถจักรยานยนต์	400-500 บาท/วัน
รายจ่ายสำหรับผู้ขับขี่	100-200 บาท /วัน
ชนิดน้ำมันที่ผู้ขับขี่เลือกใช้	แก๊สโซฮอล์91
ค่าน้ำมันใน 1 วัน	101-150 บาท/วัน
ระยะทางในการขี่ใน 1 วัน	101-150 km
อัตราเร็วในการขี่รถจักรยานยนต์สูงสุด	มากกว่า70 km/hr
อัตราการเสียค่าบำรุงรักษารถจักรยานยนต์ต่อปี	1000-2000 บาท และ 2001-3000 บาท
กรณีมีการเปลี่ยนมาใช้เป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	
ความคิดเห็นว่าชาร์จแบตเตอรี่เต็มครั้งหนึ่งๆ ควรจะวิ่งได้	101-120 km
ราคาที่ยอมรับได้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ ในแต่ละครั้ง	20 และ 30 บาท
อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	1-2 ปี กับ 2-4
ความต้องการรถจักรยานยนต์รับจ้างไฟฟ้า ของผู้ขี่รถจักรยานยนต์รับจ้าง	พบว่า ผู้ขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างมีความ ต้องการปานกลางที่อยากจะเปลี่ยนมาใช้ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

จากที่ได้ทำการหาข้อมูลมานั้น สถานีชาร์จพลังงาน(Solar station) สำหรับรถจักรยานยนต์รับจ้าง พบว่ามีการใช้ในต่างประเทศแต่เป็นการชาร์จพวกรถจักรยานไฟฟ้าในเป็นส่วนใหญ่ ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้ แต่ลักษณะของSolar station จะเป็นดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 สถานีชาร์จพลังงานที่สร้างขึ้นในต่างประเทศ(Solar station)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

	รถจักรยานยนต์เครื่องยนต์	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
มลพิษด้านเสียง	ปานกลาง - สูง	ไม่มี
มลพิษด้านอากาศ	ปานกลาง - สูง	ไม่มี
การเติมพลังงาน	เร็ว	ช้า
ความเร็วและสมรรถนะ	ปานกลาง - สูง	ต่ำ - ปานกลาง
น้ำหนักรถ	ปานกลาง	ปานกลาง - สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

	รถน้ำมันมีเกียร์	รถน้ำมันออโตเมติก	รถไฟฟ้า
อัตราสิ้นเปลือง	40 กม. / ลิตร	32 กม. / ลิตร	11 กม. / ไฟ 1 Unit
ค่าพลังงาน	Gasohol 91 32.34 บาท / ลิตร	Gasohol 91 32.34 บาท / ลิตร	3.50 บาท / หน่วย
	Gasohol 95 35.37 บาท / ลิตร	Gasohol 95 35.37 บาท / ลิตร	
ระยะทางที่วิ่ง / ปี	18,000 กม. / ปี	18,000 กม. / ปี	18,000 กม. / ปี
ค่าพลังงาน / ปี	Gasohol 91 14,553 บาท / ปี	Gasohol 91 18,191 บาท / ปี	5,728 บาท / ปี
	Gasohol 95 15,916 บาท / ปี	Gasohol 95 19,895 บาท / ปี	

หมายเหตุ : ราคาน้ำมัน ณ วันที่ 2 ตุลาคม 2554

อ้างอิงจาก www.tigermotor.co.th

จะพบว่าในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงเป็น Gasohol 91 ใน 1 ลิตร รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะใช้ค่าพลังงาน/ปี ถูกกว่า รถจักรยานยนต์น้ำมันมีเกียร์อยู่ 8,825 บาท/ปี และถูกกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมันออโตเมติก 12,463 บาท/ปี ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงเป็น Gasohol 95 ใน 1 ลิตร รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะใช้ค่าพลังงาน/ปี ถูกกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมันมีเกียร์อยู่ 10,188 บาท/ปี และถูกกว่ารถจักรยานยนต์น้ำมันออโตเมติก 14,167 บาท/ปี ในปัจจุบันนี้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างมาลงทะเบียน จำนวน 101,446 คนจากวินรถจักรยานยนต์รับจ้าง 5,617 วิน ข้อมูล ณ วันที่ 15 มีนาคม 2554 เพราะฉะนั้นจะช่วยประหยัดอย่างน้อยที่สุดสมมุติให้ขับขี่เป็นรถจักรยานยนต์น้ำมันมีเกียร์ทั้งหมดจะได้ 895,260,950 บาท/ปี/ลิตร หรือ 2,486,835 บาท/วัน/ลิตร แต่รถจักรยานยนต์รับจ้างเฉลี่ย 1 วันใช้ประมาณ 4 ลิตร เพราะฉะนั้นแสดงว่าช่วยประหยัดได้ถึง 9,947,340 บาท/วัน / ลิตร

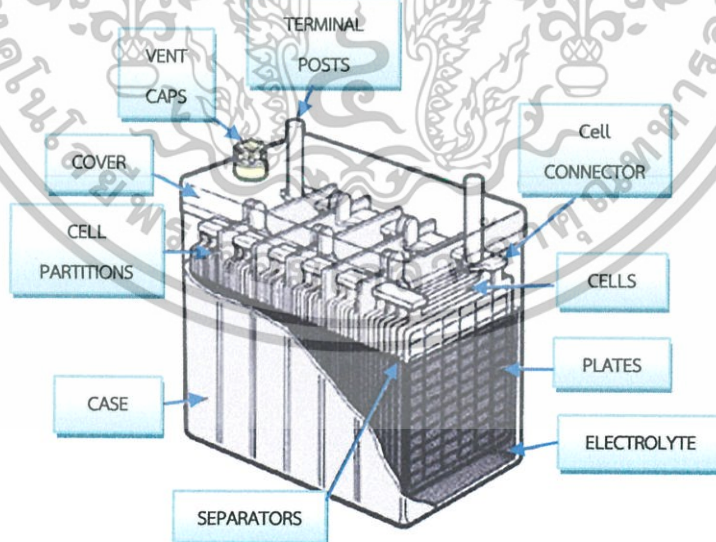
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด [13]

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี แล้วค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

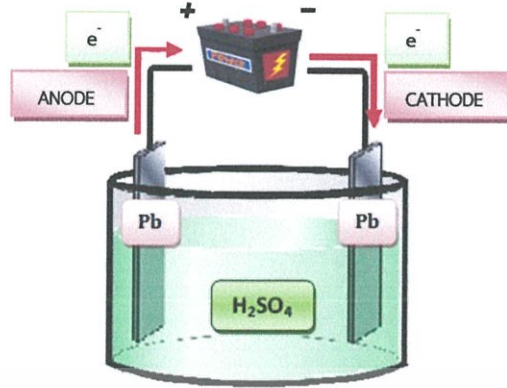
เซลล์แบบหุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือเซลล์แบบตะกั่วกรด ซึ่งใช้ทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.26 เราจะเห็นมันประกอบด้วยแผ่นคาโทด และแผ่นแอนโอดวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกัน เพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไร ปฏิกริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน [14]

อิเล็กโทรดเป็นแอนโอดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโอดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.27



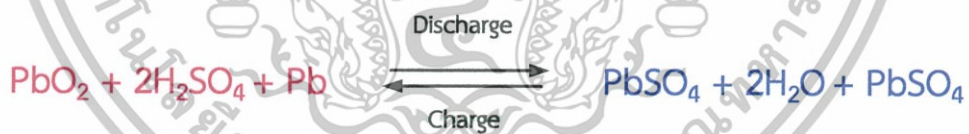
รูปที่ 2.26 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นแอนโอดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 คุณลักษณะของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ที่คาโอด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่ว ซึ่งมีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวกซึ่งเป็นชนิดเดียวกับแอนอดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโอดผ่านไปยังวงจรภายนอก ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน ซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (lead sulphate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโอดกลายเป็นน้ำ) เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



สูตรปฏิกิริยาเคมี

ซึ่งแสดง(โดยลูกศร 2 ทิศทาง) ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจร ซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโอดไปสู่แอนอด ดังจะเห็นวงจรต่อไปสูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะ การประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ(specific gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัดแรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์เซลล์แบบตะกั่ว - กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลานานแล้ว การปรับปรุงให้เซลล์มีอายุการใช้งานนานขึ้น โดยที่แบตเตอรี่ที่มีการผนึกอย่างดี และมีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย จึงสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้ นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลล์แบบปฐมภูมิในเครื่องมือวัดแบบกระเป่าหิ้ว เนื่องจากมันสามารถประจุไฟใหม่ได้ โครงสร้างของเซลล์แบบนี้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.28 ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถใช้ที่ใดก็ได้โดยจะไม่ปล่อยอิเล็กโทรไลต์ออกมาใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป่าหิ้ว



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มาตรฐาน จะมีแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าปกติ ประมาณ 2 โวลต์ต่อเซลล์ เราจะเห็นได้ว่าแรงดันขนาด 2 โวลต์นับว่าเป็นขนาดแรงดันที่น้อยมาก ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการที่เราจะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน ทำได้โดยการนำเอาแบตเตอรี่หลายๆเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรม (Series) โดยการต่อแบบขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 ต่อกับขั้วลบของเซลล์ที่ 2 และต่อกันในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนมีขนาดของแรงดันเพียงพอกับความ ต้องการ ผลสุดท้ายจะเหลือขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 และขั้วลบของเซลล์สุดท้าย ขั้วทั้งสองที่กล่าวมานี้ เป็นจุดเป็นจุดต่อที่จะนำเอาพลังงานไปใช้งาน ขนาดของเซลล์และปริมาณของแรงดันดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน

จำนวนเซลล์	ขนาดของแรงดัน (โวลต์)
3	6
6	12
12	24
24	48
30	60

2.11 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ

2.11.1 ระดับแรงดันปกติ (Float Charge)

การชาร์จระดับนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่ออายุของแบตเตอรี่ การปรับระดับแรงดันที่ Float Charge ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะใช้แรงดันระหว่าง 2.15-2.20 โวลต์ต่อเซลล์ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12 เซลล์ แรงดันที่ใช้ในการชาร์จจะเท่ากับ 2.15×12 เท่ากับ 25.8 โวลต์

การหาแรงดันในระดับ Float Charge ในแต่ละชุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับระดับแรงดันในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ในชุดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 ระดับแรงดันรุนแรง (Equalize Charge)

การที่ชาร์จแบตเตอรี่ในระบบ Float Charge อย่างเดียวเป็นระยะเวลานานๆ ยังไม่เพียงพอที่จะรักษาแบตเตอรี่ ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งพอที่จะสรุปเหตุผลย่อยๆ ได้ดังนี้

ในระดับแรงดันการชาร์จที่ Float Charge ไม่สามารถที่จะแก้ Self Discharge และ Local Action ได้ 100% ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมเซลล์เกิดความแตกต่างกัน เซลล์บางเซลล์ของแบตเตอรี่ได้รับความร้อน และความเย็นจากอุณหภูมิโดยรอบเซลล์แบตเตอรี่ไม่เท่ากันจะทำให้ อุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ทุกๆ ตารางนิ้ว ไม่เท่ากัน ขั้วต่อแบตเตอรี่บางส่วน ได้รับแรงดันที่ตกคร่อมไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากความหนาแน่นไม่เท่ากัน

การทำ Equalize Charge คือ การเพิ่มระดับแรงดันในการชาร์จให้สูงกว่าระดับ Float Charge ซึ่งจะทำให้กระแสไหลในแบตเตอรี่สูงขึ้น เพื่อเป็นการแก้การสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลภายในวงจรแบตเตอรี่ทั้งหมดและจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุพร้อมที่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานในเวลาที่เราต้องการใช้งาน ระดับแรงดันที่เราใช้ในการทำ Equalize Charge ใช้แรงดันที่ 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ โดยแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะแสดงไว้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

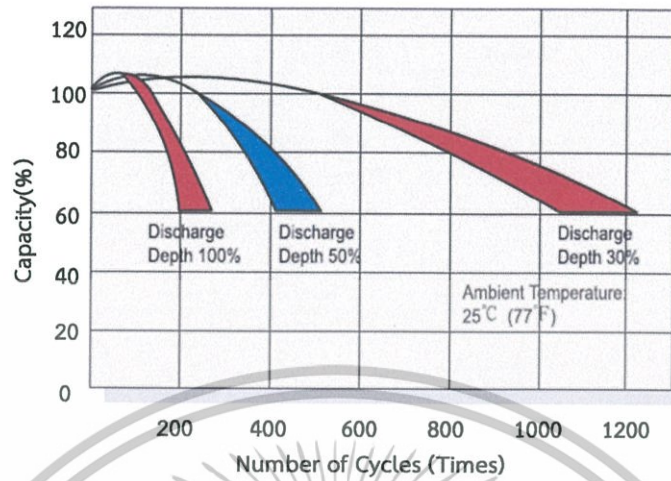
จำนวนเซลล์	ระดับแรงดันในการชาร์จ (โวลต์)	
	Float	Equalize
6	13.2	14.7
12	26.4	25.97
24	52.8	55.92
30	66	73.5
48	105.6	111.84

หมายเหตุ : ระดับแรงดัน Float Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.2 โวลต์ต่อเซลล์

ระดับแรงดัน Equalize Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.45 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ (Depth of Discharge: DOD)



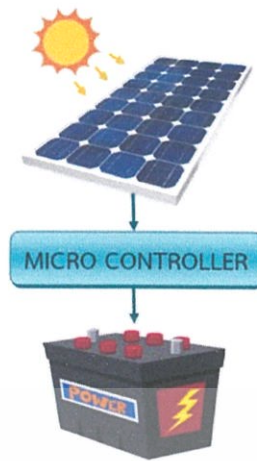
รูปที่ 2.29 จำนวนรอบการใช้งานกับค่าความลึกในการคายประจุ

ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ (Depth of Discharge: DOD) ผลของการคายประจุแบตเตอรี่ที่ปริมาณต่างๆกัน ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ 2.29 พบว่า ยิ่งมีการคายประจุของแบตเตอรี่มาก จะทำให้จำนวนรอบการใช้งานก่อนที่แบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพจะยิ่งลดลง นั่นหมายความว่า ยิ่ง %DOD สูงจะยิ่งทำให้แบตเตอรี่มีจำนวนรอบการใช้งานต่ำเสื่อมสภาพเร็วกว่าการคายประจุที่ %DOD ต่ำๆ

2.13 แผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ คือเครื่องชาร์จแบตเตอรี่นั่นเอง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ถ้าเหลือจากการใช้ก็สามารถเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่เพื่อไว้ใช้ในยามที่ต้องการได้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีวัตต์สูงสามารถชาร์จได้เร็ว วัตต์ต่ำชาร์จได้ช้า โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้าชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่ดังรูปที่ 2.30

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกแหล่งจ่ายหนึ่งที่ใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว และเป็นระบบ stand alone ด้วย



รูปที่ 2.30 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.14 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับบททบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย วิธีการชาร์จแบตเตอรี่เปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ผลสำรวจการดำเนินงานวิจัย ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมในโหมดการชาร์จต่างๆ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่ วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์และแบบพัลส์ชาร์จ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานจริงต่อไป

บทที่ 3

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางและการชาร์จแบบพัลส์ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อตรวจสอบการทำงานในสถานะต่างๆ และหาค่าพารามิเตอร์ของวงจร ก่อนที่จะนำไปสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นงานจริง เพื่อที่จะทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากชิ้นงานจริง โดยจะแบ่งการจำลองการทำงานออกเป็น 3 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรในขณะที่ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสไม่ให้เกิน 8 แอมป์ สำหรับในตอนที่ 2 เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรในขณะที่ทำงานในโหมดจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ และตอนที่ 3 เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรชาร์จแบบพัลส์

3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เพื่อเป็นการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ ขณะที่ทำการจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ และการชาร์จแบบพัลส์ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 ซึ่งจะเป็นการยืนยันถึงแนวความคิดให้ถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎี และเป็นแนวทางการดำเนินงานก่อนที่จะไปทำการจัดสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นงานจริงต่อไป ซึ่งการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ (Constant Voltage with Current Limit Mode)

1. เพื่อศึกษาอัตราการเคลื่อนที่ของกระแสและแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่
2. เพื่อศึกษาคูณลักษณะของแรงดันและกระแสขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่

ตอนที่ 2 การจ่ายพลังงานคืนกลับ (Inverter Mode)

1. เพื่อศึกษาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อศึกษาความสามารถในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อมีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า

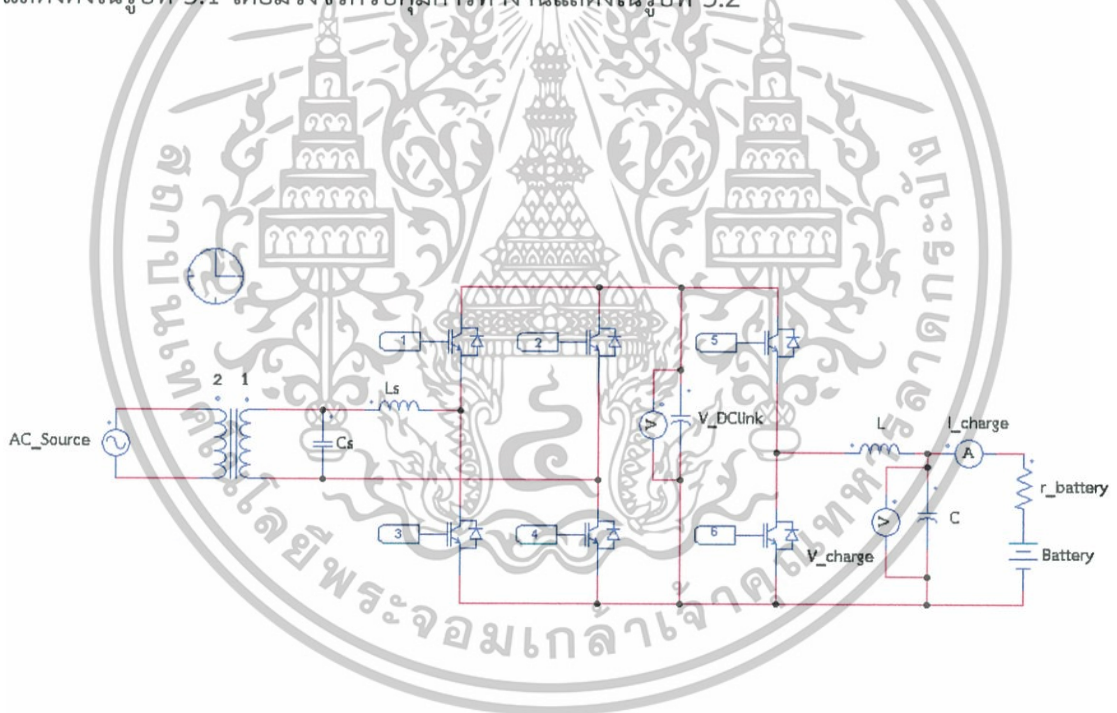
ตอนที่ 3 การชาร์จแบบพัลส์ (Pulse Charge)

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรที่ใช้เทคนิคการชาร์จแบบพัลส์
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการชาร์จแบบพัลส์กับการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

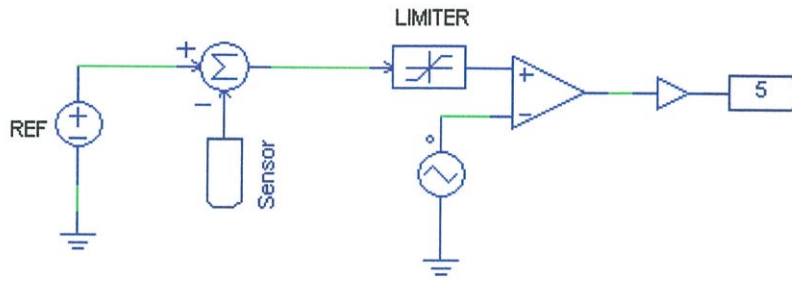
3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3.1 การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จแสดงดังในรูปที่ 3.1 โดยมีวงจรควบคุมการทำงานแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

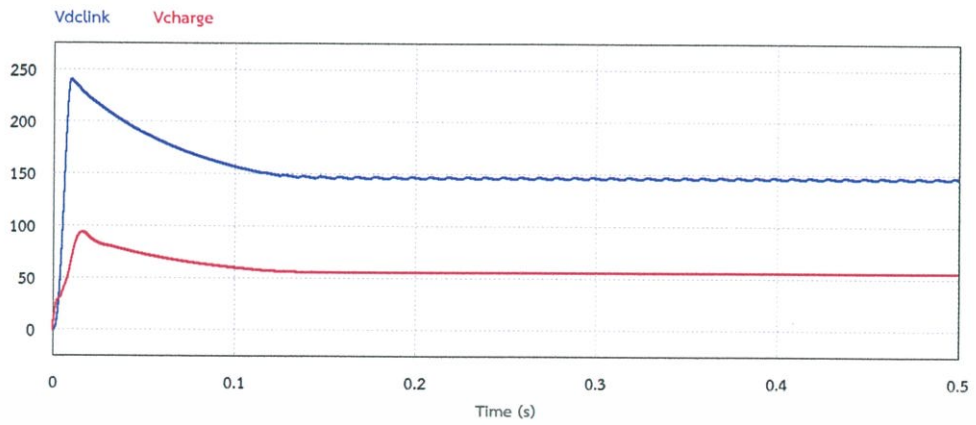


รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ในการสวิตช์	10 kHz
หม้อแปลงไฟฟ้า	230 /115 (2:1)
C_s	20 μ F
L_s	1 mH
$C_{o\text{link}}$	10,000 μ F
Inductance (L)	3 mH
Capacitance (C)	2200 μ F
แรงดันแบตเตอรี่	48 V
ความต้านทานภายในแบตเตอรี่	0.1 Ω

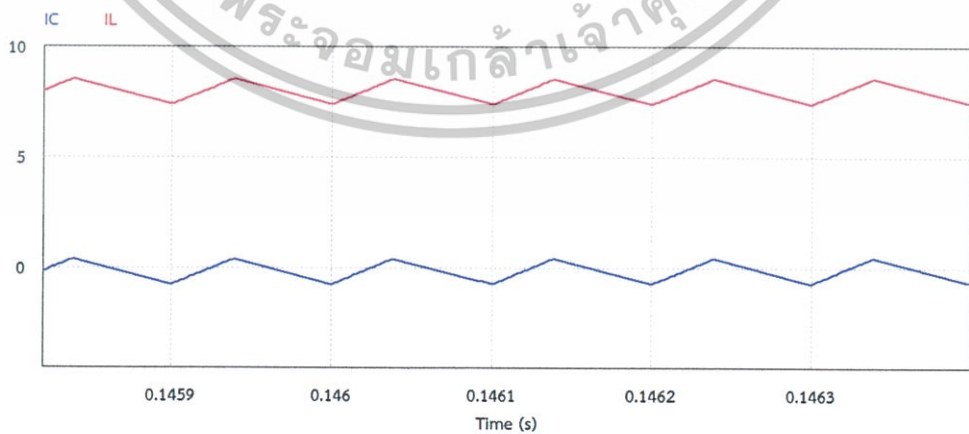
ในการจำลองการทำงานของวงจรในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยทำการต่อไฟจากการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันลงมา แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีซีลิงค์ จากนั้นทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิงค์ลงมาให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณ 56 โวลต์ โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 ผลการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

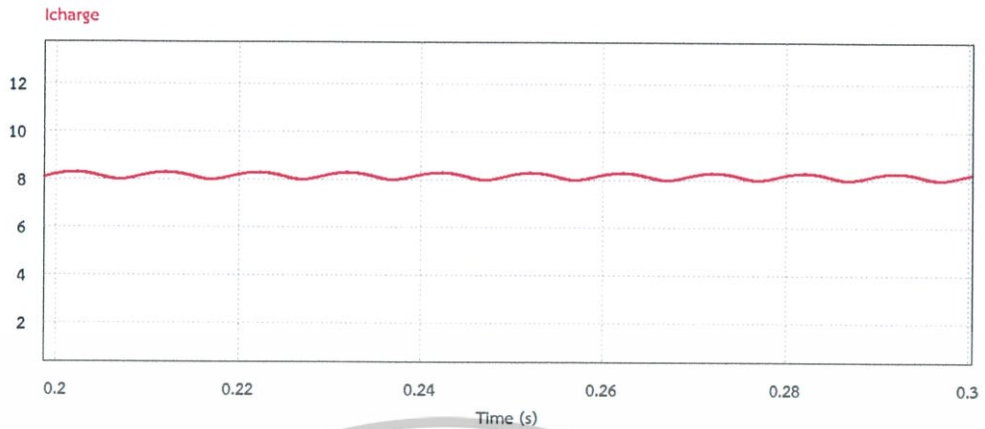


รูปที่ 3.4 อัตราการรอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 3.5 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (สีแดง) และตัวเก็บประจุ (สีน้ำเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่

การจำลองการชาร์จแบตเตอรี่จะจำลองให้รับไฟจากการไฟฟ้าเพื่อชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ รูปที่ 3.3 แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ดิสคิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ รูปที่ 3.4 แสดงอัตราลระลอกคลื่นที่แรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่ รูปที่ 3.5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ และรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ถูกจำกัดสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ (ประมาณ 8 แอมป์)

จากรูปที่ 3.3 แสดงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ดิสคิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้า ที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดิสคิงค์ใน ช่วงแรกจะเกิดเป็นลักษณะแรงดันเกินขึ้นไป (Overshoot) แล้วลดระดับลงมาเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งเกิดจากผลของตัวเก็บประจุที่อยู่ติดดิสคิงค์ เมื่อผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดระดับแรงดันจากดิสคิงค์ลงมา จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เท่ากับ 56 โวลต์ สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 24 เซลล์ โดยที่จะทำการชาร์จโดยใช้แรงดัน 2.34 โวลต์ ต่อเซลล์ เมื่อทำการขยายสัญญาณแรงดันที่ชาร์จแบตเตอรี่ออกมาเพื่อดูการกระเพื่อมของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.4 พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราการลระลอกคลื่นของแรงดันจากสมการที่ 2.42

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-0.36}{8 \times 3 \times 10^{-3} \times 2200 \times 10^{-6} \times (10 \times 10^3)^2}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.012\%$$

จะได้ว่า อัตราการลอคคลื่นของแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.012 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรบ็คคอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากพื้นที่ทางด้านซีกบวกและซีกลบของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นผลคูณระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบมีค่าเท่ากัน นั่นหมายความว่าเมื่อทำการหาผลรวมแล้วจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากันและมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่าวงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานอยู่ในโหมดกระแสต่อเนื่อง ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในวงจรบ็คคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือประจุที่ถูกสะสมและคายออกมาของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน และจะเห็นได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีลักษณะเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเพียงแต่ถูกกลบองค์ประกอบที่เป็นดีซีออกไป ซึ่งองค์ประกอบดีซีที่หายไปนี้ จะเป็นกระแสที่ไว้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.6

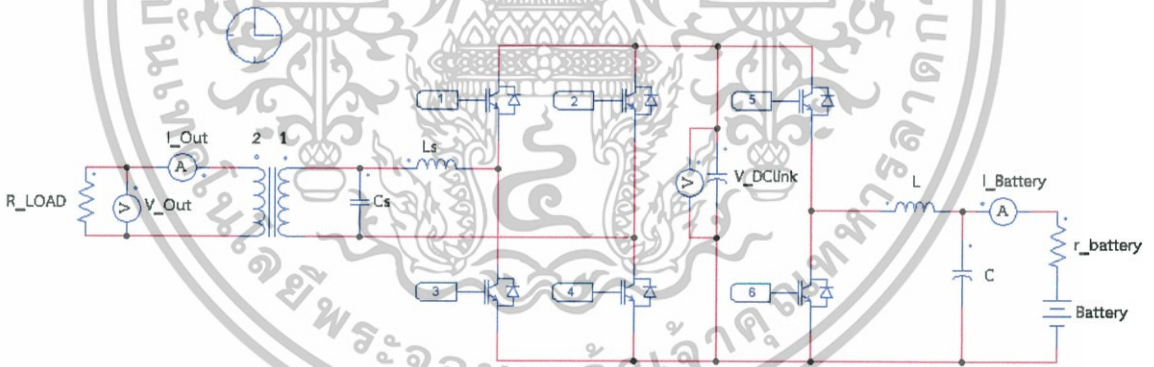
3.3.2 การจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ

ในการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางในขณะที่ทำการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ โดยจะทำการยกแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ จากแบตเตอรี่ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ดีซีลิงค์ด้วยวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะมีค่าประมาณ 155 โวลต์ เพื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่านและหม้อแปลงไฟฟ้า จ่ายสู่ภาระทางไฟฟ้าต่อไป โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปดังตารางที่ 3.2 ค่าความต้านทานภาระทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 484 โอห์มซึ่งจะจำลองการจ่ายพลังงานคืนสู่ภาระไฟฟ้า 100 วัตต์ โดยมีวงจรการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

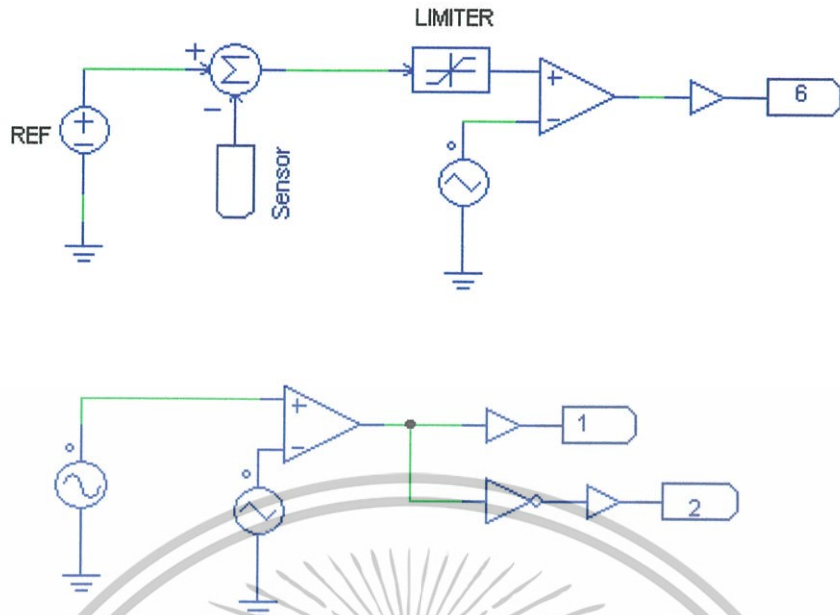
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ในการสวิตชิง	10 kHz
หม้อแปลงไฟฟ้า	230 /115 (2:1)
C_s	20 μ F
L_s	1 mH
C DClink	10,000 μ F
Inductance (L)	3 mH
Capacitance (C)	2200 μ F
แรงดันแบตเตอรี่	48 V
ความต้านทานภายในแบตเตอรี่	0.1 Ω
ความต้านทานในโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับ	484 Ω (100 Watt)

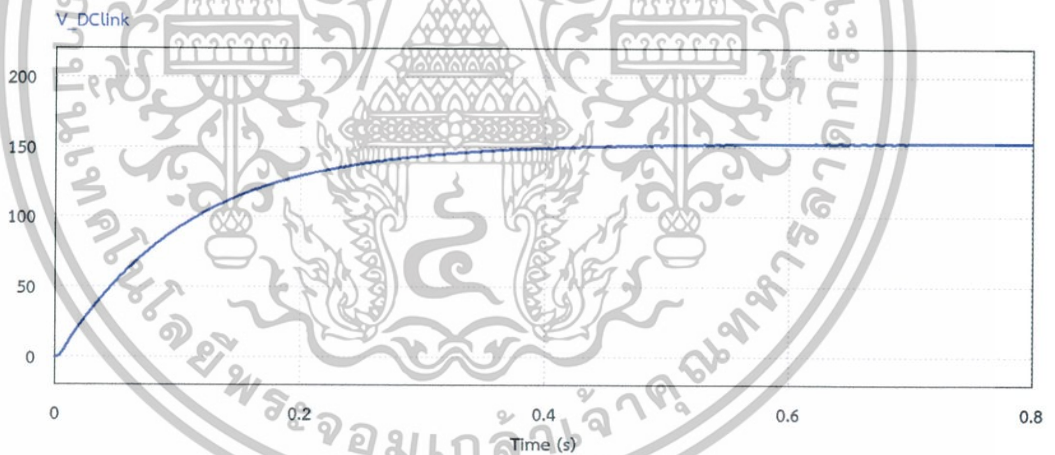


รูปที่ 3.7 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

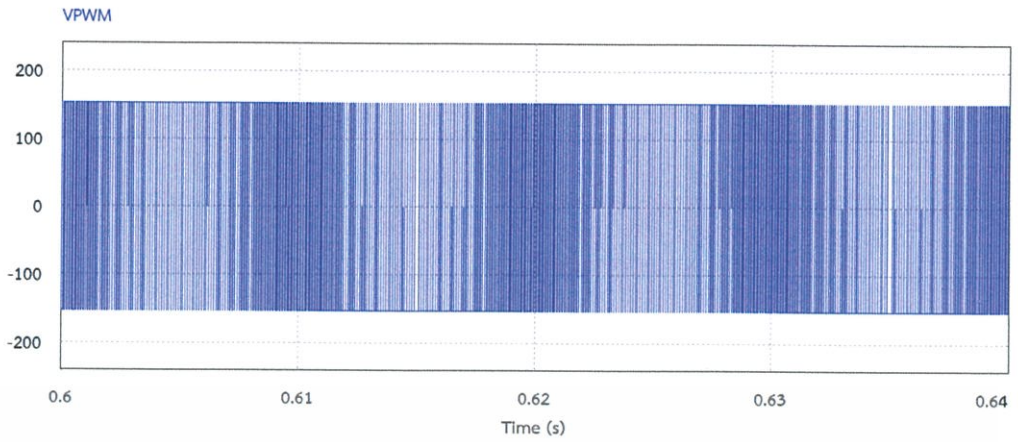


รูปที่ 3.8 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ

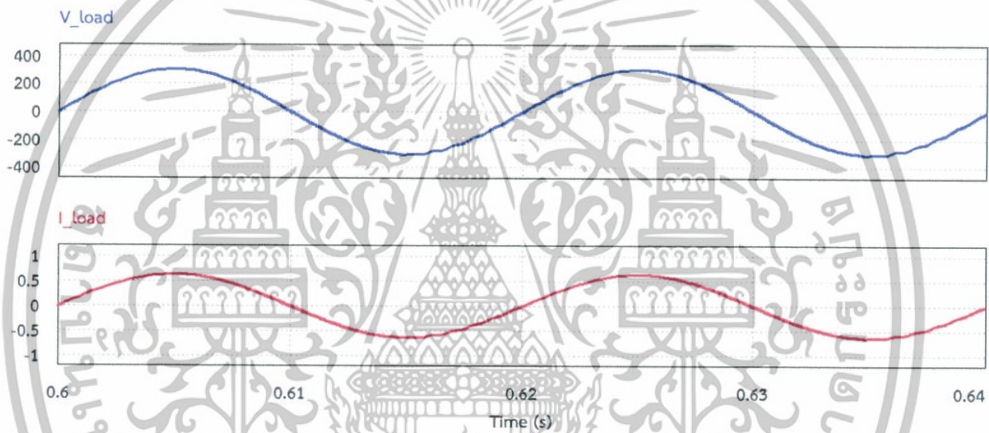


รูปที่ 3.9 แรงดันไฟฟ้าที่ดิสลิงค์

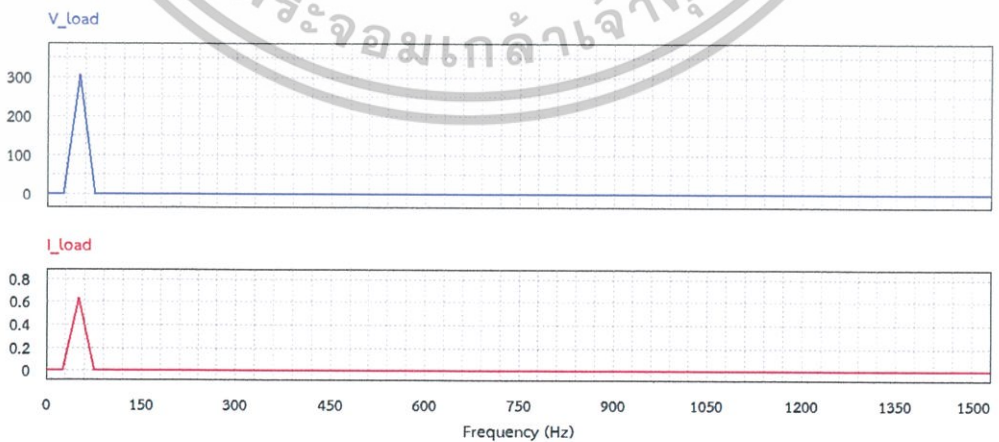
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง



