

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE

โดย

พลวิชญ์	ทอมสกุล
วราลี	โสมสัย
ศุภณัฐ	สมรูป
ศุภณิตา	ยุวจิตติ

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2556

BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปีการศึกษา 2556

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ



1. นาย พลวิชญ์ หอมสกุล
2. นางสาว วราลี โสมสัย
3. นาย ศุภณัฐ สมรูป
4. นางสาว ศุภณิตา ยวจิตติ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหานี้..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

นายพลวิชญ์ หอมสกุล
นางสาววรลณี โสมสัย
นายศุภณัฐ สมรูป
นางสาวศุภณิดา ยวจิตติ
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยอัดประจุด้วยเทคนิคพัลส์ชาร์จ เพื่อให้อัดประจุในระยะเวลาที่รวดเร็วและมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้น เครื่องอัดประจุที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถรับแหล่งจ่ายพลังงานได้จากทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแส วงจรทอนระดับจะใช้สำหรับการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำการอัดประจุด้วยเทคนิคพัลส์ชาร์จ ซึ่งเวลาในการชาร์จ ประสิทธิภาพ ความร้อนและอายุการใช้งานแบตเตอรี่จะได้ทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE

Ponlawit Homsakul

Waralee Somsai

Supanut Somroop

Supanita Yuvachitti

Asst.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai Supervisor

Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert Co-supervisor

Year 2013

ABSTRACT

The design of battery charger for Electric Vehicle is presented in this thesis. The proposed charging technique, pulse charger, is adopted to achieve the advantages of fast charging time and long-life of battery. Both AC and DC power supplies can be fed to the developed circuit via the proper rectifier. Buck converter is adopted charge and discharges the battery performing the function of pulse charger. The performance in terms of charging time, efficiency, heat and battery life time will be investigated in the future work.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฮบริดจ์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นั้น เกิดจากการสนับสนุนจากบุคคลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและเป็นเกียรติอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยทั้งสองท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อาทิเช่น เรื่องทุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณภูมิ คงห้วยรอบ ซึ่งเป็นพี่ปริญญเอก ที่ได้คอยให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการวิจัยนี้ตลอดมาตั้งแต่เริ่มจนจบ ตลอดจนคุณนครศักดิ์ แสงสี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ทำให้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยตึก ECC-305 และห้อง Seagate ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำโครงการวิจัยตลอดจนพี่ๆ และเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้คำปรึกษาตลอดมา

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบของพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนทุกสิ่งอย่างตลอดมาทั้งเรื่องการเงิน คำปรึกษา และที่สำคัญคือเป็นกำลังใจให้ทางคณะผู้จัดทำตลอดมา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	5
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	5
2.2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด	5
2.2.2 การทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด	6
2.2.2.1 การดีสชาร์จ	7
2.2.2.2 การชาร์จ	8
2.2.3 ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)	9
2.2.4 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่	9
2.2.5 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่	10
2.2.6 การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging)	10
2.2.7 สถานะการอัดประจุ (State of Charge, SOC)	11
2.2.8 ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่	12
2.3 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด	12
2.3.1 การชาร์จปกติ (Floating Charge)	12
2.3.2 การชาร์จรูนแรง (Equalizing Charge)	12
2.3.3 การชาร์จแบบอื่น ๆ	12
2.4 ผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่	13
2.4.1 Under-Charging	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 Under-Charging	13
2.4.2 Over-Charging	14
2.5 การอัดประจุแบตเตอรี่	14
2.5.1 การอัดประจุแบบกระแสตรงคงที่ (Constant Current Charging)	15
2.5.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage Charging)	15
2.5.3 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)	15
2.5.4 การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging)	16
2.6 วงจรสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่	18
2.6.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)	18
2.6.1.1 หลักการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	19
2.6.2 วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse Charge)	23
2.6.2.1 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging mode) ช่วง T1 -T2	23
2.6.2.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode) ช่วง T2 -T3	24
2.6.2.3 ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode) ช่วง T3 -T4	24
2.6.2.4 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode) ช่วง T4 -T5	26
2.7 บทสรุป	26
บทที่ 3 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
3.1 บทนำ	27
3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	27
3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	27
3.3.1 การจำลองการชาร์จแบบแรงดันคงที่	30
3.3.2 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์คงที่	31
3.3.2.1 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์ที่ $D = 50 \%$	31
3.3.3 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์คงที่แบบมีดิสชาร์จ	33
3.3.3.1 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์แบบมีดิสชาร์จที่ $D = 50 \%$	33
3.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	34
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	
4.1 บทนำ	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง (Power Circuit)	35
4.2.1 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์	35
4.3 การออกแบบวงจรควบคุม	39
4.3.1 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง	40
4.3.2 ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	41
4.4 ส่วนประกอบของวงจรควบคุม	41
4.4.1 การออกแบบการเขียนโปรแกรม	41
4.4.1.1 โหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่เกิน 2 แอมป์	41
4.4.1.2 โหมดการชาร์จแบบพัลส์	42
4.4.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	42
4.4.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์	42
4.4.2.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ และ -9 โวลต์	42
4.5 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับโหมดการชาร์จแบบกระแส-แรงดันคงที่และโหมดการชาร์จแบบพัลส์	43
4.6 ผังการทำงาน (Flow Chart)	45
4.6.1 การทำงานในโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ	45
4.6.2 การทำงานในโหมดการชาร์จแบบพัลส์	46
4.7 บทสรุป	47
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 บทนำ	48
5.2 ผลการทดลอง	48
5.2.1 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ	48
5.2.2 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์	50
5.2.2.1 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5	51
5.2.2.2 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75	52
5.2.2.3 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.3 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ	55
5.2.3.1 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5	56
5.2.3.2 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75	57
5.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่ระหว่างแรงดันคงที่แบบจำกัด กระแสชาร์จและแบบพัลส์และพัลส์ดิสชาร์จ	59
5.4 บทสรุป	62
บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	
6.1 บทสรุป	63
6.2 ข้อเสนอแนะ	63
6.3 แนวทางการพัฒนา	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง	67
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการ	85
ประวัติผู้เขียน	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด	5
2.2 โครงสร้างภายในเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด	6
2.3 ปฏิกริยาบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วลบ	7
2.4 ปฏิกริยาบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วบวก	7
2.5 ปฏิกริยาขณะเกิดดิสชาร์จ	8
2.6 ปฏิกริยาขณะเกิดการชาร์จ	8
2.7 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)	9
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)	10
2.9 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)	11
2.10 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ	14
2.11 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่	16
2.12 ความเข้มข้นของการกระจาย	18
2.13 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์	18
2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	19
2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	20
2.16 รูปคลื่นกระแสช่วงชาร์จ 4 โหมด	23
2.17 วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ทำงาน	24
2.18 วงจรชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ไม่ทำงาน	24
2.19 วงจรดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ทำงาน	25
2.20 วงจรดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ Q_B ไม่ทำงาน	25
3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการชาร์จแบบพัลส์	27
3.2 วงจรที่ใช้ในการ Simulation เพื่อแสดงผลการทำงานของวงจร	28
3.3 สัญญาณแรงดันการชาร์จแบบแรงดันคงที่	30
3.4 สัญญาณกระแสการชาร์จแบบแรงดันคงที่	30
3.5 State of Charge	31
3.6 สัญญาณแรงดันที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์ $D = 50\%$ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	31
3.7 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์ $D = 50\%$ นี้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี	32
3.8 State of Charge ที่ $D = 50\%$	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 สัญญาณแรงดันที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์มีดิสชาร์จ D = 50 %	33
3.10 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์มีดิสชาร์จ D = 50 %	33
3.11 State of Charge ที่ D = 50%	34
4.1 วงจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์	36
4.2 ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์	37
4.3 ตัวเหนี่ยวนำ 100 ไมโครเฮนรีของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์	38
4.4 ตัวเก็บประจุ 90 ไมโครฟารัดของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์	39
4.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino เบอร์ R3	39
4.6 ออกแบบวงจรขับเคลื่อน	40
4.7 วงจรขับเคลื่อน	40
4.8 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า	41
4.9 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าแบบโวลต์เตจดีไวน์เดอร์	41
4.10 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์	42
4.11 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ และ -9 โวลต์	44
4.12 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับโหมดการชาร์จแบบกระแส-แรงดันคงที่และโหมดการชาร์จแบบพัลส์	41
5.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ	48
5.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่	49
5.3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ	49
5.4 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่	50
5.5 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์	50
5.6 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	51
5.7 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	51
5.8 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	52
5.10 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	53
5.11 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	53
5.12 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	54
5.13 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	54
5.14 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	55
5.15 เครื่องวัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ	55
5.16 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	56
5.17 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	56
5.18 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	57
5.19 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	57
5.20 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	58
5.21 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	58
5.22 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จระหว่างแบบ แรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จและการชาร์จแบบพัลส์	61
5.23 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จระหว่างแบบ	

เอกสารนี้ แรงแดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จและการชาร์จแบบพัลส์ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการในระยะเวลา 1 ปี	3
2.1 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	13
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานการชาร์จแบบพัลส์	29
5.1 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบต่างๆ	59
5.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบพัลส์แบบมีดิสชาร์จ	59
5.3 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบจำกัดกระแสชาร์จและแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ความถี่ 100 Hz	59
5.4 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวิตีไซเคิลที่ 0.75	60
5.5 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์แบบดิสชาร์จที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวิตีไซเคิลที่ 0.75	60
5.6 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์แบบดิสชาร์จที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวิตีไซเคิลที่ 0.75	60
ก - 1 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยกระแสคงที่ 2 แอมป์	68
ก - 2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	71
ก - 3 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	74
ก - 4 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	76
ก - 5 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	78
ก - 6 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	80
ก - 7 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ไม่ว่าจะเป็นระบบสาธารณูปโภคต่างๆ หรือแม้กระทั่งสิ่งอำนวยความสะดวกก็มีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งด้านการคมนาคมก็จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนรถยนต์นั้นๆ ในการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ ซึ่งรถยนต์ในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นถึง 28 ล้านคัน จำเป็นต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณน้อยลง เป็นสาเหตุให้ราคาเชื้อเพลิงดังกล่าวมีมูลค่าสูงขึ้นในอนาคต จึงต้องมีการสรรหาพลังงานที่จะนำมาทดแทน โดยมีการวิจัยและพัฒนาพลังงานเชื้อเพลิงใหม่ขึ้นมาตลอด คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก กล่าวว่า ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ในบรรยากาศของโลก เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 , 145 และ 15 ตามลำดับจากยุคก่อนการขยายตัวของอุตสาหกรรม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงสกปรก โดยเฉพาะน้ำมัน และถ่านหิน หากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังคงดำเนินต่อไปในอัตราที่เป็นอยู่ดังเช่นปัจจุบันนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในชั้นบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม และมีแนวโน้มว่าภายในช่วง 100 ปีข้างหน้า การสะสมของก๊าซเหล่านั้นจะเพิ่มเป็น 3 เท่า และอุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นอีก 4 องศาเซลเซียสจากระดับอุณหภูมิปัจจุบัน ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่างๆ ที่รุนแรงตามมามากมายมาตรการป้องกันและลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยนั้น ตามอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศภาคีสมาชิกที่ต้องพยายามลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงให้ได้ ภายในปี ค.ศ. 2020 นั้นก็คงหมายถึงว่า มาตรการการป้องกันเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวควรต้องเริ่มและดำเนินการต่อ ปัจจุบันมีการนำพลังงานไฟฟ้าเข้ามาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน สังเกตได้จากรถยนต์รุ่นใหม่ จะมีการนำพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแทนพลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และยังส่งผลให้เกิดวิกฤตโลกร้อนอีกด้วย รถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาเป็นองค์ประกอบในการขับเคลื่อนรถยนต์หรืออาจใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถนำมาแก้ปัญหาด้านพลังงานและมลภาวะได้เป็นอย่างดี โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) จ่ายพลังงานให้กับแบตเตอรี่ ในส่วนนี้ก็จะไม่จำเป็นต้องใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ทั้งนี้หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเรา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด โดยใช้วิธีการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการทำความเข้าใจใน

การสร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) ที่มีประสิทธิภาพสูงโดยอาจมีข้อกำหนดต่างๆ ในการใช้งาน ซึ่งตัวเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) นี้สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ในงานวิจัยจะนำเสนอเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) โดยคุณลักษณะของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณมากในเวลาอันสั้น โดยใช้หลักการชาร์จแบบพัลส์ (pulse) ทำให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ไม่สูงกว่าข้อควรระวังของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น
2. สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดัน 48 โวลต์ 7.5 แอมป์ชั่วโมง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการชาร์จเพื่อให้อัดประจุแบตเตอรี่ได้รวดเร็วมากขึ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charge)
- 1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) ที่สามารถนำไปพัฒนา หรือนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบและศึกษาการเก็บพลังงานในรูปแบตเตอรี่ อื่นๆต่อไปได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอเทคนิคการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สาย (Wireless Charger) สำหรับรถยนต์ได้ โดยมีแหล่งจ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า และมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge) และวงจรดีซี – ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC – DC Converter) มีหลักการทำงานโดยชาร์จแบตเตอรี่ 6 เซลล์ 4 ลูก ที่ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 48 โวลต์ ที่สามารถนำพลังงานจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานกลับคืน เพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้า (Load) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองทำเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ และวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่
2. จำลองวงจรของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม MATLAB
3. จัดหาอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องอัดประจุต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

4. สร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองวงจรในโปรแกรม MATLAB
5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้
6. สรุปผล นำเสนอผลงานและจัดทำปริญญานิพนธ์

1.5 ระยะเวลาการดำเนินการ

ผู้จัดทำงานวิจัยได้เริ่มทำงานโดยมีการวางแผนการดำเนินงานมีระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2556 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2557

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการในระยะเวลา 1 ปี

การดำเนินการ										
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ และวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่										
2. จำลองวงจรของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม MATLAB										
3. จัดหาอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องอัดประจุต้นแบบ										
4. สร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองวงจรในโปรแกรม MATLAB										
5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้										
6. สรุปผล นำเสนอผลงานผ่าน Power Point และจัดทำปริญญานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. งานวิจัยนี้นำไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนาเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จพลังงานแบตเตอรี่ได้รวดเร็วขึ้น
2. สนับสนุนแผนพลังงานทดแทนและมาตรการการป้องกันเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก ที่สนับสนุนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแทนการใช้เชื้อเพลิง
3. เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้สภาพแวดล้อมของประเทศดีขึ้นและลดการนำเข้าน้ำมันของประเทศได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

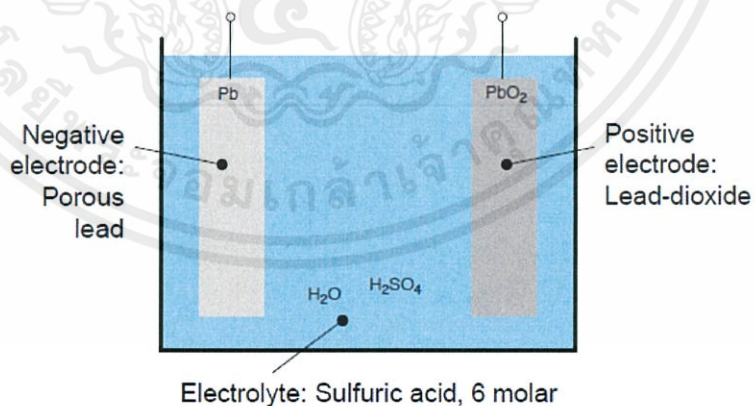
2.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอัดประจุแบตเตอรี่และหลักการอัดประจุทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและอธิบายเกี่ยวกับการอัดประจุแบตเตอรี่และหลักการอัดประจุ ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ โครงสร้างของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ และหลักการควบคุมการทำงานของวงจร ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ไว้ในบทนี้