รูปที่ 3.11 แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง (สีน้ำเงิน) และกระแสไฟฟ้า (สีแดง) ที่ภาระทางไฟฟ้า 100 วัตต์



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมแสดงฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

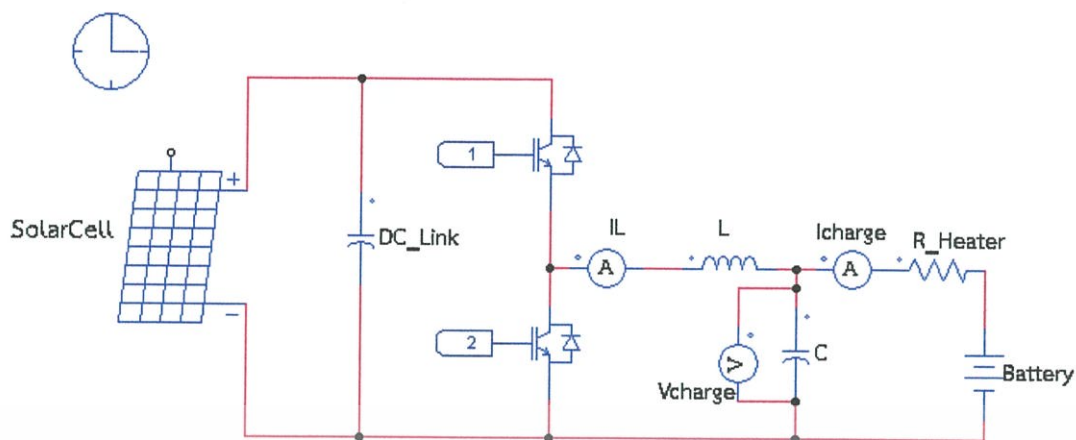
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ ทำการจำลองด้วยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปสู่ภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ โดยรูปที่ 3.9 แสดงแรงดันที่ตีซีลิงค์เมื่อผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ รูปที่ 3.10 แสดงแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง รูปที่ 3.11 แสดงแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกเมื่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า รูปที่ 3.12 แสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกและสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านออกที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว

รูปที่ 3.9 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ตีซีลิงค์ มีค่าประมาณ 155 โวลต์ที่สภาวะอยู่ตัว โดยที่ในช่วงแรกจะมีผลของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ตีซีลิงค์อยู่เช่นเดียวกับในตอนเริ่มชาร์จแบตเตอรี่ จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตีซีลิงค์เข้าสู่วงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และจะได้รูปแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรองเป็นไปตามรูปที่ 3.10 และผ่านหม้อแปลงและทำการป้อนเข้าสู่ภาระทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ ดังรูปที่ 3.11 พบว่ารูปคลื่นของแรงดันและกระแสมีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยที่มีค่าสูงสุดของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 327 โวลต์ 697 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ จะได้ค่างังผลของแรงดันและกระแสเท่ากับ 218 โวลต์ 451 มิลลิแอมป์ตามลำดับ โดยสามารถเพิ่มหรือลดระดับแรงดันได้โดยการปรับการทำงานของสวิตช์ให้มีการทำงานนานขึ้นหรือสั้นลง เมื่อทำการหาสเปกตรัมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านออกที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้างดรูปที่ 3.12 พบว่าจะเกิดค่าแอมพลิจูดที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์เดียว ซึ่งเป็นความถี่มูลฐานของระบบ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสไฟฟ้า พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน ซึ่งมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

3.3.3 การชาร์จแบบพัลส์

การแสดงผลการจำลองการทำงานในโหมดการชาร์จแบบพัลส์จะใช้วงจรตามรูปที่ 3.13 โดยรับแรงดันด้านเข้ามาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านตัวเก็บประจุ ก่อนเข้าสู่การทำงานในโหมดพัลส์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.3 และวงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 วงจรที่ใช้ในการจำลองการชาร์จแบบพัลส์



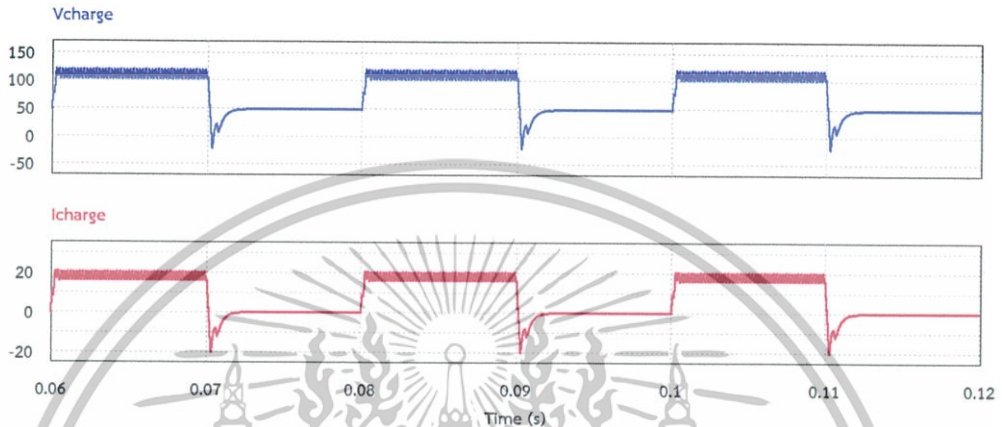
รูปที่ 3.14 การสร้างสัญญาณควบคุมการทำงาน

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานการชาร์จแบบพัลส์

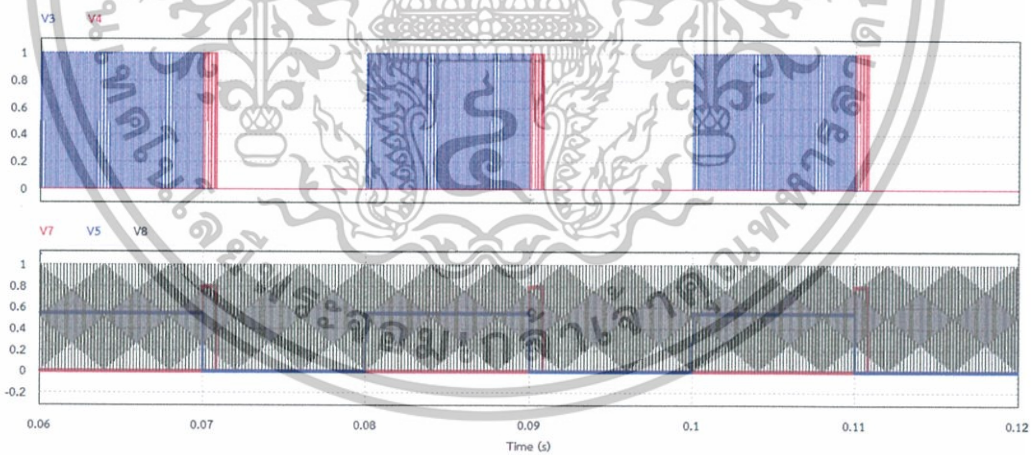
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ในการสวิตชิง G1 / G2	5 kHz
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	150 V
C DClink	10,000 μF
Inductance (L)	100 μH
Capacitance (C)	90 μF
แรงดันแบตเตอรี่	48 V
ความต้านทาน (Heater)	3.5 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองการทำงานของวงจรชาร์จแบบพัลส์ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยทำการรับไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปตามตารางที่ 3.3

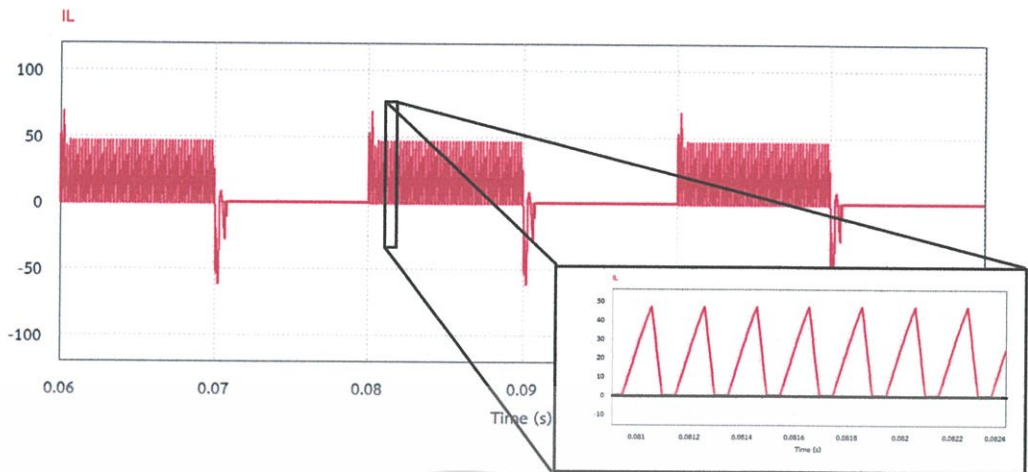


รูปที่ 3.15 ผลการจำลองการชาร์จแบบพัลส์



รูปที่ 3.16 การสร้างสัญญาณขับสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจร

รูปที่ 3.15 แสดงผลการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ ซึ่งผลที่ออกมาจะเห็นได้ว่าตรงกับตามที่ได้ศึกษาคือการชาร์จจะถูกแบ่งออกเป็น 4 โหมดการทำงาน คือ การชาร์จแบบบวก โหมดชะลอพัลส์ โหมดดีสชาร์จซีกิลบ และ โหมดพัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัว โดยการทำงานของสวิตช์นั้นมีลักษณะการออกแบบตาม รูปที่ 3.16 และปริมาณของกระแสที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบเวลาสำหรับการทำงานของสวิตช์ทั้ง 2 ตัว ซึ่งการชาร์จแบบพัลส์สามารถทำการชาร์จด้วยแรงดันที่สูงกว่าการชาร์จปกติด้วยแรงดันปกติได้ เนื่องจากมีช่วงที่ให้แบตเตอรี่ได้ลดความเครียดสะสม

จากรูปที่ 3.15 แสดงผลการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่ในโหมดการชาร์จแบบพัลส์ โดยมีค่ากระแสพัลส์ด้านบวกโดยประมาณ 20 แอมป์ และพัลส์ด้านลบ 20 แอมป์ โดยมีค่าเฉลี่ยของกระแสชาร์จอยู่ประมาณ 8.2 แอมป์ ด้วยค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ซีกิลบ (M_{a+}) เท่ากับ 0.55 และ ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ซีกิลบ (M_{a-}) เท่ากับ 0.8

จะเห็นได้ว่าการทำให้กระแสชาร์จเป็นแบบพัลส์ได้นั้น ต้องอาศัยการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของคอนเวอร์เตอร์ โดยกระแสไม่ต่อเนื่องที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 3.17 เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำสามารถคายพลังงานได้หมด หรือมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการแรงแย่งอย่างทันทีทันใดได้

3.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง และการชาร์จแบบพัลส์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 จะเห็นได้ว่าในขณะที่วงจรทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จให้คงที่ได้ โดยอัตราระลอกคลื่นของแรงดันและกระแสมีค่าต่ำ แสดงถึงความเหมาะสมของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ และในขณะที่วงจรทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานคืนสู่ภาระทางไฟฟ้า รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้มีความใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามามีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่ทำการจำลองนี้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในสองทิศทางได้ สำหรับในส่วนของวงจรชาร์จแบบพัลส์ พบว่า สามารถที่จะออกแบบกระแสชาร์จเป็นพัลส์ได้จริง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ต้องมีการเก็บผลการทดลอง เพื่อหาข้อสรุปว่าการชาร์จแบบพัลส์นั้นจะสามารถทำให้ชาร์จได้เร็วและปลอดภัยมากกว่าการชาร์จแบบปกติหรือไม่ตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา รวมถึงลักษณะการทำงานและช่วงเวลาการทำงานของสวิตซ์ทั้ง 2 ตัว ว่ามีความเหมาะสมอยู่ในช่วงใด โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการทดลองและใช้งานจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

4.1 บทนำ

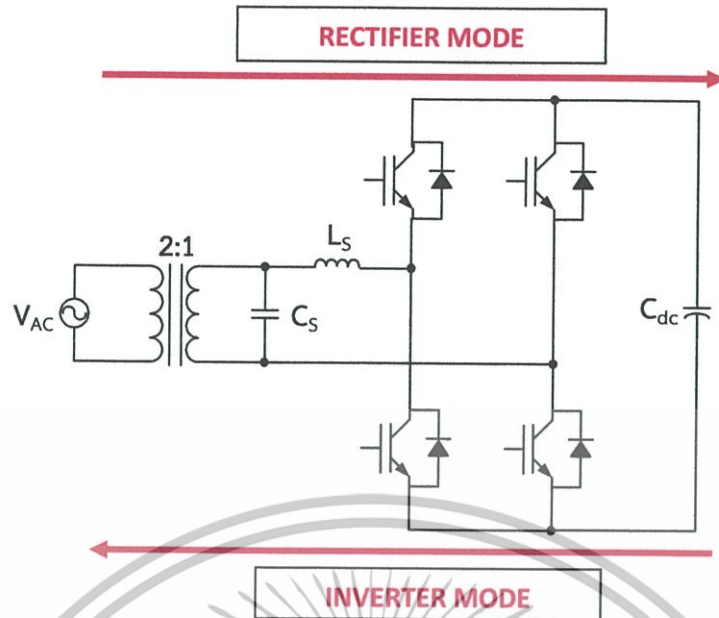
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้านั้น จะอาศัยหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง และวงจรเพิ่ม-ลดระดับแรงดันเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่จะนำมาประกอบรวมกัน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆสองส่วนคือ ส่วนของวงจรกำลัง และส่วนของวงจรควบคุม ที่มีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง

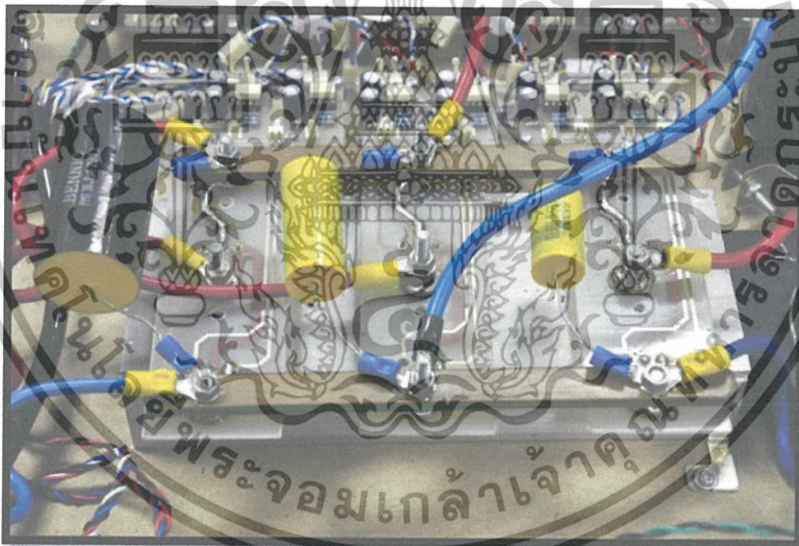
4.2.1 การออกแบบวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสทำหน้าที่ในการส่งจ่ายพลังงานแบบสองทิศทาง นั่นคือทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ และทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับจ่ายพลังงานคืนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังภาระทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่

4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส



รูปที่ 4.2 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

วงจรสวิตช์กำลังเป็นส่วนที่ใช้ในการทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยการสวิตช์นั้นจะถูกควบคุมจากส่วนของวงจรควบคุมที่ได้กำหนดไว้จากตัวประมวลผล โดยอุปกรณ์กำลังที่ทำหน้าที่ในการสวิตช์นั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ดังนั้นอุปกรณ์สวิตช์ที่นำมาใช้นี้ต้องคำนึงถึงพิกัดของขนาดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความถี่ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์สูงสุดที่สามารถรองรับได้ วงจรสวิตช์กำลังในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยตัวเก็บประจุประเภท MKP ขนาด 30 ไมโครฟารัด พิกัดแรงดัน 250 โวลต์ สวิตช์กำลังใช้เป็น ไอจีบีทีเบอร์ GTG30N60C3D_NL ซึ่งมีขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 600 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 63 แอมป์ จำนวน 4 ตัว หน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยเริ่มจากสวิตช์ไอจีบีทีทั้ง 4 ตัว รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้า ผ่านมาทางหม้อแปลงไฟฟ้าที่ลดระดับแรงดันลงมาเหลือประมาณ 155 โวลต์ แล้วทำการเรียงกระแสได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกมา โดยบริเวณดีซีลิงค์ (DC Link) จะมีตัวเก็บประจุขนาด 10,000 ไมโครฟารัดต่อขนานอยู่แล้วทำการควบคุมการทำงานของสวิตช์ตามสัญญาณขั้วเบตที่ได้รับมาจากชุดวงจรควบคุม ซึ่งจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับออกมาผ่านวงจรกรอง และหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการจ่ายโหลดต่อไป

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ทั้งเป็นเร็คตีไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยการใช้สวิตช์กำลังทั้งหมด 4 ตัว

4.2.2 การออกแบบวงจรกรองของ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส (Filter)

การออกแบบวงจรกรองสัญญาณด้านเอาต์พุตของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในโหมดการทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์นั้นจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการขับสวิตช์กำลังนั้น เป็นการควบคุมด้วยเทคนิค SPWM แบบโพลาร์ ซึ่งสัญญาณด้านเอาต์พุต จะมีความถี่ในการสวิตช์ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) ดังนั้นจึงต้องทำการกรองความถี่ดังกล่าวออก โดยใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งควรออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยค่าของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้ดังสมการที่ 4.1

$$f_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (4.1)$$

โดยที่ f_{cutoff} คือ ความถี่คัตออฟ

L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรกรอง

C_s คือ ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรอง

โดยความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นให้ความถี่คัตออฟเท่ากับ 1.5 กิโลเฮิร์ตและให้ขนาดของค่าความตัวเก็บประจุให้มีค่า 20 ไมโครฟารัด หาขนาดของตัวเหนี่ยวนำ จากสมการที่ 4.1 จะได้ว่า

$$L_s = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_s} \quad (4.2)$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 1.5 \times 10^3)^2 \times 20 \times 10^{-6}}$$

$$= 563 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

แต่ในทางปฏิบัติเลือกขนาดของตัวเหนี่ยวนำ 1 มิลลิเฮนรี่เพื่อให้ได้รูปคลื่นของแรงดันที่เหมาะสมกับการนำไปจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ดังรูปที่ 4.3

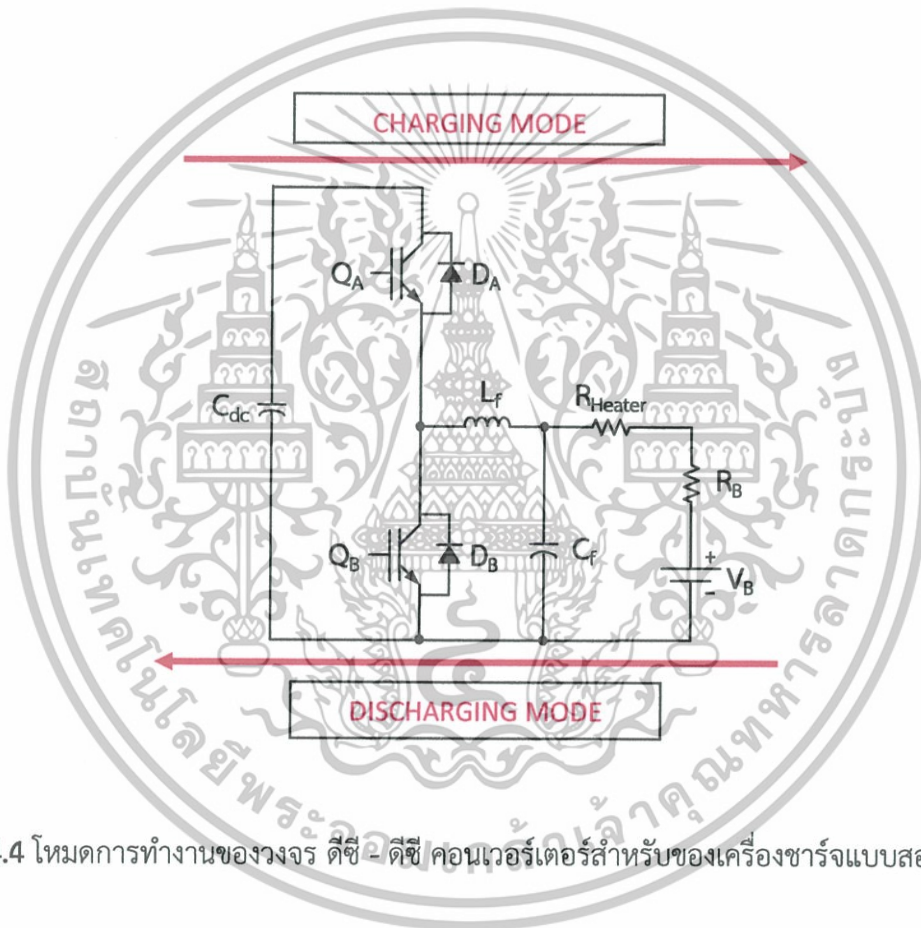


รูปที่ 4.3 วงจรกรองของดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับโหมตการชาร์จปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับของเครื่องชาร์จแบบสองทิศทาง

วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมด โหมดแรกจะทำหน้าที่เป็นบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากดีซีลิงค์ลงมาให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ สำหรับโหมดที่สองจะทำหน้าที่เป็นวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปสู่ดีซีลิงค์สำหรับเข้าสู่การทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต่อไป แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยสวิตช์ตัวบนจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับการทำงานโหมดบัคคอนเวอร์เตอร์ และสวิตช์ตัวล่างจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับการทำงานโหมดบูสคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.4 โหมดการทำงานของวงจร ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับของเครื่องชาร์จแบบสองทิศทาง

4.2.3.1 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบวงจร ให้แรงดันด้านอินพุตเท่ากับแรงดันที่ตีซีลิงค์ นั่นคือ 155 โวลต์ และต้องการแรงดันในการออกแบบวงจร ให้แรงดันด้านอินพุตเท่ากับแรงดันที่ตีซีลิงค์ นั่นคือ 155 โวลต์ และต้องการแรงดันด้านออกสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ 56 โวลต์ เนื่องจากในโครงการนี้จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ โดยการนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ขนาด 12 โวลต์ 6 เซลล์ 4 ลูกมาต่ออนุกรมกัน รวมเป็น 48 โวลต์ 24 เซลล์ ซึ่งแรงดันที่เลือกใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 2.34 โวลต์ต่อเซลล์ ดังนั้นแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ จึงเท่ากับ 2.34×24 เท่ากับ 56 โวลต์ และความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์มีค่าเท่ากับ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ และกำหนดอัตราระลอกคลื่นไว้ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำการจำกัดกระแสที่ใช้ในการชาร์จไว้ที่ 8 แอมป์ จากสมการที่ 2.24

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

$$= \frac{56 \text{ V}}{155 \text{ V}}$$

$$= 0.36$$

จากสมการที่ 2.32 จะได้ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด L_{\min}

$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$$

$$= \frac{(1-0.36)}{2 \times (10 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{56 \text{ V}}{8 \text{ A}}$$

$$= 224 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำจะต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน นั่นคือ จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับทั้งวงจรบัคและบัสคอนเวอร์เตอร์ และด้วยเทคนิคการชาร์จแบบปกติ จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำค่าเดียวกัน ดังนั้นต้องพิจารณาถึงค่าความเหนี่ยวนำในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ด้วย การหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้อัตราระลอกคลื่นเท่ากับ 0.5% จากสมการที่ 2.42

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

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

$$= \frac{(1-0.36)}{8 \times (224 \times 10^{-6} \text{ F}) \times (10 \times 10^3 \text{ Hz})^2 \times 0.5\%}$$

$$= 714.285 \text{ ไมโครฟารัด}$$

ในทางปฏิบัติควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1060.61 ไมโครฟารัด แต่ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุขนาด 2200 ไมโครฟารัด จำนวน 1 ตัว

4.2.3.2 การออกแบบวงจบบัสคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจบบัสคอนเวอร์เตอร์จะให้แรงดันด้านอินพุทเท่ากับแรงดันที่แบตเตอรี่นั้น คือ 48 โวลต์ และต้องการยกระดับแรงดันขึ้นไปที่ดีซีลิ่งซึ่งจะให้มีความแรงดันด้านเอาต์พุทเท่ากับ 163 V ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ 10 กิโลเฮิร์ต อัตราคลื่นระลอก 0.5 เปอร์เซ็นต์ คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่กระแสไหลต่ำสุด ในที่นี้จะสมมติให้โหลดดึงกระแสเล็กน้อยมาก เพื่อต้องการหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังทำให้กระแสไหลต่อเนื่องได้เมื่อมีการต่อโหลดขนาดต่างๆ จึงกำหนดให้ กระแสด้านเอาต์พุทมีค่าเท่ากับ 200 มิลลิแอมป์ จากสมการที่ 2.54

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

$$\frac{163V}{48V} = \frac{1}{1-D}$$

$$= 0.7$$

จากสมการที่ 2.61 จะได้ค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุด

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$$

$$= \frac{0.7(1-0.7)^2}{2 \times (10 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{163V}{0.2A}$$

$$= 2.568 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังทำให้กระแสไหลต่อเนื่องในการพิจารณาต้องพิจารณาทั้งในวงจรบัคและวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่า 1.725 มิลลิเฮนรี่ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 3 มิลลิเฮนรี่ เพื่อให้มั่นใจว่าวงจรทำงานในโหมดที่กระแสไหลต่อเนื่อง โดยที่สามารถคำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการ

$$N = \sqrt{\frac{\text{desired } L(\text{nH})}{A_L(\text{nH}/N^2)}} \quad (4.3)$$

โดยที่ N คือ จำนวนรอบที่พัน

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

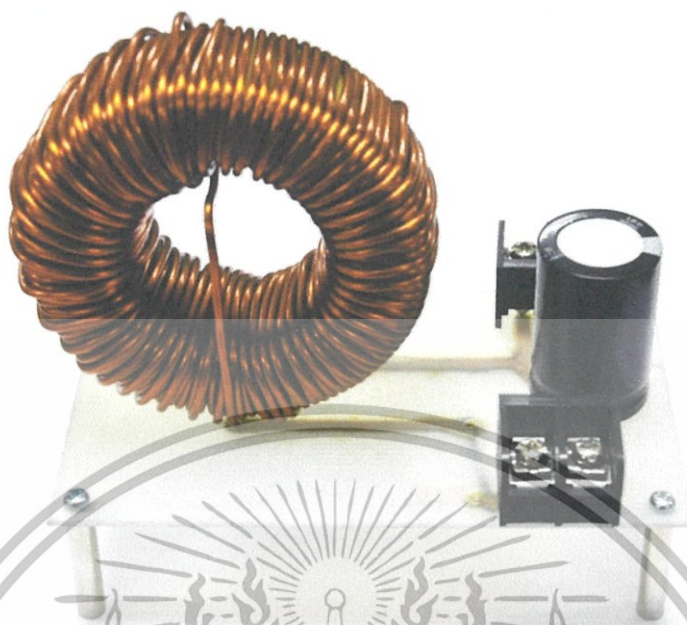
A_L คือ ดัชนีค่าความเหนี่ยวนำ

โดยจะเลือกใช้แกนชนิดเทอร์รอยด์ชนิดผงเหล็กอัลเบอร์ T201 ซึ่งมีค่า $160 \text{ nH}/N^2$ ซึ่งแกนเทอร์รอยด์มีคุณสมบัติทำงานได้ดีในย่านความถี่สูง และได้เลือกใช้ลวดทองแดงชุบฉนวนเบอร์ 14 ในการพันแกน สามารถคำนวณหาจำนวนรอบการพันตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ 4.3

$$N = \sqrt{\frac{3 \times 10^6}{160}}$$

$$N = 136.93 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์

สำหรับเครื่องชาร์จแบบสองทิศทาง

จากการคำนวณจะทำให้ทราบว่าต้องพันแกนประมาณ 138 รอบ ถึงจะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ 3 มิลลิเฮนรี ดังรูปที่ 4.5

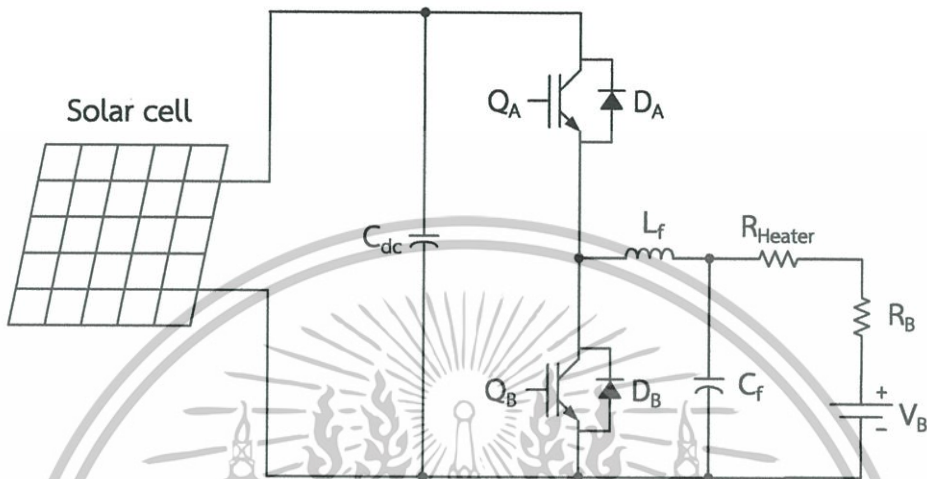
ส่วนการหาค่าตัวเก็บประจุของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์นั้น จะใช้ตัวเดียวกันกับตัวเก็บ ประจุที่ดีซีลิงค์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2200 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟฟ้าที่ผ่าน วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจากไดโอดให้มีความเรียบมากขึ้น

4.2.4 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์(Pulse Charge)

การออกแบบสำหรับเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น จะคล้ายกับเทคนิคการชาร์จแบบปกติ โดยมีหลักการทำงานเป็นวงจรบัค-บัสคอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกัน แต่รับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุทจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 แต่เนื่องจากเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น จำเป็นที่จะต้องให้โหมดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Current Mode) ดังนั้น การออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำและ

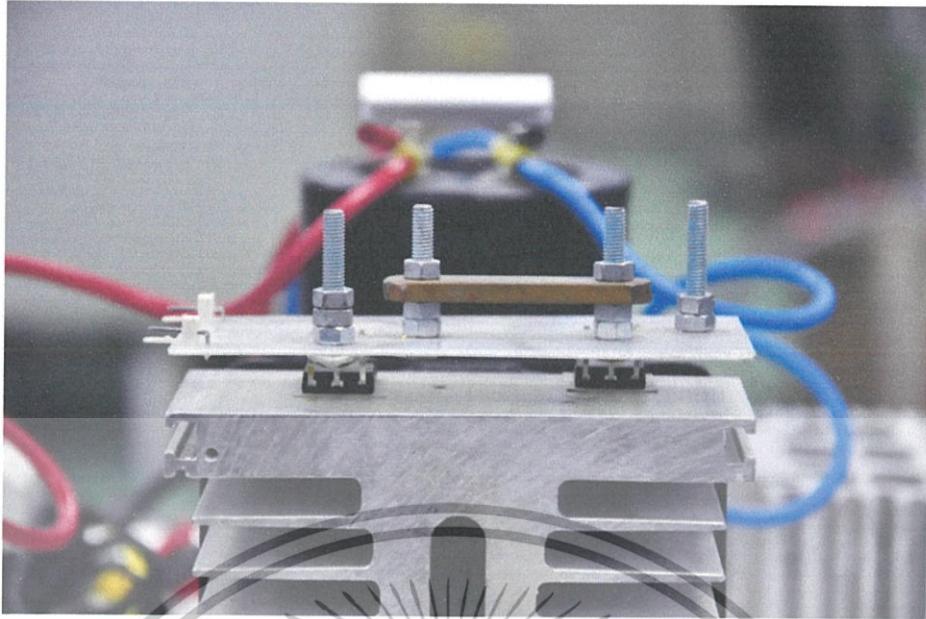
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของตัวเก็บประจุให้มีค่าเหมาะสม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเป็นแบบพัลส์ สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ โดยความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ซึ่งมีค่าคงที่ แต่จะมีการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ (m_a) เพื่อควบคุมปริมาณกระแสพัลส์ช่วงบวก



รูปที่ 4.6 ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์โดยรับแรงดันด้านอินพุตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพลัส

การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่จะใช้ในวงจร สามารถหาได้จากสมการเดียวกันกับการหาค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในโหมดการชาร์จปกติ ดังนี้ จากสมการที่ 2.24

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

$$= \frac{48 \text{ V}}{150 \text{ V}}$$

$$= 0.32$$

จากสมการที่ 2.32 จะได้ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด L_{\min} เมื่อพิจารณาความถี่สวิตชิ่งที่ 5 กิโลเฮิร์ต

$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$$

$$= \frac{(1-0.32)}{2 \times (5 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{48 \text{ V}}{8 \text{ A}}$$

$$= 408 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่เลือกใช้จึงควรมีค่าต่ำกว่า 408 ไมโครเฮนรี เพื่อให้การทำงานอยู่ในช่วงกระแสไม่ต่อเนื่อง สำหรับค่าของตัวเก็บประจุก็ควรที่จะมีค่าต่ำๆ เพื่อให้ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จเป็นแบบพัลส์ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 100 ไมโครเฮนรี ดังรูปที่ 4.8

จะเห็นได้ว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น จะต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่มีค่าต่ำๆ และเหมาะสม เพื่อให้กระแสที่ไหลอยู่ในช่วงการทำงานแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 4.8 ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์
 (a) ตัวเหนี่ยวนำ 100 ไมโครเฮนรี
 (b) ตัวเก็บประจุ 90 ไมโครฟารัด

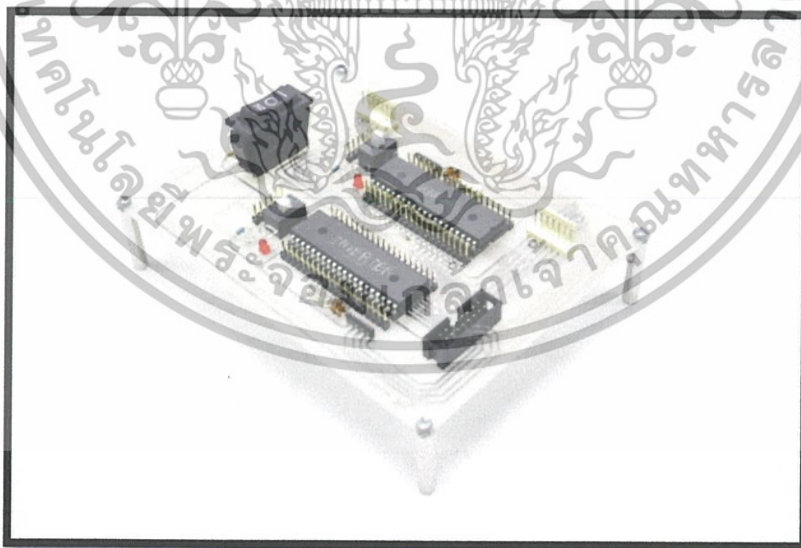
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.1 การเลือกกระแสและแรงดันพัลส์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่

เทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น สามารถใช้กระแสชาร์จที่สูงกว่าการชาร์จแบบปกติได้ ซึ่งโหมดการชาร์จกระแสช็อกจะเป็นการชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ และการจำกัดกระแสช็อก ซึ่งเป็นช่วงที่แบตเตอรี่ดีสชาร์จ สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับแบตเตอรี่ ส่วนการควบคุมกระแสช็อก สามารถทำได้โดยการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ (m_a)

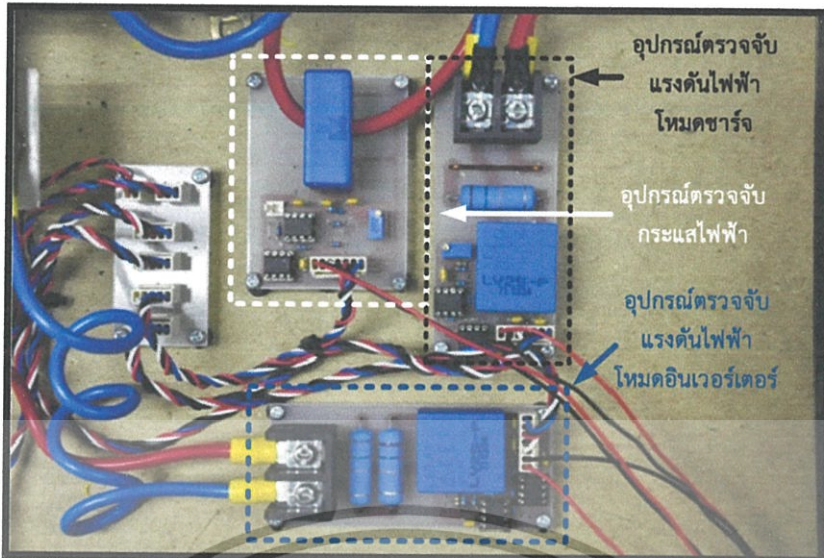
4.3 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมเป็นวงจรที่รับข้อมูลมาจากวงจรอื่นๆ มาทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณออกไปเพื่อสั่งการทำงาน และแสดงผล โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท dsPIC เบอร์ 30F4011 จำนวน 2 ตัว ดังรูปที่ 4.9 โดยทั้งสองตัวจะทำงานแยกกันระหว่างโหมดชาร์จกับโหมดอินเวอร์เตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลมาจากตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ LEM เบอร์ LV-25-P 2 ตัว เป็นตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งสองตัวจะทำงานแยกกันระหว่างโหมดชาร์จกับโหมดอินเวอร์เตอร์ และใช้ LEM เบอร์ LA-100-P จำนวน 1 ตัว เป็นตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ในโหมดชาร์จ ดังรูปที่ 4.10



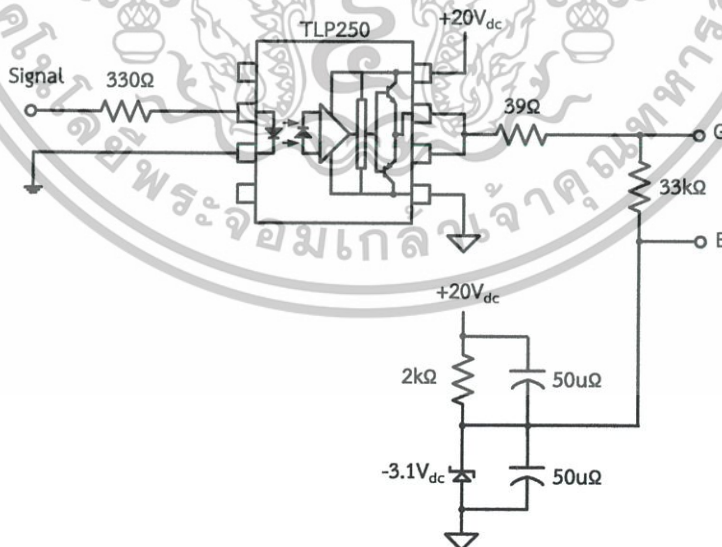
รูปที่ 4.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท dsPIC เบอร์ 30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



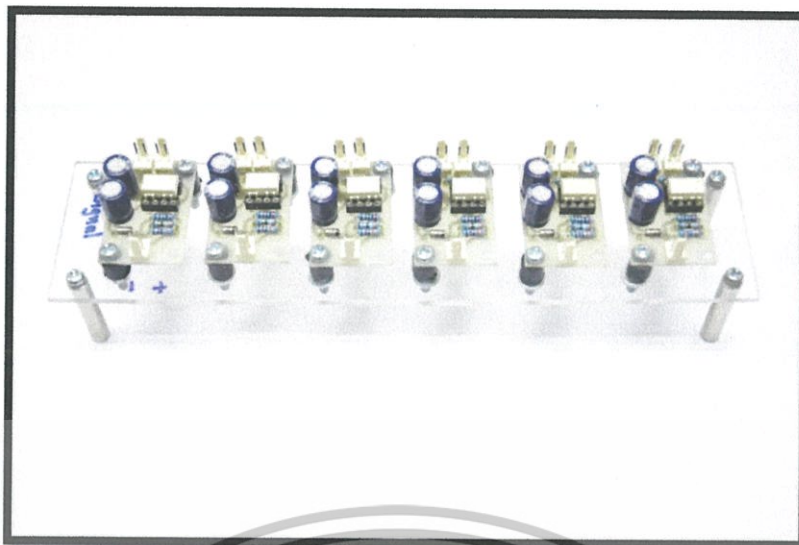
รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ในการขับสวิตช์นั้นต้องได้รับคำสั่งจาก dsPIC ซึ่งส่งสัญญาณออกมาขับสวิตช์ มีแรงดันอยู่ระหว่าง 0-5 โวลต์ แต่สวิตช์นั้นต้องการแรงดันในการขับสวิตช์อยู่ในช่วง 15 โวลต์ขึ้นไป จึงทำให้ต้องมีวงจรขับเกต ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 โดยมี TLP250 จะทำการแยกกราวด์กำลังและกราวด์สัญญาณ และออกแบบให้แรงดันด้านซิกบวกรเท่ากับ +16 โวลต์และมีแรงดันด้านซิกลบเท่ากับ -3.1 โวลต์ ในการขับสวิตช์



รูปที่ 4.11 โครงสร้างวงจรขับเกต

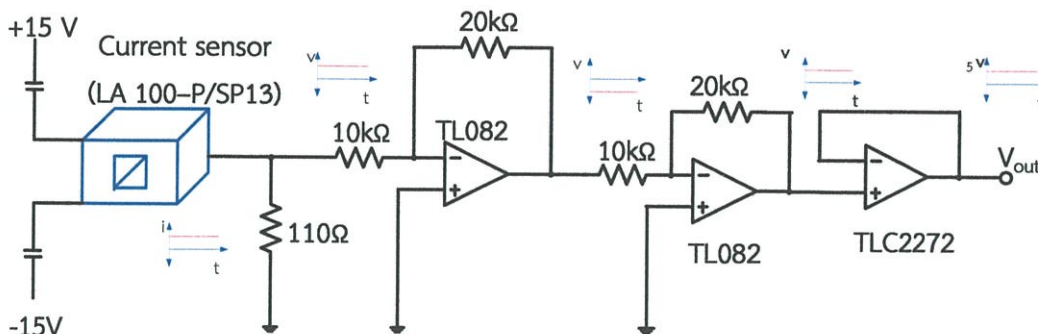
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วงจรขับเคลื่อน

4.3.1 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

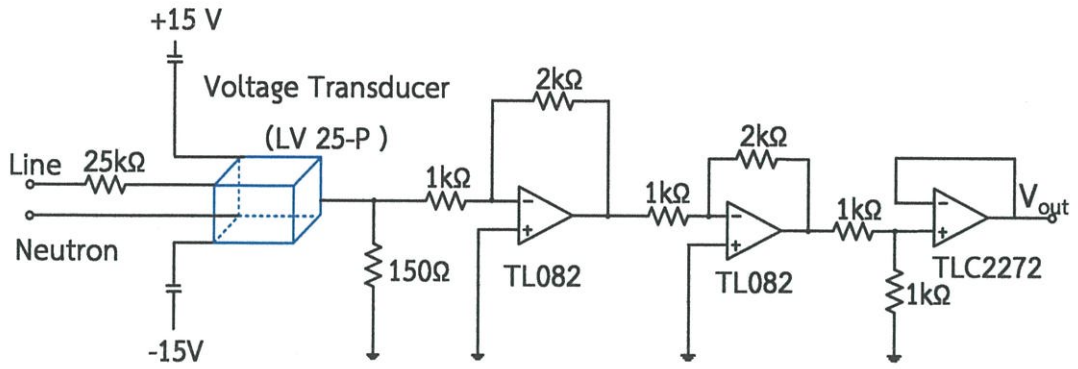
รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้หลักการ Hall effect (LA 100-P/SP13) ในการวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีการแยกแยะระหว่างวงจรรหัสและวงจรถอนโทรล มีอัตราส่วน 1000 : 1 A จะได้สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดลดทอนลง 1000 เท่า แล้วสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยผ่านตัวต้านทานขนาด 110 โอห์ม เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับแต่สัญญาณแรงดันไฟฟ้า เมื่อได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแล้วจะถูกนำไปผ่านวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ เบอร์ TL082 โดยใช้ออปแอมป์ตัวแรกจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเป็น 2 เท่าแต่มีสัญญาณที่มีลักษณะกลับขั้วจากสัญญาณเดิม หลังจากนั้นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่กลับขั้วผ่านวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ตัวที่สอง ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณเป็น 2 เท่าแต่มีสัญญาณที่มีลักษณะกลับขั้วจากสัญญาณเดิมดังนั้นสัญญาณที่ออกจากออปแอมป์ เบอร์ TL082 จะได้สัญญาณที่ขยายเป็น 4 เท่าและสัญญาณจะมีลักษณะเหมือนเดิม แล้วสัญญาณที่ได้จะนำไปเข้า IC เบอร์ TLC2272 เพื่อจำกัดขนาดของสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์(ป้องกันสัญญาณที่มีขนาดเกินไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับได้)



รูปที่ 4.13 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

4.3.2 ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.14 แสดงการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะใช้ Voltage Transducer (LV 25-P) มีการแยกกราวด์ระหว่างวงจรไฟฟ้ากับวงจรคอนโทรล อัตราส่วน 2500 : 1000 โดยเมื่อต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงสุด 250 โวลต์ จะต้องใช้ค่าความต้านทานขนาด 25 กิโลโอห์ม เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสูงสุด 10 มิลลิแอมป์ (ค่าความผิดพลาดน้อยสุดตาม datasheet ของ Voltage Transducer (LV 25-P) ดังนั้นจะมีสัญญาณกระแสไฟฟ้าออกจาก Voltage Transducer (LV 25-P) เท่ากับ 25 มิลลิแอมป์ จากนั้นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยผ่านตัวต้านทานขนาด 150 โอห์ม (ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับเฉพาะสัญญาณแรงดันไฟฟ้า) เมื่อได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแล้วจะถูกนำไปผ่านวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ เบอร์ TL082 โดยออปแอมป์ตัวแรกจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเป็น 2 เท่าแต่มีสัญญาณที่มีลักษณะกลับขั้วจากสัญญาณเดิม หลังจากนั้นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่กลับขั้วผ่านวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ตัวที่สอง ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณเป็น 2 เท่าแต่มีสัญญาณที่มีลักษณะกลับขั้วจากสัญญาณเดิม ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากออปแอมป์ เบอร์ TL082 จะได้สัญญาณที่ขยายเป็น 4 เท่าและสัญญาณจะมีลักษณะเหมือนเดิม แล้วไปผ่านวงจรแบ่งแรงดันจากนั้นสัญญาณที่ได้จะนำไปเข้า IC เบอร์ TLC2272 เพื่อจำกัดขนาดของสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์ (ป้องกันสัญญาณที่มีขนาดเกินไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับได้)



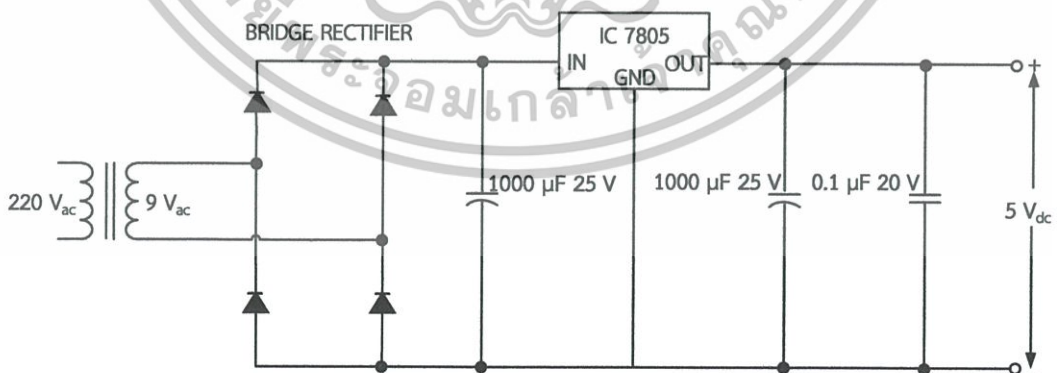
รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

4.4 ส่วนประกอบวงจรควบคุม

4.4.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.4.1.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

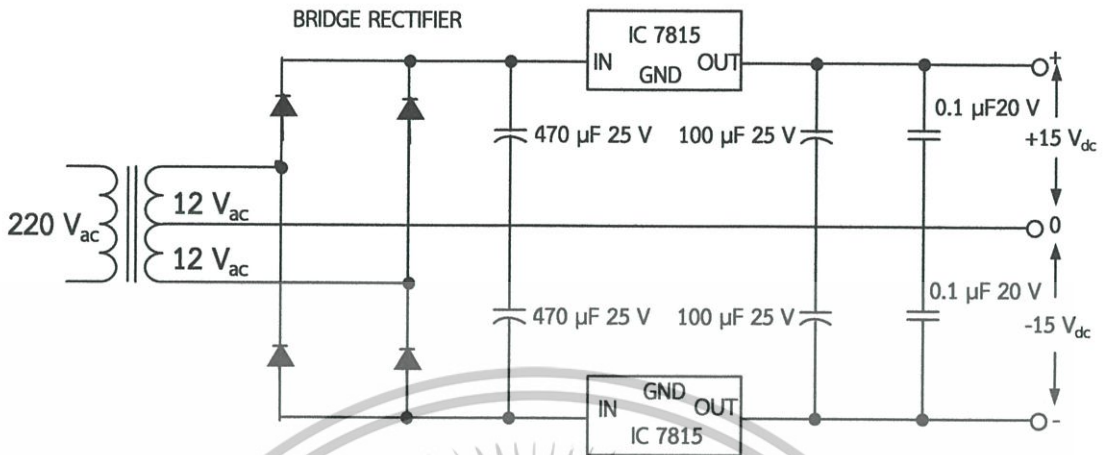
การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดวงจรควบคุมและวงจรสัญญาณขับเคลื่อน โดยเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์เป็น 9 โวลต์ ผ่านบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งจะต้องมีการลดค่ากระแสล่อกลืนของแรงดันไฟฟ้า โดยการต่อตัวเก็บประจุทั้งก่อนและหลังไอซีรีกซาระดับแรงดัน โดยที่จะต้องมีการคำนึงพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุด้วย ไอซีรีกซาระดับแรงดันนี้จะใช้ เบอร์ 7805 สำหรับรีกซาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าคงที่ ที่ +5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์



รูปที่ 4.16 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์

สำหรับการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรตรวจจับกระแสและวงจรตรวจจับแรงดัน ได้เลือกใช้หม้อแปลงที่มีแท่งกลาง แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ ผ่านบริดจ์เรกติไฟเออร์ สำหรับทำหน้าที่เรียงกระแส จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด $\pm 12\sqrt{2}$ โวลต์ เพื่อเข้าสู่วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 2 ชุด ซึ่งต้องมีการต่อตัวเก็บประจุขนาด 1000 ไมโครฟารัด พิกัด 25 โวลต์ ทั้งก่อนและหลังไอซีรักษาระดับแรงดัน เช่นเดียวกันกับการสร้างแหล่งจ่ายไฟตรง +5 โวลต์ โดยที่ชุดแรกเป็นวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ 7815 ส่วนชุดที่สองเป็นวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -15 โวลต์ ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ 7815 และมีการต่อตัวเก็บประจุแบบมัลติเลเยอร์ไว้ที่ด้านออกของไอซีรักษาระดับแรงดัน เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 4.16

ข้อควรระวังของการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง คือ ควรระวังในการนำไปใช้เรื่อง ขั้วบวกและลบ โดยอาจทำเครื่องหมายกำกับไว้

4.4.2 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

4.4.2.1 โหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้เกิน 8 แอมป์

- ชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้เกิน 8 แอมป์ จะสร้างสัญญาณ PWM แบบความถี่คงที่เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิน 8 แอมป์จะใช้การควบคุมแบบ Hysteresis Band ในการปรับค่า Duty Cycle ซึ่งหลักการก็คือการวัดสัญญาณกระแสจริงมา เมื่อค่าของกระแสจริงชนขอบบนของ Hysteresis ก็ให้ปรับลด Duty Cycle ลง ในทางกลับกันถ้า กระแสจริงชนขอบล่างของ Hysteresis ก็ให้เพิ่มค่า Duty Cycle ส่วนการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าคงที่จะใช้การควบคุมแบบการปรับค่า Duty Cycle ให้มีค่าลดลงเมื่อแรงดันถึงค่าที่กำหนดไว้ และจะต้องมีค่าไม่เพิ่มขึ้น เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่

4.4.2.2 โหมดอินเวอร์เตอร์

- สร้างสัญญาณ PWM แบบความถี่คงที่ เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ด้วยการปรับค่า Duty Cycle ให้ได้แรงดันที่ดิวตี้ลิ่งเท่ากับ 163 โวลต์

- ปรับค่า Duty Cycle ด้วยการรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ดิวตี้ลิ่ง มาเพื่อทำการรักษาระดับแรงดันที่ดิวตี้ลิ่ง และ แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท ใช้การควบคุมแบบ Hysteresis Band ที่ดิวตี้ลิ่ง

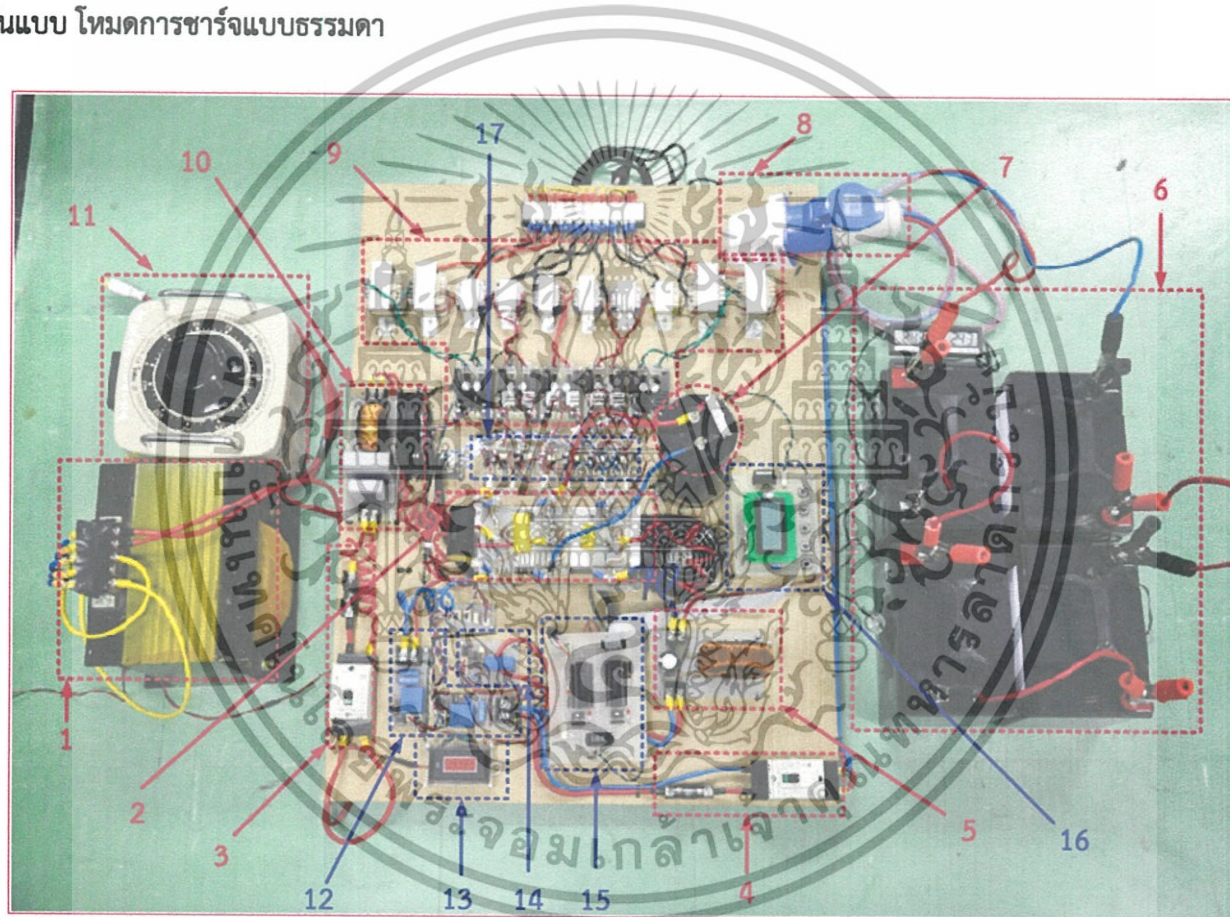
4.4.2.3 โหมดการชาร์จแบบพัลส์

- สร้างสัญญาณ PWM แบบความถี่คงที่ เพื่อไปขับสวิตช์ในวงจรที่ทำหน้าที่คล้าย บัคคอนเวอร์เตอร์ และ บูสคอนเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณขับสวิตช์ทั้งสอง จะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน

- ในการสร้างสัญญาณใช้รูปคลื่นพาหะแบบสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้ค่าดิวตี้ลิ่งของการทำงานที่เหมาะสม

- สำหรับการควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า ใช้วิธีการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ของสัญญาณ PWM ของสวิตช์ทั้งสองตัว

4.5 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมดการชาร์จแบบธรรมดา



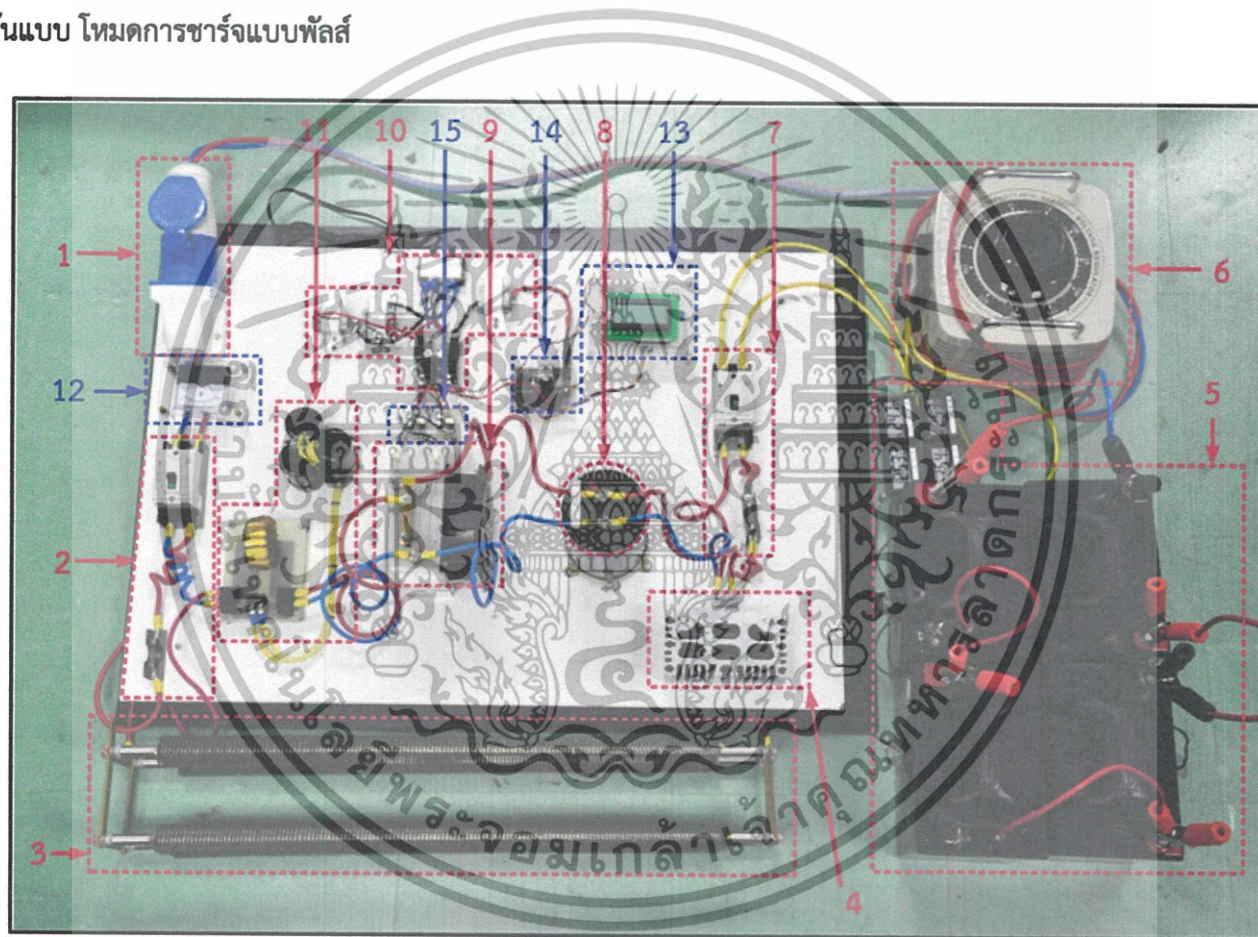
รูปที่ 4.17 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบแบบสองทิศทาง

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมตการชาร์จแบบธรรมดา ในรูปที่ 4.17 มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. หม้อแปลง 2:1
2. ชุดวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ จำนวน 1 ชุด
3. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านอินพุท จำนวน 1 ชุด
4. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านเอาต์พุท จำนวน 1 ชุด
5. ชุดวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ จำนวน 1 ชุด
6. แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง ทั้งหมด 4 ลูก
7. ตัวเก็บประจุ 10,000 ไมโครฟารัด
8. Plug – in ต่อกับแบตเตอรี่
9. ชุดแหล่งจ่ายไฟ
 - +5 โวลต์ 300 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ชุด
 - +5 โวลต์ 1,000 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ชุด
 - +20 โวลต์ 300 มิลลิแอมป์ จำนวน 6 ชุด
 - ±15 โวลต์ 1,000 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ชุด
10. ชุดวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน จำนวน 1 ชุด
11. Variac
12. ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า จำนวน 2 ชุด
13. มาตรฐานวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบดิจิตอล จำนวน 1 ชุด
14. ชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้า จำนวน 1 ชุด
15. ชุดวงจรควบคุม จำนวน 1 ชุด
16. ชุดหน้าจอบแสดงผล จำนวน 1 ชุด
17. ชุดวงจรขับสวิตซ์กำลัง จำนวน 6 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมดการชาร์จแบบพัลส์



รูปที่ 4.18 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบแบบพัลส์

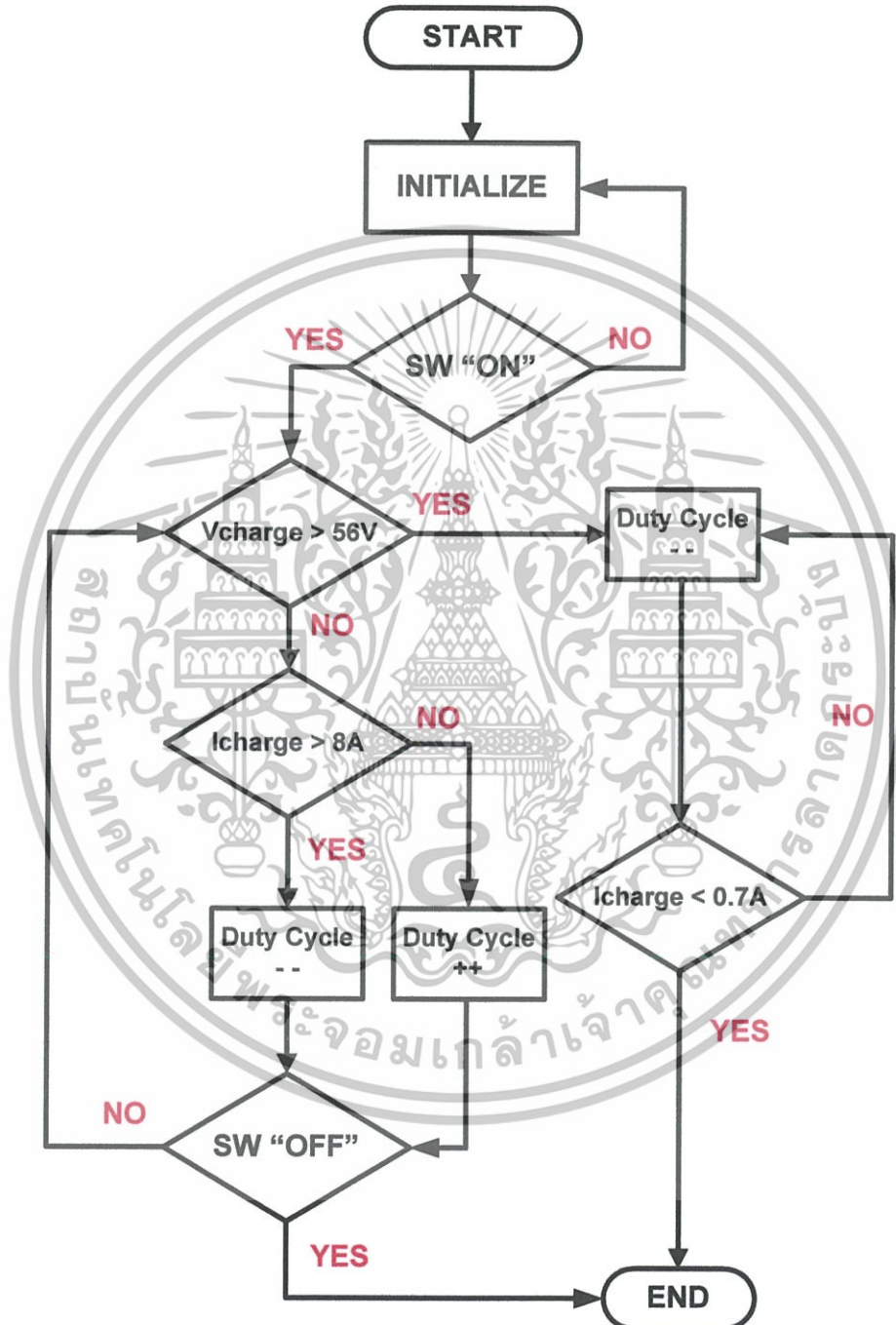
เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ โหมดการชาร์จแบบพัลส์ ในรูปที่ 4.18 มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. Plug – in ต่อกับแบตเตอรี่
2. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านเอาต์พุท จำนวน 1 ชุด
3. $R_{\text{Heater}} 3.5 \Omega$
4. Bridge Diode
5. แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง ทั้งหมด 4 ลูก
6. Variac
7. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านอินพุท จำนวน 1 ชุด
8. ตัวเก็บประจุ 10,000 ไมโครฟารัด
9. ชุดวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ จำนวน 1 ชุด
10. ชุดแหล่งจ่ายไฟ
 - +5 โวลต์ 300 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ชุด
 - +20 โวลต์ 300 มิลลิแอมป์ จำนวน 2 ชุด
11. ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โหมดการชาร์จแบบพัลส์
12. มาตรการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ชุด
13. ชุดหน้าจอแสดงผล จำนวน 1 ชุด
14. ชุดวงจรควบคุม จำนวน 1 ชุด
15. ชุดวงจรขับสวิตซ์กำลัง จำนวน 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ไดอะแกรมการทำงาน (Flow Chart)