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่หมายถึงอุปกรณ์ที่มีการนำเซลล์ไฟฟ้าหลายๆเซลล์มาต่อรวมกัน ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงาน ซึ่งสามารถนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆได้ ดังนั้นเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จึงถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับระบบไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้เองจึงมีผู้วิจัยและสนใจในการศึกษาเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเท่านั้น

2.2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด [1]



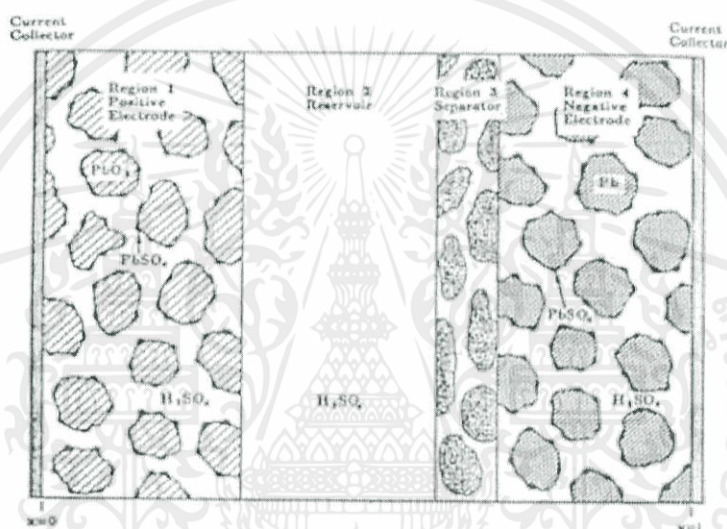
รูปที่ 2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ประกอบด้วยขั้วลบ (ค่าโทด) เป็นแผ่นตะกั่ว
ขั้วบวก (อาโนด) เป็นแผ่นตะกั่วออกไซด์ (PbO₂) อิเล็กโทรไลต์เป็นน้ำยาที่ผสมขึ้นระหว่างกรด

กำมะถัน (H_2SO_4) กับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (H_2O) ซึ่งเป็นสื่อทางไฟฟ้า ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสำหรับจ่ายไปใช้งานขึ้น

โครงสร้างภายในของเซลล์แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 4 เฟส คือ

1. ขั้วบวก (Positive Electrode) เป็นเฟสของ PbO_2 , $PbSO_4$, H_2SO_4
2. ที่กักเก็บ (Reservoir) เป็นเฟสของ H_2SO_4
3. พื้นที่กั้น (Separator) กั้นระหว่าง ขั้วลบ กับ เฟสของ H_2SO_4
4. ขั้วลบ (Negative Electrode) เป็นเฟส Pb , $PbSO_4$, H_2SO_4

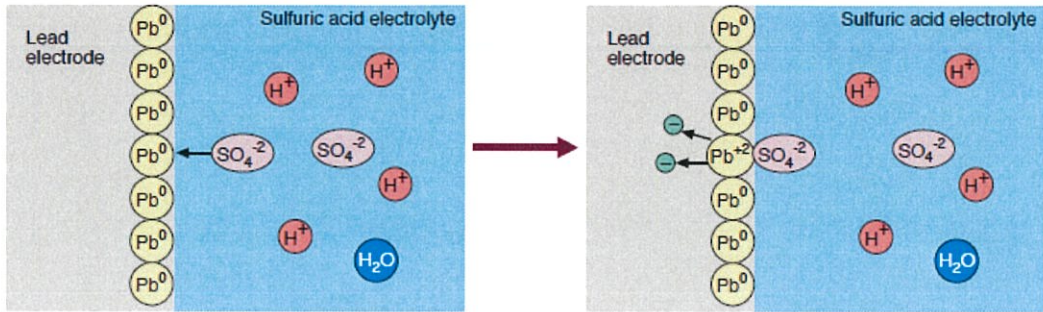


รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

2.2.2 การทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด [18]

ในบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วลบมีไอออนซัลเฟตไปเกาะบริเวณตะกั่วที่ไม่มีประจุอะตอมของตะกั่วถูกไอออนไนซ์ เกิดเป็นพันธะไอออนิกกับซัลเฟตไอออน อิเล็กตรอน 2 ตัวจะปล่อยออกจากอิเล็กโทรดดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

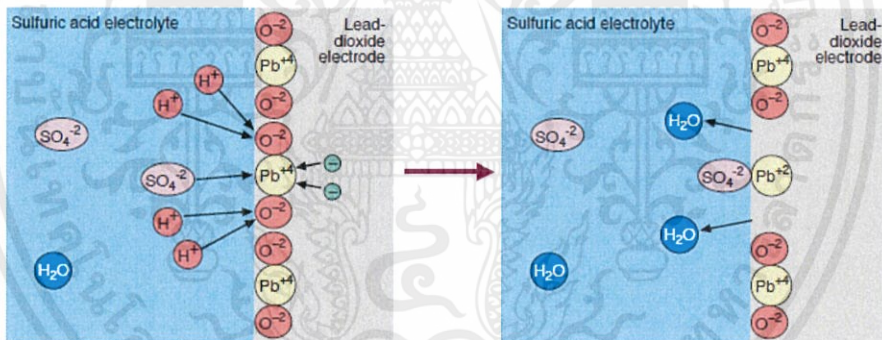


รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วลบ

ปฏิกิริยาเคมีที่อิเล็กโทรดขั้วลบ (ครึ่งปฏิกิริยา)



ในบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วลบประจุซัลเฟตและไอออนของไฮโดรเจน ไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของเลดออกไซด์บนพื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรด อะตอมของตะกั่วถูกไอออนไนซ์ เกิดเป็นพันธะไอออนิกกับซัลเฟตไอออน เกิด 2 โมเลกุลของน้ำถูกปล่อยในสารละลาย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรดขั้วบวก

ปฏิกิริยาเคมีที่อิเล็กโทรดขั้วบวก (ครึ่งปฏิกิริยา)



การทำงานของแบตเตอรี่ในการอัดประจุ อธิบายโดยปฏิกิริยาเคมีดังนี้

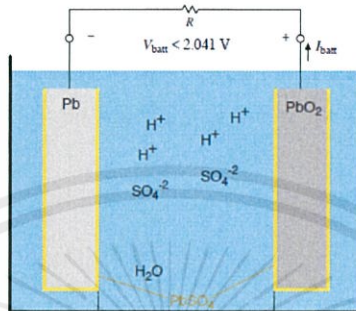
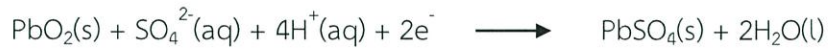
2.2.2.1 การติสซาร์จ

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดหรือขั้วลบผ่านวงจรภายนอกไปยัง ขั้วแคโทด เอกสารนี้หรือขั้วบวก จากสมการจะสังเกตได้ว่ามีผลิตภัณฑ์คือ $\text{PbSO}_4(\text{s})$ อนุพันธ์ขึ้นเหมือนกัน ดังนั้นเมื่อใช้การกำไม่ว่ากรณีใด แบตเตอรี่ไประยะหนึ่งความต่างศักย์จะลดลง และจะลดลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นศูนย์ ทั้งนี้ใช้เนื่องจากขั้วไฟฟ้าทั้งคู่เหมือนกัน จึงไม่มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง

ขั้วแอโนด - ขั้วลบ



ขั้วแคโทด - ขั้วบวก



รูปที่ 2.5 ปฏิกริยาขณะเกิดดิสชาร์จ

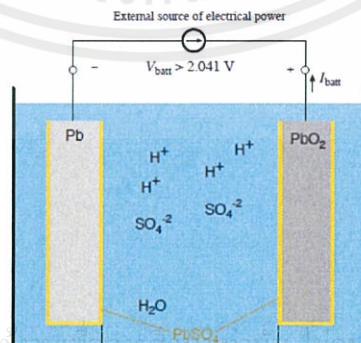
2.2.2.2 การชาร์จ

ปฏิกริยาของเซลล์เป็นแบบผันกลับได้ ดังนั้นถ้าต้องการให้เกิดการผันกลับจึงจำเป็นต้องมีการอัดไฟฟ้าใหม่ โดยการต่อขั้วบวกของเซลล์กับขั้วบวกของแบตเตอรี่และขั้วลบกับขั้วลบของแบตเตอรี่ ปฏิกริยาข้างบนก็จะเปลี่ยนทิศทางเป็นจากขวาไปซ้าย ในลักษณะนี้ PbSO_4 ที่ขั้วลบก็จะเปลี่ยนเป็นตะกั่ว ส่วนอีกขั้วหนึ่ง PbSO_4 จะเปลี่ยนเป็น PbO_2 ดังสมการ

ขั้วแอโนด - ขั้วลบ



ขั้วแคโทด - ขั้วบวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

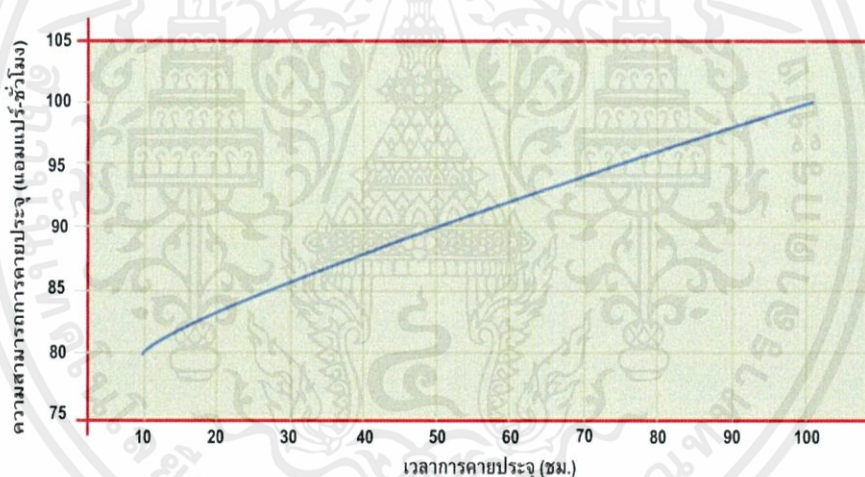
รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาขณะเกิดการชาร์จ

2.2.3 ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)

ความจุของแบตเตอรี่คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปหรือคายประจุได้จนกระทั่งหยุดจ่ายพลังงานหรือหยุดคายประจุโดยความจุปกติของแบตเตอรี่ (Nominal Capacity, C_n) มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ขณะคายประจุ (I_n) คูณด้วยเวลาทั้งหมดในการคายประจุทั้งหมด (t_n) ดังสมการที่ (2.1)

$$C_n = I_n \times t_n \quad (2.1)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่คงที่โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุ จนหมดและกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ ทั้งนี้หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าของการคายประจุมากจึงต้องพยายามให้กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำและใช้เวลานานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคายประจุกับความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.7 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

2.2.4 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากหลักการเดียวกันกับความจุของแบตเตอรี่ค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดหรือการคายประจุโดยค่ากระแสไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

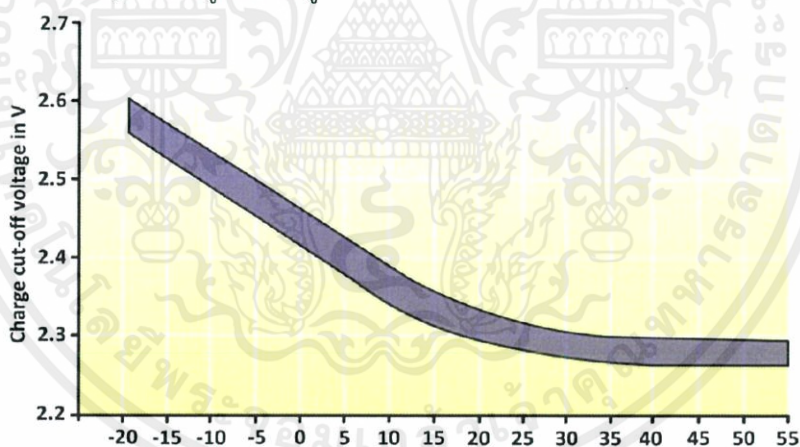
- ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะอัดประจุ (Maximum Charge Current) $I_{20} = C_{20}/20h$
- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะอัดประจุ (Medium Charge Current) $I_{50} = C_{50}/50h$
- ค่ากระแสไฟฟ้าปานกลางขณะคายประจุ (Medium Discharge Current) $I_{120} = C_{120}/120h$

2.2.5 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

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

2.2.6 การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging)

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



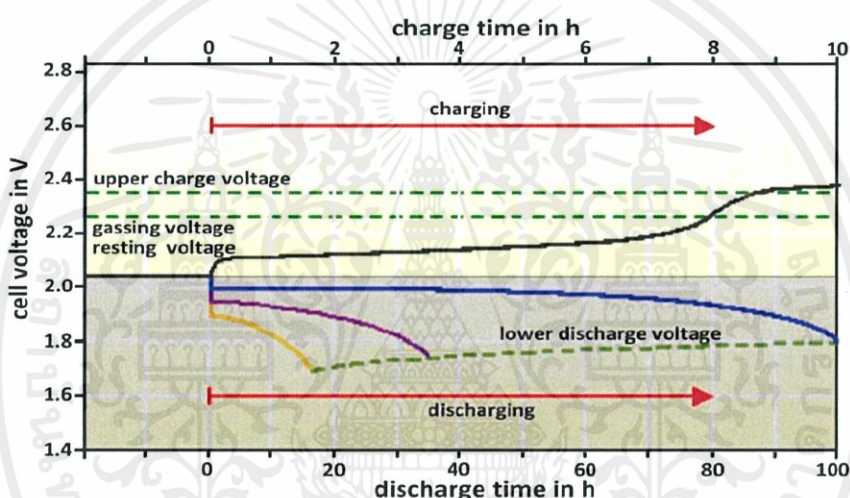
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage
(กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

สำหรับกระบวนการคายประจุเมื่อเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างทันทีเนื่องมาจากแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมบนตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรจากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการหรือจนถึงค่าแรงดันปลดออกเมื่อคายประจุหรือ discharge cut-out voltage หากปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงต่อไปจนกระทั่งต่ำกว่าค่า discharge cut-out voltage จะทำให้ความ

เข้มข้นของกรดจะมีค่าสูงมากจนเกิดเป็นผลึกซัลเฟตหรือเรียกว่าเกิดซัลเฟตชั้นซึ่งควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสภาวะนี้

2.2.7 สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC)

ในการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีแบตเตอรี่จำเป็นต้องทราบจำนวนเวลาที่ระบบยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ภาระทางไฟฟ้าได้ในเวลาที่ไม่มีแดดเพื่อประมาณการหรือเตรียมมาตรการรองรับหรือป้องกันการขาดแคลนไฟฟ้าดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบตลอดเวลาว่ามีปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใดซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่จะทำให้ทราบปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ดังรูปแสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ



รูปที่ 2.9 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการอัดและการคายประจุ (กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

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

วิธีที่ 2 สำหรับ sealed แบตเตอรี่หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นแบบเจลซึ่งไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) และจำเป็นต้องทราบระดับแรงดันวงจรเปิดขณะเริ่มต้น (resting voltage) ก่อนทุกครั้งเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าเริ่มต้นที่สภาวะการประจุเป็น 0 เปอร์เซนต์และต้องปล่อยแบตเตอรี่ไว้โดยไม่ต้องวงจรไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการวัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่

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

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

ประสิทธิภาพของพลังงาน (energy efficiency) จะพิจารณาถึงความสูญเสียพลังงานจากการกักเก็บหรือเก็บสะสมสำหรับแบตเตอรี่ใหม่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 70 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ด้วย

2.3 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด[13]

ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มาตรฐานมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่น้อยมาก ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานทำได้โดยการนำเอาแบตเตอรี่หลายๆเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรม (Series) จนมีขนาดแรงดันเพียงพอกับความต้องการ

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

2.3.1 การชาร์จปกติ (Floating Charge)

การชาร์จปกติมีความสำคัญต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การปรับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะใช้แรงดันระหว่าง 2.15-2.20 โวลต์ต่อเซลล์ การหาระดับแรงดันในการชาร์จปกติในแต่ละชุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับระดับแรงดันในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ในชุดนั้นเช่น แบตเตอรี่ขนาด 24 เซลล์ หรือ 48 โวลต์ แรงดันที่ใช้ในการชาร์จอย่างน้อยคือ 2.15×24 เท่ากับ 51.6 โวลต์

2.3.2 การชาร์จรุนแรง (Equalizing Charge)

การชาร์จปกติอย่างเดียวเป็นระยะเวลานานๆ ไม่เพียงพอที่จะรักษาแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และมีอายุการใช้งานนาน เพราะการชาร์จปกติไม่สามารถแก้ไขการคายประจุโดยตัวมันเอง (Self-Discharge) และโลคอลแอคชั่น (Local Action) ได้ 100% ส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อม

เซลล์แตกต่างกัน แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ได้รับอุณหภูมิไม่เท่ากัน ทำให้อุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ไม่เท่ากัน ขั้วต่อแบตเตอรี่ได้รับแรงดันที่ตกคร่อมไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากความหนาแน่นที่ไม่เท่ากัน

การทำการชาร์จแบตเตอรี่รุนแรงคือการเพิ่มระดับแรงดันในการชาร์จให้สูงกว่าระดับแรงดันเพื่อให้กระแสไหลในแบตเตอรี่สูงขึ้น เป็นการแก้การสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลภายในวงจรแบตเตอรี่และรักษาไว้ซึ่งประสิทธิภาพในการเก็บและคายประจุไฟของแบตเตอรี่ ระดับแรงดันที่ใช้ในการทำการชาร์จรุนแรงใช้ที่ 2.45 โวลต์ต่อเซลล์ โดยระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 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
60	132.00	139.80
120	264.00	279.60

หมายเหตุ ระดับแรงดันของการชาร์จปกติใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.20 โวลต์ต่อเซลล์
ระดับแรงดันของการชาร์จรุนแรงใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.45 โวลต์ต่อเซลล์

2.4 ผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [13]

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสำคัญมาก หากมีการปรับระดับแรงดันในการชาร์จไม่ถูกต้อง ขณะที่มีการชาร์จในทุกๆวัน โอกาสที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อแบตเตอรี่มี 2 ลักษณะ ดังนี้

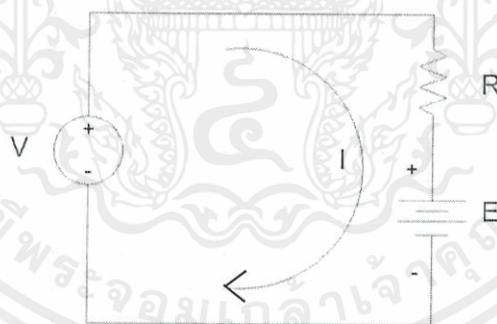
2.4.1 Under-Charging คือการใช้แรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับแรงดันปกติ (Floating Charge) ต่ำกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ถ้าหากใช้แรงดันในการชาร์จระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่บริเวณแผ่นเพลททั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานๆ ปริมาณซัลเฟตจะเพิ่มมากขึ้น เป็นสาเหตุให้การทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นเพลทบวกและลบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งการชาร์จและดิสชาร์จเป็นไปด้วยความยากลำบาก ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลง หากทิ้งไว้นานจะส่งผล

กระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากพบว่าแบตเตอรี่เกิดอันเดอร์ชาร์จ (Under Charging) ขึ้นต้องทำการปรับปรุงแก้ไข

2.4.2 Over-Charging คือการใช้แรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับแรงดันปกติ (Floating Charge) สูงกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าปกติ เกิดกระแสไหลในแบตเตอรี่สูงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นเพลทเป็นไปอย่างรุนแรง และรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นเพลททั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อายุการใช้งานลดลง

2.5 การอัดประจุแบตเตอรี่

การอัดประจุแบตเตอรี่ คือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันคร่อมขั้วแบตเตอรี่จึงทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่สามารถกำหนดได้โดยค่าความต่างศักย์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำให้การชาร์จจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา จึงทำให้ได้สมการการอัดประจุแบตเตอรี่ดังสมการที่ 2.2 จากรูปโครงสร้างพื้นฐานการอัดประจุแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ

จากรูปที่ 2.10 ได้สมการ

$$V = E + IR \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $I = \frac{V-E}{R}$ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง (2.3) ให้นำไปใช้

- โดยที่ V คือ ค่าแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่
 E คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่
 R คือ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
 I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

2.5.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ (Constant Current Charging)

การอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่เป็นการชาร์จที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการชาร์จแบบแรงดันคงที่ และใช้เวลาน้อยกว่า เพราะการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่จะถูกจำกัดกระแสชาร์จไว้ ถ้ากระแสที่ใช้ชาร์จมีค่าสูง จะทำให้เวลาในการชาร์จสั้นลง แต่ถ้ากระแสที่ใช้ชาร์จมีค่ามากเกินไป แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย

การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ การชาร์จจะทำการอย่างรวดเร็วไม่ได้เนื่องจากกระแสที่ใช้ในการชาร์จจะถูกจำกัดไว้ตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนด ข้อดีของการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่คือเซลล์หลายๆเซลล์จะได้รับกระแสในสัดส่วนเท่าๆกันทุกเซลล์ของชุดแบตเตอรี่

2.5.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage Charging)

การอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะใช้เวลาในการชาร์จมากกว่าการชาร์จแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ โดยความเร็วในการชาร์จขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องชาร์จ การชาร์จแบบนี้ทำได้โดยเครื่องอัดประจุเป็นตัวจ่ายแรงดันป้อนเข้าไปในแบตเตอรี่ แต่แรงดันที่จ่ายจะไม่คงที่ จึงต้องมีวงจรควบคุมแรงดันคงที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.5.3 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่คือ การรวมวิธีชาร์จแบบกระแสคงที่กับแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยจะแบบเป็น 2 ช่วงคือ

ช่วงแรก : ชาร์จด้วยกระแสเต็มพิกัดคงที่แรงดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเซลล์ได้รับความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ใกล้เต็ม

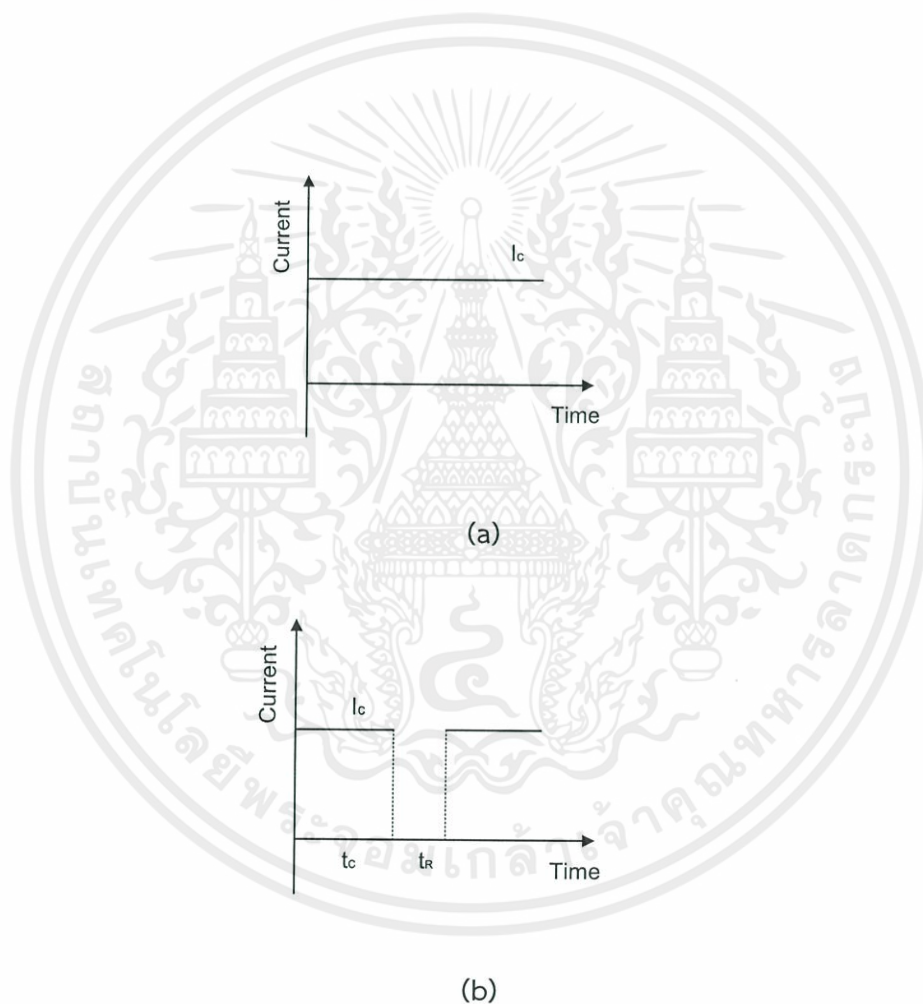
ช่วงที่สอง : ชาร์จด้วยแรงดันเต็มพิกัดคงที่ กระแสที่ชาร์จเข้าเซลล์ของแบตเตอรี่จะค่อยๆลดลง และจะหยุดชาร์จเมื่อกระแสน้อยกว่า 3% ของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

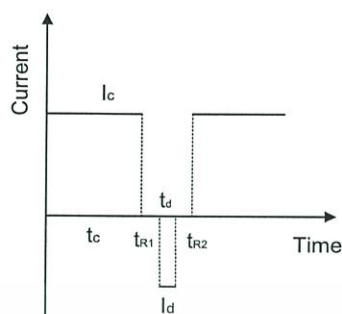
2.5.4 การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging) [10, 17]

วิธีการชาร์จแบบพัลส์เป็นการชาร์จโดยใช้อิมพัลส์รูปคลื่นแรงดันสามารถชาร์จได้เร็วกว่าแบบแรงดันคงที่ และใช้เวลาใกล้เคียงกับการชาร์จแบบกระแสคงที่ แต่มีข้อดีกว่าแบบกระแสคงที่เนื่องจากช่วยระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น

วิธีการชาร์จที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน สิ่งที่สำคัญคือความต้านทานภายในต้องมีค่าต่ำ พบว่าการชาร์จด้วยกระแสคงที่ ค่าความต้านทานภายในเซลล์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการชาร์จ การชาร์จด้วยกระแสพัลส์โดยมีการดิสชาร์จ ค่าความต้านทานภายในมีค่าลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชาร์จดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

รูปที่ 2.11 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่

- (a) กระแสคงที่[17]
- (b) กระแสพัลส์ไม่มีการดิสชาร์จ[17]
- (c) กระแสพัลส์ที่มีการดิสชาร์จ [17]

การชาร์จแบตเตอรี่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางเคมีของขั้วอิเล็กโทรด โดยพัลส์ชาร์จจะสามารถอธิบายการแพร่กระจายของอิเล็กโทรไลต์มากขึ้น ทำให้เพิ่มความเร็วในการชาร์จมากขึ้นและอายุการใช้งานนานขึ้น จากสมการที่ 2.4

$$i_0 = Fk_0(1-\theta)^{1-\alpha} \theta^\alpha c^{1-\alpha} \quad (2.4)$$

เมื่อ F = Faraday's constant (96,487 C/equiv)

k_0 = ค่าคงที่มาตรฐานที่ต่างชนิดกัน

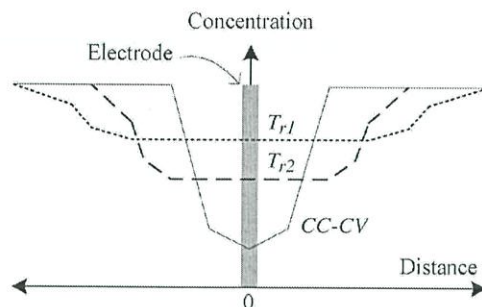
θ = ชั้นส่วนของโมเลกุล

α = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน

c = ค่าความเข้มข้นบนพื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรด

วิธีการชาร์จแบบพัลส์มีระยะพัก T สำหรับให้ออนแพร่กระจายได้มากขึ้น โดยวัดจากความเข้มข้นบนพื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

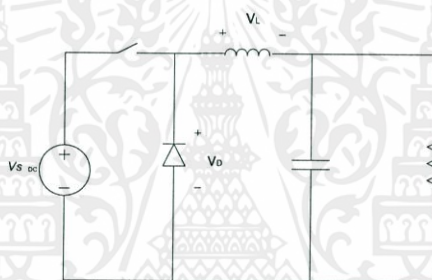


รูปที่ 2.12 ความเข้มข้นของการกระจาย [10]

2.6 วงจรสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่

2.6.1 วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter)

วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า หรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 2.13 คือวงจรไฟฟ้าที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า



รูปที่ 2.13 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์และกรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวทำงานในอุดมคติ ประสิทธิภาพการทำงานของวงจรนี้จึงเท่า 100% ซึ่งจะมีเงื่อนไขดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t + T) = i_L \quad (2.5)$$

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

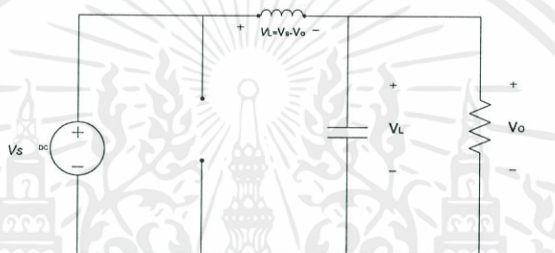
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_i = P_o \quad (2.7)$$

2.6.1.1 หลักการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าลดลงตามที่ต้องการ คือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ตามสมการที่ (2.5) โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดจะต้องวิเคราะห์ในสภาวะคงที่ดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

จากรูป 2.14 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์และผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด ขณะที่ไดโอดจะไม่นำกระแส จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$V_L = V_s - V_o \quad (2.8)$$

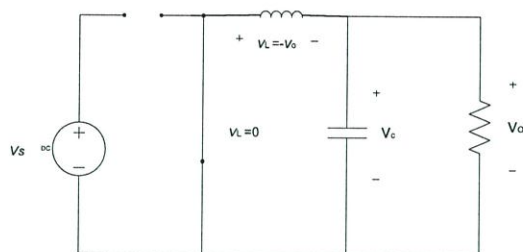
$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.9)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.10)$$