4.7.1 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้เกิน 8 แอมป์

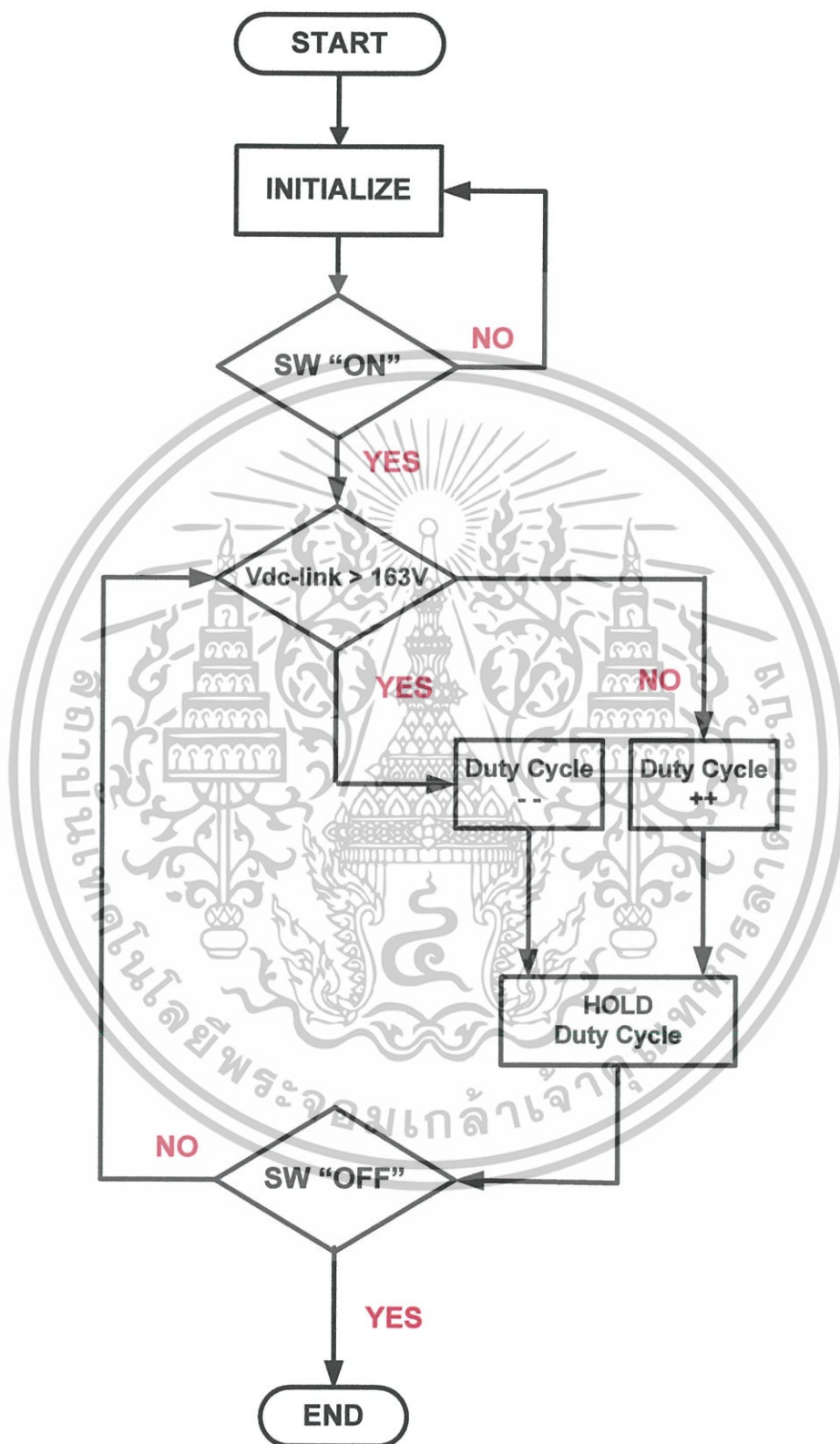


รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ

ไม่ให้เกิน 8 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

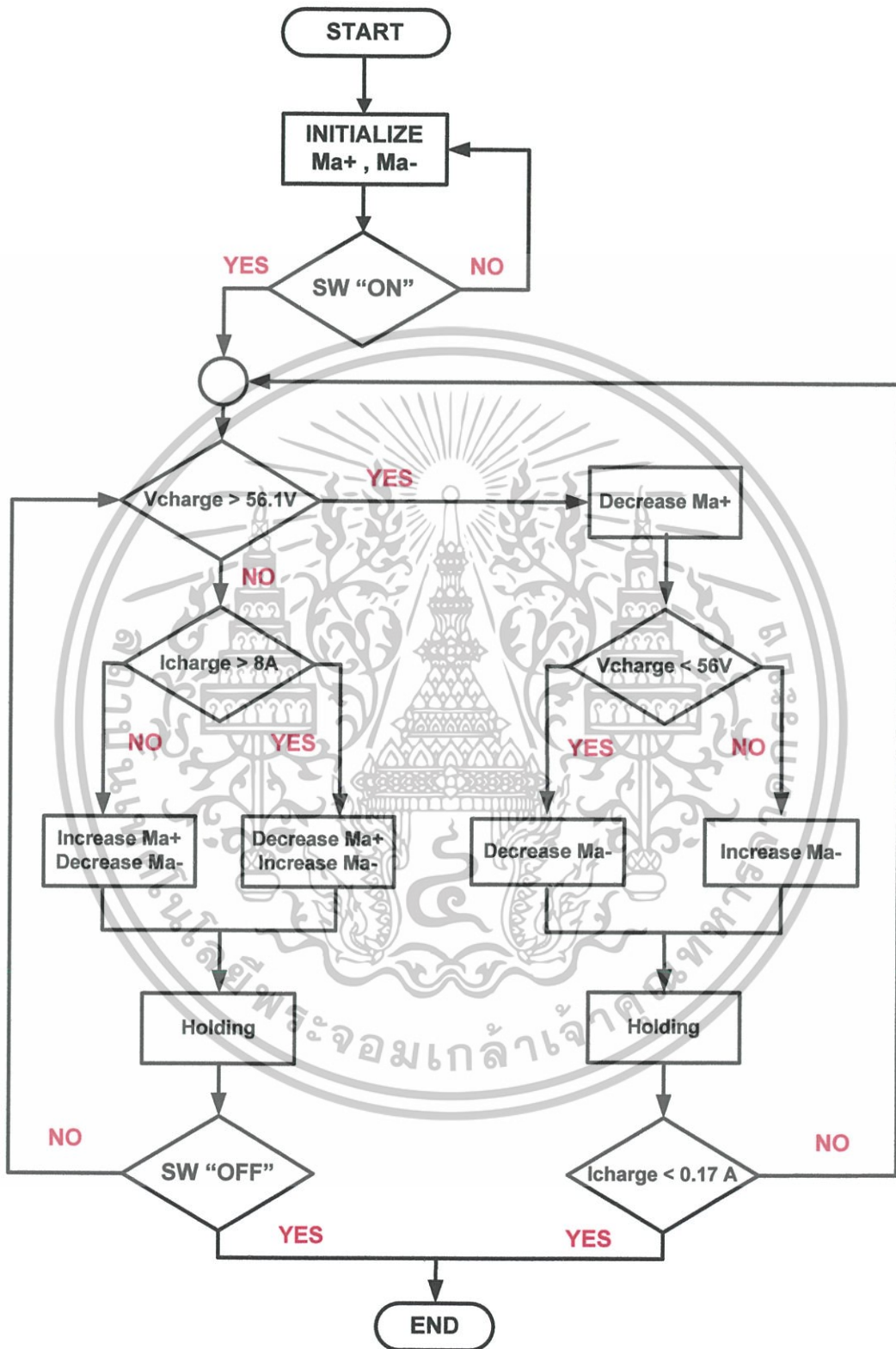
4.7.2 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ



รูปที่ 4.20 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดชาร์จแบบพัลส์



รูปที่ 4.21 ไดอะแกรมการทำงานของโหมดชาร์จแบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 เป็นไดอะแกรมแสดงวิธีการชาร์จด้วยโหมดการชาร์จแบบ แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้เกิน 8 แอมป์ ใช้การควบคุมดิวตี้ไซเคิลเป็นหลัก โดย เครื่องชาร์จจะพิจารณาแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่า 56 โวลต์จะมาดูที่กระแสถ้ากระแสต่ำกว่าที่กำหนดจะมีการปรับดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้น แต่ถ้ากระแสสูงกว่าที่กำหนดจะมีการปรับดิวตี้ไซเคิลให้น้อยลง จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่มากกว่าแรงดันที่กำหนดไว้จะมีการปรับดิวตี้ไซเคิลให้น้อยลงเพื่อรักษาระดับแรงดันไว้ที่ 56 โวลต์ ถ้ากระแสชาร์จน้อยกว่า 0.7 A จะตัดวงจรชาร์จออก

จากรูปที่ 4.20 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโหมดจ่ายกลับ ใช้การควบคุมดิวตี้เป็นหลักเช่นเดียวกัน โดยจะคงที่แรงดันที่ DC-Link ไว้ 163 โวลต์เนื่องจากจะทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ เมื่อแรงดันที่ DC-Link มีค่ามากกว่า 163 โวลต์จะทำการปรับดิวตี้ไซเคิลให้น้อยลง แต่ถ้าน้อยกว่า 163 โวลต์จะทำการปรับดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.21 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโหมด Pulse Charge ใช้การควบคุมมอดูเลตด้านบวกและด้านลบ โดยมีการกำหนดดิวตี้ไซเคิลและความถี่ตั้งแต่เริ่มต้น โดยเครื่องชาร์จจะพิจารณาแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มากกว่าแรงดันที่กำหนด จะทำการลดมอดูเลตด้านบวกลงเพื่อให้แรงดันของแบตเตอรี่ไม่เกิดที่กำหนด แต่ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่าแรงดันที่กำหนด ต้องมาดูที่กระแสว่าเกินที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเกินต้องลดมอดูเลตด้านบวกและเพิ่มมอดูเลตด้านลบ ถ้าไม่เกินต้องเพิ่มมอดูเลตด้านบวกและลดมอดูเลตด้านลบ จะหยุดการทำงานที่กระแสชาร์จน้อยกว่า 0.17 A จะตัดวงจรชาร์จออก

ข้อควรระวังต้องมีการกำหนดขอบเขตบนของดิวตี้ไซเคิล เพื่อป้องกันการทำงานที่ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 1 ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรของสวิตช์และเพื่อป้องกันเครื่องชาร์จ

4.5 บทสรุป

การออกแบบสำหรับสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบแบบสองทิศทางกับแบบฟัลส์ โดยเครื่องชาร์จแบบสองทิศทางจะมีโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่ให้เกิน 8 แอมป์ และโหมดการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ จะมีหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางโดยประยุกต์ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และมีการรวมสองวงจรเข้าด้วยกันโดยผ่านตัวเก็บประจุที่ตีซีลิ่งค์ ส่วนเครื่องชาร์จแบบฟัลส์ฟัลส์

อาศัยหลักการทำงานของ วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ อีก 1 ชุดโดยโหมดการทำงานเป็นแบบกระแส
ไม่ต่อเนื่อง โดยรับแรงดันด้านเข้ามาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสำหรับควบคุมการทำงานทั้งหมด 2 ชุด สำหรับเทคนิคการชาร์จแต่ละแบบ
โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณสวิตช์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงการ
คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ และค่าที่เลือกใช้ สำหรับส่วนต่างๆของวงจร ที่ใช้ทำเป็น
เครื่องต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

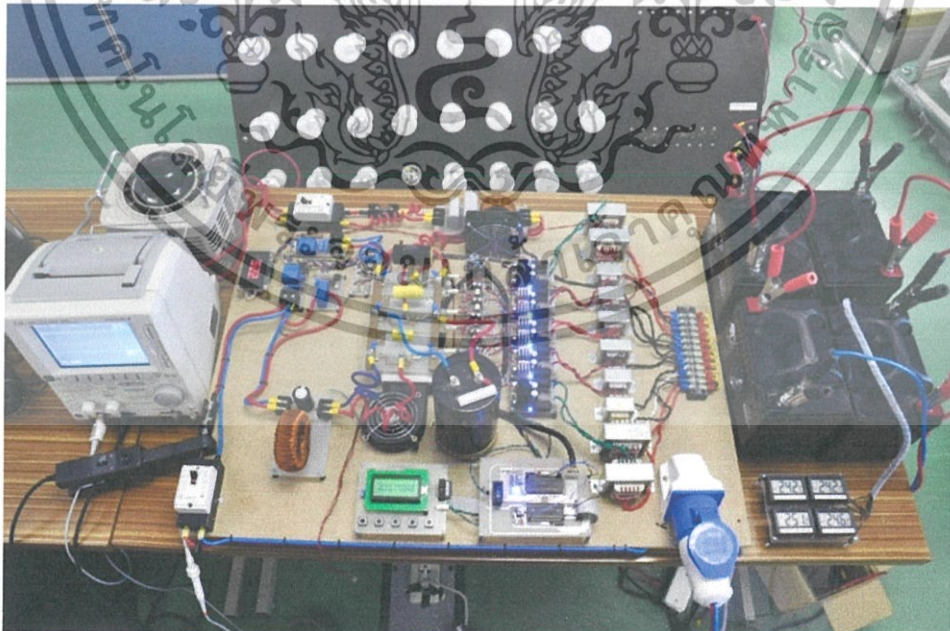
5.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองในโหมดการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ, การจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ และการชาร์จแบบพัลส์ เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์หาค่าข้อมูล เพื่อหาความถี่และ ดิวตี้ไซเคิลของการชาร์จที่เหมาะสม สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง

5.2 ผลการทดสอบ

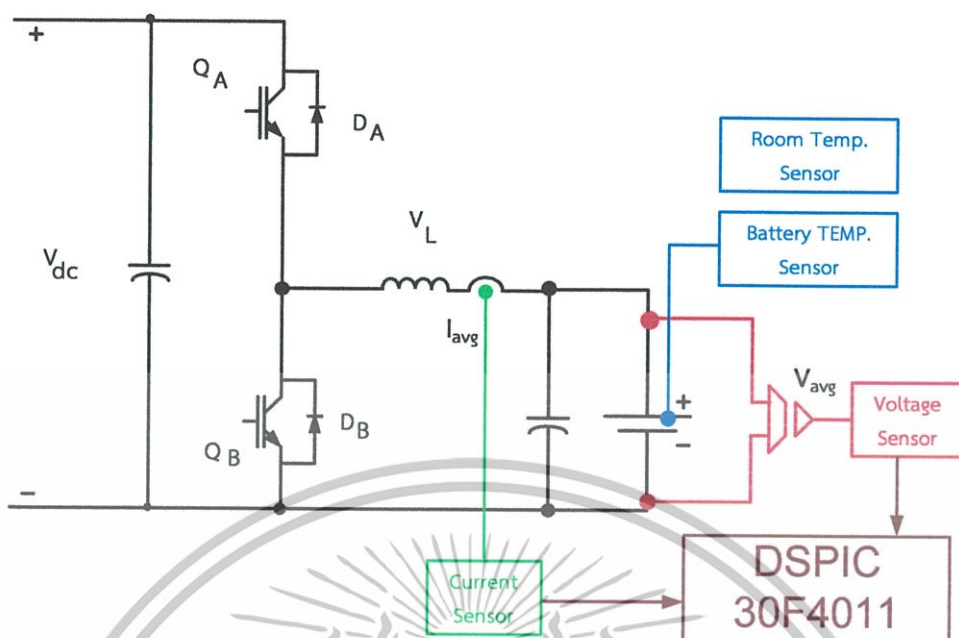
5.2.1 ผลการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

แบ่งการชาร์จเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงการชาร์จแบบจำกัดกระแสชาร์จแบตเตอรี่ไม่ให้เกิน 8 แอมป์ และเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 56 โวลต์ จึงจะเปลี่ยนการชาร์จเป็นแบบแรงดันคงที่ที่ 56 โวลต์ โดยใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมงแสดงได้ตาม ตารางที่ ก - 1 ในภาคผนวก ก โดยมีจุดวัดกระแส, แรงดัน และ อุณหภูมิ ดังรูปที่ 5.2

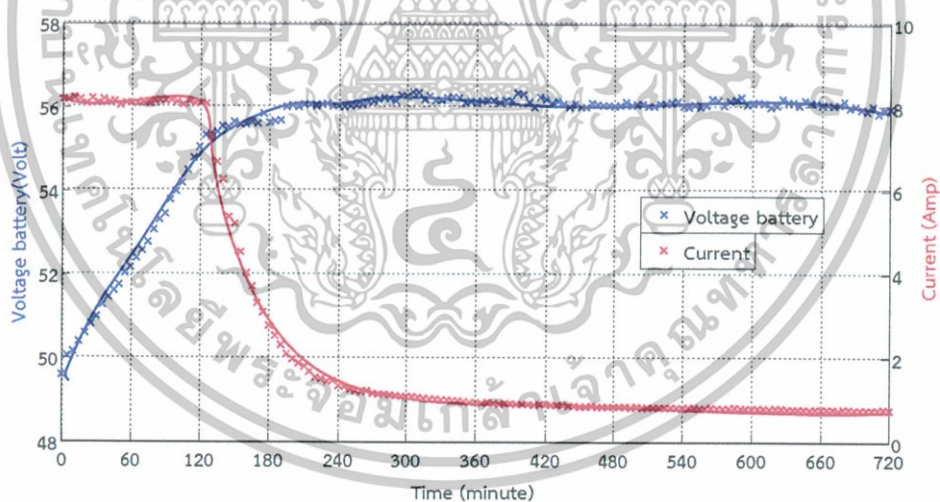


รูปที่ 5.1 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

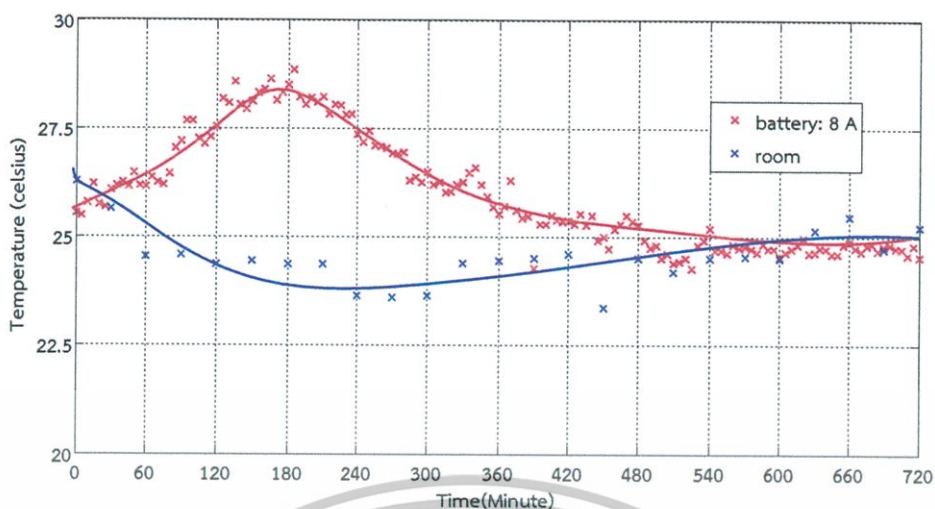


รูปที่ 5.2 จุดวัดอุณหภูมิ แรงดัน และกระแสชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 5.3 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่

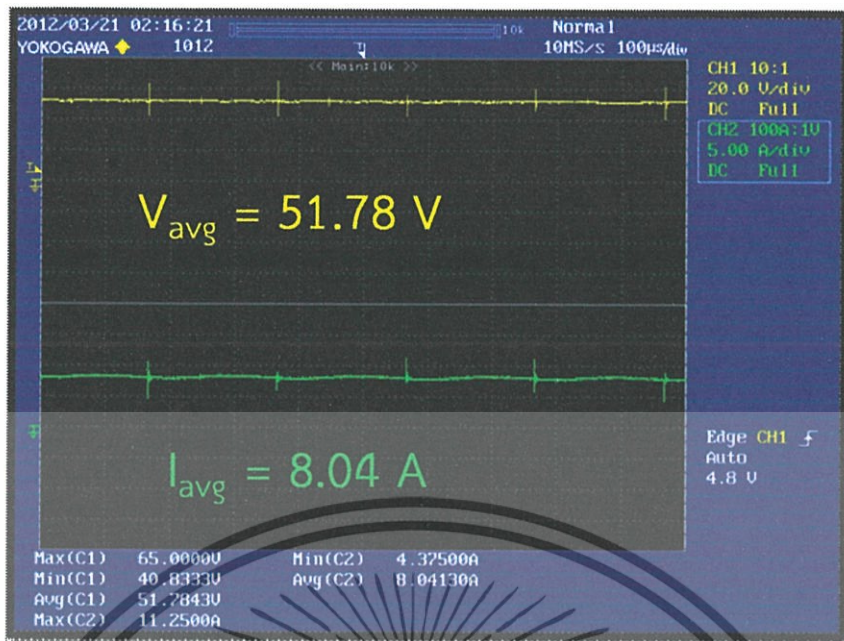
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



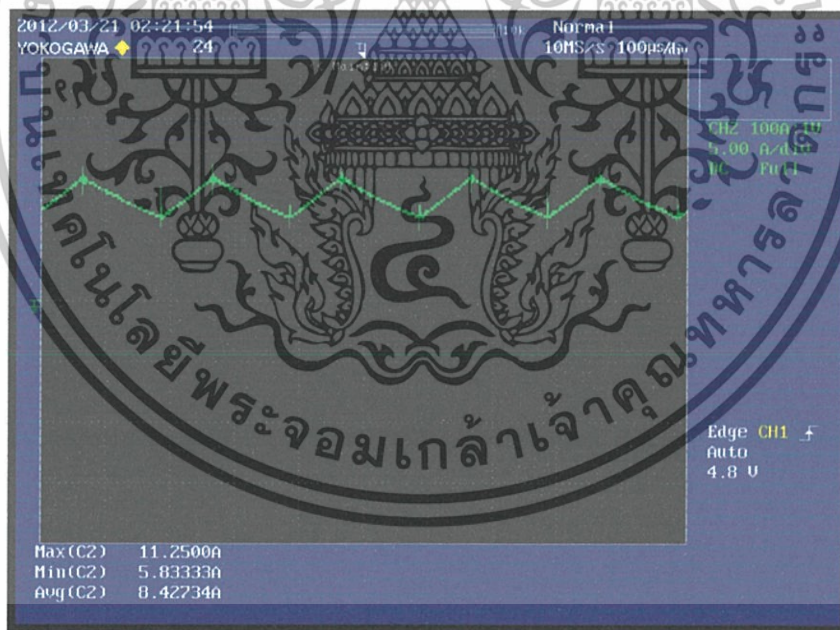
รูปที่ 5.4 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จ

รูปที่ 5.3 แสดงคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสที่ 8 แอมป์ ตามตารางที่ ก - 1 ใน ภาคผนวก ก โดยกระแสชาร์จจะถูกจำกัดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ โดยมีช่วงเวลาของการจำกัดกระแสจากการทดลอง ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อแรงดันมีค่าเท่ากับ 56 โวลต์ จึงเปลี่ยนเป็นการชาร์จด้วยแรงดันคงที่จนแบตเตอรี่เต็ม

เมื่อพิจารณาที่สถานะการชาร์จ (State of Charge: SOC) ที่ 20% พบว่าจะใช้เวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมงในการชาร์จ จากรูปที่ 5.5-5.6 แสดงแรงดันและกระแสชาร์จของแบตเตอรี่, แรงดันไฟฟ้าที่ดีซีลิงค์ขณะทำการชาร์จ, กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ตามลำดับ รูปที่ 4.19 แสดงดีวีดีไอเคิลการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามกราฟคุณลักษณะของการชาร์จ โดยการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแส มีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ (ΔT_{max}) 4.125°C โดยแสดงผลต่างของอุณหภูมิของแบตเตอรี่และอุณหภูมิห้องไว้ดังรูปที่ 5.4

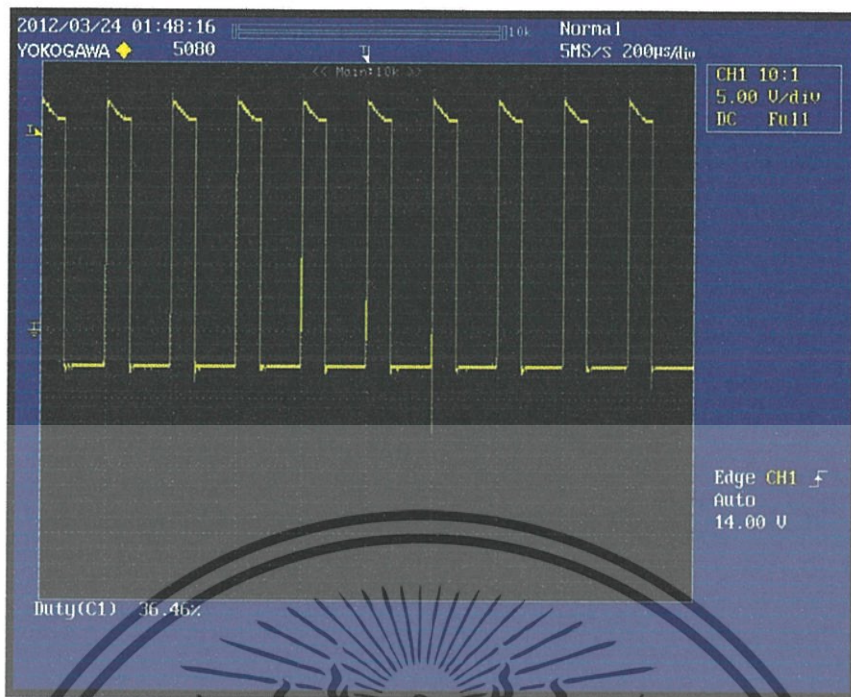


รูปที่ 5.5 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ (สีเหลือง) และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (สีเขียว)



รูปที่ 5.6 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะชาร์จแบตเตอรี่

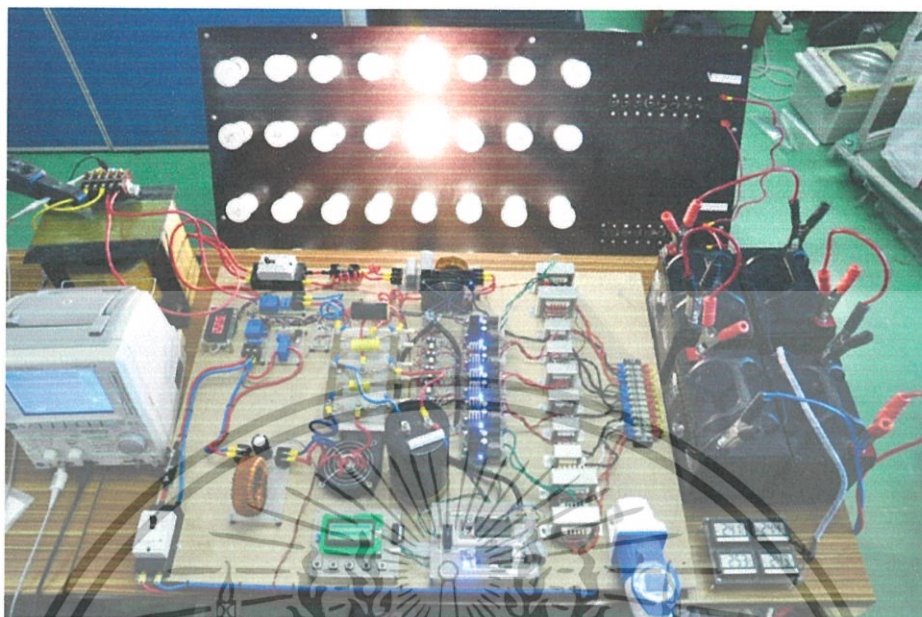
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ค่าดิวิตีไซเคิลการทำงานของวงจรถับคอนเวอร์เตอร์ขณะชาร์จ

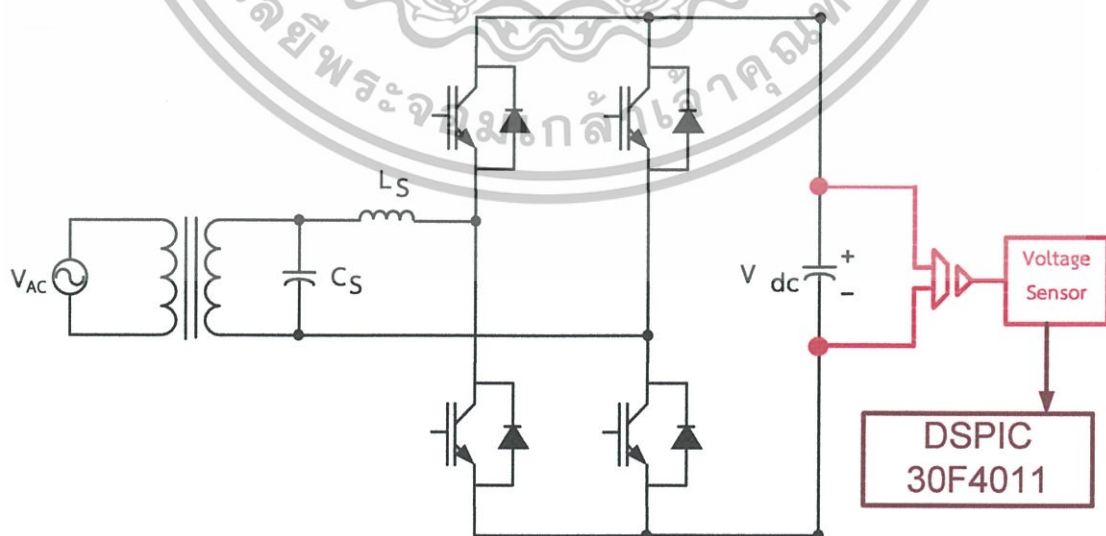
รูปที่ 5.5 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 51.78 โวลต์ ซึ่งอยู่ในช่วงจำกัดกระแสชาร์จ โดยมีกระแสชาร์จเป็น 8.04 แอมป์ และรูปที่ 5.6 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในโหมดกระแสต่อเนื่องของการทำงานในวงจรถับคอนเวอร์เตอร์ จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามืดมีความต่อเนื่องและมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ สำหรับรูปที่ 5.7 แสดงค่าดิวิตีไซเคิลการทำงานของสัญญาณขับสวิตช์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่

5.2.2 ผลการทดลองการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ



รูปที่ 5.8 การทำงานในโหมดจ่ายพลังงานกลับอย่างอิสระ

ทำการทดลองกับภาระทางไฟฟ้าตั้งแต่ 100 วัตต์, 200 วัตต์, 300 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ และ มอเตอร์ 1 เฟส 200 วัตต์ โดยมีจุดวัดแสดงดังรูปที่ 5.9 ซึ่งต้องการคงที่แรงดันที่ตีซีลิงค์ ให้มีค่าประมาณ 163 โวลต์ เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเอาท์พุท โดยผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

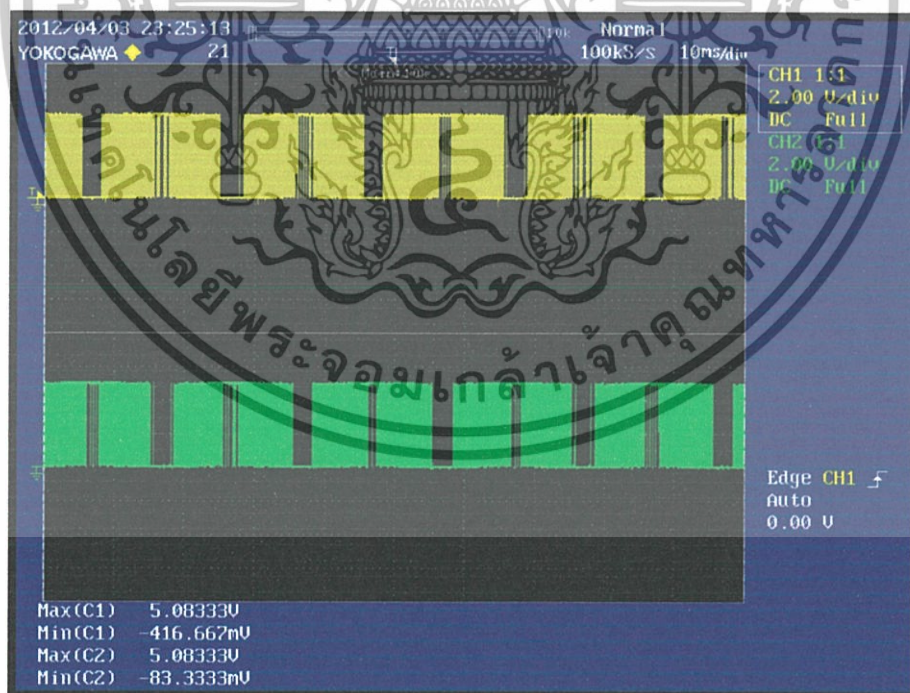


รูปที่ 5.9 จุดวัดเพื่อทำการรักษาระดับแรงดันที่ตีซีลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

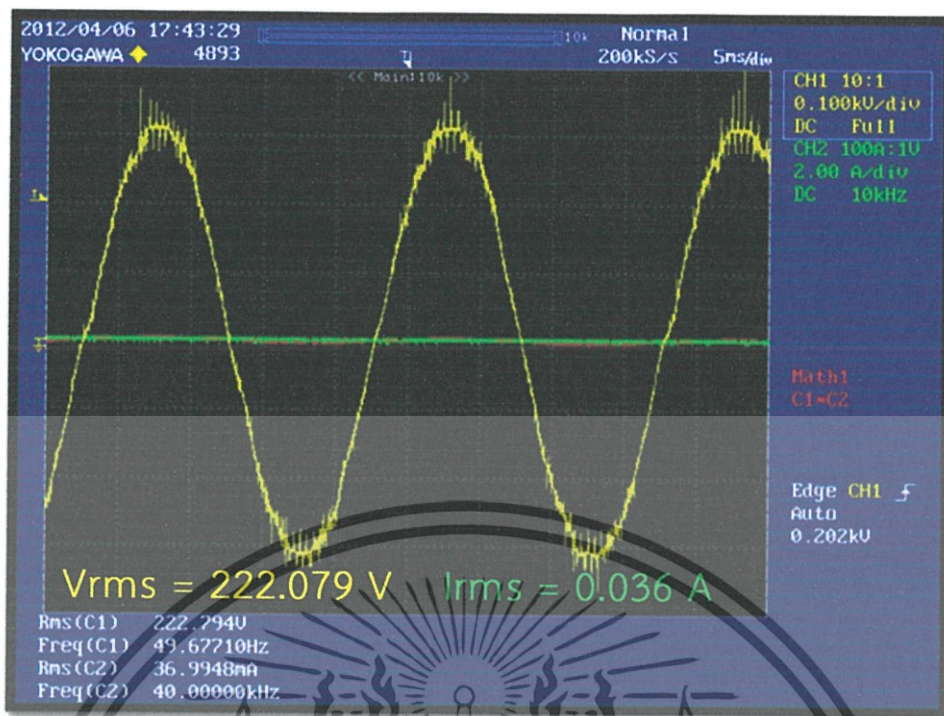
ตารางที่ 5.1 ผลการทำงานในโหมดจ่ายพลังงานคืนกลับแบบอิสระ

Load	Voltage (V_{rms})	%THD _v	Current (I_{rms})	%THD _i	DC-Link (V)	Current Battery (I_{batt})
ไม่มีภาระทางไฟฟ้า	222.87	3.00	-	-	163.11	1.63
โหลดไฟ 100 วัตต์	219.50	2.04	0.43	4.27	163.22	3.75
โหลดไฟ 200 วัตต์	217.21	2.58	0.84	3.25	163.11	5.69
โหลดไฟ 300 วัตต์	218.13	2.91	1.27	3.49	162.97	7.73
โหลดไฟ 500 วัตต์	216.79	3.73	2.13	4.34	162.92	12.11
โหลดไฟ 600 วัตต์	212.79	3.92	3.92	4.40	163.11	14.14
มอเตอร์ 1 เฟส 200 วัตต์	218.48	4.14	2.24	4.04	163.17	10.11

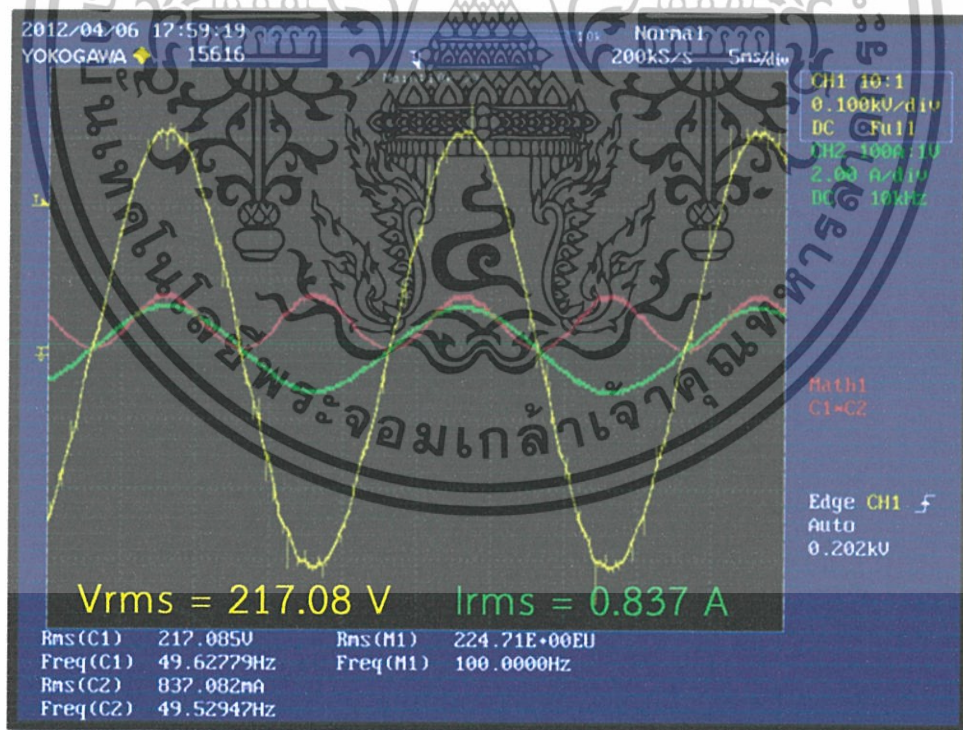


รูปที่ 5.10 สัญญาณขั้วสวิตช์ของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



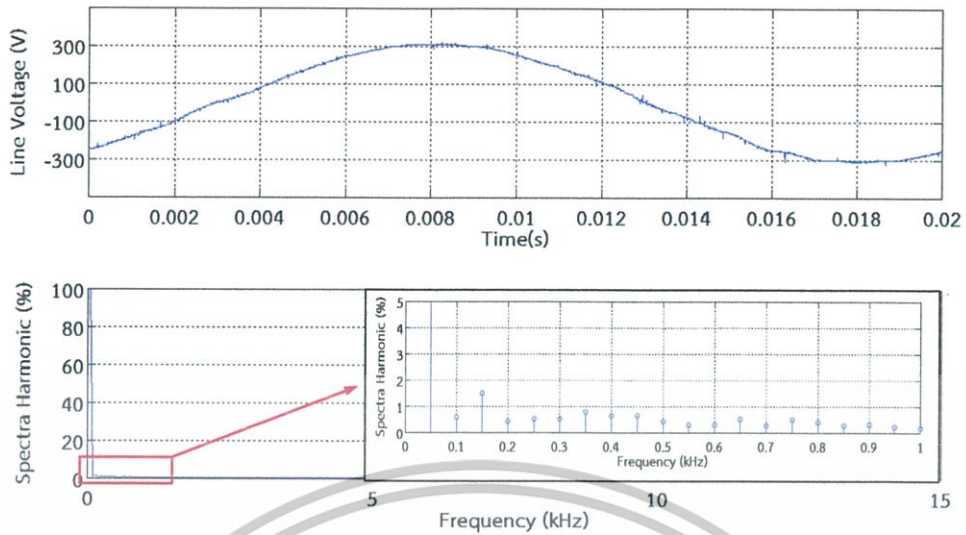
รูปที่ 5.11 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า



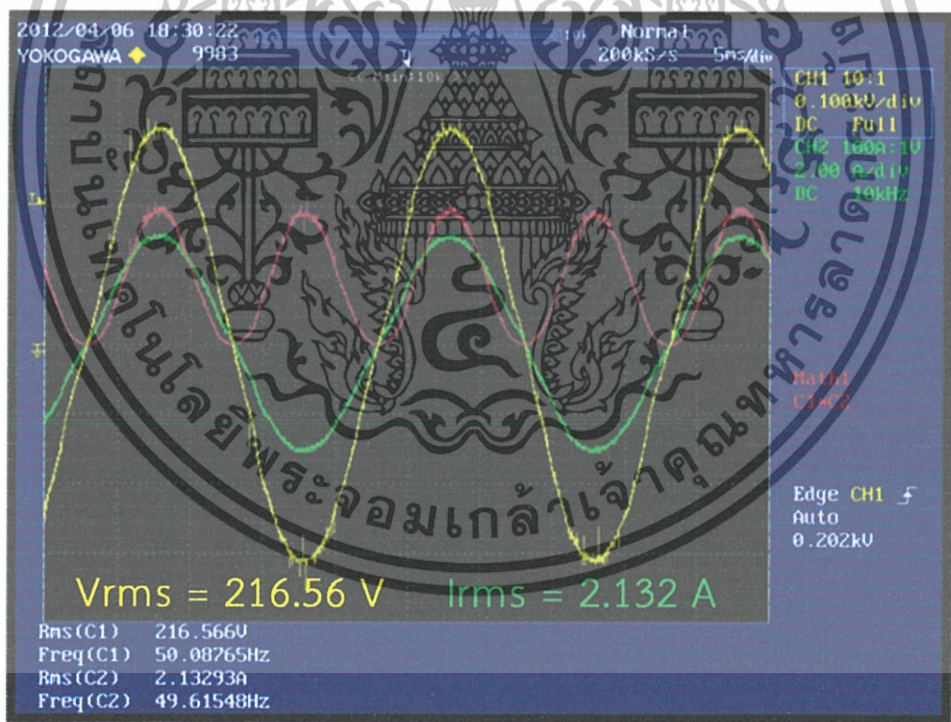
รูปที่ 5.12 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)

ที่ขนาดภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



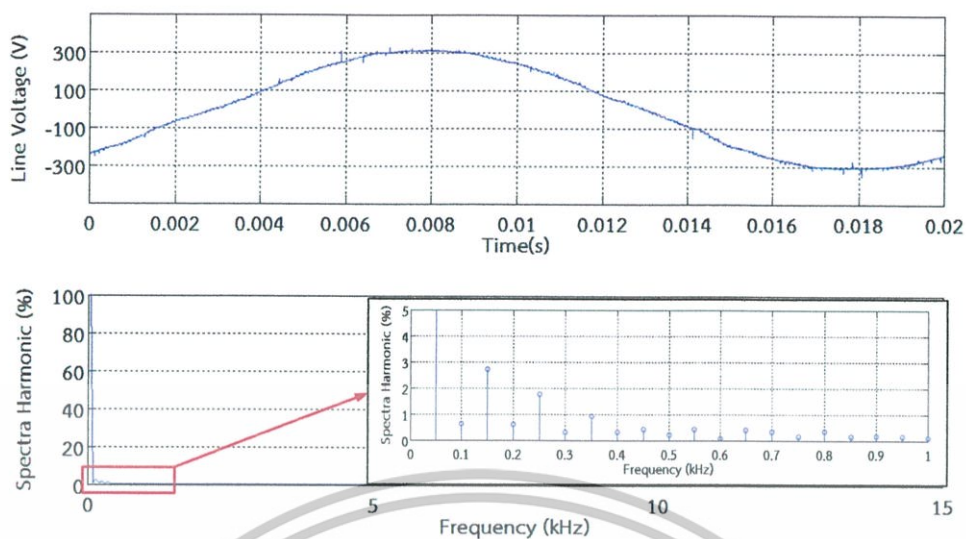
รูปที่ 5.13 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD_v) ที่ภาระทางไฟฟ้า 200 วัตต์



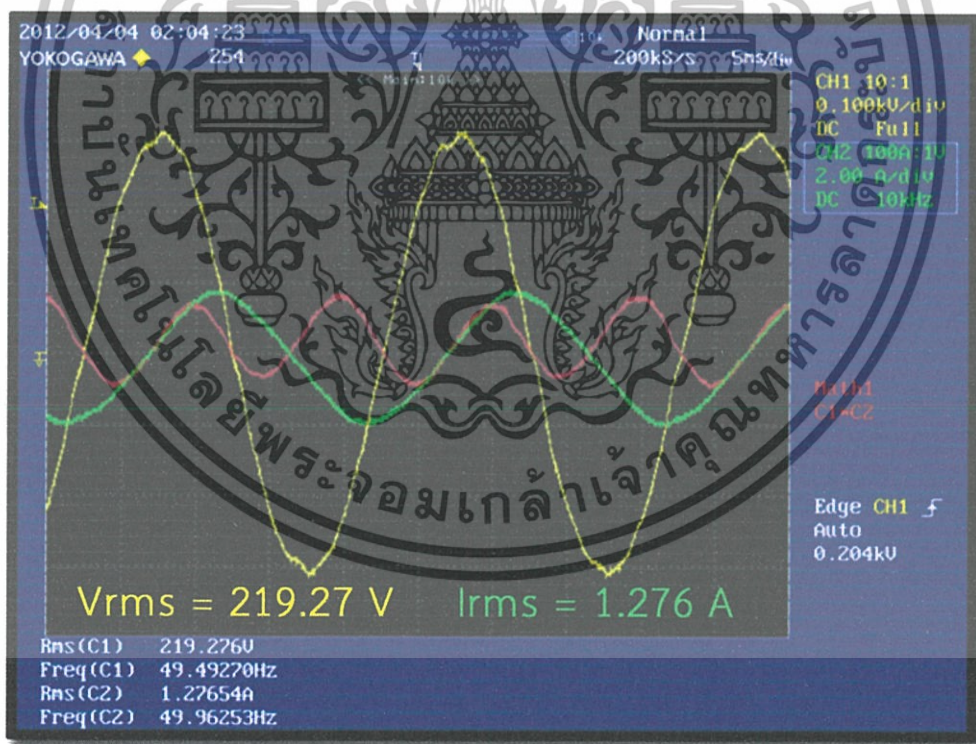
รูปที่ 5.14 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)

ที่ขนาดภาระทางไฟฟ้า 500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



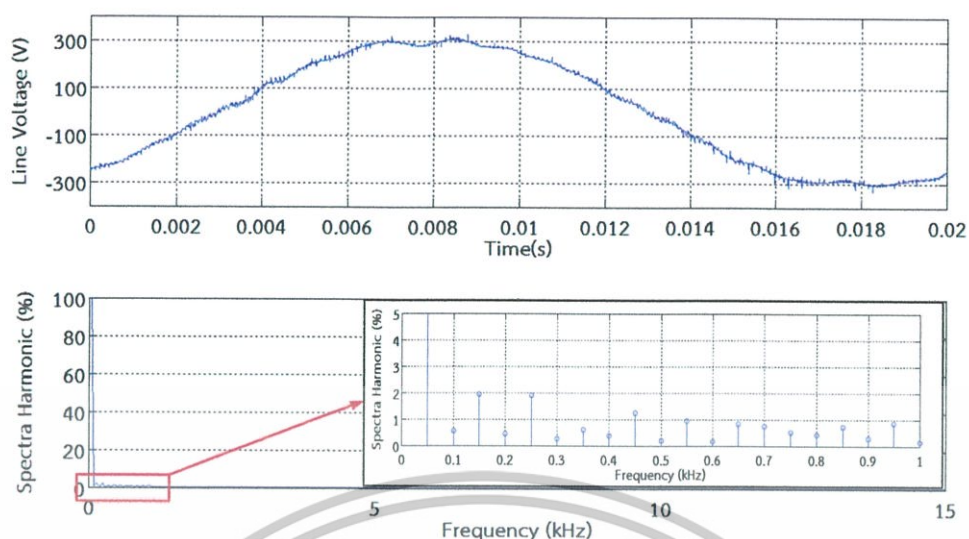
รูปที่ 5.15 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD_v) ที่ภาระทางไฟฟ้า 500 วัตต์



รูปที่ 5.16 แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้า (สีเขียว)

ที่ภาระทางไฟฟ้าเป็น มอเตอร์พิกัด 200 วัตต์

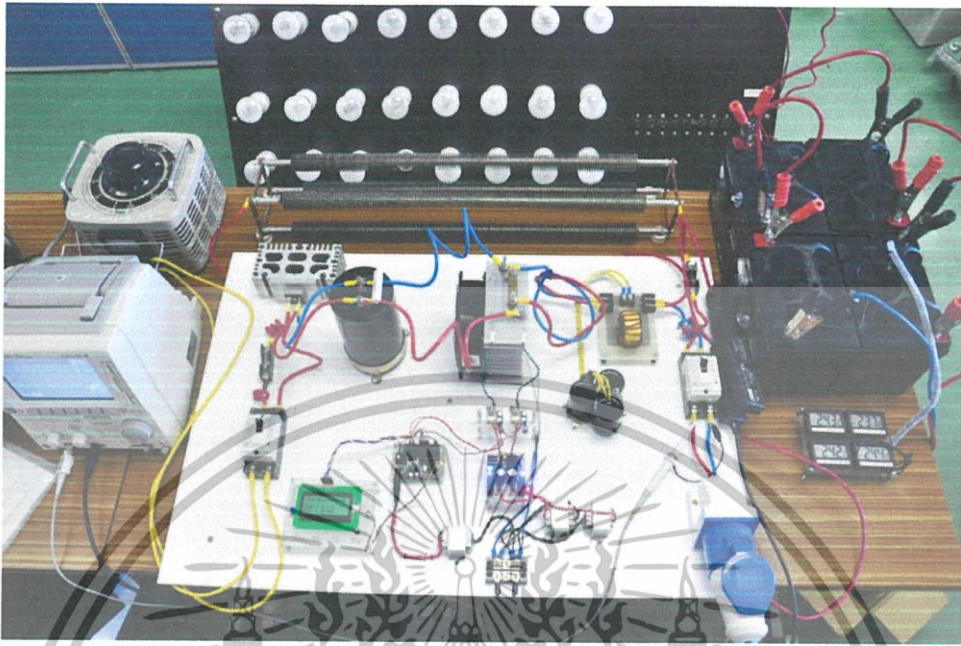
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



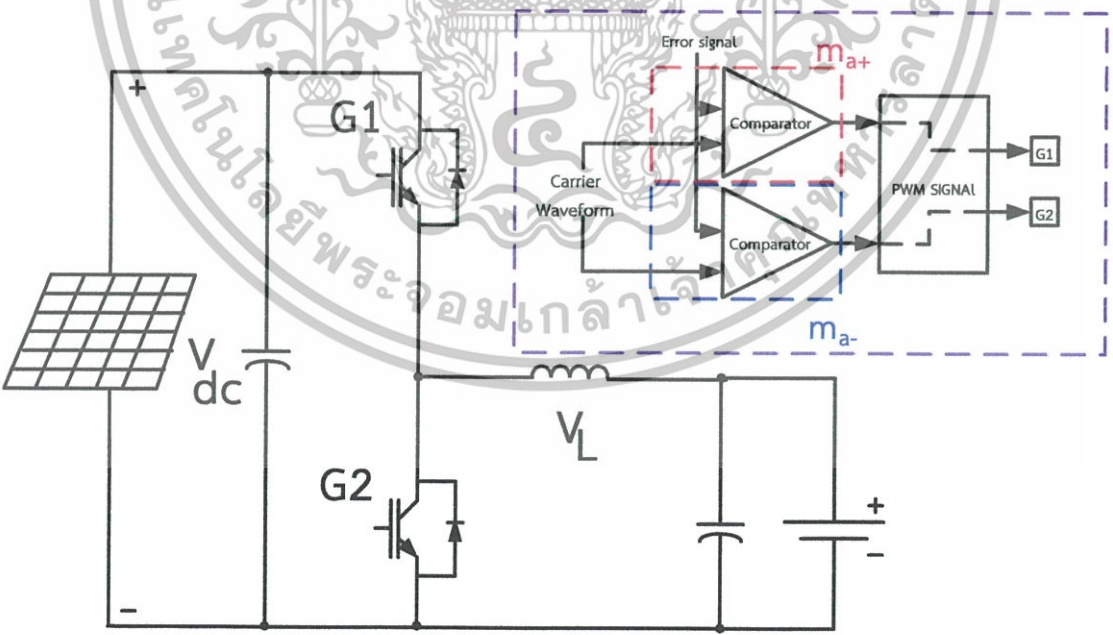
รูปที่ 5.17 ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน (%THD,) ที่ภาระทางไฟฟ้ามอเตอร์ 1 เฟส 200 วัตต์

รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณขับสวิตช์แบบไบโพลาร์ที่ดับบลิวเอ็ม (Bipolar PWM) โดยมีลักษณะเดียวกับกับแรงดันด้านออกที่ยังไม่ผ่านวงจรกรอง และจากสัญญาณขับสวิตช์ดังกล่าว ทำให้สามารถสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่มูลฐาน 50 Hz โดยรักษาระดับแรงดันที่ดีซีลิงค์ไว้ที่ประมาณ 163 โวลต์ในขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าและบันทึกกราฟที่ได้ดังรูปที่ 5.12, 5.14 และ 5.16 ซึ่งแสดงแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ภาระทางไฟฟ้าขนาด 200 วัตต์ และ 500 วัตต์ และมอเตอร์ 1 เฟส 200 วัตต์ ตามลำดับ พร้อมทั้งทำการคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์ (Total Harmonics Distortion: %THD) ตามรูปที่ 5.13, 5.15 และ 5.17 ในโปรแกรม Matlab พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันที่ดีซีลิงค์ ได้ตามตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถควบคุมแรงดันที่ดีซีลิงค์ได้จริง และจะเห็นได้ว่า อินเวอร์เตอร์สามารถ รักษากระดับแรงดันด้านออกได้ที่ ภาระทางไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์ เนื่องจาก เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าเป็น 600 วัตต์ ทำให้ระดับแรงดันด้านออกมีค่าลดลง 4.5% อีกทั้งการจ่ายภาระทางไฟฟ้า 600 วัตต์ ยังไม่เหมาะสมเนื่องจาก ภาระทางไฟฟ้าจะดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้มากเกินไป ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ

5.2.3 ผลการทดลองการชาร์จแบบพัลส์

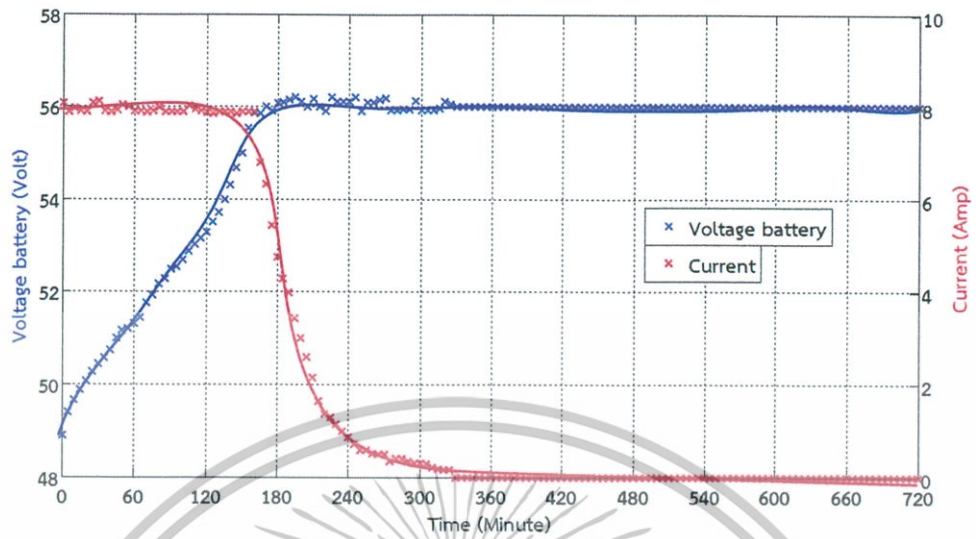


รูปที่ 5.18 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์

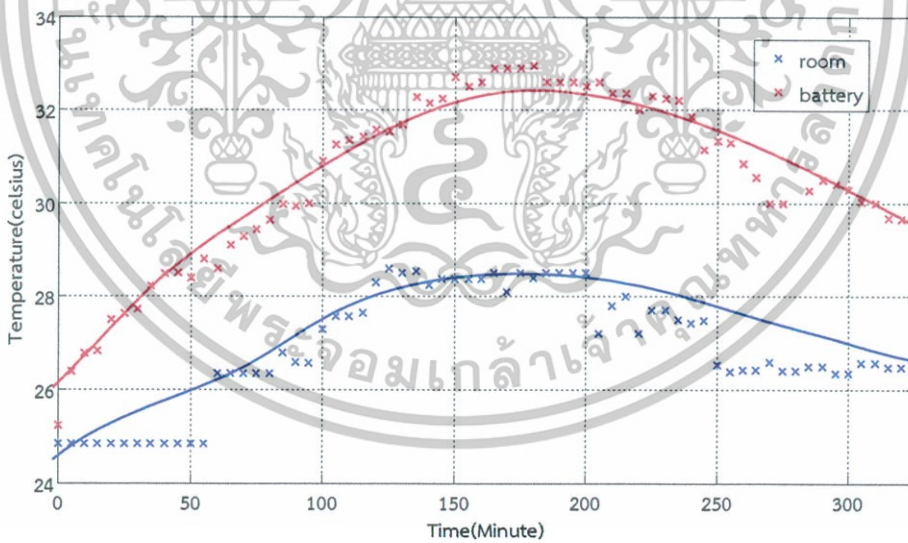


รูปที่ 5.19 ลักษณะการควบคุมการทำงานของเครื่องชาร์จแบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

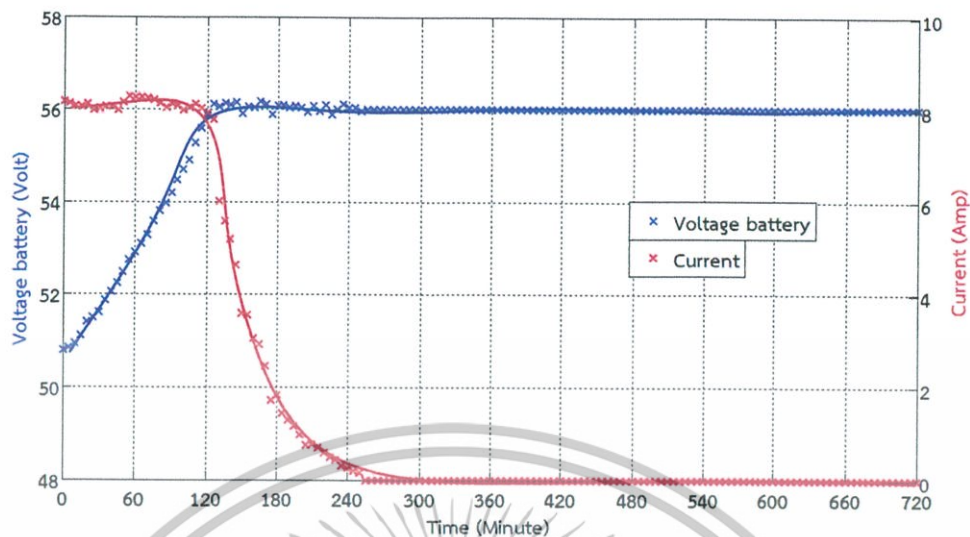


รูปที่ 5.20 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

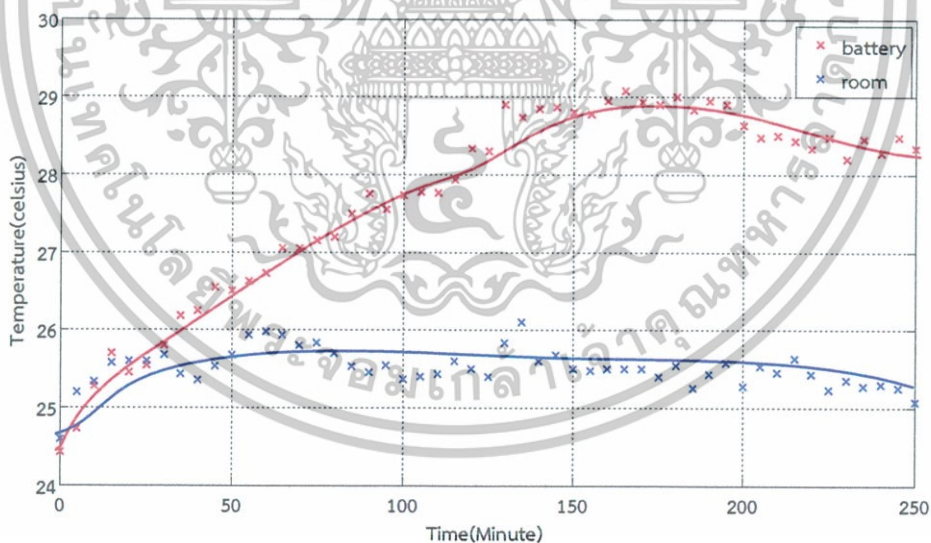


รูปที่ 5.21 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

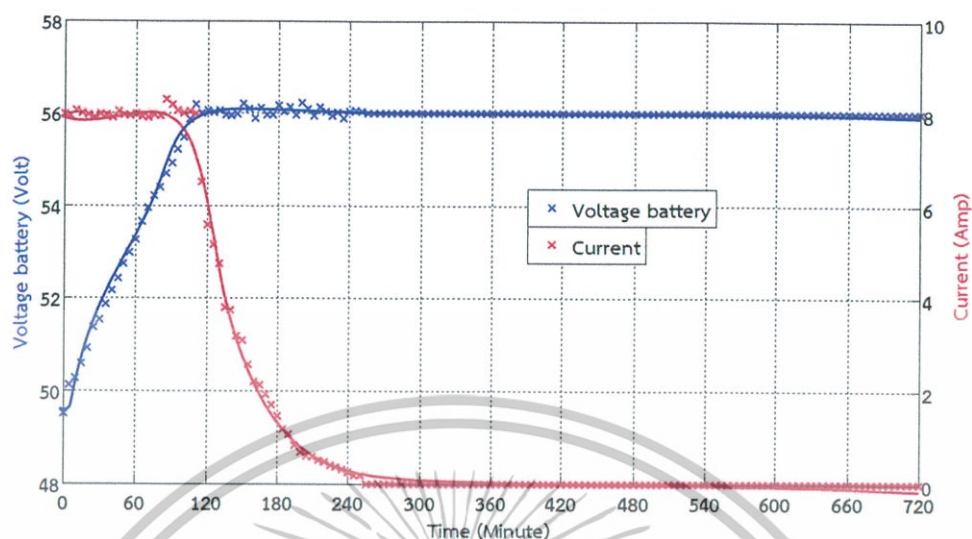


รูปที่ 5.22 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

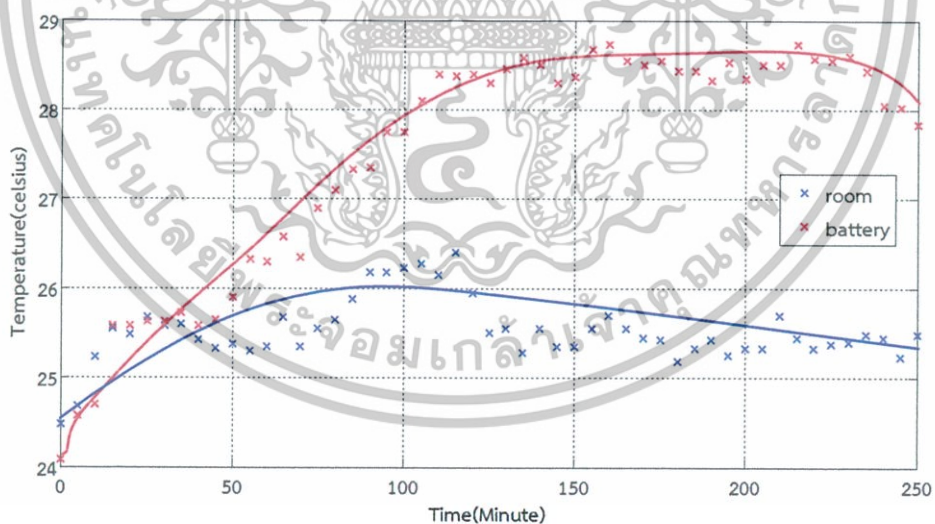


รูปที่ 5.23 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

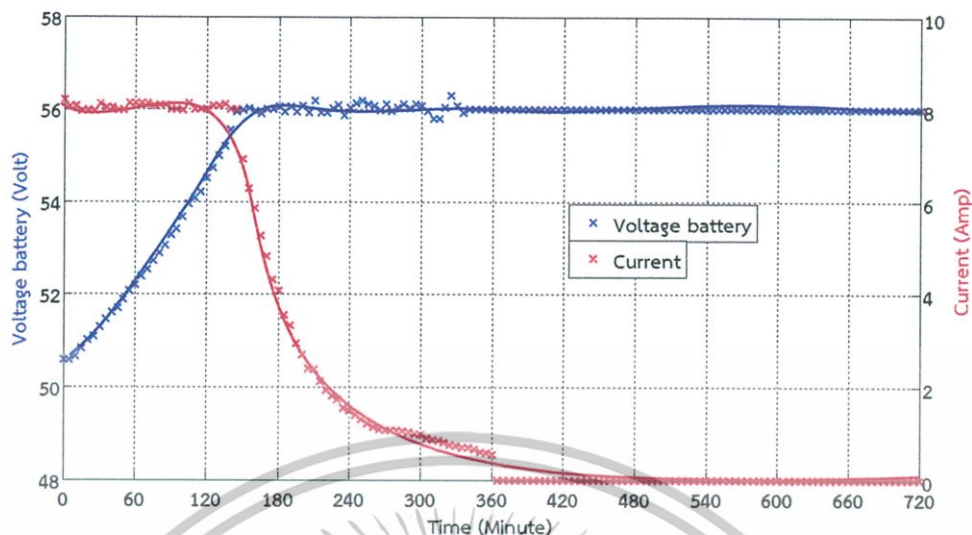


รูปที่ 5.24 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 25 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

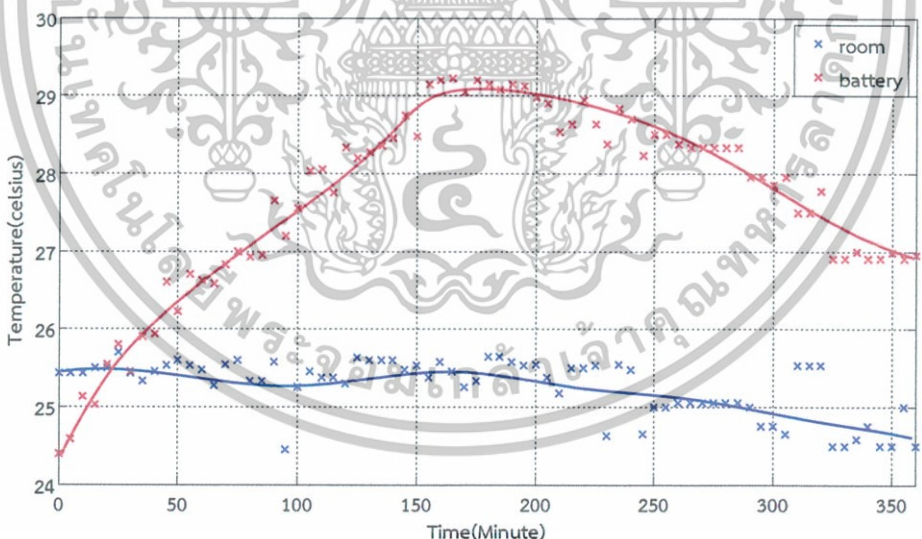


รูปที่ 5.25 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 25 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

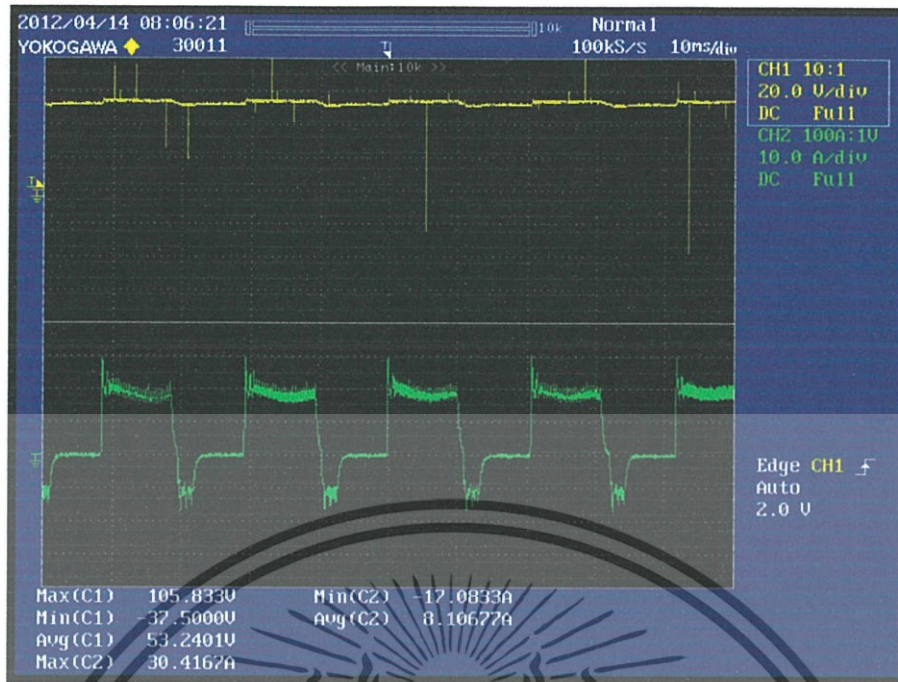


รูปที่ 5.26 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

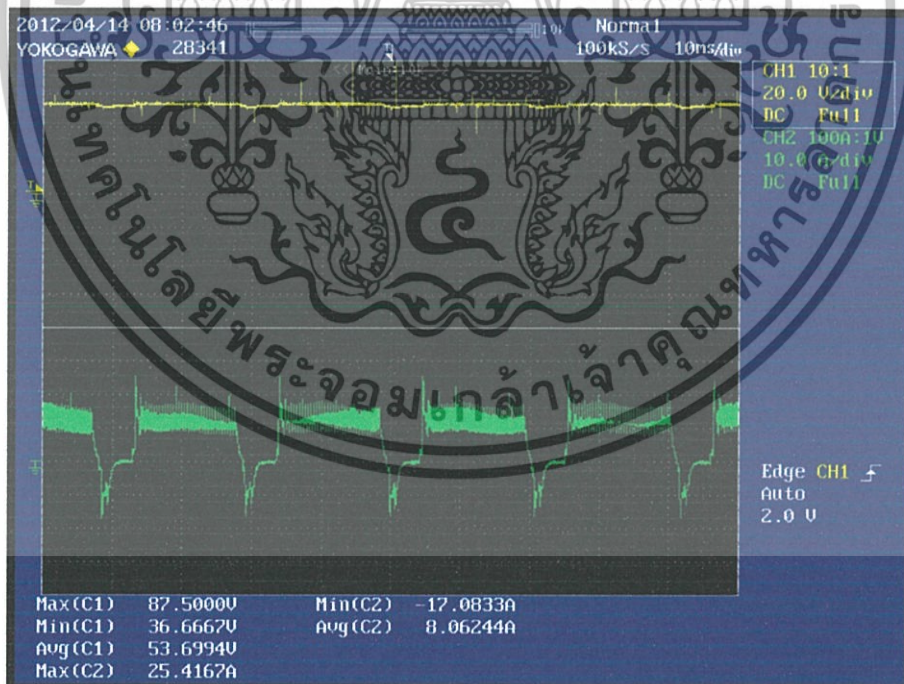


รูปที่ 5.27 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ (สีแดง) และ อุณหภูมิห้อง (สีน้ำเงิน) ขณะชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