ขณะสวิตช์นำกระแส $dt = DT$ จะได้

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูป 2.15 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัสให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไหลอย่างต่อเนื่อง จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการดังนี้

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.12)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.13)$$

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1 - D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงด้วยอัตราคงที่ที่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{-V_o}{L}\right)(1 - D)T \quad (2.14)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.10) และ (2.14) เมื่อเอามารวมกันตามสมการ (2.15) แล้วทำการจัดรูปจะได้ค่าอัตราขยายของแรงดันไฟฟ้าตามสมการ (2.16)

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งจากสมการที่ (2.16) จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรทอนแรงดันขึ้นอยู่กับค่า แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตและค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle: D) โดนแรงดันไฟฟ้าด้าน

เอาท์พุทจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุทเสมอ เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ค่ากระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเฉลี่ย (I_C) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์ (T) มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย (I_L) จะเท่ากับ ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเอาท์พุทเฉลี่ย (I_O) ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_L = I_O = \frac{V_O}{R} \quad (2.17)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.14) ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำคือ

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.18)$$

$$I_{L,\max} = \frac{V_O}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_O}{L} (1-D) T \right] \quad (2.19)$$

$$\therefore I_{L,\max} = V_O \left[\frac{1}{2} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.20)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.21)$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_O}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_O}{L} (1-D) T \right] \quad (2.22)$$

$$\therefore I_{L,\min} = V_O \left[\frac{1}{2} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.23)$$

จากสมการที่ (2.23) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด ที่ยังคงทำให้วงจรทอนแรงดันทำงานในโหมดต่อเนื่อง โดยกำหนดให้ $I_{L,\min} = 0$

$$\therefore L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_O}{I_O} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ค่าอัตราผลตอบแทนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุท
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันด้านเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$i_C = i_L - i_R \quad (2.25)$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวกซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณจาก

$$Q = CV_0 \quad (2.26)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_0 \quad (2.27)$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.28)$$

โดยที่ ΔQ คือค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ
 ΔV_0 คือค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อย
 ระหว่างยอดถึงยอด

หาค่า ΔQ ได้จากสมการ

$$\Delta Q = \frac{1}{2} T \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.29)$$

$$\Delta V_0 = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (2.30)$$

จากสมการแทนค่า $\Delta i_{L,off}$ ลงในสมการที่ (2.30) จะได้ว่า

$$\Delta V_0 = \frac{1}{8C} \frac{V_0}{L} (1-D)T \quad (2.31)$$

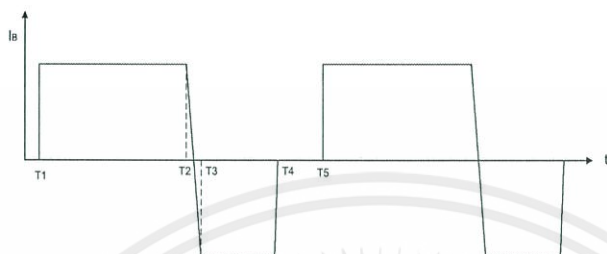
$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1}{8C} \frac{1}{L} (1-D)T \quad (2.32)$$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8LCf^2} \tag{2.33}$$

2.6.2 วงจรพัลส์ชาร์จ (Pulse Charge)



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นกระแสช่วงชาร์จ 4 โหมด [14]

2.6.2.1 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging mode) ช่วง T₁ -T₂

ในการชาร์จแบบพัลส์ในช่วงอิมพัลส์ด้านบวก วงจรจะทำงานเหมือนวงจรทอนระดับแรงดันโดยให้สวิตช์ Q_A ทำงานและ Q_Bไม่ทำงาน โดยการปรับดิวิตซ์ที่สวิตช์ Q_Aเมื่อสวิตช์ Q_Aหยุดทำงานจะเกิด free-wheeling diode ที่ D จะเกิดการคายพลังงานออกมดั่งรูปที่ 2.17 และ 2.18 จะได้สมการดังนี้

$$Q_{A\text{on}} : V_L = V_{dc} - V_R \tag{2.34}$$

$$Q_{A\text{off}} : V_L = -V_B - V_R \tag{2.35}$$

อินทิเกรตค่าของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลา 1 คาบมีค่าเท่ากับ 0

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \tag{2.36}$$

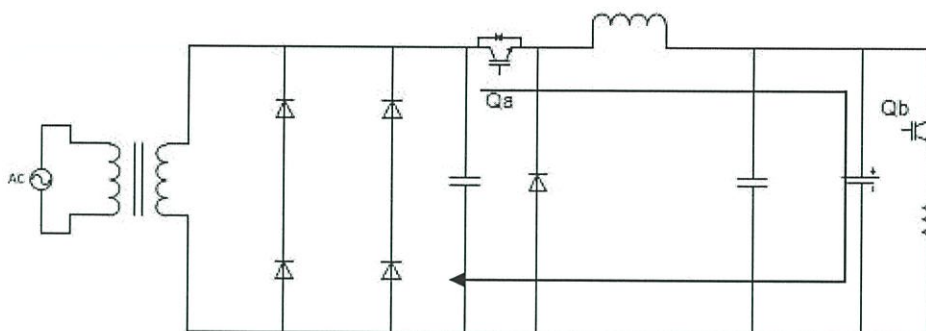
$$\therefore V_B = D_1 V_{dc} \tag{2.37}$$

กระแสไฟฟ้าชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

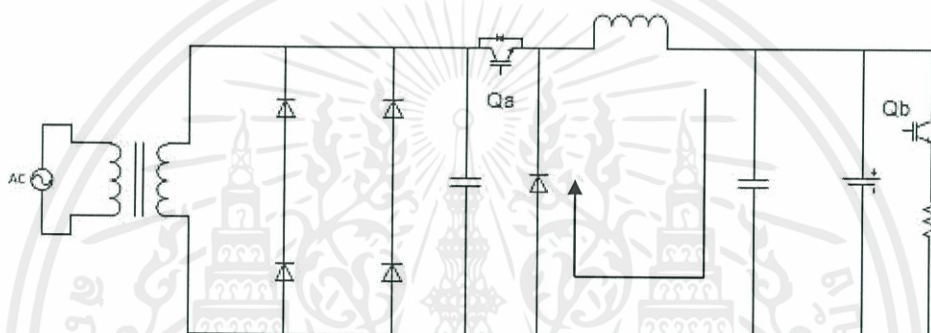
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT1} \tag{2.38}$$



รูปที่ 2.17 วงจรชาร์จช่วงอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ทำงาน [14,15]



รูปที่ 2.18 วงจรชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก Q_A ไม่ทำงาน [14,15]

2.6.2.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode) ช่วง $T_2 - T_3$

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงานการชาร์จในช่วงนี้กระแสไฟฟ้า I_B จะลดลงเป็นศูนย์

2.6.2.3 ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode)

ช่วง $T_3 - T_4$

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้แบตเตอรี่จะเกิดการดิสชาร์จกระแสไฟฟ้าชั่วขณะและจะคายพลังงานที่สะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุของคอนเวอร์เตอร์ ช่วงการดิสชาร์จนี้วงจรจะทำงานเหมือนบูสคอนเวอร์เตอร์โดยที่ สวิตช์ Q_A ไม่ทำงานและสวิตช์ Q_B ทำงาน หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะถูกเก็บสะสมไว้ในตัวเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปยังแหล่งจ่าย เมื่อสวิตช์ Q_B หยุดทำงาน จะเกิด free-wheeling diode ที่ D_A จะคายพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.19 และ 2.20 จะได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

$$Q_{B\text{on}} : V_L = V_B - V_R \quad (2.39)$$

$$Q_{B\text{off}} : V_L = V_B - V_{dc} - V_R \tag{2.40}$$

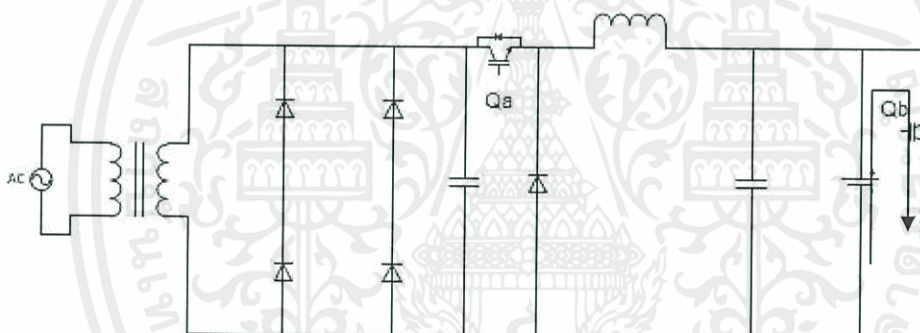
อินทิเกรตค่าของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลา 1 คาบมีค่าเท่ากับ 0

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \tag{2.41}$$

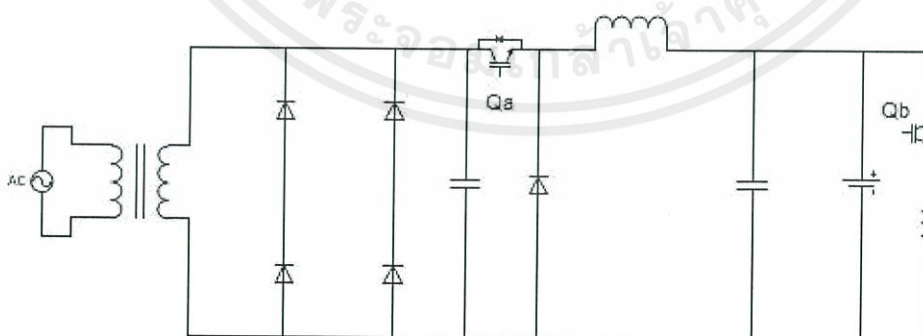
$$\therefore V_{dc} = \frac{V_B}{1-D_2} \tag{2.42}$$

กระแสไฟฟ้าดิสชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_3}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT3} \tag{2.43}$$



รูปที่ 2.19 วงจรดิสชาร์จอิมพัลส์ต้านลบ Q_B ทำงาน [14,15]



รูปที่ 2.20 วงจรดิสชาร์จช่วงอิมพัลส์ต้านลบ Q_B ไม่ทำงาน [14,15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.4 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode) ช่วง $T_4 - T_5$

ช่วงนี้สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงาน กระแส I_B จะเป็นศูนย์ จะเกิด free-wheeling diode

2.7 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงการอัดประจุแบตเตอรี่และหลักการอัดประจุ ซึ่งมีกระบวนการในการอัดประจุที่แตกต่างกันไป ซึ่งทางผู้วิจัยรวบรวมและอธิบายเกี่ยวกับการอัดประจุ ซึ่งประกอบได้ด้วยความรู้พื้นฐานของแบตเตอรี่ โครงสร้างของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ได้แก่ วงจรเพิ่ม-ลดทอนระดับแรงดัน และหลักการควบคุมการทำงานของวงจรซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

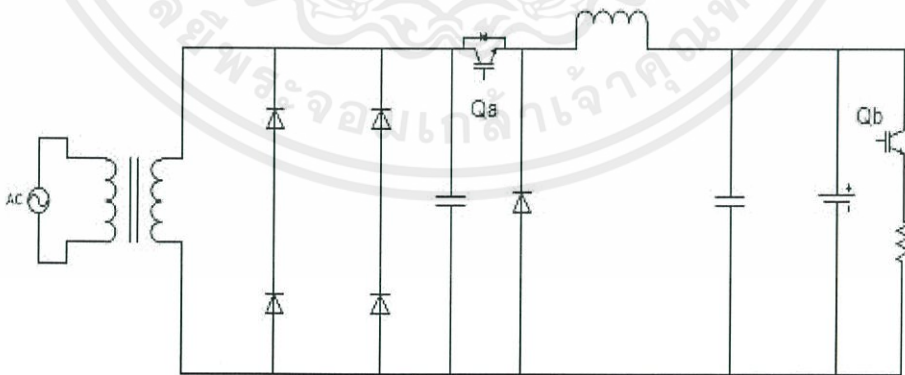
ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการชาร์จแบบพัลส์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อตรวจสอบการทำงาน และหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ก่อนนำไปสร้างเป็นชิ้นงานจริง เพื่อทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลอง โดยหลักการชาร์จแบบพัลส์ (Pulse charge)

3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าในขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink โดยใช้ทฤษฎีมาออกแบบวงจรและเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบ ซึ่งในการทดลองจะใช้วิธีการชาร์จแบบพัลส์

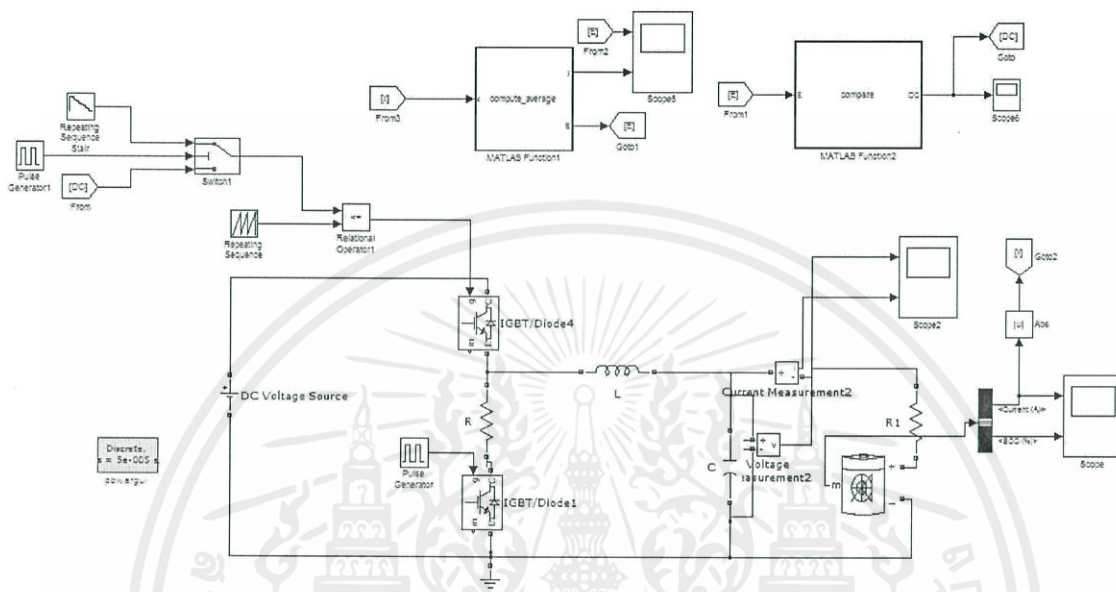
3.3 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การแสดงผลการจำลองการทำงานในโหมดการชาร์จแบบพัลส์จะใช้วงจรดังรูปที่ 3.1 โดยรับแรงดันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านวงจรกรองฮาร์มอนิก ผ่านวงจรเรียงกระแส ผ่านตัวเก็บประจุ (DC link) ก่อนเข้าสู่การทำงานในโหมดพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการชาร์จแบบพัลส์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองเพื่อแสดงผลการทำงานของวงจรการชาร์จแบบพัลส์ ดังรูปที่ 3.2 โดยประมวลผลจากโปรแกรม MATLAB Simulink



รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้ในการ Simulation เพื่อแสดงผลการทำงานของวงจร