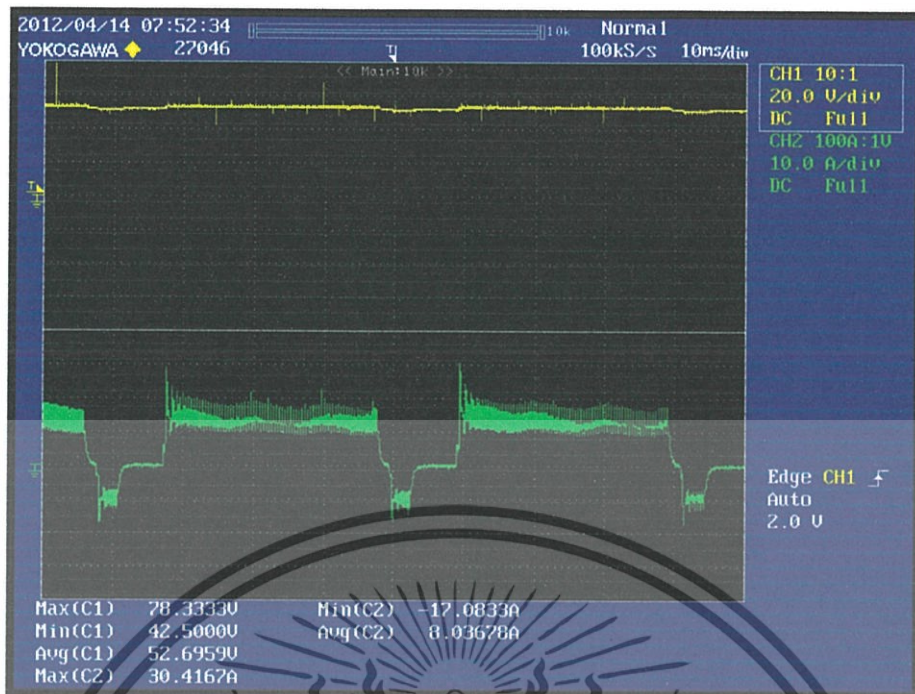


รูปที่ 5.28 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และ กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 50Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.5

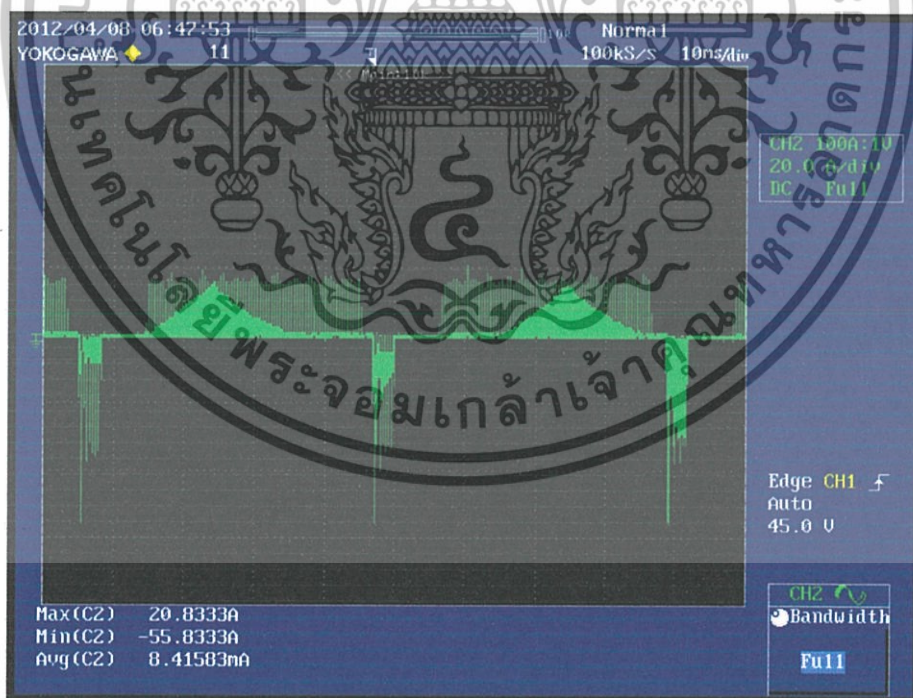


รูปที่ 5.29 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และ กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 50Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (สีเหลือง) และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จ (สีเขียว) ด้วยความถี่ 25 Hz ดิวตีไซเคิล 0.75



รูปที่ 5.31 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ ก - 2 ถึง 5 ในภาคผนวก ก เป็นการทดลองเพื่อหาค่าของความถี่และดิวตี้ไซเคิลการชาร์จของกระแสช็อบก และทำการคงที่ดิวตี้ไซเคิลของกระแสดีสชาร์จไว้เพื่อให้สามารถเกิดการเปรียบเทียบได้ ในแต่ละการทดลองได้ โดยการควบคุมการทำงานใช้วิธีการเพิ่มหรือลดค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ช็อบก (M_{a+}) และช็อบลบ (M_a) เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันและกระแสสำหรับการชาร์จให้มีความเหมาะสมตามคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ ที่แรงดัน 56 โวลต์ และจำกัดกระแสที่ 8 แอมป์ พร้อมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการชาร์จด้วย ซึ่งผลการควบคุมดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 5.20 ,5.22 ,5.24 ,5.26 โดยแสดงทั้งคุณลักษณะของการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเงื่อนไขต่างๆ พร้อมทั้งเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างแบตเตอรี่ขณะที่ทำการชาร์จกับอุณหภูมิห้องเอาไว้ด้วย และรูปที่ 5.21 ,5.23 ,5.25 ,5.27 เป็นรูปที่ได้จากการทดลองจริง โดยประกอบไปด้วยแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จของแต่ละเงื่อนไข โดยผลที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาทำให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่ของรูปคลื่นพัลส์ และดิวตี้ไซเคิลการทำงานมีผลโดยตรงกับระยะเวลาในการชาร์จและอุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 5.2 โดยตัดการทำงานที่กระแสชาร์จลดลงจนมีค่าประมาณ 0.17 แอมป์

ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิของเงื่อนไขการชาร์จแบบต่างๆ

Condition		ΔT_{max}	Time
Frequency(Hz)	Duty cycle	($^{\circ}C$)	(Minutes)
25	0.75	3.275	250
50	0.5 ($I_{avg} = 8 A$)	5.720	325
50	0.5 ($I_{max} = 8 A$)	1.075	มากกว่า 900
50	0.75	3.575	250
100	0.75	3.65	มากกว่า 250
200	0.75	3.875	มากกว่า 360

5.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ กับการชาร์จแบบพัลส์

5.3.1 เปรียบเทียบการทดลอง

เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างวิธีการชาร์จแบบแรงดันคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จ และการชาร์จแบบพัลส์ ให้ได้ผลที่ดีที่สุด จำเป็นที่จะต้องหารูปแบบการชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบพัลส์ที่มีความเหมาะสม จากการทดลองในเลือกใช้ความถี่เป็น 25Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ความถี่ 50 Hz โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคาบเวลาหรือดิวตี้ไซเคิลของการชาร์จสำหรับกระแสชีกบวก เป็น 0.5 และ 0.75 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์ที่ความถี่ 50 Hz

Condition		Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty cycle	
50	0.5	325
50	0.75	250

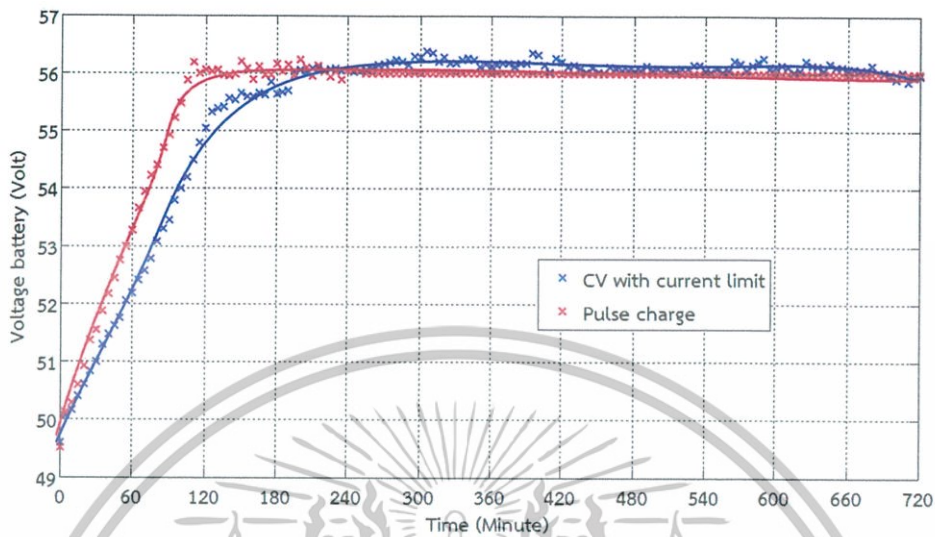
จากตารางที่ 5.3 พบว่าดิวตี้ไซเคิลของการชาร์จของกระแสชีกบวกยังมีค่าสูงเข้าใกล้ 1 หรือ เข้าใกล้รูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้การชาร์จใช้เวลาน้อยลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องมีการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิระหว่างการชาร์จแบบเตอริด้วย

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิมิขณะทำการชาร์จที่ความถี่ต่างๆกัน

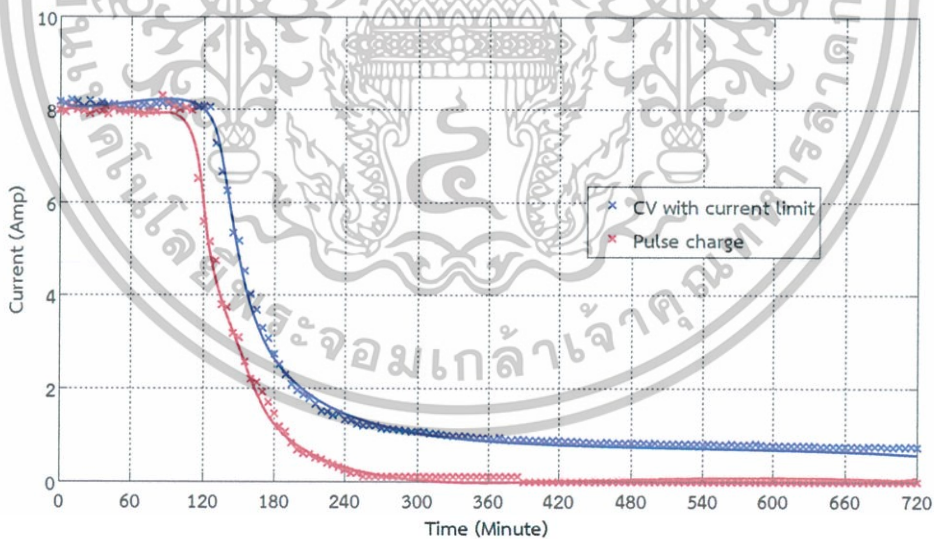
Condition		ΔT_{max} ($^{\circ}C$)
Frequency (Hz)	Duty cycle	
25	0.75	3.275
50	0.75	3.575
100	0.75	3.650
200	0.75	3.875

จากตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลต่างอุณหภูมิมิมีค่าน้อยๆ คือการเลือกใช้ความถี่ในการชาร์จต่ำ เนื่องจากที่ความถี่สูงจะทำให้มีค่าความสูญเสียผ่านตัวต้านทานภายในแบตเตอรี่มากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลระหว่างการชาร์จแบบพัลส์ โดยใช้ความถี่ที่ 25 Hz ค่าดิวตี้ไซเคิลในการชาร์จเป็น 0.75 และการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ พบว่าการชาร์จแบบพัลส์ใช้เวลาน้อยกว่า เกือบ 3 เท่าสำหรับการทดลองนี้ และมีผลต่างของอุณหภูมิมิที่ต่ำกว่า ซึ่งพิจารณาที่สถานะการชาร์จเริ่มต้น (State of Charge: SOC) เท่ากัน โดยมีค่าประมาณที่ 20% หรือ 1.8 โวลต์ต่อเซลล์ ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 5.32 - 5.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

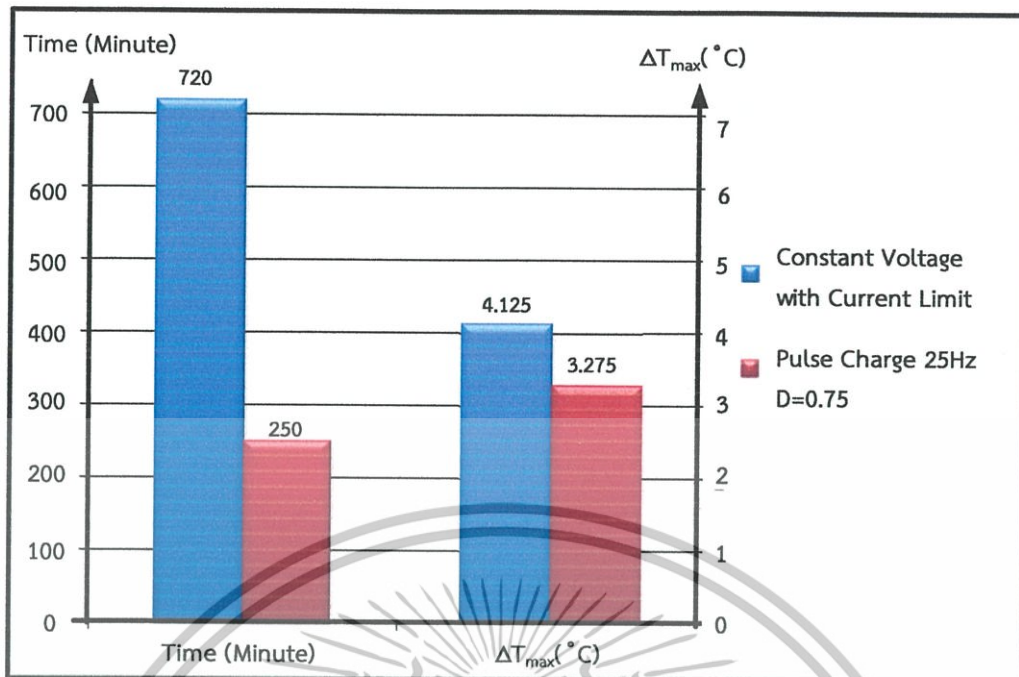


รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ



รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่

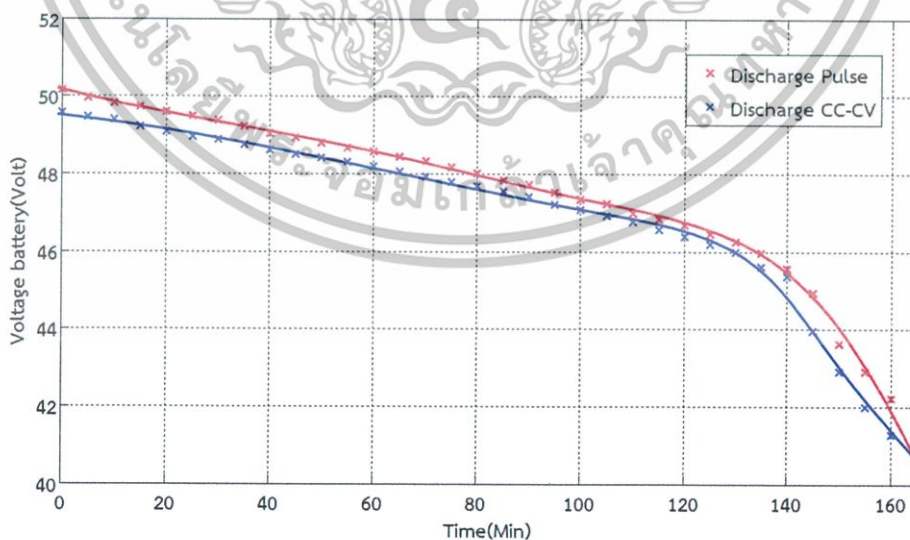
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบระหว่างการชาร์จทั้งสองแบบ โดยพิจารณาที่ SOC 20%

5.3.2 เปรียบเทียบเวลาในการคายประจุ

เพื่อทำการเปรียบเทียบสภาพของแบตเตอรี่ภายหลังการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยการชาร์จแบบพัลส์และแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ โดยทำการเปรียบเทียบเวลาในการคายประจุที่กระแสไฟฟ้าค่าเดียวกัน โดยมีผล ดังรูปที่ 5.35 (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก - 6 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบระยะเวลาในการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.35 พบว่าภายหลังการชาร์จแบบพัลส์ 3 รอบ ไม่ได้ทำให้สภาพของ แบตเตอรี่เสื่อมลงแต่อย่างใด เนื่องจากเวลาในการคายประจุที่บันทึกได้มีค่าใกล้เคียงกันกับการชาร์จ แบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแส สาเหตุที่แรงดันเริ่มต้นมีค่าต่างกัน เนื่องจากการเปิดภาระทางไฟฟ้า ขณะที่ทำการคายประจุ ทำให้แรงดันเริ่มต้นไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น จะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างจะ ค่อนข้างคงที่ ทำให้สามารถบอกได้ว่าการคายประจุใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน

5.4 บทสรุป

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การชาร์จแบตเตอรี่ มีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งเรื่องของ อุณหภูมิ สภาพของแบตเตอรี่ ปริมาณกระแสชาร์จ ในส่วนของการชาร์จแบบพัลส์นั้นจะมีปัจจัยเพิ่มเข้ามาอีก คือ ความถี่ และ คาบเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ ในบทนี้จึงเป็นการทำการ ทดลองเพื่อหาปัจจัยและองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชาร์จโดยที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิด ความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ยังเป็นการนำเสนอเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่มีพลังงานไหลได้ สองทิศทาง โดยทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้ และมีการควบคุมแรงดันเอาต์พุท ให้มีค่าคงที่สำหรับรองรับการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้าด้วย



บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

จากผลการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียปลั๊กที่ต้องการระยะเวลาในการชาร์จที่เหมาะสมตามสถานการณ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบจากผลการทดลองระหว่างการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จกับการชาร์จแบบพัลส์ สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง พบว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ด้วยการใช้ความถี่ในการชาร์จ 25Hz และดิวตี้ไซเคิลการชาร์จ 0.75 สามารถช่วยลดระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ลงได้จากเดิม 720 นาทีเหลือเพียง 250 นาที และมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า โดยมีผลต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 3.275°C ในขณะที่การชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 4.125°C โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ จะเห็นได้ว่าการชาร์จแบบพัลส์เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความเร่งรีบในการใช้งาน เช่น ในช่วงเช้าและเย็นที่มีความต้องการในการใช้บริการเป็นจำนวนมาก และการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จเหมาะสมสำหรับการชาร์จในช่วงที่อัตราการใช้บริการน้อย หรืออาจใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่สำรองไว้สำหรับการสับเปลี่ยน (Battery Swapping) แทนได้ อีกทั้งยังสามารถทำให้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นสื่อกลางในการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าไม่เกิน 500 วัตต์ โดยสามารถควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตไว้ที่ 216-220 โวลต์ได้

6.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองทดลองงานวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวังดังต่อไปนี้

1. ควรเริ่มต้นการทำงานของส่วนควบคุมการทำงานก่อนเพื่อป้องกันการลัดวงจร ที่จะทำให้อุปกรณ์สวิตช์เสียหาย ในขณะที่ทำการทดลอง
2. ควรตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากชุดสัญญาณขั้วเบตให้ถูกต้องก่อนทำการทดลองทุกครั้ง

3. ระบบระบายความร้อนต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลานาน หากระบบระบายความร้อนทำงานไม่ดี จะทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้

4. ควรระมัดระวังในขณะที่ทำการคายประจุแบตเตอรี่ อย่าให้แบตเตอรี่คายประจุมากเกินไปเพราะจะทำให้แบตเตอรี่ตาย หรือเสื่อมสภาพ

6.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ได้ดังนี้

1. สำหรับการทำงานในโหมดการชาร์จแบตเตอรี่ ทำให้กระแสไฟฟ้าด้านอินพุทเกิดความผิดเพี้ยนและมีฮาร์มอนิกส์ เกิดขึ้นในระบบเนื่องจากผลของการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นของไดโอด ดังนั้นหากมีการพัฒนาโดยใช้การควบคุมแบบพีดีบีเอสเอ็มสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (PWM Rectified) ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ได้
2. การทำงานในโหมดจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ สามารถออกแบบให้จ่ายพลังงานคืนกลับสู่ระบบได้
3. การชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ สามารถทำให้มีการควบคุมแบบป้อนกลับได้

บรรณานุกรม

- [1] มาตรฐานเกี่ยวกับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ [online] Available : <http://www.chademo.com>
- [2] Xiong Du, Luwei Zhou, Heng-Ming Tai “Double-Frequency Buck Converter” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 56, NO. 5, MAY 2009, pp 1690 – 1698
- [3] Y.-C. Chuang Y.-L. Ke , “High efficiency battery charger with a buck zero-current-switching pulse-width-modulated converter” IET Power Electron., 2008, Vol. 1, No. 4, pp. 433 – 444
- [4] Mithat C. Kisacikoglu, Burak Ozpineci, and Leon M. Tolbert, “Examination of a PHEV Bidirectional Charger System for V2G Reactive Power Compensation” IEEE pp 458-465
- [5] Mithat C. Kisacikoglu¹, Burak Ozpineci^{1,2}, and Leon M. Tolbert, “Reactive Power Operation Analysis of a Single-Phase EV/PHEV Bidirectional Battery Charger” 8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia, pp 585 -592
- [6] Chang-Hua Lin, Hom-Wei Liu, Chien-Ming Wang, “Design and Implementation of a Bi-directional Power Converter for Electric Bike with Charging Feature” 2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp538-543
- [7] Zezhong Xia, Xiaopeng Tao, Yuanzheng Li, Youxin Yuan, “Digital Control of Distributed Converter System for Battery Charge and Discharge” 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, pp 3650 –3654
- [8] K. C. Tseng, T. J. Liang, J. E. Chen, and M. T. Chang, “High Frequency Positive/Negative Pulse Charger with Power Factor Correction” 2002 IEEE , pp 671 – 675
- [9] Y. S. Chu, R. Y. Chen, T. J. Liang, S. K. Changchien, and J. F. Chen, “Positive/negative Pulse Battery Charger with Energy Feedback and Power Factor Correction” 2005 IEEE pp 986 – 990
- [10] T. J. Liang Member, IEEE, T. Wen, K. C. Tseng, and J. E. Chen, “Implementation of a Regenerative Pulse Charger Using Hybrid Buck-Boost Converter” IEEE PEDS 2001 INDONESIA pp 437 - 442
- [11] Chih-Chiang Hua, Ching-Hsiang Hsu “Implementation of a Regenerative Pulse and Equalization Battery Charger Using a DSP” 2005 IEEE pp 955 -959

[12] นายพงศ์พัฒน์ เรือนทราย , นายพิรชา วิจิตรศิริ , นายพิษณุ บัวหิน และนายภานุพงษ์ บุรีวัน “วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จ รถยนต์ไฮบริดจ์ประเภท เสียบปลั๊ก” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2553 หน้า 8 -11 , 24 - 35

[13] โครงสร้างของแบตเตอรี่ , “เซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด” [online] Available : <http://www.carbatt.com/index.php?lay=show&ac=article&id=374164>

[14] แบตเตอรี่ชนิดต่างๆ , “เซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด” [online] Available : <http://lab.excise.go.th/group3/battery/batstruc.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 1 คุณสมบัติการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยจำกัดกระแส 8 แอมป์

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	Current (A _{avg})	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0.00	49.60	8.16	25.55	26.28	0.725
5.00	50.07	8.14	25.50	-	-
10.00	50.17	8.20	25.78	-	-
15.00	50.40	8.16	26.21	-	-
20.00	50.61	8.06	25.75	-	-
25.00	50.83	8.18	25.68	-	-
30.00	51.00	8.08	26.08	25.65	0.425
35.00	51.29	8.15	26.18	-	-
40.00	51.47	8.10	26.25	-	-
45.00	51.63	8.12	26.15	-	-
50.00	51.76	8.02	26.48	-	-
55.00	52.05	8.07	26.18	-	-
60.00	52.19	8.08	26.15	24.55	1.6
65.00	52.41	8.05	26.38	-	-
70.00	52.58	8.10	26.25	-	-
75.00	52.78	8.06	26.20	-	-
80.00	53.08	8.11	26.45	-	-
85.00	53.31	8.14	27.05	-	-
90.00	53.46	8.11	27.20	24.58	2.625
95.00	53.79	8.13	27.68	-	-
100.00	54.00	8.10	27.68	-	-
105.00	54.20	8.04	27.25	-	-
110.00	54.49	8.11	27.15	-	-
115.00	54.79	8.05	27.30	-	-
120.00	55.05	8.08	27.53	24.38	3.15
125.00	55.33	8.06	28.18	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	Current (A_{avg})	Battery Temp. ($^{\circ}C$)	Room Temp. ($^{\circ}C$)	Δ Temp.
130.00	55.38	7.27	28.08	-	-
135.00	55.42	6.67	28.58	-	-
140.00	55.56	6.25	28.05	-	-
145.00	55.53	5.35	27.95	-	-
150.00	55.65	5.18	28.13	24.45	3.675
155.00	55.60	4.52	28.33	-	-
160.00	55.60	4.02	28.40	-	-
165.00	55.65	3.69	28.63	-	-
170.00	55.62	3.30	28.15	-	-
175.00	55.85	3.08	28.33	-	-
180.00	55.64	2.75	28.50	24.38	4.125
185.00	55.67	2.51	28.85	-	-
190.00	55.70	2.30	28.23	-	-
195.00	56.02	2.09	28.05	-	-
200.00	56.06	1.97	28.20	-	-
205.00	56.01	1.86	28.10	-	-
210.00	56.08	1.79	28.23	24.38	3.85
215.00	56.08	1.66	27.83	-	-
220.00	56.04	1.52	28.05	-	-
225.00	56.07	1.49	28.03	-	-
230.00	56.09	1.43	27.80	-	-
235.00	56.04	1.45	27.83	-	-
240.00	56.04	1.33	27.35	23.65	3.7
245.00	56.02	1.31	27.18	-	-
250.00	56.03	1.24	27.43	-	-
255.00	56.05	1.20	27.10	-	-
260.00	56.08	1.19	27.08	-	-
265.00	56.14	1.20	27.05	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	Current (A_{avg})	Battery Temp. ($^{\circ}C$)	Room Temp. ($^{\circ}C$)	Δ Temp.
270.00	56.16	1.15	26.93	23.60	3.325
275.00	56.19	1.13	26.90	-	-
280.00	56.24	1.12	26.95	-	-
285.00	56.21	1.11	26.30	-	-
290.00	56.15	1.08	26.38	-	-
295.00	56.29	1.07	26.25	-	-
300.00	56.28	1.07	26.50	23.65	2.85
305.00	56.38	1.06	26.20	-	-
310.00	56.35	1.04	26.25	-	-
315.00	56.20	1.03	26.03	-	-
320.00	56.28	1.01	26.05	-	-
325.00	56.17	1.00	26.20	-	-
330.00	56.17	0.98	26.25	24.40	1.85
335.00	56.24	0.98	26.48	-	-
340.00	56.26	0.97	26.60	-	-
345.00	56.24	0.96	26.20	-	-
350.00	56.11	0.94	25.93	-	-
355.00	56.16	0.93	25.68	-	-
360.00	56.12	0.92	25.53	24.45	1.075
365.00	56.15	0.91	25.70	-	-
370.00	56.18	0.93	26.30	-	-
375.00	56.17	0.90	25.60	-	-
380.00	56.11	0.89	25.43	-	-
385.00	56.17	0.91	25.48	-	-
390.00	56.18	0.90	24.28	24.50	0.22
395.00	56.35	0.89	25.30	-	-
400.00	56.32	0.89	25.30	-	-
405.00	56.14	0.89	25.50	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	Current (A_{avg})	Battery Temp. ($^{\circ}C$)	Room Temp. ($^{\circ}C$)	Δ Temp.
410.00	56.02	0.86	25.40	-	-
415.00	56.26	0.88	25.35	-	-
420.00	56.20	0.88	25.38	24.60	0.775
425.00	56.11	0.87	25.30	-	-
430.00	56.15	0.86	25.53	-	-
435.00	56.09	0.86	25.28	-	-
440.00	56.02	0.85	25.50	-	-
445.00	56.10	0.84	24.93	-	-
450.00	56.02	0.83	25.00	23.37	1.63
455.00	56.01	0.83	24.73	-	-
460.00	56.12	0.84	25.18	-	-
465.00	56.08	0.83	25.30	-	-
470.00	56.05	0.82	25.50	-	-
475.00	56.05	0.82	25.35	-	-
480.00	56.04	0.82	25.28	24.50	0.78
485.00	56.05	0.82	24.93	-	-
490.00	56.13	0.82	24.75	-	-
495.00	56.06	0.81	24.80	-	-
500.00	56.08	0.82	24.50	-	-
505.00	56.09	0.81	24.60	-	-
510.00	56.03	0.80	24.40	24.20	0.2
515.00	56.04	0.81	24.43	-	-
520.00	56.09	0.81	24.50	-	-
525.00	56.09	0.80	24.28	-	-
530.00	56.14	0.81	24.80	-	-
535.00	56.15	0.81	24.93	-	-
540.00	56.04	0.79	25.20	24.50	0.7
545.00	56.02	0.80	24.68	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	Current (A_{avg})	Battery Temp. ($^{\circ}C$)	Room Temp. ($^{\circ}C$)	Δ Temp.
550.00	56.08	0.80	24.68	-	-
555.00	56.02	0.79	24.63	-	-
560.00	56.06	0.79	24.83	-	-
565.00	56.22	0.80	24.75	-	-
570.00	56.17	0.79	24.78	24.55	0.225
575.00	56.06	0.79	24.73	-	-
580.00	56.15	0.79	24.65	-	-
585.00	56.20	0.80	24.85	-	-
590.00	56.26	0.79	24.73	-	-
595.00	56.08	0.78	24.73	-	-
600.00	56.12	0.77	24.55	-	-
605.00	56.14	0.78	24.65	24.50	0.15
610.00	56.11	0.78	24.73	-	-
615.00	56.02	0.77	24.83	-	-
620.00	56.06	0.78	24.98	-	-
625.00	56.22	0.78	24.63	-	-
630.00	56.14	0.77	24.65	25.15	0.5
635.00	56.13	0.77	24.75	-	-
640.00	56.05	0.76	24.73	-	-
645.00	56.17	0.76	24.60	-	-
650.00	56.12	0.75	24.60	-	-
655.00	56.12	0.76	24.83	-	-
660.00	56.06	0.76	24.88	25.48	0.6
665.00	56.08	0.76	24.75	-	-
670.00	56.06	0.76	24.67	-	-
675.00	56.07	0.73	24.80	-	-
680.00	56.15	0.76	24.85	-	-
685.00	56.00	0.76	24.68	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	Current (A_{avg})	Battery Temp. ($^{\circ}C$)	Room Temp. ($^{\circ}C$)	Δ Temp.
690.00	56.03	0.75	24.78	24.73	0.05
695.00	55.96	0.74	24.83	-	-
700.00	55.91	0.74	24.75	-	-
705.00	56.03	0.75	24.73	-	-
710.00	55.86	0.74	24.58	-	-
715.00	55.94	0.76	24.80	-	-
720.00	55.97	0.74	24.55	25.23	0.675



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 2 คุณสมบัติขณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์

(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
0.00	48.90	20.00	-15.00	8.10	24.85	25.23	0.375
5.00	49.40	20.00	-15.00	7.90	24.85	26.38	1.525
10.00	49.67	20.00	-15.00	7.98	24.85	26.78	1.925
15.00	49.88	20.00	-15.00	7.92	24.85	26.83	1.975
20.00	50.07	20.00	-15.00	7.90	24.85	27.50	2.65
25.00	50.28	20.00	-15.00	8.09	24.85	27.63	2.775
30.00	50.44	20.00	-15.00	8.13	24.85	27.73	2.875
35.00	50.57	20.00	-15.00	7.92	24.85	28.23	3.375
40.00	50.75	20.00	-15.00	7.90	24.85	28.48	3.625
45.00	51.01	20.00	-15.00	7.94	24.85	28.50	3.65
50.00	51.16	20.00	-15.00	8.05	24.85	28.40	3.55
55.00	51.21	20.00	-15.00	8.02	24.85	28.80	3.95
60.00	51.31	20.00	-15.00	7.92	26.35	28.60	2.25
65.00	51.44	20.00	-15.00	7.93	26.35	29.10	2.75
70.00	51.76	20.00	-15.00	7.91	26.35	29.28	2.925
75.00	51.94	20.00	-15.00	7.93	26.35	29.43	3.075
80.00	52.17	20.00	-15.00	8.00	26.35	29.65	3.3
85.00	52.29	20.00	-15.00	7.91	26.80	29.98	3.175
90.00	52.48	20.00	-15.00	7.91	26.60	29.93	3.325
95.00	52.55	20.00	-15.00	7.90	26.58	30.00	3.42
100.00	52.69	20.00	-15.00	7.91	27.30	30.90	3.6
105.00	52.88	20.00	-15.00	8.04	27.58	31.25	3.675
201.00	53.03	20.00	-15.00	7.97	27.58	31.35	3.775
115.00	53.16	20.00	-15.00	7.93	27.65	31.43	3.775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
120.00	53.29	20.00	-15.00	7.88	28.30	31.58	3.275
125.00	53.51	20.00	-15.00	7.87	28.60	31.53	2.925
130.00	53.71	20.00	-15.00	7.90	28.50	31.68	3.175
135.00	54.00	20.00	-15.00	7.91	28.55	32.28	3.725
140.00	54.31	20.00	-15.00	7.90	28.25	32.15	3.9
145.00	54.68	20.00	-15.00	7.86	28.38	32.25	3.87
150.00	55.00	20.00	-15.00	7.91	28.38	32.70	4.32
155.00	55.53	20.00	-15.00	7.91	28.38	32.50	4.12
160.00	55.87	20.00	-15.00	7.91	28.38	32.60	4.22
165.00	55.85	18.00	-15.00	6.81	28.50	32.90	4.4
170.00	56.00	17.50	-15.00	6.35	28.10	32.90	4.8
175.00	55.91	16.75	-15.00	5.45	28.50	32.90	4.4
180.00	56.07	13.75	-10.00	4.76	28.40	32.95	4.55
185.00	56.10	10.00	-8.00	4.29	28.50	32.60	4.1
190.00	56.15	10.00	-8.00	4.00	28.50	32.60	4.1
195.00	56.20	10.00	-7.50	3.44	28.50	32.60	4.1
200.00	56.12	10.00	-7.50	3.00	28.50	32.50	4
205.00	56.00	10.00	-7.50	2.60	27.20	32.60	5.4
210.00	56.17	9.00	-7.00	2.15	27.80	32.35	4.55
215.00	56.00	10.00	-7.50	1.65	28.00	32.35	4.35
220.00	55.90	9.50	-11.00	1.37	27.20	32.00	4.8
225.00	56.20	9.58	-12.90	1.30	27.70	32.30	4.6
230.00	56.12	7.50	-11.88	1.15	27.70	32.25	4.55
235.00	56.12	7.50	-11.25	1.00	27.50	32.20	4.7
240.00	56.11	7.50	-11.66	0.87	27.43	31.85	4.425
245.00	56.20	7.91	-16.25	0.71	27.48	31.15	3.675
250.00	55.90	6.66	-17.00	0.59	26.53	31.33	4.8
255.00	56.09	6.25	-18.33	0.58	26.38	31.30	4.925

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
260.00	56.10	7.08	-18.33	0.52	26.43	30.85	4.425
265.00	56.15	7.55	-18.33	0.50	26.43	30.55	4.125
270.00	56.18	7.91	-19.58	0.49	26.60	30.00	3.4
275.00	55.93	7.50	-22.92	0.34	26.40	30.00	3.6
280.00	55.93	8.00	-23.55	0.40	26.40	32.12	5.72
285.00	55.95	8.33	-24.58	0.40	26.50	30.28	3.775
290.00	55.95	8.00	-20.00	0.35	26.50	30.50	4
295.00	56.13	7.91	-21.25	0.31	26.35	30.40	4.05
300.00	55.93	8.23	-21.20	0.30	26.35	30.30	3.95
305.00	55.92	8.33	-20.83	0.28	26.58	30.03	3.45
310.00	55.92	8.11	-21.12	0.21	26.58	30.00	3.425
315.00	55.97	7.91	-20.41	0.17	26.48	29.68	3.2
320.00	56.12	8.13	-20.50	0.16	26.48	29.66	3.185
325.00	56.06	9.16	-22.50	0.16	26.53	29.48	2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 3 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์

(ความถี่ 50 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
0.00	50.80	13.00	-16.25	8.18	24.60	24.43	0.175
5.00	50.85	13.00	-16.25	8.14	25.20	24.73	0.475
10.00	50.95	13.00	-16.25	8.09	25.33	25.28	0.05
15.00	51.11	13.00	-16.25	8.07	25.58	25.70	0.125
20.00	51.42	13.00	-16.25	8.12	25.60	25.45	0.15
25.00	51.50	13.00	-16.66	7.99	25.60	25.55	0.05
30.00	51.61	13.00	-16.25	8.03	25.68	25.80	0.125
35.00	51.87	13.00	-16.66	8.08	25.43	26.18	0.75
40.00	52.06	13.00	-16.25	8.08	25.35	26.25	0.9
45.00	52.25	13.00	-16.66	7.99	25.53	26.55	1.025
50.00	52.48	13.00	-16.66	8.16	25.68	26.50	0.825
55.00	52.74	13.00	-16.66	8.29	25.93	26.63	0.7
60.00	52.91	13.00	-16.66	8.28	25.98	26.73	0.75
65.00	53.10	13.00	-16.66	8.27	25.93	27.05	1.125
70.00	53.29	13.00	-16.66	8.25	25.80	27.05	1.25
75.00	53.59	13.00	-17.08	8.23	25.83	27.15	1.325
80.00	53.81	13.00	-17.08	8.15	25.70	27.20	1.5
85.00	53.98	13.00	-17.08	8.05	25.53	27.50	1.975
90.00	54.19	13.00	-17.08	8.12	25.45	27.75	2.3
95.00	54.47	13.00	-17.08	8.09	25.55	27.55	2
100.00	54.71	13.00	-17.08	8.00	25.37	27.73	2.355
105.00	54.91	13.00	-17.50	8.06	25.40	27.77	2.37
100.00	55.27	13.00	-17.50	8.12	25.43	27.76	2.335
115.00	55.59	13.00	-17.50	8.03	25.60	27.93	2.325
120.00	55.88	13.00	-17.50	7.95	25.50	28.33	2.825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
125.00	56.11	13.00	-17.50	7.79	25.40	28.30	2.9
130.00	56.06	11.00	-17.91	6.03	25.83	28.90	3.075
135.00	56.13	10.00	-17.91	5.60	26.10	28.73	2.625
140.00	56.10	9.00	-17.91	5.21	25.60	28.85	3.25
145.00	56.15	8.00	-17.91	4.65	25.68	28.87	3.195
150.00	55.91	7.00	-17.91	3.60	25.50	28.80	3.3
155.00	56.05	7.00	-17.91	3.56	25.48	28.78	3.3
160.00	56.03	6.00	-17.91	3.07	25.50	28.95	3.45
165.00	56.17	6.00	-17.91	2.94	25.50	29.08	3.575
170.00	56.11	5.00	-17.91	2.47	25.50	28.93	3.425
175.00	55.89	4.00	-17.91	1.73	25.40	28.90	3.5
180.00	56.08	4.00	-17.91	1.84	25.55	29.00	3.45
185.00	56.09	4.00	-17.91	1.45	25.25	28.83	3.575
190.00	56.04	4.00	-23.33	1.30	25.43	28.95	3.52
195.00	56.07	3.00	-19.58	1.16	25.58	28.90	3.325
200.00	56.04	3.00	-17.91	0.98	25.28	28.63	3.35
205.00	55.95	2.00	-17.50	0.76	25.53	28.48	2.955
210.00	56.07	2.00	-17.50	0.77	25.45	28.50	3.05
215.00	55.97	2.00	-17.50	0.69	25.63	28.43	2.8
220.00	56.10	2.00	-19.58	0.58	25.43	28.33	2.9
225.00	55.89	1.50	-10.00	0.50	25.23	28.48	3.25
230.00	56.00	1.50	-11.25	0.44	25.35	28.20	2.85
235.00	56.12	1.50	-15.41	0.30	25.28	28.45	3.175
240.00	56.03	1.50	-17.50	0.25	25.30	28.28	2.975
245.00	56.04	1.50	-18.33	0.19	25.25	28.48	3.225
250.00	55.96	1.50	-18.33	0.16	25.08	28.33	3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 4 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์

(ความถี่ 25 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
0.00	49.52	14.00	-16.25	7.98	24.48	24.08	0.4
5.00	50.12	14.00	-17.08	7.94	24.68	24.58	0.1
10.00	50.28	14.00	-17.50	8.05	25.23	24.70	0.525
15.00	50.60	14.00	-19.58	8.00	25.55	25.58	0.025
20.00	50.93	14.00	-17.08	7.96	25.48	25.58	0.1
25.00	51.37	14.00	-17.91	7.90	25.68	25.63	0.05
30.00	51.55	14.00	-16.25	7.98	25.58	25.63	0.05
35.00	51.87	14.00	-17.50	7.96	25.60	25.73	0.125
40.00	52.17	14.00	-17.50	7.91	25.43	25.58	0.149
45.00	52.44	14.00	-19.58	8.03	25.33	25.65	0.325
50.00	52.75	14.00	-16.66	7.97	25.38	25.90	0.525
55.00	53.00	14.00	-17.91	7.95	25.30	26.33	1.025
60.00	53.27	14.00	-16.66	7.98	25.35	26.30	0.95
65.00	53.66	14.00	-17.50	7.93	25.68	26.58	0.9
70.00	53.95	14.00	-17.50	7.91	25.35	26.35	1
75.00	54.22	14.00	-17.08	7.96	25.55	26.90	1.35
80.00	54.40	14.00	-18.75	7.95	25.65	27.10	1.45
85.00	54.70	14.00	-13.75	8.29	25.88	27.33	1.45
90.00	54.92	14.00	-15.00	8.18	26.18	27.35	1.175
95.00	55.23	14.00	-13.75	8.06	26.18	27.75	1.575
100.00	55.48	14.00	-13.33	8.01	26.23	27.75	1.525
105.00	55.88	14.00	-13.75	8.04	26.28	28.10	1.825
201.00	56.19	14.00	-14.16	7.98	26.15	28.40	2.25
115.00	56.00	11.00	-14.58	6.52	26.40	28.38	1.975
120.00	56.06	10.00	-14.16	5.59	25.95	28.40	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
125.00	56.02	9.00	-15.83	5.15	25.50	28.30	2.8
130.00	56.05	8.50	-14.16	4.74	25.55	28.45	2.9
135.00	55.96	7.00	-14.58	3.80	25.28	28.58	3.3
140.00	55.95	7.00	-15.00	3.75	25.55	28.50	2.95
145.00	55.98	6.00	-16.66	3.19	25.35	28.30	2.95
150.00	56.20	6.00	-15.83	3.09	25.35	28.37	3.02
155.00	56.09	5.00	-15.83	2.58	25.55	28.68	3.125
160.00	55.89	4.00	-10.83	2.21	25.70	28.73	3.025
165.00	56.11	4.00	-12.50	2.12	25.55	28.55	3
170.00	55.97	3.50	-6.25	1.92	25.45	28.50	3.05
175.00	55.96	3.50	-10.83	1.71	25.43	28.55	3.125
180.00	56.16	3.00	-14.58	1.46	25.18	28.43	3.25
185.00	56.03	3.00	-20.00	1.18	25.33	28.43	3.1
190.00	56.14	3.00	-18.30	1.07	25.43	28.33	2.9
195.00	55.97	3.00	-20.41	0.83	25.25	28.53	3.275
200.00	56.23	3.00	-23.33	0.67	25.33	28.35	3.025
205.00	56.10	2.50	-19.16	0.61	25.33	28.50	3.175
210.00	55.95	2.00	-20.41	0.58	25.70	28.50	2.8
215.00	56.13	1.50	-8.75	0.52	25.45	28.73	3.275
220.00	56.03	1.50	-13.75	0.48	25.33	28.57	3.245
225.00	55.94	1.50	-14.58	0.40	25.38	28.55	3.17
230.00	56.02	1.50	-16.25	0.37	25.40	28.60	3.2
235.00	55.89	1.50	-17.50	0.31	25.48	28.43	2.95
240.00	56.04	1.50	-16.66	0.25	25.45	28.05	2.6
245.00	56.05	1.50	-18.75	0.17	25.23	28.03	2.8
250.00	56.04	1.50	-18.33	0.17	25.48	27.83	2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 5 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยการชาร์จแบบพัลส์

(ความถี่ 200 Hz และ Duty cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์)

TIME (minute)	Voltage (V_{avg})	I_{Max} (A)	I_{Min} (A)	I_{Avg} (A)	Room Temp.($^{\circ}C$)	Battery Temp.($^{\circ}C$)	Δ Temp. ($^{\circ}C$)
0.00	50.59	14.00	-15.83	8.20	25.43	24.40	1.025
5.00	50.59	14.00	-16.66	8.06	25.43	24.58	0.85
10.00	50.67	14.00	-15.83	8.08	25.43	25.13	0.3
15.00	50.83	14.00	-16.66	7.97	25.50	25.03	0.475
20.00	51.02	14.00	-16.66	7.98	25.50	25.55	0.05
25.00	51.10	14.00	-17.50	7.96	25.70	25.80	0.1
30.00	51.30	13.00	-17.08	8.11	25.43	25.45	0.025
35.00	51.47	13.00	-17.92	8.04	25.33	25.90	0.575
40.00	51.61	13.00	-17.92	8.04	25.45	25.93	0.475
45.00	51.71	13.00	-17.92	7.99	25.53	26.60	1.075
50.00	51.89	13.00	-18.33	7.99	25.60	26.23	0.625
55.00	52.08	13.00	-15.41	8.13	25.53	26.70	1.175
60.00	52.21	13.00	-17.50	8.14	25.48	26.63	1.15
65.00	52.40	13.00	-16.66	8.14	25.28	26.58	1.3
70.00	52.54	13.00	-17.50	8.14	25.55	26.83	1.275
75.00	52.73	13.00	-15.83	8.08	25.60	27.00	1.4
80.00	52.89	13.00	-17.08	8.10	25.33	26.93	1.6
85.00	53.07	13.00	-17.92	8.09	25.33	26.95	1.625
90.00	53.29	13.00	-17.08	8.01	25.58	27.65	2.075
95.00	53.42	13.00	-17.08	8.00	24.45	27.20	2.75
100.00	53.68	13.00	-18.33	7.99	25.25	27.55	2.3
105.00	53.95	13.00	-14.16	8.13	25.45	28.03	2.575
201.00	54.09	13.00	-16.25	8.01	25.38	28.05	2.675
115.00	54.21	13.00	-15.41	8.00	25.38	27.75	2.375
120.00	54.51	13.00	-12.50	8.01	25.30	28.33	3.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
125.00	54.73	13.00	-13.75	8.07	25.63	28.20	2.575
130.00	54.99	13.00	-11.25	8.08	25.60	28.28	2.675
135.00	55.21	13.00	-11.25	8.11	25.60	28.35	2.75
140.00	55.55	13.00	-11.25	8.00	25.60	28.45	2.85
145.00	55.95	13.00	-10.46	8.00	25.48	28.75	3.275
150.00	55.99	11.00	-11.66	6.92	25.53	28.48	2.95
155.00	56.02	11.00	-12.50	6.30	25.38	29.15	3.775
160.00	55.96	10.00	-11.66	5.86	25.58	29.20	3.625
165.00	55.91	9.00	-9.58	5.27	25.45	29.23	3.775
170.00	56.00	8.00	-9.58	4.83	25.25	29.05	3.8
175.00	56.01	7.00	-9.16	4.32	25.33	29.20	3.875
180.00	56.06	7.00	-11.66	4.08	25.65	29.15	3.5
185.00	55.95	6.00	-10.00	3.56	25.65	29.08	3.425
190.00	56.06	5.00	-4.16	3.33	25.58	29.15	3.575
195.00	55.94	4.00	-0.80	2.94	25.53	29.13	3.6
200.00	56.07	4.00	-2.91	2.71	25.55	28.98	3.425
205.00	55.93	4.00	-5.83	2.40	25.38	28.90	3.525
210.00	56.19	4.00	-5.83	2.38	25.18	28.53	3.35
215.00	55.93	4.00	-11.66	2.12	25.50	28.63	3.125
220.00	55.93	3.50	-10.83	1.95	25.50	28.95	3.45
225.00	56.02	3.50	-12.50	1.81	25.53	28.63	3.1
230.00	56.10	3.50	-13.33	1.73	24.63	28.38	3.75
235.00	55.87	3.00	-18.33	1.55	25.55	28.83	3.275
240.00	56.03	3.00	-19.58	1.49	25.48	28.70	3.225
245.00	56.14	4.00	-22.08	1.41	24.65	28.23	3.575
250.00	56.18	4.00	-24.58	1.31	25.00	28.50	3.5
255.00	56.11	4.00	-24.58	1.21	25.00	28.50	3.5
260.00	56.07	4.00	-22.08	1.14	25.05	28.38	3.325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Voltage (V _{avg})	I _{Max} (A)	I _{Min} (A)	I _{Avg} (A)	Room Temp.(°C)	Battery Temp.(°C)	ΔTemp. (°C)
265.00	55.99	4.00	-20.83	1.08	25.05	28.33	3.275
270.00	56.11	4.00	-20.83	1.07	25.05	28.33	3.275
275.00	55.97	4.00	-20.83	1.07	25.05	28.33	3.275
280.00	56.04	4.00	-20.83	1.06	25.05	28.33	3.275
285.00	56.11	4.00	-20.83	1.05	25.05	28.33	3.275
290.00	56.02	4.00	-21.66	1.04	25.00	27.95	2.95
295.00	56.11	4.00	-21.66	1.00	24.75	27.95	3.2
300.00	56.08	4.00	-21.66	0.97	24.75	27.85	3.1
305.00	55.97	4.00	-22.00	0.91	24.65	27.95	3.3
310.00	55.80	4.00	-22.00	0.86	25.53	27.50	1.975
325.00	55.80	4.00	-22.00	0.85	25.53	27.50	1.975
320.00	56.04	4.00	-22.00	0.80	25.53	27.78	2.25
325.00	56.29	4.00	-21.25	0.76	24.50	26.90	2.4
330.00	56.07	4.00	-21.25	0.74	24.50	26.90	2.4
335.00	55.93	4.00	-21.25	0.70	24.58	27.00	2.425
340.00	56.19	4.00	-21.25	0.69	24.75	26.90	2.15
345.00	55.93	3.50	-18.33	0.66	24.50	26.90	2.4
350.00	55.93	3.50	-18.33	0.61	24.50	26.98	2.475
355.00	56.02	3.50	-22.33	0.59	25.00	26.90	1.9
360.00	56.07	3.50	-22.33	0.54	24.50	26.95	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 6 เปรียบเทียบเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ที่กระแส 8 แอมป์

TIME (minute)	Pulse Charge (V)	CV with Current Limit (V)
0.00	50.16	49.58
5.00	49.97	49.46
10.00	49.83	49.40
15.00	49.73	49.23
20.00	49.61	49.10
25.00	49.49	48.96
30.00	49.38	48.88
35.00	49.23	48.76
40.00	49.05	48.61
45.00	48.93	48.52
50.00	48.81	48.41
55.00	48.66	48.30
60.00	48.57	48.19
65.00	48.45	48.06
70.00	48.32	47.92
75.00	48.17	47.80
80.00	48.02	47.69
85.00	47.83	47.54
90.00	47.73	47.41
95.00	47.52	47.22
100.00	47.35	47.08
105.00	47.23	46.93
110.00	46.99	46.76
115.00	46.83	46.56
120.00	46.67	46.38
125.00	46.45	46.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME (minute)	Pulse Charge (V)	CV with Current Limit (V)
130.00	46.25	46.00
135.00	45.97	45.62
140.00	45.57	45.37
145.00	44.95	43.95
150.00	43.62	42.90
155.00	42.91	42.00
160.00	42.21	41.28
165.00	40.97	40.68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Maintenance free(no water topping-up required).
- No free acid(Non-spillable battery).
- Low self-discharge rate, lower than 3% capacity loss per month.
- Can be used in any orientation(excluding used inverted).
- Flame-arrestor is installed to ensure safety
- Carry handles for easy installation

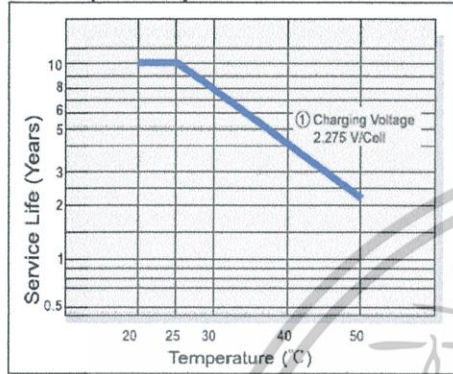
APPLICATION

- UPS
- Telecom
- Dc Power Supplies
- Emergency Light

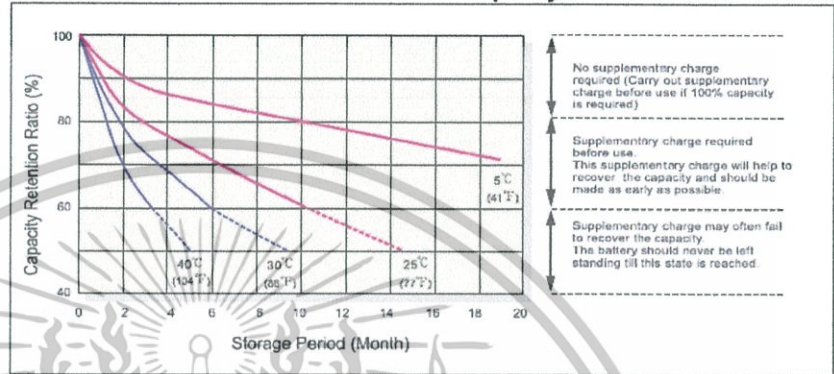
NP33-12

(12V33Ah)

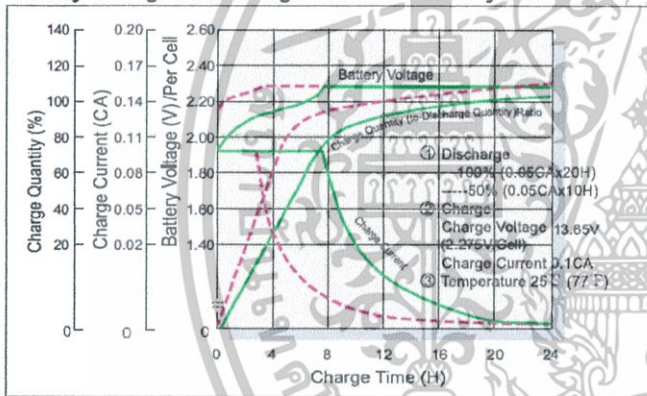
Trickle (or Float) Service Life



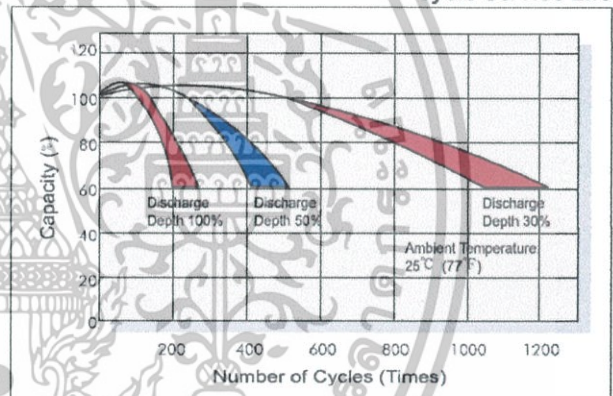
Capacity Retention Characteristic



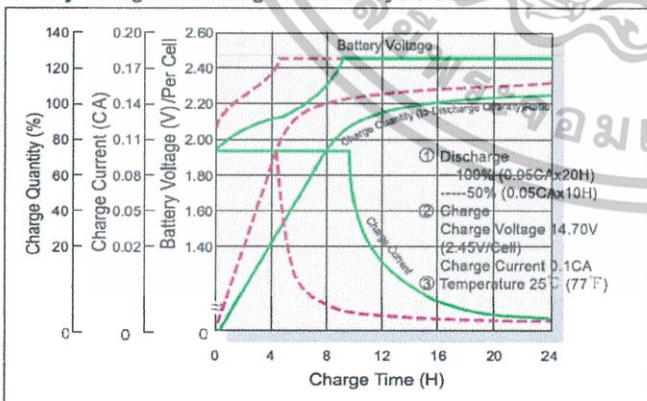
Battery Voltage and Charge Time for Standby Use



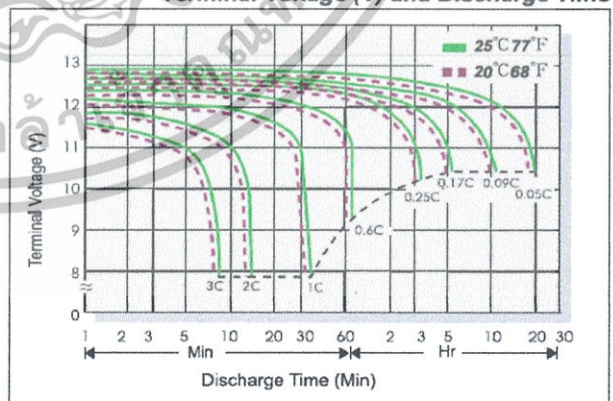
Cycle Service Life



Battery Voltage and Charge Time for Cycle Use



Terminal Voltage (V) and Discharge Time



Shimastu Electronic Technology Co., Ltd., a dedicated professional manufacturer of Sealed Lead Acid (SLA) batteries, introducing Japan AGM technology from the company foundation. Shimastu has been researching, developing, manufacturing and marketing SLA batteries since 2001. Adopting the advanced technical process from Japan Technology and modern production machines and testing equipment, Shimastu has been supplying customers with NP series of SLA batteries which has long service life, good quality, reliable and stable performance.

Shimastu has more than 350 people including 30 technicians, located in the Pearl River Delta of Guangdong Province, China. Shimastu has been exporting SLA batteries to the world under its own brand "Shimastu" or by OEM orders. Shimastu can produce more than 150,000 units of batteries every month on average and take more than 30 quality control checks from IQC to FQC. Up to now, Shimastu has been awarded ISO14000, UL and CE certificates.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Warmly welcome to contact us for inquires, thanks

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเทียบปลั๊ก

Charger for Supporting Plug-in Public Electric Motorcycles

ชาคริต ทรัพย์เออนกนันต์¹ เชิดศักดิ์ ยันตะบุญย์² และ อูติพงษ์ ฟองวิฑู¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง โดยใช้เทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ โดยอาศัยการทำงานของวงจรสวิตช์พรีดิคชันเวอริเตอร์ ในการสร้างพัลส์ด้านบวกและลบ โดยพัลส์ด้านบวกใช้ลักษณะกระแสสูง เพื่อลดระยะเวลาในการชาร์จ สำหรับพัลส์ด้านลบและช่วงพักการชาร์จ จะช่วยให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการชาร์จระหว่างการชาร์จแบบพัลส์ และการชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ โดยอาศัยการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อใช้วิเคราะห์การทำงานและเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบขนาด 500 วัตต์ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ช่วยลดระยะเวลาการชาร์จลงได้จาก 720 นาที เหลือ 250 นาที โดยใช้ความถี่ในการชาร์จ 25 เฮอร์ตซ์ และ คิวดีซี 0.75 โดยมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าประมาณ $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และเหมาะสมสำหรับการสร้างสถานีชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง

คำสำคัญ: การชาร์จแบบพัลส์

Abstract

Pulse charging technique of public electric motorcycle is proposed in this thesis. Pulse charging technique can offer quicker battery charger comparing to conventional constant current technique and lower temperature rise. The half bridge converter configuration is used to perform pulse charging with both positive and negative pulse. The positive pulse charge permits the high peak current charge this will lead to quick charging mode; whereas, the negative pulse and idle state can offer low battery temperature rise. PSIM 9.0.3 is utilized for simulation study and 500w prototype is developed to validate the proposed notion. The simulation and experimental results illustrate that the proposed pulse charging technique requires shorter time to fully charge battery comparing with conventional constant

current and constant voltage technique about 3 times at same average charging current. The temperature rise of pulse charging technique is less than a conventional one about $1\text{ }^{\circ}\text{C}$: these can lead to quick charge and long battery lifetime. The results suggest that the proposed technique can be applied for quick public motorcycle charger station.

Keyword: Pulse Charge

1. บทนำ

สังคมเมืองในยุคปัจจุบัน การดำเนินชีวิตมีความเร่งรีบในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสาร การค้า เศรษฐกิจ และการดำเนินการทางธุรกิจ ผู้ที่มีความรวดเร็ว ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องมากกว่า ผู้ที่นิยมที่จะได้เปรียบในการดำเนินกิจการนั้นๆ โดยปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญ ตัวหนึ่งก็คือ ความรวดเร็วในการทำงานของบุคคลภายในองค์กร ซึ่งระบบที่สำคัญที่จะช่วยให้บุคคลภายในองค์กรสามารถดำเนินการไปด้วยความรวดเร็วนั้นก็คือ ระบบของการคมนาคม เช่น รถยนต์ รถไฟฟ้า เรือ ไม่เว้นแม้แต่รถจักรยานยนต์

จะเห็นได้จาก พาหนะในการคมนาคมที่กล่าวมาข้างต้น วิธีที่สะดวกและผู้คนในสังคมเมืองนิยมใช้กันมากก็คือการเดินทางโดยใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง เพราะมีความคล่องตัวที่สูง มีความรวดเร็วและค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ ในการคมนาคมทุกประเภทจำเป็นที่จะต้องใช้เชื้อเพลิง นั่นก็คือน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติที่เริ่มจะมีปริมาณลดน้อยลงเรื่อยๆ เป็นสาเหตุให้ราคาเชื้อเพลิงดังกล่าว มีมูลค่าสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นจึงมีการสรรหาพลังงานที่จะนำมาทดแทน ปัจจุบันมีการนำพลังงานไฟฟ้าเข้ามาใช้แทนน้ำมัน สังเกตเห็นได้จากรถยนต์รุ่นใหม่ จะมีการนำพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแทนเชื้อเพลิงพวกน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดจากการเผาไหม้และเป็นผลทำให้เกิดวิกฤติการณ์โลกร้อน รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจัดเป็นพาหนะอีกประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาสำคัญๆด้านพลังงานและมลภาวะสำหรับสังคมเมืองได้เป็นอย่างดี ไม่มีมลภาวะทางอากาศ (Zero Emission) ทำให้สังคมเมืองมีความน่าอยู่มากขึ้น นอกจากนี้ความดังของเสียงที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าก็เบากว่าการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้ลดมลภาวะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงได้ในอีกทางหนึ่งด้วย รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่มีลักษณะคล้ายกับรถจักรยานยนต์ทั่วไปเพียงแต่จะใช้พลังงานไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน ซึ่งเมื่อใช้งานแบตเตอรี่หมด สามารถชาร์จใหม่ได้ โดยใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

จากที่กล่าวมาข้างต้นบทความฉบับนี้นำเสนอการนำเอาเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ที่ใช้เวลาในการชาร์จน้อยเข้ามาประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทดแทน เพื่อตอบสนองความต้องการของการสูบริโกล

2. การชาร์จแบบพัลส์ [1]

วิธีการชาร์จแบบพัลส์ชาร์จ มีข้อดีกว่าการชาร์จแบบกระแสตรงที่ตรงที่ช่วยระบายนความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุในการใช้งานมากขึ้นกว่าเดิม โดยงานวิจัยนี้มีแหล่งจ่ายมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปวงจรถูกจัดเป็น 4 ช่วงคือ

2.1 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ชาร์จด้านบวก (Positive pulse charging)

สวิตช์ Q_A ทำงาน และสวิตช์ Q_B ไม่ทำงาน สามารถปรับคิวิตซ์ไซเคิลได้ที่สวิตช์ Q_A สวิตช์ Q_B หยุดทำงาน แต่ D_B ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำและจะคายพลังงานออกมา โดยมีสมการแสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ 1.5

$$Q_A \text{ on} : V_L = V_{dc} \quad (1.1)$$

$$Q_A \text{ off} : V_L = -V_B \quad (1.2)$$

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (1.3)$$

$$\therefore V_B = D_1 V_{dc} \quad (1.4)$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_{on}} V_L dt + i_{L,T_1} \quad (1.5)$$

2.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode)

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงาน การชาร์จในช่วงนี้กระแส I_B จะลดลงเป็นศูนย์ โดย free-wheeling diode ของ D_B แล้วจึงจะเข้าสู่การทำงานในช่วงดิชาร์จพัลส์ชาร์จด้านลบต่อไป

2.3 ช่วงดิชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging)

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้แบตเตอรี่จะเกิดกระแสดิชาร์จ ช่วงและพลังงานที่เก็บสะสมจะถูกถ่ายเทไปยังตัวเก็บประจุของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ การดิชาร์จในช่วงนี้จะใช้วงจรนูนคอนเวอร์เตอร์โดยให้สวิตช์ Q_A ไม่ทำงาน และสวิตช์ Q_B ทำงาน ทิศทางการไหลของกระแสจะไหลจากแบตเตอรี่ไปแหล่งจ่าย เมื่อสวิตช์ Q_B หยุดทำงาน ในขณะที่ D_A

ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode พลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมามีสมการที่ 2.4

$$Q_B \text{ on} : V_L = -V_B \quad (2.1)$$

$$Q_B \text{ off} : V_L = V_{dc} - V_B \quad (2.2)$$

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (2.3)$$

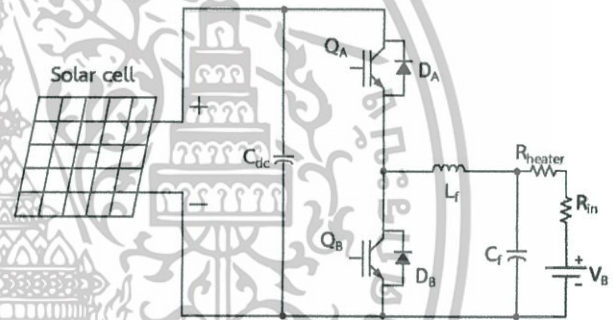
$$\therefore V_{dc} = \frac{V_B}{1-D_2} \quad (2.4)$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_3}^{T_{on}} V_L dt + i_{L,T_3} \quad (2.5)$$

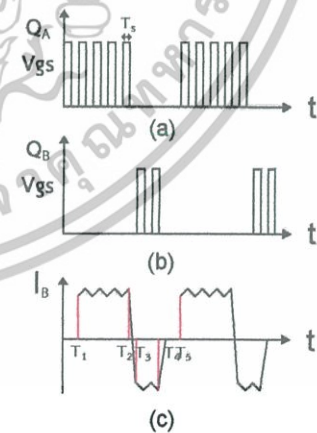
2.4 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode)

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงาน กระแสชาร์จ I_B จะกลับไปที่ศูนย์ โดย free-wheeling diode ของ D_A

โดยลักษณะการทำงานของสวิตซ์ในแต่ละโหมดการทำงานและกระแสไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่อธิบายได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรสำหรับการชาร์จแบบพัลส์



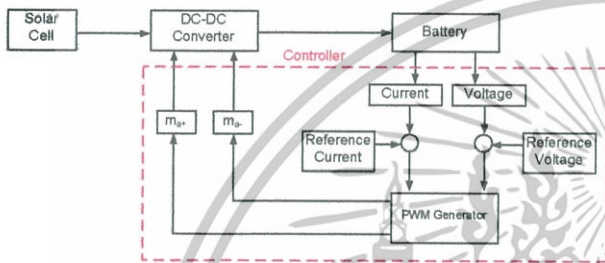
รูปที่ 2 การทำงานของวงจรชาร์จแบบพัลส์ [2],[3]

- (a) สัญญาณอิมพัลส์ในช่วงชาร์จ (b) สัญญาณอิมพัลส์ในช่วงดิชาร์จ
- (c) กระแสชาร์จและดิชาร์จของวงจร

3. ระบบควบคุมการทำงานของการชาร์จแบบพัลส์

ในการสร้างสัญญาณพัลส์รูปคลื่นพาหะแบบสามเหลี่ยม เปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้ค่าความถี่ไซเคิลของการทำงานที่เหมาะสม และสำหรับการควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า ใช้วิธีการปรับค่ามอดูเลชันอินดิเคซ์ ของสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม ของสวิทช์ทั้งสอง ตัว โดยมีไดอะแกรมการทำงานแสดงดังรูปที่ 3