ในการออกแบบวงจร ให้แรงดันด้านอินพุตเท่ากับแรงดันที่ตีซิลิก์ เท่ากับ 155 โวลต์ และต้องการแรงดันเข้าแบตเตอรี่เท่ากับ 48 โวลต์ โดยนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 โวลต์ 4 ลูก มาต่ออนุกรมกัน จึงต้องเลือกใช้แรงดันด้านออกสำหรับชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 56 โวลต์เนื่องจากการชาร์จจะต้องให้แรงดันเข้าแบตเตอรี่เซลล์ละ 2.15 โวลต์ จึงเท่ากับ $2.15 \times 48 = 56$ โวลต์ และความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์มีค่าเท่ากับ 31.25 กิโลเฮิร์ต โดยจำกัดกระแสชาร์จไว้ที่ 2 แอมป์ จากสมการ (2.16)

$$D = \frac{V_0}{V_S}$$

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

$$D = 0.36$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ โดยค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรจะต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถหาได้จากสมการ (2.24)

$$\begin{aligned} \therefore L_{\min} &= \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \\ &= \frac{(1-0.36)}{2(31.25 \times 10^3)} \times \frac{56}{2} \\ &= 288 \mu H \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้จึงควรเลือกใช้ค่าต่ำกว่า 288 ไมโครเฮนรี่ เพื่อให้การทำงานอยู่ช่วงกระแสไม่ต่อเนื่อง สำหรับค่าของตัวเก็บประจุก็ควรที่จะมีค่าต่ำๆ เพื่อให้ลักษณะการชาร์จเป็นแบบพัลส์ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 100 ไมโครเฮนรี่ และค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 90 ไมโครฟารัด

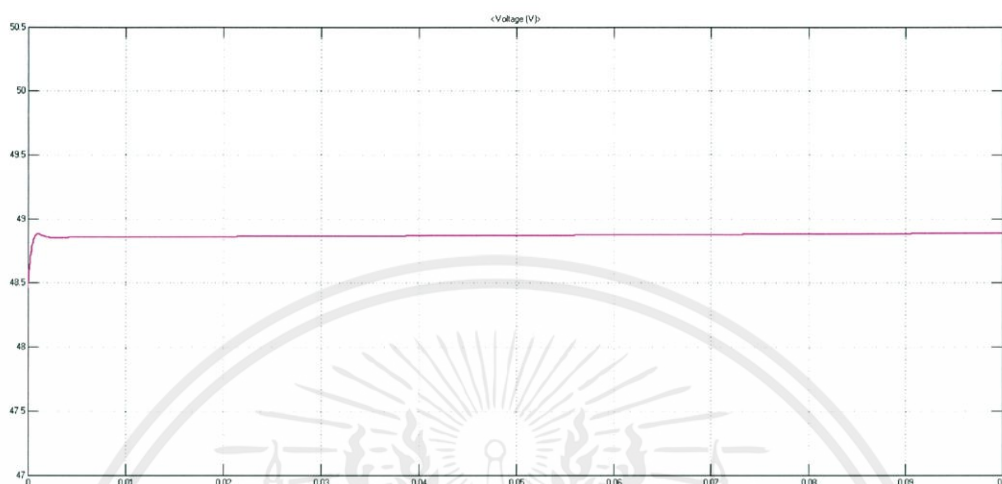
จะเห็นได้ว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น จะต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีค่าน้อยๆ และเหมาะสม เพื่อให้กระแสที่ไหลอยู่ในช่วงการทำงานแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานการชาร์จแบบพัลส์

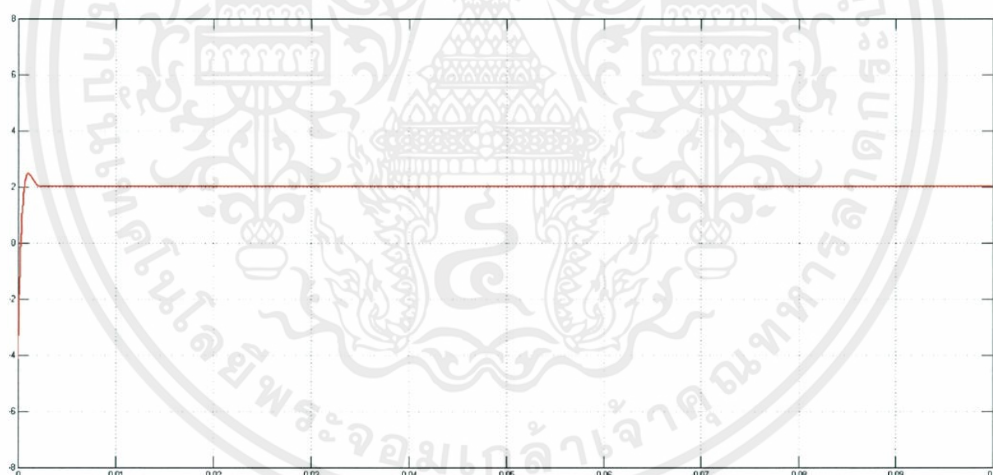
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ซิ่งของ IGBT ทั้ง 2 ตัว	31.25kHz
Capacitance (C)	90 μ F
Inductance (L)	100 μ H
DC Voltage Source	155 V
แรงดันแบตเตอรี่	48 V
ความจุแบตเตอรี่	7.5 AH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การจำลองการชาร์จแบบแรงดันคงที่

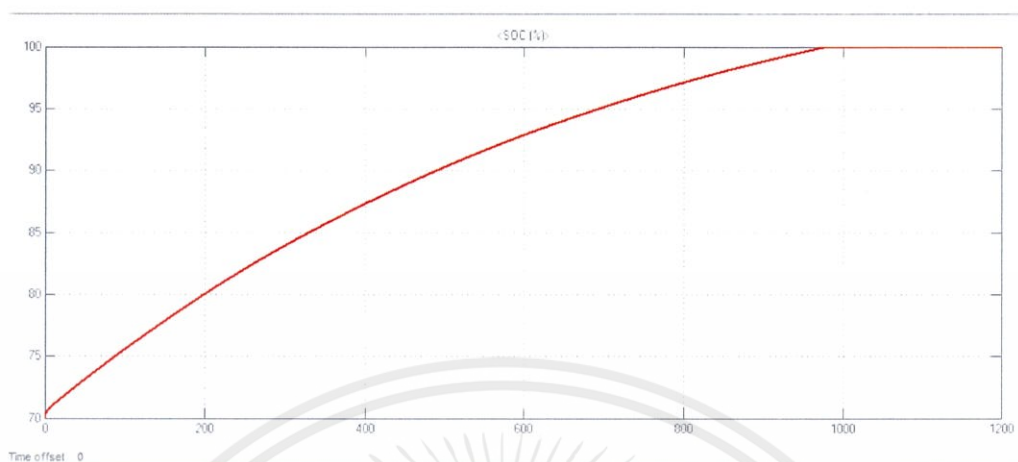


รูปที่ 3.3 สัญญาณแรงดันการชาร์จแบบแรงดันคงที่



รูปที่ 3.4 สัญญาณกระแสการชาร์จแบบแรงดันคงที่

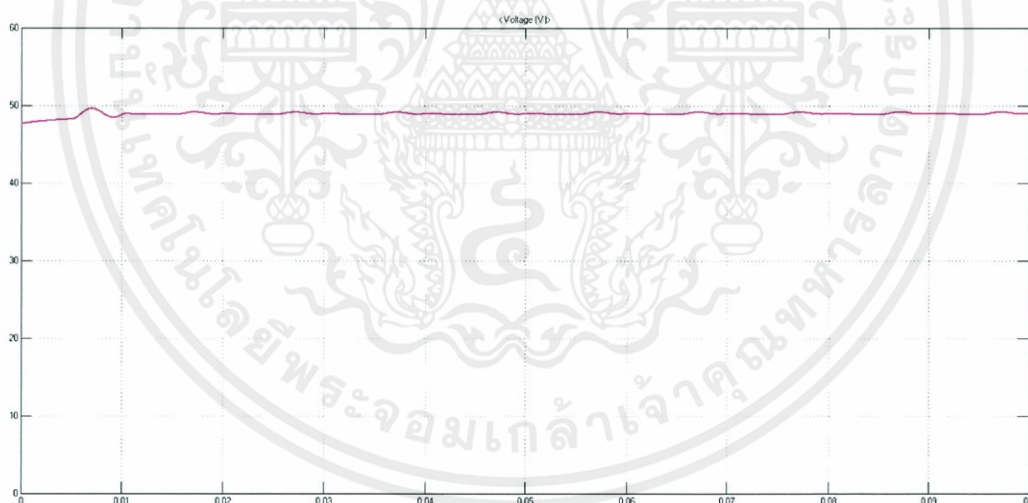
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 State of Charge

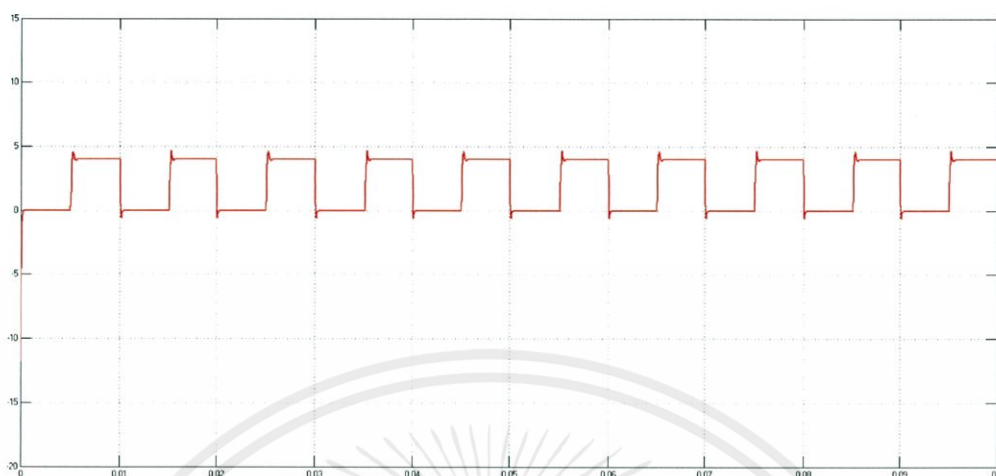
3.3.2 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์คงที่

3.3.2.1 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์ที่ $D = 50\%$

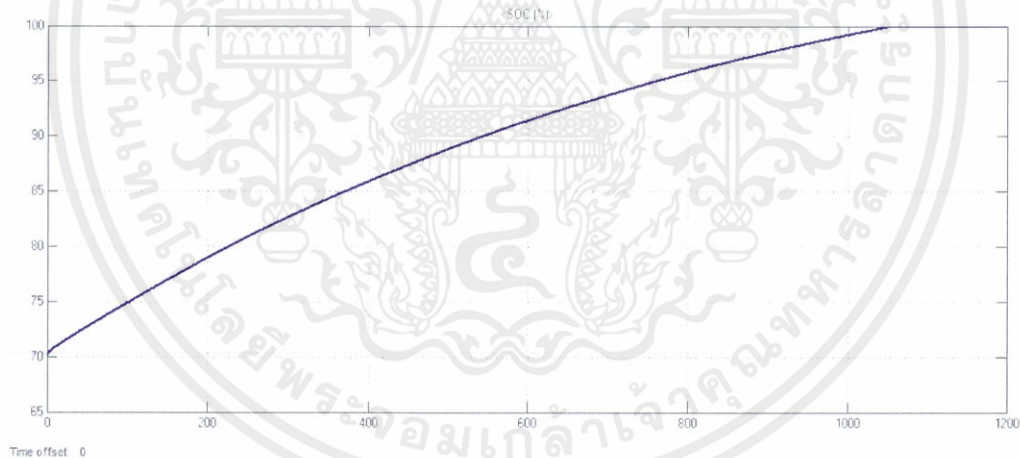


รูปที่ 3.6 สัญญาณแรงดันที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์ $D = 50\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์ $D = 50\%$

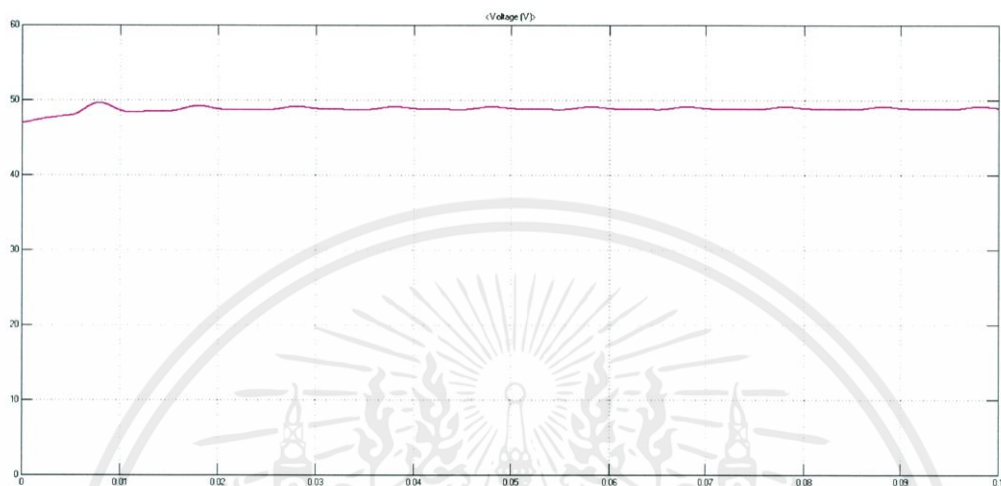


รูปที่ 3.8 State of Charge ที่ $D = 50\%$

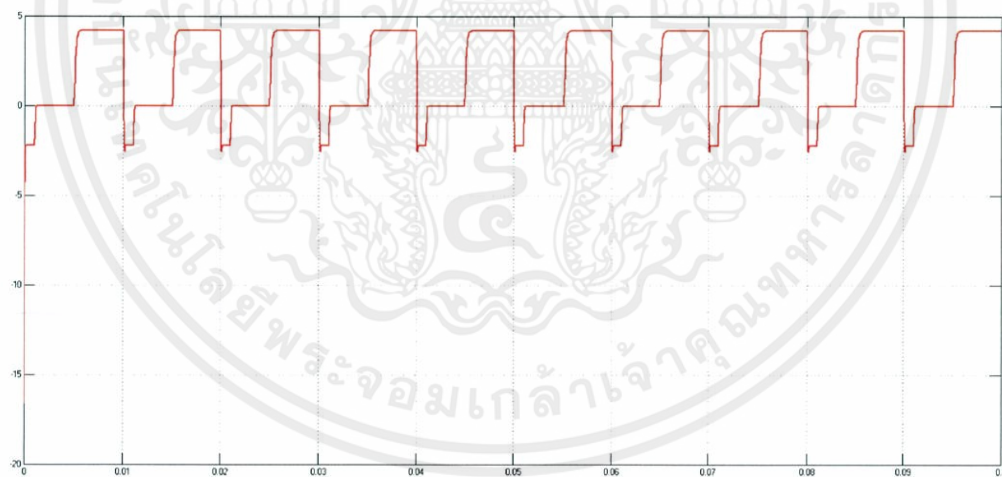
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์คงที่แบบมีดีสชาร์จ