กระบวนการทำงานจะเริ่มต้นจากการวัดแรงดันและกระแสชาร์จที่แบตเตอรี่มาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงจากนั้นจึงนำไปสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มที่มีการปรับค่ามอดูเลชันอินดิเคซ์เพื่อทำการรักษาแรงดันและกระแสชาร์จให้มีค่าคงที่ได้



รูปที่ 3 ไดอะแกรมแสดงการทำงาน

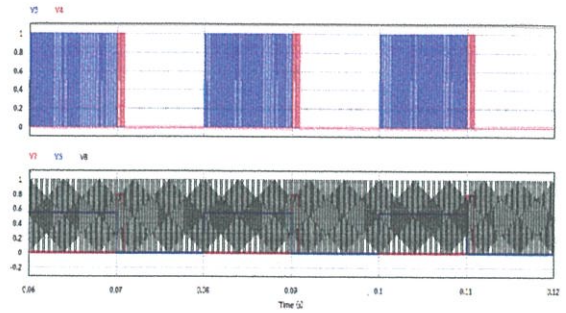
4. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของการชาร์จแบบพัลส์ ทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 โดยมีผลการจำลองดังนี้

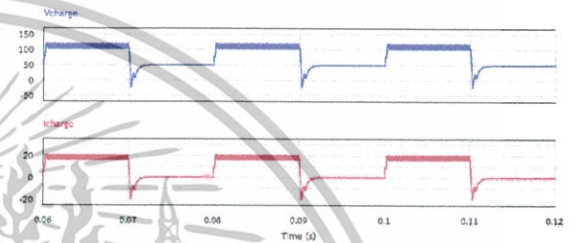
ในรูปที่ 4 เป็นการจำลองการสร้างสัญญาณขับสวิทช์ของการชาร์จแบบพัลส์โดยใช้รูปคลื่นพาหะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าความถี่ไซเคิลสำหรับ สวิทช์ Q_1 เป็น 0.5 และค่าความถี่ไซเคิลสำหรับสวิทช์ Q_2 เป็น 0.08 ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz โดยมีดัชนีการมอดูเลชันเป็น 0.55 และ 0.8 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดค่าดัชนีการมอดูเลชันให้มีค่าดังกล่าวพบว่า แรงดันไฟฟ้าและกระแสชาร์จสำหรับชาร์จแบตเตอรี่มีลักษณะดังรูปที่ 5 โดยที่กระแสไฟฟ้าด้านบวกมีค่าสูงสุดที่ 20 แอมป์ และกระแสไฟฟ้าด้านลบมีค่าสูงสุดที่ 20 แอมป์ โดยลักษณะของกระแสชาร์จสำหรับแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป และ จะเห็นได้ว่าการทำงานให้กระแสชาร์จเป็นแบบพัลส์ได้นั้น ต้องอาศัยการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของคอนเวอร์เตอร์ โดยกระแสไม่ต่อเนื่องที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 6 เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำสามารถคายพลังงานได้หมด หรือมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางกระแสอย่างทันทีทันใดได้

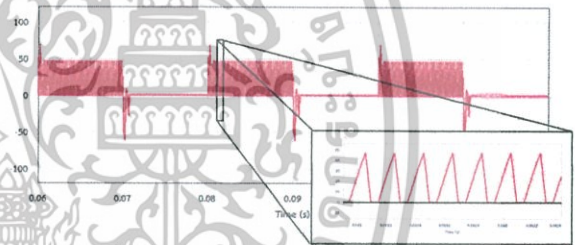
ผลการจำลองการชาร์จแบบพัลส์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า ผลที่ได้ตรงกับตามที่ได้ศึกษาทางทฤษฎีคือการชาร์จจะถูกแบ่งออกเป็น 4 โหมดการทำงาน คือ การชาร์จแบบบวกรวม โหมดชะลอพัลส์ โหมดดีสชาร์จซิกลอป และ โหมดพัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิทช์ทั้งสองตัว



รูปที่ 4 การสร้างสัญญาณขับสวิทช์



รูปที่ 5 ลักษณะกระแสและแรงดันสำหรับชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 6 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

5. ผลการทดลอง

การทำการทดลองเพื่อหาความถี่และค่าความถี่ไซเคิลการชาร์จที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความถี่ของการชาร์จที่ 25Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz และค่าความถี่ไซเคิลการชาร์จที่ 0.5 และ 0.75 โดยขั้นตอนแรก จะทำการเปรียบเทียบค่าความถี่ไซเคิลของการชาร์จระหว่าง 0.5 และ 0.75 โดยคงที่ความถี่การชาร์จไว้ที่ 50 Hz ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

พบว่าค่าความถี่ไซเคิลของการชาร์จของกระแสชุกบวกรวมยังมีค่าสูงเข้าใกล้ 1 หรือ เข้าใกล้รูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้การชาร์จใช้เวลาน้อยลง และสำหรับการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ ทำการคงที่ค่าความถี่ไซเคิลที่ 0.75 และเปรียบเทียบความถี่ที่ใช้ในการชาร์จที่ 25Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz

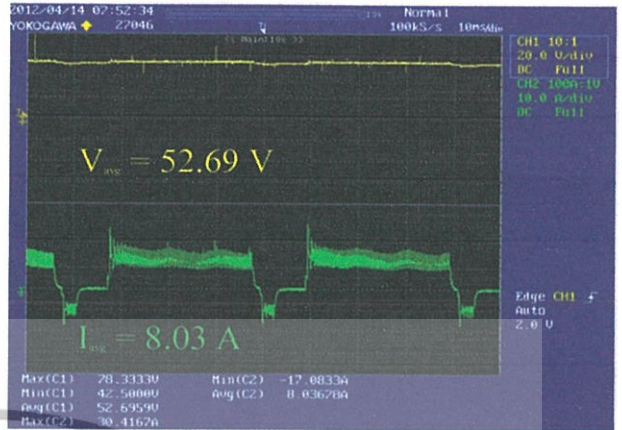
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลต่างอุณหภูมิมีค่าน้อยๆ คือการเลือกใช้ความถี่ในการชาร์จต่ำ เนื่องจากที่ความถี่สูงจะทำให้มีค่าความสูญเสียผ่านตัวต้านทานภายในแบตเตอรี่มากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย เมื่อได้ความถี่และค่าความถี่ไซเคิลที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมแล้วจึงนำไปทำการเปรียบเทียบเวลาในการชาร์จกับผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดของการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยมีการลิมิตกระแสชาร์จ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 8 แอมป์ ที่ความถี่ 50 Hz

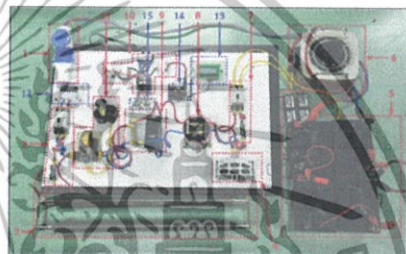
Condition		Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty cycle	
50	0.5	325
50	0.75	250



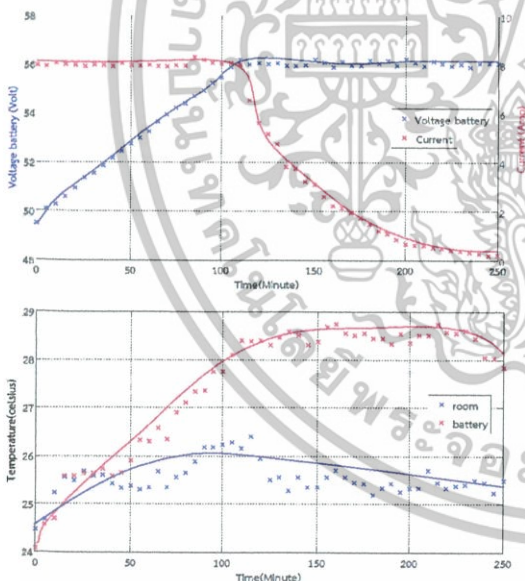
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิขณะทำการชาร์จที่ความถี่ต่างกัน

Condition		ΔT_{max} (°C)
Frequency (Hz)	Duty cycle	
25	0.75	3.275
50	0.75	3.575
100	0.75	3.650
200	0.75	3.875

รูปที่ 8 สัญลักษณ์แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และกระแสช่วงลิมิตกระแสชาร์จ



- จุดเชื่อมการชาร์จแบตเตอรี่
- จุดป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ
- Resistor
- วงจรถูกการไหล
- แบตเตอรี่
- หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
- จุดป้องกันกระแสไฟเกิน
- เก็บประจุ
- วงจรถูกตัดวงจร
- ชุดแหล่งจ่าย
- วงจรกรองความถี่ผ่าน
- มาตรวัดกระแสไฟฟ้า
- ชุดนำขอลงแหล่ง
- ชุดวงจรควบคุม
- ชุดวงจรปรับคลื่นพัลส์



รูปที่ 9 เครื่องชาร์จต้นแบบ

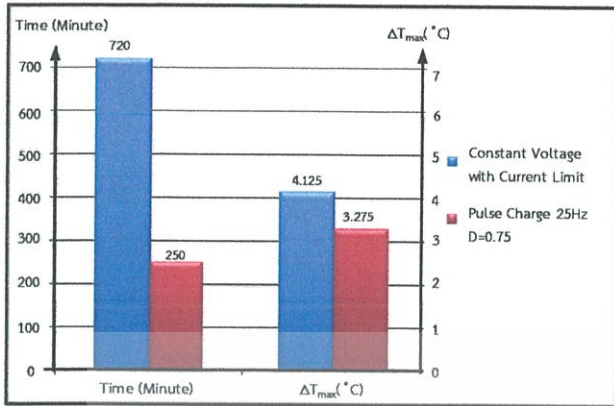
จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่า องค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จแบบพัลส์ในงานวิจัยนี้คือ การเลือกใช้ความถี่ที่ 25 Hz และคิวดีไซเคิลการชาร์จ 0.75 โดยมีคุณสมบัติการชาร์จแบตเตอรี่และผลต่างของอุณหภูมิขณะชาร์จ ดังรูปที่ 7 และสามารถวัดแรงดันและกระแสชาร์จจากออสซิลโลสโคปได้ในรูปที่ 8 ซึ่งวัดจากเครื่องชาร์จต้นแบบในรูปที่ 9

รูปที่ 7 ผลการชาร์จแบตเตอรี่ที่ความถี่ 25 Hz คิวดีไซเคิล 0.75

6. บทสรุป

จากผลการทดลอง พบว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ด้วยการใช้ความถี่ในการชาร์จ 25Hz และคิวดีไซเคิลการชาร์จ 0.75 สามารถช่วยลดระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ลงได้จากเดิม 720 นาทีเหลือ 250 นาที และมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ต่ำกว่า โดยมีผลต่างของอุณหภูมิมอยู่ที่ 3.275 °C ในขณะที่การชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยลิมิตกระแสชาร์จมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 4.125 °C ดังรูปที่ 10 สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ซึ่งวัดจากค่าอิมพีแดนซ์ภายในและค่าความจุของแบตเตอรี่ จะเห็นได้ว่าการชาร์จแบบพัลส์เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความเร่งรีบในการทำงาน และการชาร์จแบบแรงดันคงที่แบบลิมิตกระแสชาร์จเหมาะสมสำหรับการชาร์จในช่วงที่อัตราการใช้บริการน้อยหรืออาจใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่สำรองไว้สำหรับการสับเปลี่ยน (Battery Swapping) แทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบการชาร์จทั้ง 2 แบบ



ชื่อ - นามสกุล: นาย เชิดศักดิ์ ยันตะบุศย์

วันเดือนปีเกิด: 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่: 104/3 หมู่ 15 ต.สงเปลือย อ.เขาวง

จ.กาฬสินธุ์ 46160

ประวัติการศึกษา: ปริญญาตรี 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล: นาย วิฑิตพงษ์ ฟองวิฑู

วันเดือนปีเกิด: 6 ธันวาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่: 196 ถนน บริพัตร แขวงบ้านบาตร เขตป้อม

ปราบฯ กรุงเทพฯ 10100

ประวัติการศึกษา: ปริญญาตรี 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) ประจำปี 2554 ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chih-Chiang Hua, Ching-Hsiang Hsu "Implementation of a Regenerative Pulse and Equalization Battery Charger Using a DSP" 2005 IEBE pp 955 -959
- [2] T. J. Liang Member, IEEE, T. Wen, K. C. Tseng, and J. E Chen, "Implementation of a Regenerative Pulse Charger Using Hybrid Buck-Boost Converter" IEEE PEDS 2001 INDONESIA pp 437 - 442
- [3] K. C. Tseng, T. J. Liang, J. E Chen, and M. T. Chang, "High Frequency Positive/Negative Pulse Charger with Power Factor Correction" 2002 IEBE , pp 671 - 675

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล: นาย ชاکวิต ทรัพย์เอนกนันต์

วันเดือนปีเกิด: 15 เมษายน พ.ศ. 2533

ที่อยู่: 112/347 ซ.เอกชัย 18 ถ.เอกชัย แขวงบางขุน

เทียน เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร 10150

ประวัติการศึกษา: ปริญญาตรี 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก

Charger for supporting plug – in public electric motorcycles



นายชาคริต ทร์พัยเอนกนันต์ นายเชิดศักดิ์ ยันตะบุศย์ และนายฐิติพงษ์ พองวิฑู
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)



วัตถุประสงค์

- เพื่อสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง
- เพื่อศึกษาหลักการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์
- เพื่อเปรียบเทียบหลักการชาร์จระหว่าง การชาร์จแบบพัลส์กับการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่และจำกัดกระแสไฟฟ้า

โครงสร้างของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

DC – DC converter

การจำลองโดยคอมพิวเตอร์

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจร

สัญญาณขาอินพุต

เครื่องต้นแบบ

- จุดเชื่อมการชาร์จแบตเตอรี่
- ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน
- R_{heater}
- วงจรเรียงกระแส
- แบตเตอรี่
- หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
- ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน
- ตัวเก็บประจุ
- วงจรถับสัญญาณ - คีย์ คอนเวอร์เตอร์
- ชุดแหล่งจ่าย
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
- มาตรวัดกระแสไฟฟ้า
- ชุดหน้าจอสั่งงาน
- ชุดวงจรควบคุม
- ชุดวงจรขับสวิตช์กำลัง

ผลการทดลองโหมดการชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยตัวนำเชิงเส้น 0.75 ที่ความถี่ 25 Hz

แรงดันหลัง Filter และกระแสชาร์จ (เริ่มชาร์จ)

แรงดันหลัง Filter และกระแสชาร์จ (ชาร์จเต็ม)

สรุปผลการทดลอง

เปรียบเทียบระหว่างการชาร์จแบบ Constant Current – Constant Voltage แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 56 V กระแสไฟฟ้า 8 A โดยพิจารณาที่ SOC 20%

Method	Time (Minute)	$\Delta T_{max} (^{\circ}C)$
Constant Voltage with Current Limit	720	4.125
Pulse Charge 25Hz D=0.75	250	3.275



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ Renewable Energy Application Laboratory (REAL) ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามดังกล่าว โดยทางสถาบัน จะนำความคิดเห็นที่ได้รับจากการสอบถามนี้ไปเพื่อสนับสนุน พัฒนา และปรับปรุงงานวิจัย เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการและผู้ขับขี่จักรยานยนต์ต่อไป

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว

- 1.1 เพศ ชาย หญิง
- 1.2 อายุ 18-22 ปี 23-27 ปี 28-32 ปี
 33-37 ปี 38-42 ปี มากกว่า 42 ปี
- 1.3 รายได้ต่อวัน
- 1.3.1 รายรับต่อวัน
- น้อยกว่า 100 บาท 100-200 บาท 200-300 บาท
 300-400 บาท 400-500 บาท มากกว่า 500 บาท
- 1.3.2 รายจ่ายต่อวัน
- น้อยกว่า 100 บาท 100-200 บาท 200-300 บาท
 300-400 บาท 400-500 บาท มากกว่า 500 บาท
- 1.4 ประสบการณ์ในการขับรถจักรยานยนต์สาธารณะ
- น้อยกว่า 1 ปี 1-3 ปี 4-6 ปี
 7-9 ปี 10-12 ปี มากกว่า 12 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 รถจักรยานยนต์สาธารณะเปลี่ยนทุกๆกี่ปี

- 1 ปี 2 ปี 3 ปี
 4 ปี 5 ปี มากกว่า 5 ปี

1.6 ชนิดของน้ำมันที่ใช้

- แก๊สโซฮอล์ 91 แก๊สโซฮอล์ 95 อื่นๆ

1.7 เติมน้ำมันในหนึ่งวันกี่บาท

- 50-100 บาท 101-150 บาท มากกว่า 150 บาท

1.8 ระยะทางที่ขับในแต่ละวัน

- 50-100 km 101-150 km มากกว่า 150 km

1.9 เขตพื้นที่ที่ให้บริการ

1.10 เบอร์ติดต่อของคนขับรถจักรยานยนต์สาธารณะ

1.11 รถจักรยานยนต์สาธารณะที่ใช้ ยี่ห้อ.....รุ่น.....

ตอนที่ 2 ความต้องการ

2.1 ความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์

- 50-60 km/h 61-70 km/h มากกว่า 70 km/h

2.2 ราคาจักรยานยนต์

- น้อยกว่า 30,000 บาท 30,001-35,000 บาท 35,001-40,000 บาท
 40,001-45,000 บาท 45,001-50,000 บาท มากกว่า 50,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ราคาผ่อนต่อเดือน

- น้อยกว่า 12 เดือน 12-24 เดือน มากกว่า 24 เดือน

2.4 ค่าบำรุงรักษาต่อปี

- 1,000-2,000 บาท 2,001-3,000 บาท มากกว่า 3,000 บาท

2.5 ราคา charge full battery

- 10 บาท 20 บาท 30 บาท

2.6 ลักษณะของรถจักรยานยนต์สาธารณะ

- 2.6.1 รูปทรง รูปที่ 1 รูปที่ 2 รูปที่ 3 รูปที่ 4

- 2.6.2 ยี่ห้อ รูปที่ 1 รูปที่ 2 รูปที่ 3 รูปที่ 4

- 2.6.3 ลักษณะเบาะ รูปที่ 1 รูปที่ 2 รูปที่ 3 รูปที่ 4

2.7 สถานที่ให้บริการในการชาร์จ ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

- ปั้มน้ำมัน รูปเปอร์มาเก็ต ห้างสรรพสินค้า
 สวนสาธารณะ สวนสนุก ริมถนน

2.8 อายุเฉลี่ยของแบตเตอรี่

- 1-2 ปี 2-4 ปี มากกว่า 4 ปี

2.9 ระยะทางที่รถสามารถวิ่งได้ต่อแบตเตอรี่ที่ได้รับการชาร์จจนเต็ม

- 60-80 km 81-100 km 101-120 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจ (ในมุมมองของคนขับ)

คำชี้แจง: คำถามด้านล่างใช้สอบถามความพึงพอใจของผู้ขับที่รถจักรยานยนต์และผู้บริโภค ขอได้โปรดพิจารณาและใส่เครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง

คุณมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับหัวข้อดังต่อไปนี้เมื่อเปลี่ยนจากการใช้รถจักรยานยนต์มาเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ระดับความพึงพอใจ (5= มากที่สุด, 4= มาก, 3= ปานกลาง, 2= น้อย, 1= น้อยที่สุด)

หัวข้อ	5	4	3	2	1
ระบบการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องยนต์					
1. เมื่อเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้าโดยภาพรวมดีกว่าการใช้เครื่องยนต์หรือไม่					
2. จำนวนลูกค้าที่ใช้บริการ					
ความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน					
1. ในการเปลี่ยนแบตเตอรี่หนึ่งครั้งจะต้องเปลี่ยน 5 ลูก					
2. การผ่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					
3. ประหยัดค่าน้ำมัน (เชื้อเพลิง)					
4. มีรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายมากขึ้น					
เวลาและความคล่องตัว					
1. ความคล่องตัวลดลง เมื่อเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้า					
2. เวลาในการวิ่งรับส่งแต่ละรอบมากขึ้น					
ความรู้ความเข้าใจ					
1. ระบบการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					
2. การชาร์จแบตเตอรี่					
3. การบำรุงรักษาแบตเตอรี่					
ค่าโดยสาร					
1. ปรับราคาค่าโดยสาร (5= ลด 3= เท่าเดิม 1= เพิ่ม)					
ยี่ห้อรถจักรยานยนต์					
1. ยี่ห้อคนไทยทำ					
2. ยี่ห้อต่างชาติ แต่ผลิตในประเทศไทย					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลภาวะและสิ่งแวดล้อม					
1. มลภาวะทางเสียงลดลง					
2. มลภาวะทางอากาศลดลง					
3. ช่วยลดปรากฏการณ์โลกร้อน					

ตอนที่4 สรุป

สรุป	5	4	3	2	1
โดยภาพรวมจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์					

ตอนที่5 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่อยากให้เพิ่มเติม เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้บริการและผู้ขับขี่จักรยานยนต์
ในอนาคต

.....

.....

.....

.....



แบบสอบถามการดำเนินการวิจัย สำหรับลูกค้า



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ Renewable Energy Application Laboratory (REAL) ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามดังกล่าว โดยทางสถาบัน จะนำความคิดเห็นที่ได้รับจากการสอบถามนี้ไปเพื่อสนับสนุน พัฒนา และปรับปรุงงานวิจัย เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการและผู้ขับขี่จักรยานยนต์ ต่อไป

1. ข้อมูลส่วนตัว

1.1 เพศ

- ชาย หญิง

1.2 อายุ

- 18-22 ปี 23-27 ปี 28-32 ปี
 33-37 ปี 38-42 ปี มากกว่า 42 ปี

1.3 การศึกษา

- ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี ระดับปริญญาตรี
 ระดับปริญญาโท ระดับปริญญาเอก

1.4 อาชีพ

- ข้าราชการ พนักงานรัฐวิสาหกิจ พนักงานบริษัท
 ธุรกิจส่วนตัว ค้าขาย รับจ้าง/ลูกจ้าง
 นิสิต/นักศึกษ ว่างงาน อื่นๆ ระบุ.....

1.5 ระบบขนส่งที่ใช้ ก่อนหรือหลัง ใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้าง

- รถประจำทาง รถไฟฟ้า BTS รถไฟฟ้าใต้ดิน MRT
 Airport Link รถส่วนตัว อื่นๆ ระบุ

1.6 อัตราการใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างในหนึ่งอาทิตย์

- 5-7 วัน 3-4 วัน 1-2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความต้องการ

2.1 ด้านความปลอดภัย

2.1.1 ความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์

50-60 km/h

61-70 km/h

มากกว่า 70 km/h

2.1.2 ลักษณะของรถจักรยานยนต์สาธารณะ

2.2.1 รูปทรง

รูปที่ 1

รูปที่ 2

รูปที่ 3

รูปที่ 4

2.2.2 ยี่ห้อ

รูปที่ 1

รูปที่ 2

รูปที่ 3

รูปที่ 4

2.2.3 ลักษณะเบาะ

รูปที่ 1

รูปที่ 2

รูปที่ 3

รูปที่ 4

2.2 ยี่ห้อและรุ่นที่ลูกค้าพึงพอใจ

Yamaha

Nouvo Elegance

Mio

Fino

Fiore

Spark

Honda

Wave series

Click

Scoopy-i

อื่นๆ

2.3 ราคาโดยสารถือเปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ากับรถจักรยานยนต์แบบเครื่องยนต์

ถูกกว่า

เท่ากัน

แพงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจ (ในมุมมองของลูกค้า)

คำชี้แจง: คำถามด้านล่างใช้สอบถามความพึงพอใจของผู้ขับขีรถจักรยานยนต์และผู้บริโภค ขอได้โปรดพิจารณาและใส่เครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง

คุณมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับหัวข้อดังต่อไปนี้เมื่อเปลี่ยนจากการใช้รถจักรยานยนต์มาเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ระดับความพึงพอใจ (5= มากที่สุด, 4= มาก, 3= ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด)

หัวข้อ	5	4	3	2	1
ระบบการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องยนต์					
1. เมื่อเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้าโดยภาพรวมดีกว่าการใช้เครื่องยนต์หรือไม่					
2. จำนวนลูกค้าที่ใช้บริการ					
ความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน					
1. ประหยัดค่าน้ำมัน (เชื้อเพลิง)					
2. มีรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายมากขึ้น					
เวลาและความคล่องตัว					
1. ความคล่องตัวลดลง เมื่อเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้า					
2. เวลาในการวิ่งรับส่งแต่ละรอบมากขึ้น					
ความรู้ความเข้าใจ					
1. ระบบการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					
2. การชาร์จแบตเตอรี่					
3. การบำรุงรักษาแบตเตอรี่					
ค่าโดยสาร					
1. ปรับราคาค่าโดยสาร (5= ลด 3= เท่าเดิม 1= เพิ่ม)					
ยี่ห้อรถจักรยานยนต์					
1. ยี่ห้อคนไทยทำ					
2. ยี่ห้อต่างชาติ แต่ผลิตในประเทศไทย					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลภาวะและสิ่งแวดล้อม					
1. มลภาวะทางเสียงลดลง					
2. มลภาวะทางอากาศลดลง					
3. ช่วยลดปรากฏการณ์โลกร้อน					

ตอนที่4 สรุป

สรุป	5	4	3	2	1
โดยภาพรวมจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนมาใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์					

ตอนที่5 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่อยากให้เพิ่มเติม เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้บริการและผู้ขับขี่จักรยานยนต์

ในอนาคต

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่

สามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังสมการ โดยใช้ข้อมูลการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่โดยการจำกัดกระแสชาร์จจากตารางที่ 1 ในภาคผนวก ก และใช้ข้อมูลการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์จากตารางที่ 4 ในภาคผนวก ก โดยทำการคำนวณผ่านโปรแกรม MATLAB 7.1 ได้ดังนี้

$$E = \int_0^t P(t) dt \quad J$$

โดยที่ E = พลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ หน่วยเป็น จูล

t = เวลาที่ใช้ หน่วยเป็น วินาที

จากตารางที่ 5.5 พบว่าพลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ในการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อชั่วโมงมีค่าสูงกว่าการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ และจากตารางที่ 5.6 พบว่าการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ ในแต่ละ Cycle มีค่าสูงกว่าการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่โดยลิมิตกระแสชาร์จ ซึ่งช่วยให้ การชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์สามารถอัดประจุได้เร็วกว่า

ตารางที่ 1 พลังงานที่ใช้ในการอัดประจุในแต่ละช่วงการชาร์จ

	Normal Charge			Pulse Charge		
	Energy (MJ)	Time (min)	MJ/h	Energy (MJ)	Time (min)	MJ/h
Constant Current	3.31	125	1.58	3.66	105	2.09
Constant Volt	2.64	595	0.26	1.64	145	0.67
Total	5.95	720	0.495	5.30	250	1.272

ตารางที่ 2 พลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ของรูปคลื่นในแต่ละ Cycle

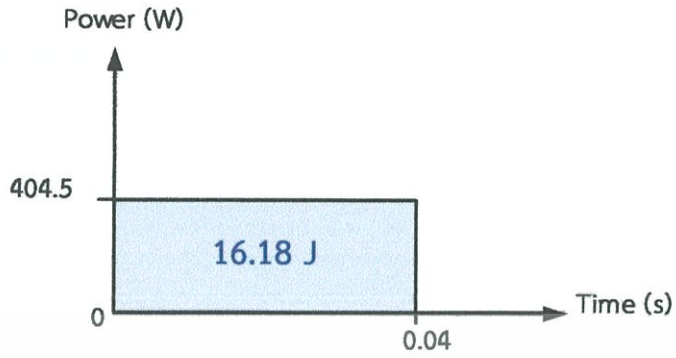
	Normal Charge	Pulse Charge
	Energy* (J/Cycle)	Energy* (J/Cycle)
Constant Current	16.18 ถึง 17.82	20.79 ถึง 23.59
Constant Volt	ลดลงจาก 17.82 เป็น 1.62	ลดลงจาก 23.59 เป็น 2.25

*หมายเหตุ การคำนวณ Energy ในแต่ละ Cycle การชาร์จพิจารณาที่ความถี่ 25 Hz

พิจารณา Cycle แรก จากรูปที่ 5.31 และ 5.32 พบว่าพลังงานสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ Cycle แรกที่ได้มีค่าเท่ากับ 20.79 จูล และพลังงานสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่โดยลิมิตกระแสชาร์จ Cycle แรกเท่ากับ 16.18 จูล โดยมีการคำนวณแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 พลังงานสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ Cycle แรก



รูปที่ 2 พลังงานสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่โดยลิมิตกระแสชาร์จ

Cycle แรก

การคำนวณหาพลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ

ช่วง Constant Current

$$E = \sum_{n=1}^{25} (I_{p,n} \times V_{\text{charge},n} \times t \times c) \quad \text{J}$$

กำหนดให้ E = พลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ หน่วยเป็น จูล

$I_{p,n}$ = กระแสไฟฟ้าสูงสุดชาร์จแบตเตอรี่ ที่ n หน่วยเป็น แอมป์

$V_{\text{charge},n}$ = แรงดันชาร์จแบตเตอรี่ที่ n หน่วยเป็น โวลต์

t = เวลาที่ชาร์จใน 1 cycle หน่วยเป็น วินาที

c = จำนวน cycle ที่คิดใน 1 รอบ (1 รอบ เท่ากับ 5 นาที)

n = จำนวนข้อมูลที่บันทึก

$$E = 3.31 \times 10^6 \quad \text{J}$$

$$\therefore \frac{E}{h} = \frac{3.31 \times 10^6 \times 60}{125} \quad \text{J}$$

$$\frac{E}{h} = 1.58 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

$$\text{ช่วง Constant Volt} \quad E = \sum_{n=26}^{119} (I_{p,n} \times V_{\text{charge},n} \times 0.04 \times 7500) \quad \text{J}$$

$$E = 2.64 \times 10^6 \quad \text{J}$$

$$\therefore \frac{E}{h} = \frac{2.64 \times 10^6 \times 60}{595}$$

$$\frac{E}{h} = 0.26 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

พบว่าช่วงจำกัดกระแสชาร์จสำหรับการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยลิมิตกระแสชาร์จมีค่าพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ต่อชั่วโมง มีค่าเป็น 1.58 MJ/h และช่วงแรงดันคงที่มีค่าพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ต่อชั่วโมง มีค่าเป็น 0.26 MJ/h และสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ทั้งหมดต่อชั่วโมง คิดเป็น 0.495 MJ/h

$$\text{Total Energy} \quad \therefore \frac{E}{h} = \frac{5.95 \times 10^6 \times 60}{720} \quad \text{J}$$

$$\frac{E}{h} = 0.495 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

การคำนวณหาพลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์

$$\text{ช่วง Constant Current} \quad E = \sum_{n=1}^{21} (I_{p,n} \times V_{\text{charge},n} \times 0.03 \times 7500) \quad \text{J}$$

กำหนดให้ E = พลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ หน่วยเป็น จูล

$I_{p,n}$ = กระแสไฟฟ้าสูงสุดชาร์จแบตเตอรี่ ที่ n หน่วยเป็น แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{\text{charge},n}$ = แรงดันชาร์จแบตเตอรี่ที่ n หน่วยเป็น โวลต์

t = เวลาที่ชาร์จใน 1 cycle หน่วยเป็น วินาที

c = จำนวน cycle ที่คิดใน 1 รอบ (1 รอบ เท่ากับ 5 นาที)

n = จำนวนข้อมูลที่บันทึก

$$E = 3.66 \times 10^6 \quad \text{J}$$

$$\therefore \frac{E}{h} = \frac{3.66 \times 10^6 \times 60}{105} \quad \text{J}$$

$$\frac{E}{h} = 2.09 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

ช่วง Constant Volt

$$E = \sum_{n=22}^{51} (I_{p,n} \times V_{\text{charge},n} \times 0.03 \times 7500) \quad \text{J}$$

$$E = 1.64 \times 10^6 \quad \text{J}$$

$$\therefore \frac{E}{h} = \frac{1.64 \times 10^6 \times 60}{145} \quad \text{J}$$

$$\frac{E}{h} = 0.67 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

พบว่าช่วงจำกัดกระแสชาร์จสำหรับการชาร์จแบบพัลส์มีค่าพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ต่อชั่วโมง มีค่าเป็น 2.09 MJ/h และช่วงแรงดันคงที่มีค่าพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ต่อชั่วโมง มีค่าเป็น 0.67 MJ/h และสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ทั้งหมดต่อชั่วโมงคิดเป็น 1.272 MJ/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Total Energy} \quad \therefore \frac{E}{h} &= \frac{5.30 \times 10^6 \times 60}{250} && \text{J} \\ \frac{E}{h} &= 1.272 && \frac{\text{MJ}}{h} \end{aligned}$$

จากการคำนวณหาพลังงานจะเห็นได้ว่าการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ มีอัตราการประจุแบตเตอรี่ต่อชั่วโมงสูงกว่า การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ จึงทำให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เร็วกว่า ซึ่งการคำนวณในข้างต้นเป็นการคำนวณแบบพื้นฐาน หากต้องการข้อมูลที่มีความแม่นยำมากขึ้น ควรที่จะทำการบันทึกผลการทดลองให้ละเอียดมากขึ้น และอาจใช้เทคนิคอื่นๆ ในการวัดพลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่แทนได้ สำหรับอนุกรมของแบตเตอรี่ขณะที่ทำการชาร์จอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล: นาย ชาคริต ทรัพย์เอนกนันต์

วันเดือนปีเกิด: 15 เมษายน พ.ศ. 2533

ที่อยู่: 112/347 ซ.เอกชัย 18 ถ.เอกชัย แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร 10150

ประวัติการศึกษา:

ปีการศึกษา 2550

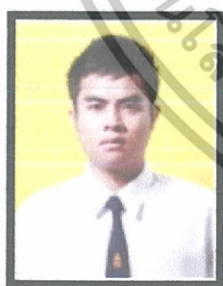
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนบางปะกอกวิทยาคม กรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2554

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ กองบำรุงรักษาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
(กฟผ.) ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2554 ถึง 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2554



ชื่อ - นามสกุล: นาย เชตศักดิ์ ยันตะบุศย์

วันเดือนปีเกิด: 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่: 104/3 หมู่ 15 ต.สงเปลือย อ.เขาวง จ.กาฬสินธุ์ 46160

ประวัติการศึกษา:

ปีการศึกษา 2550

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย กาฬสินธุ์

ปีการศึกษา 2554

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัทเอนเนอร์ยีคอมเพล็กซ์ จำกัด (Energy Complex Company Limited: ENCO.) ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2554 ถึง 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2554



ชื่อ - นามสกุล: นาย ฐิติพงษ์ ฟองวิท

วันเดือนปีเกิด: 6 ธันวาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่: 196 ถนน บริพัตร แขวงบ้านบาตร เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพฯ 10100

ประวัติการศึกษา:

ปีการศึกษา 2550

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนเทพศิรินทร์ กรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2554

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

กองอัตรากำลังไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กพภ.)

ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2554 ถึง 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2554