3.3.3.1 การจำลองการชาร์จแบบพัลส์แบบมีดีสชาร์จที่ $D = 50\%$

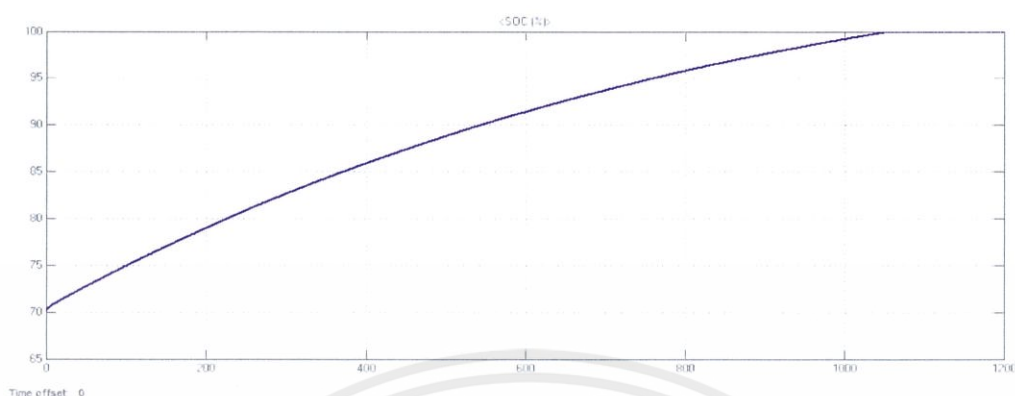


รูปที่ 3.9 สัญญาณแรงดันที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์มีดีสชาร์จ $D = 50\%$



รูปที่ 3.10 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่พัลส์มีดีสชาร์จ $D = 50\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 State of Charge ที่ $D = 50\%$

รูปที่ 3.10 แสดงผลการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ ซึ่งผลที่ออกมาจะเห็นว่าตรงตามที่ได้ศึกษาคือ การชาร์จจะแบ่งออกเป็น 4 โหมด คือ ช่วงชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก ช่วงชะลออิมพัลส์ ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ ช่วงพักอิมพัลส์ โดยการทำงานทั้ง 4 โหมดขึ้นกับการทำงานของสวิตช์ IGBT ทั้ง 2 ตัว

จากการนำกราฟ State of Charge ของการชาร์จแบบแรงดันคงที่และการชาร์จแบบพัลส์คงที่มาเปรียบเทียบพบว่า การชาร์จแบบแรงดันคงที่ที่ใช้ระยะเวลาการชาร์จที่เร็วกว่าการชาร์จแบบพัลส์ชาร์จ ซึ่งไม่สอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้ศึกษาจากบทความวิชาการต่างๆ สาเหตุเนื่องมาจากโมเดลของแบตเตอรี่ที่ใช้ใน Matlab Simulink ไม่รองรับผลการจำลองที่ใช้ทฤษฎีของไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างเครื่องชาร์จต้นแบบมาใช้ทดลองจริง

จากผลการทดลองจะเห็นว่า การชาร์จแบบพัลส์นั้นอาศัยการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous) โดยกระแสไม่ต่อเนื่องจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำได้มีการคายพลังงานออกมา

3.4 สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองการทำงานของวงจรการชาร์จแบบพัลส์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink จะเห็นว่าขณะที่วงจรทำการชาร์จแบตเตอรี่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จริง แต่ทั้งนี้ต้องมีการเก็บผลการทดลองเนื่องจากในการจำลองโมเดลของแบตเตอรี่ใน Matlab ไม่รองรับผลทางไฟฟ้าเคมี ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บผลการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา และการทำงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสวิตซ์ทั้ง 2 ตัว ว่ามีความเหมาะสมอยู่ในช่วงใด โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

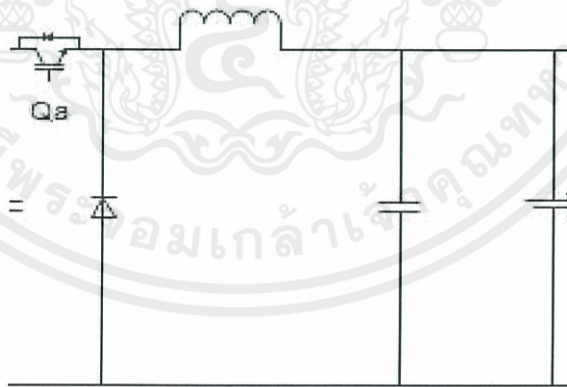
4.1 บทนำ

การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่นั้นอาศัยหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้า จึงต้องทำความเข้าใจถึงหลักการทำงานอย่างละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะประกอบด้วยสองส่วนหลักๆคือ ส่วนของวงจรกำลัง (Power Circuit) และส่วนของวงจรควบคุม (Control Circuit) โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการควบคุม

4.2 ส่วนประกอบของวงจรกำลัง (Power Circuit)

4.2.1 การออกแบบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องชาร์จแบบพัลส์ (Pulse Charge)

การออกแบบสำหรับการชาร์จแบบพัลส์นั้นมีหลักการทำงานแบบบิกคอนเวอร์เตอร์ โดยรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 การชาร์จแบบพัลส์จะใช้โหมดการทำงานแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Current Mode) ดังนั้นการออกแบบจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำและขนาดของตัวเก็บประจุให้มีค่าเหมาะสม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเป็นแบบพัลส์ สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 4.1 วงจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์

ในการออกแบบวงจร ให้แรงดันด้านอินพุตเท่ากับแรงดันที่ดีซีลิงค์ เท่ากับ 155 โวลต์ และต้องการแรงดันเข้าแบตเตอรี่เท่ากับ 48 โวลต์ โดยนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 โวลต์ 4 ลูกมาต่ออนุกรมกัน จึงต้องเลือกใช้แรงดันด้านออกสำหรับชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 56 โวลต์ เนื่องจากในการชาร์จจะต้องให้แรงดันเข้าแบตเตอรี่เซลล์ละ 2.15 โวลต์ จึงเท่ากับ $2.15 \times 48 = 56$ โวลต์ และความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์มีค่าเท่ากับ 31.25 กิโลเฮิร์ต โดยจำกัดกระแสชาร์จไว้ที่ 2 แอมป์ จากสมการ (2.16)

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

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

$$D = 0.36$$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ โดยค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรจะต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถหาได้จากสมการ (2.24) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ $\therefore L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{(1-0.36)}{2(31.25 \times 10^3)} \times \frac{56}{2}$$

$$= 288 \mu H$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้จึงควรเลือกใช้ค่าต่ำกว่า 288 ไมโครเฮนรี่ เพื่อให้การทำงานอยู่ช่วงกระแสไม่ต่อเนื่อง สำหรับค่าของตัวเก็บประจุก็ควรที่จะมีค่าต่างๆ เพื่อให้ลักษณะการชาร์จเป็นแบบพัลส์ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 100 ไมโครเฮนรี่ และค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 90 ไมโครฟารัด

จะเห็นได้ว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์นั้น จะต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีน้อยๆ และเหมาะสม เพื่อให้กระแสที่ไหลอยู่ในช่วงการทำงานแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 4.3 ตัวเหนี่ยวนำ 100 ไมโครเฮนรี่ของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบพัลส์

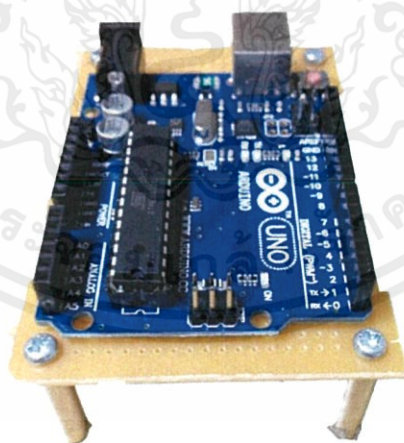
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตัวเก็บประจุ 90 ไมโครฟารัดของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องอัดประจุแบบฟิลล์

4.3 การออกแบบวงจรควบคุม

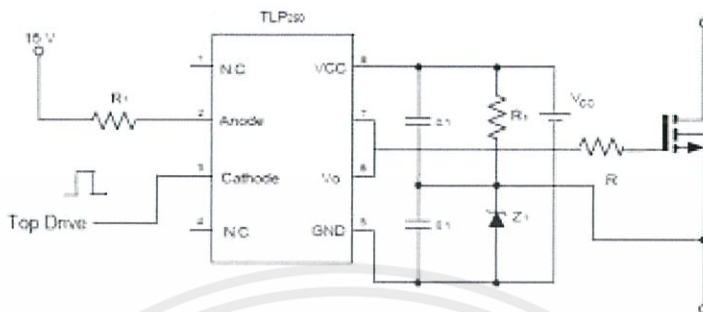
วงจรควบคุมเป็นวงจรที่ใช้ประมวลผลแล้วส่งสัญญาณไปเพื่อสั่งการทำงาน โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino เบอร์ R3 จะทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Hall Effect Current Sensor)



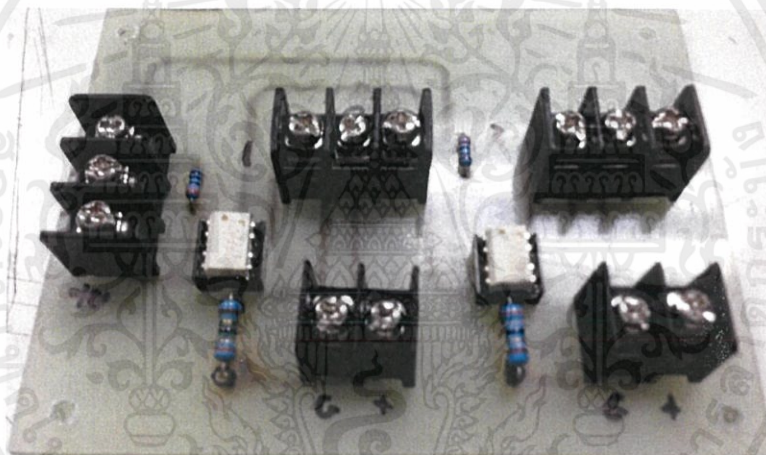
รูปที่ 4.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino Uno R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารในการขับสวิตช์ IGBT นั้นจะได้รับคำสั่งมาจาก Arduino ซึ่งจะส่งสัญญาณออกมาขับสวิตช์ ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่มีแรงดันอยู่ระหว่าง 0-5 โวลต์ แต่สวิตช์ต้องการแรงดันในการขับสวิตช์อยู่ในช่วง 15 โวลต์ขึ้นไป จึงทำให้ต้องมีวงจรขับเกต ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 โดยใช้ TLP250 ในการแยกกราวด์กำลังและกราวด์

สัญญาณ โดยออกแบบแรงดันซีกบวกเท่ากับ +16โวลต์ และแรงดันด้านซีกลบเท่ากับ -9 โวลต์ ในการขับสวิตช์



รูปที่ 4.6 ออกแบบวงจรขับเกต

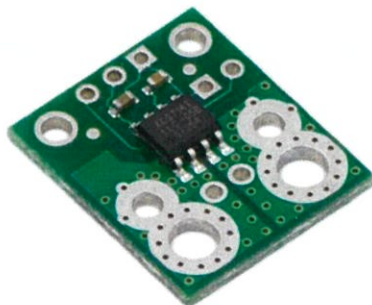


รูปที่ 4.7 วงจรขับเกต

4.3.1 ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

การตรวจจับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด Arduino ชนิด R3 โดยอาศัยหลักการ Hall effect ในการวัด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับแต่สัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากนั้นจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 4.8

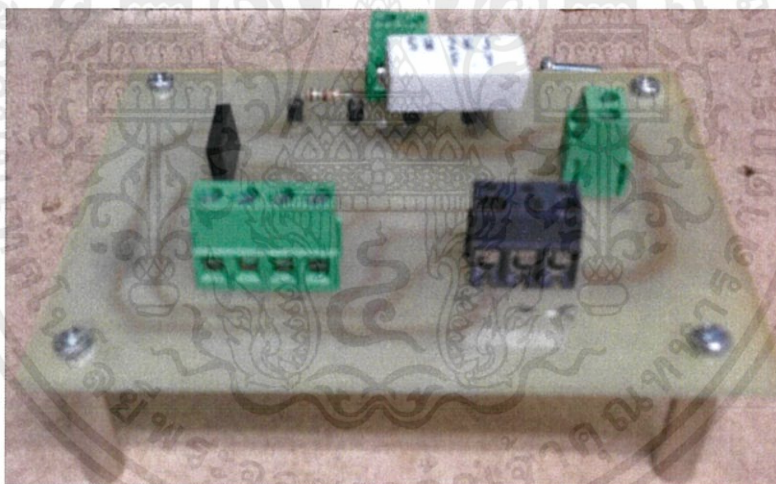
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อุปกรณ์ตรวจจับสนแรงดันไฟฟ้า

4.3.2 ตัวตรวจจับสนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

การตรวจจับสนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้หลักการโวลต์เตจดีไวเดอร์ (Voltage Divider) โดยจะลดแรงดันจาก 65 โวลต์เหลือ 5 โวลต์เพื่อทำการส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวในการแบ่งแรงดัน มีขนาด 2 กิโลโอห์ม และ 150 โอห์ม จากนั้นจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อุปกรณ์ตรวจจับสนแรงดันไฟฟ้าแบบโวลต์เตจดีไวเดอร์

4.4 ส่วนประกอบของวงจรควบคุม

4.4.1 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

4.4.1.1 โหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่เกิน 2

แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยจำกัดกระแสชาร์จไม่เกิน 2 แอมป์ โดย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้
 การสร้างสัญญาณ PWM แบบความถี่คงที่เพื่อใช้ในการขับสวิตซ์ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยที่

ควบคุมกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 2 แอมป์ จะใช้การปรับค่าตัวตั้งไซเคิลเพิ่มหรือลดเพื่อคงที่ค่ากระแสไว้ และเมื่อแรงดันถึงค่าที่กำหนดไว้ จะทำการลดค่าตัวตั้งไซเคิลลง เพื่อลดกระแสและให้แรงดันคงที่

4.4.1.2 โหมดการชาร์จแบบพัลส์

การชาร์จแบบพัลส์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM แบบความถี่คงที่เพื่อใช้ในการขับสวิตช์ในวงจรที่ทำหน้าที่คล้ายกับคอนเวอร์เตอร์ และ บัสคอนเวอร์เตอร์โดยที่สวิตช์ทั้งสองทำงานไม่พร้อมกันโดยที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 2 แอมป์ จะใช้การปรับค่าตัวตั้งไซเคิลเพิ่มหรือลดเพื่อคงที่ค่ากระแสไว้ และเมื่อแรงดันถึงค่าที่กำหนดไว้ จะทำการลดค่าตัวตั้งไซเคิลลง เพื่อลดกระแสและให้แรงดันคงที่

4.4.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.4.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

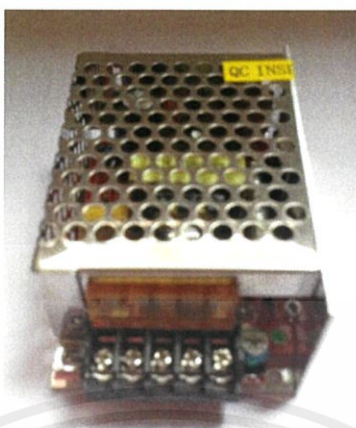
การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุม Arduino โดยเลือกหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 6 โวลต์ ผ่านวงจรเรียงกระแส โดยมีไอซีเบอร์ 7805 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ +5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์

4.4.2.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ และ -9 โวลต์

การสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ และ -9 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อน โดยเลือกใช้หม้อแปลงที่มีแท่งกลาง แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ เป็น 18 โวลต์ ผ่านบริดจ์วงจรเรียงกระแส สำหรับทำหน้าที่เรียงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไอซีเบอร์ 7815 เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ +15 โวลต์ และใช้ไอซีเบอร์ 7809 เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ -9 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



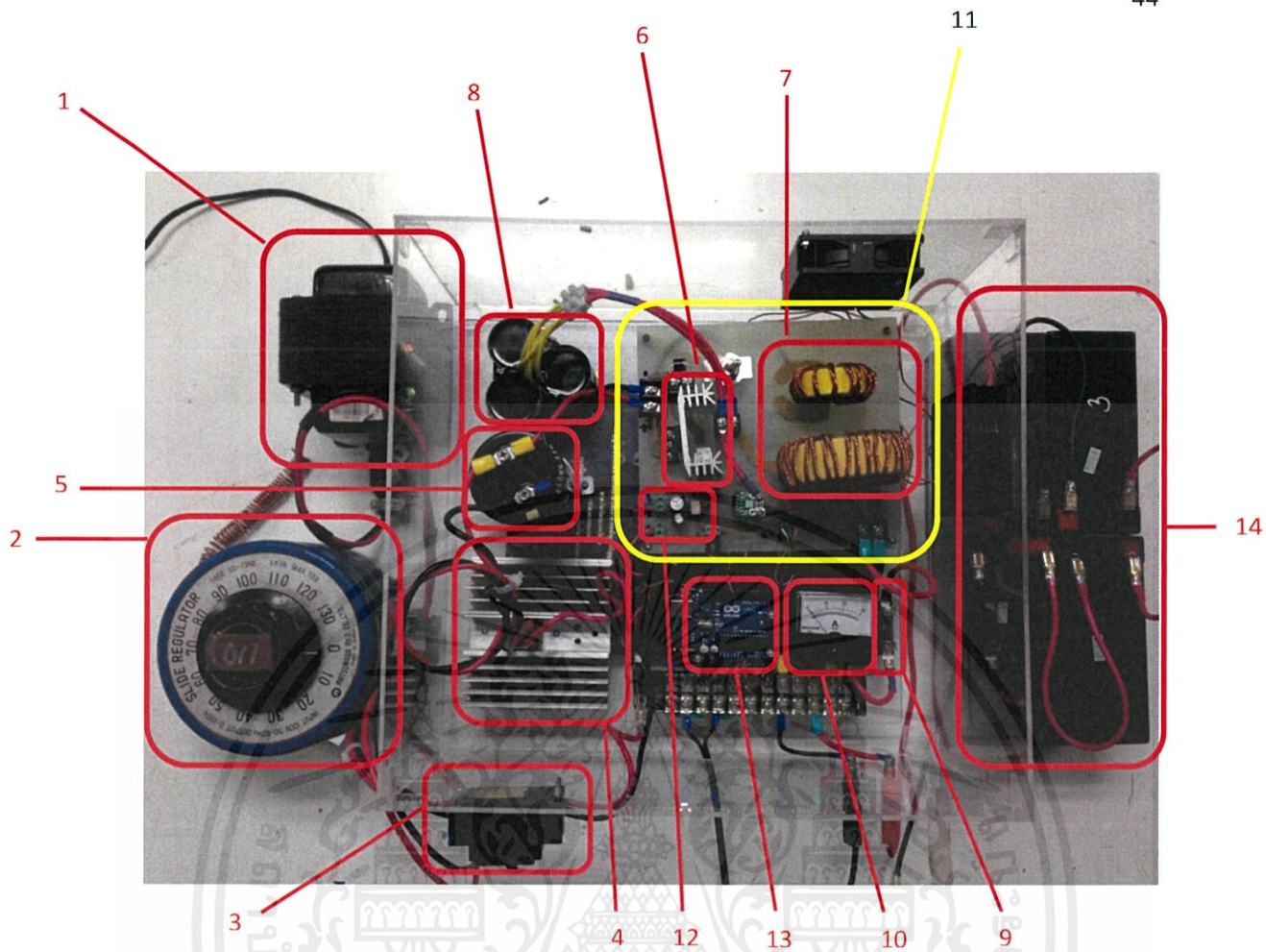
รูปที่ 4.11 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ และ -9 โวลต์

4.5 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับโหมดการชาร์จแบบกระแส-แรงดันคงที่และโหมดการชาร์จแบบพัลส์

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบดังรูปที่ 12 มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. หม้อแปลง 2 : 1
2. หม้อแปลงปรับแรงดันได้ 110 โวลต์ (Variac)
3. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านอินพุท จำนวน 1 ชุด
4. บริดจ์ไดโอดเรกติไฟเออร์ (Bridge Diode Rectifier)
5. ตัวเก็บประจุ 2,200 ไมโครฟารัด
6. ชุดวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ จำนวน 1 ชุด
7. ตัวเหนี่ยวนำของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์
8. ตัวเก็บประจุของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์
9. ชุดป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ด้านเอาต์พุท จำนวน 1 ชุด
10. มาตรการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ชุด
11. ชุดแหล่งจ่ายไฟ
 - +5 โวลต์ จำนวน 1 ชุด
 - +15 โวลต์ และ -9 โวลต์ จำนวน 2 ชุด
12. ชุดวงจรขับสวิตช์กำลัง จำนวน 1 ชุด
13. ชุดวงจรควบคุม จำนวน 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 14. แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 7.5 แอมป์ชั่วโมง ทั้งหมด 4 ลูก มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

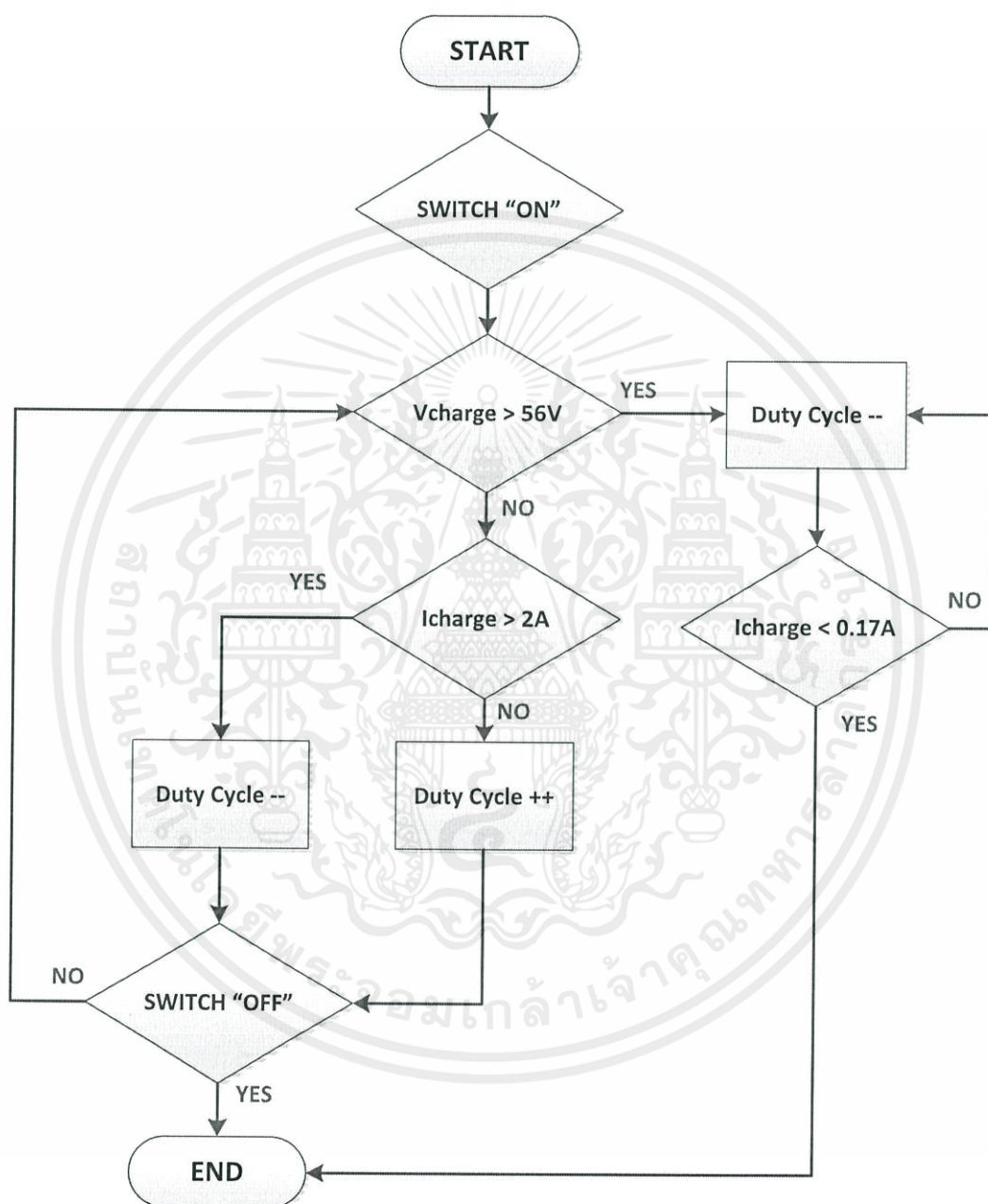


รูปที่ 4.12 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับโหมดการชาร์จแบบกระแส-แรงดันคงที่และโหมดการชาร์จแบบพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

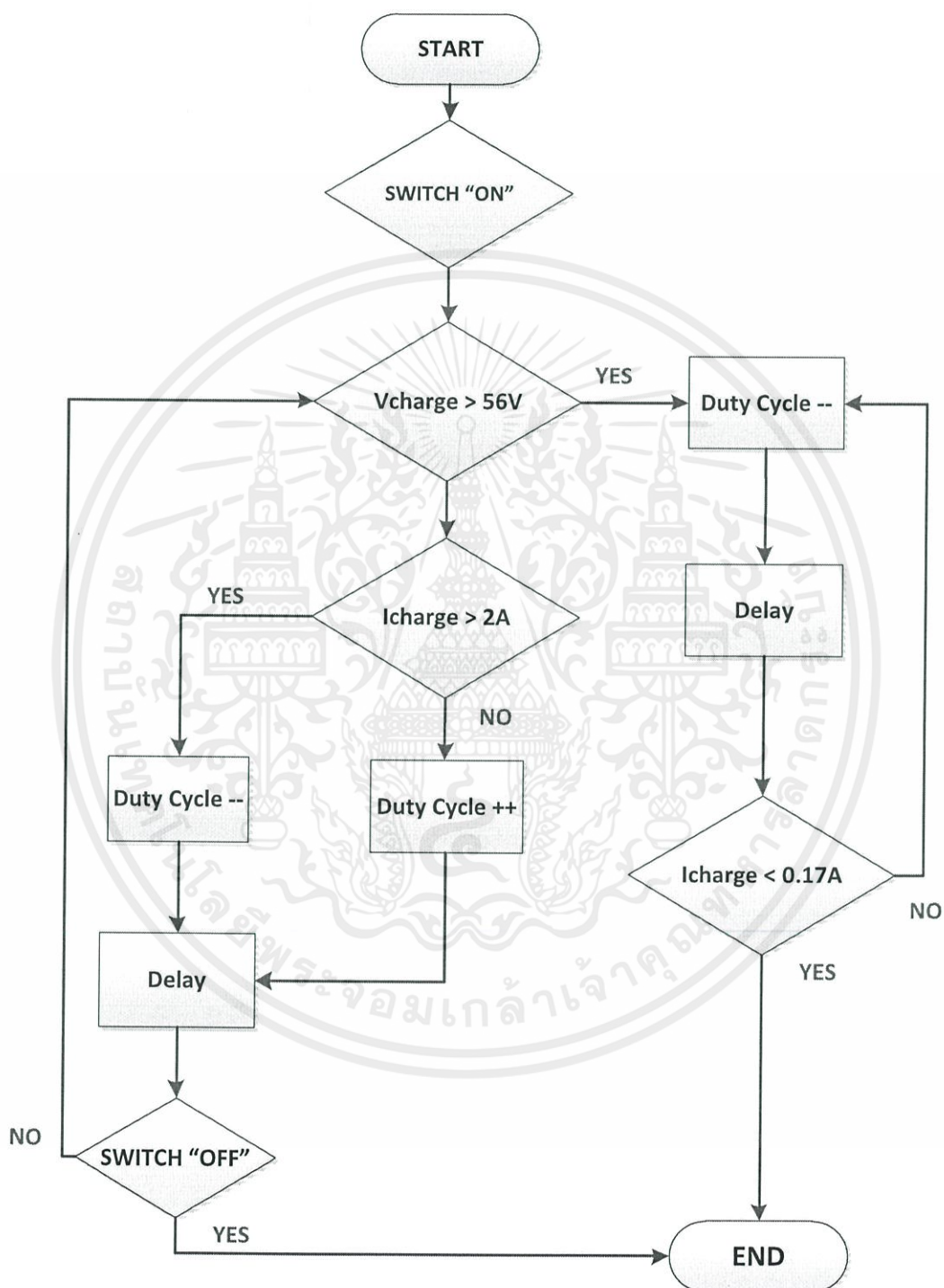
4.6 ผังการทำงาน (Flow Chart)

4.6.1 การทำงานในโหมดการชาร์จแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การทำงานในโหมดการชาร์จแบบพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 บทสรุป

การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฮบริดจ์ โดยงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การชาร์จแบบพัลส์ โดยจะจำกัดกระแสชาร์จไม่เกิน 2 แอมป์ อาศัยการทำงานของดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 1 ชุดโดยให้โหมดการทำงานเป็นแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง วงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสวิตช์ที่นำไปขับขาเกต ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นสำหรับการสร้างเครื่องอัดประจุต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

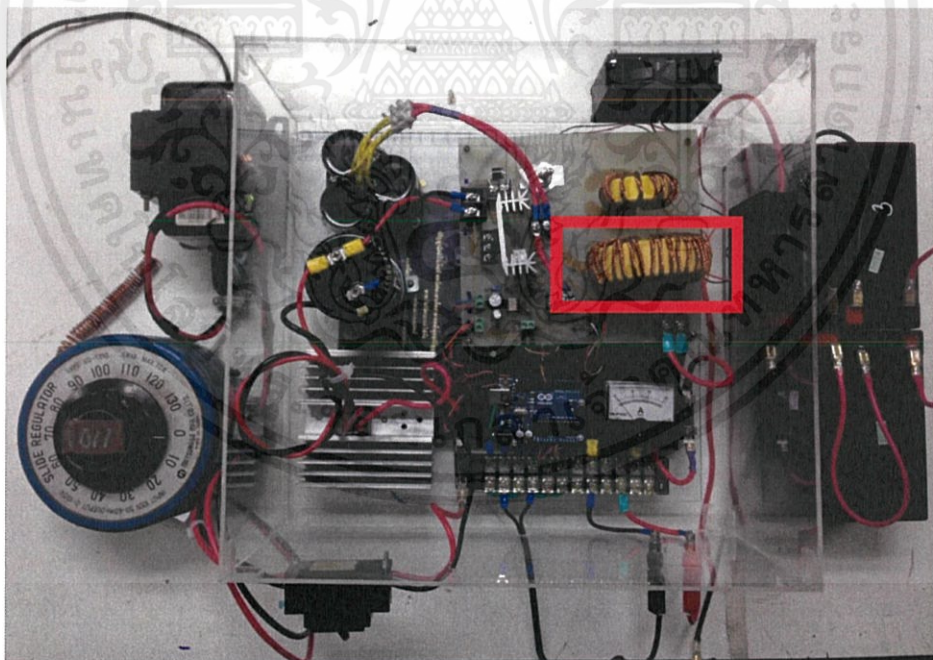
5.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองสำหรับการอัดประจุแบบพัลส์ และแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาค่าความถี่ไซเคิลที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 7.5 แอมป์ชั่วโมง

5.2 ผลการทดลอง

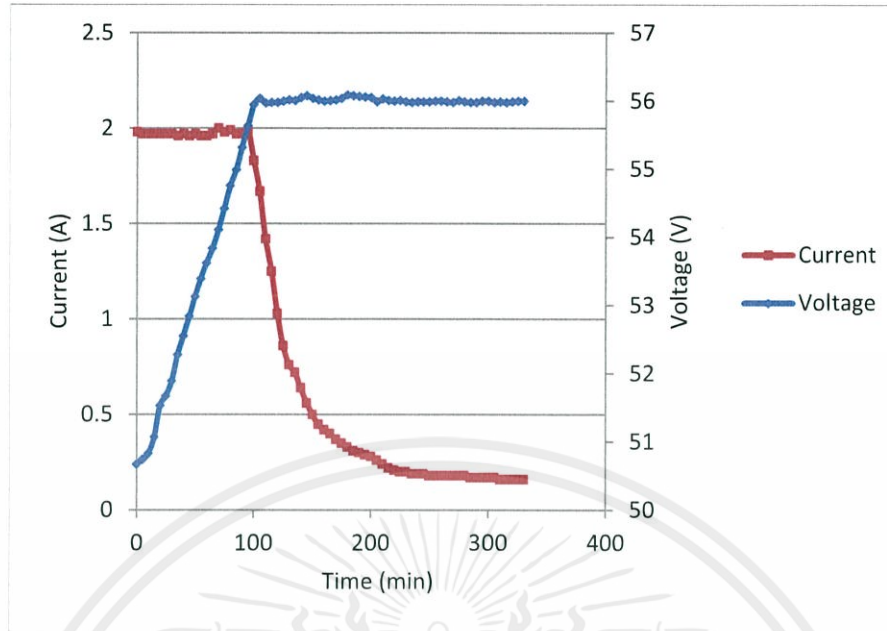
5.2.1 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

การชาร์จแบบนี้จะแบ่งการช่วงออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกจะชาร์จแบบจำกัดกระแสชาร์จของแบตเตอรี่ไม่เกิน 2 แอมป์ หรือตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่นั้นๆ ช่วงที่สองเมื่อนางดันของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 56 โวลต์ จะเปลี่ยนโหมดการทำงานมาเป็นการชาร์จแบบแรงดันคงที่ที่ 56 โวลต์โดยค่ากระแสชาร์จของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อยกว่า 2 แอมป์ในการชาร์จช่วงที่สอง

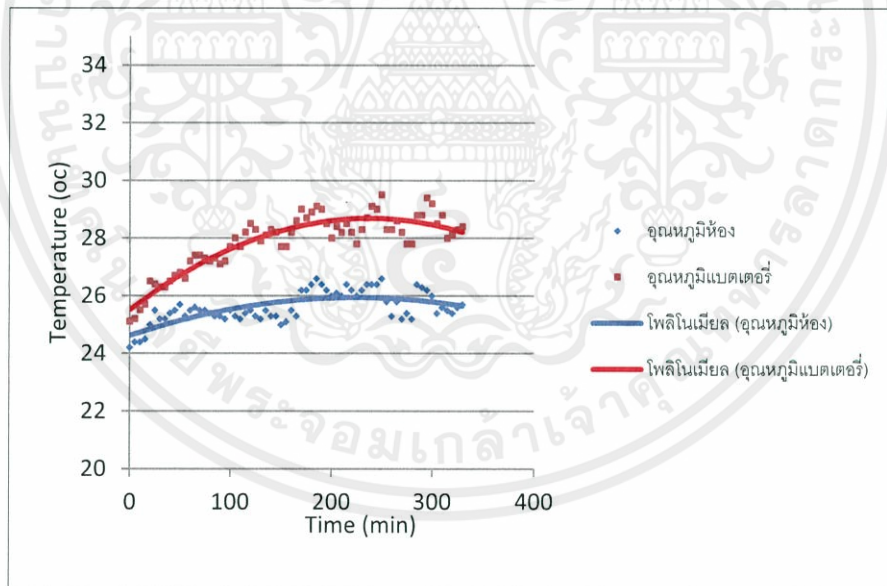


รูปที่ 5.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ด้านแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

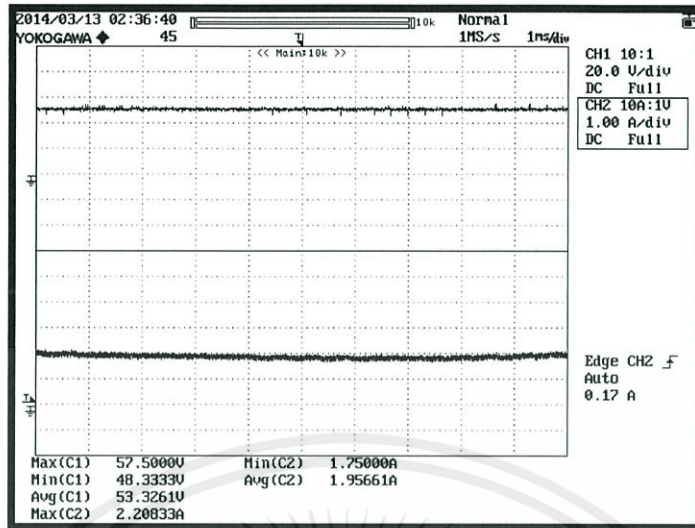


รูปที่ 5.2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่



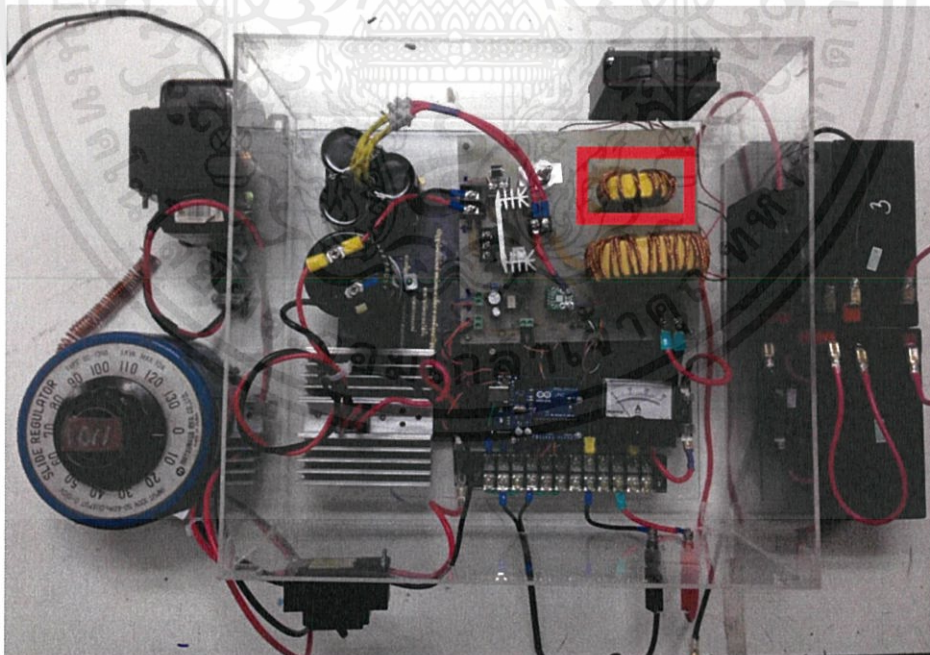
รูปที่ 5.3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



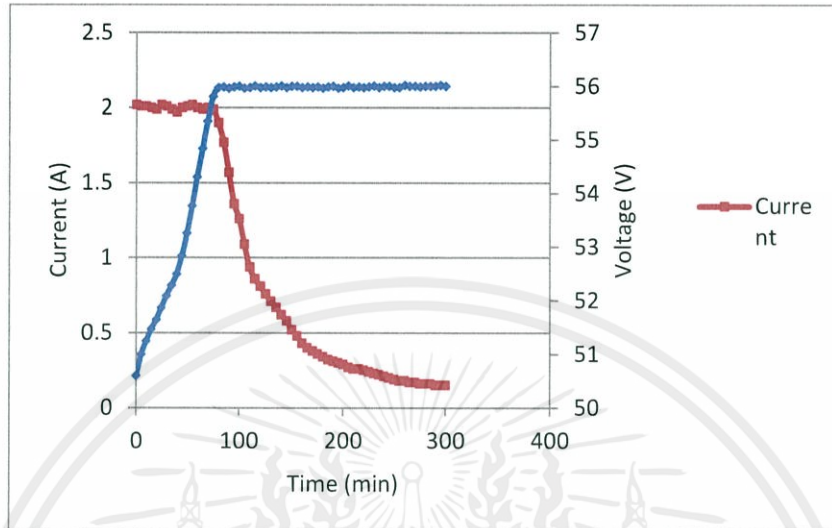
รูปที่ 5.4 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่

5.2.2 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบฟลัส

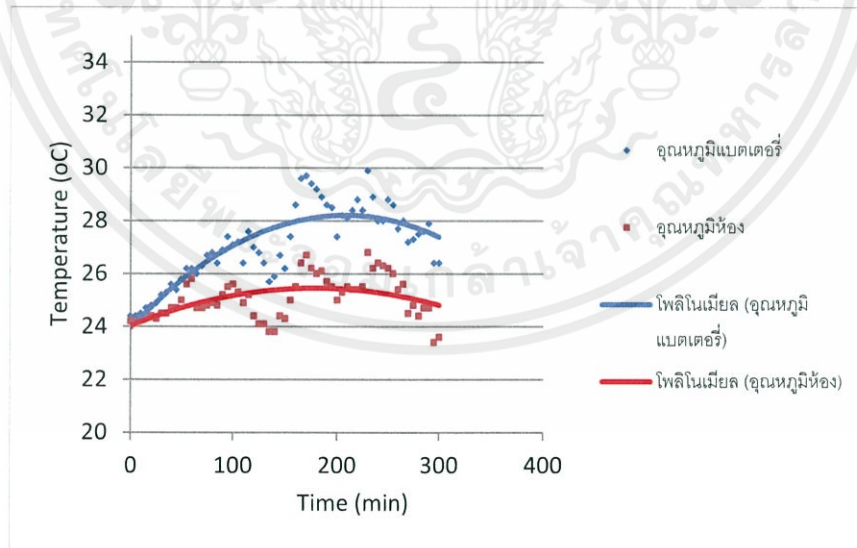


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนที่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอื้ออำนวยให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.5 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบฟลัส
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

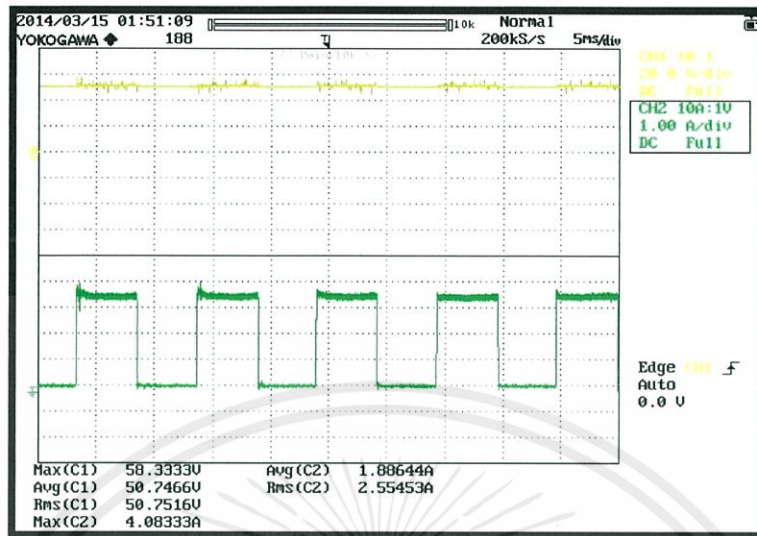
5.2.2.1 การทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5



รูปที่ 5.6 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

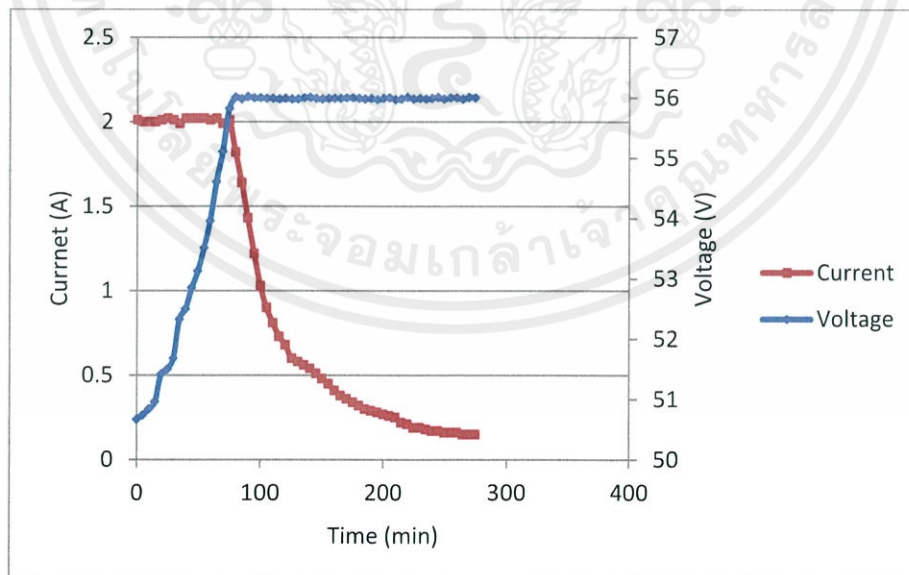


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.7 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีก (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์) ที่มีการนำไปใช้



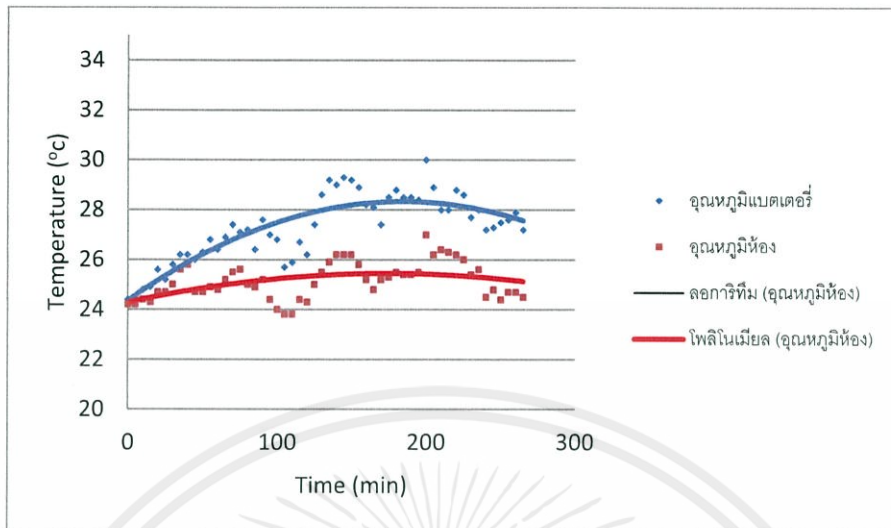
รูปที่ 5.8 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

5.2.2.2 การทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75

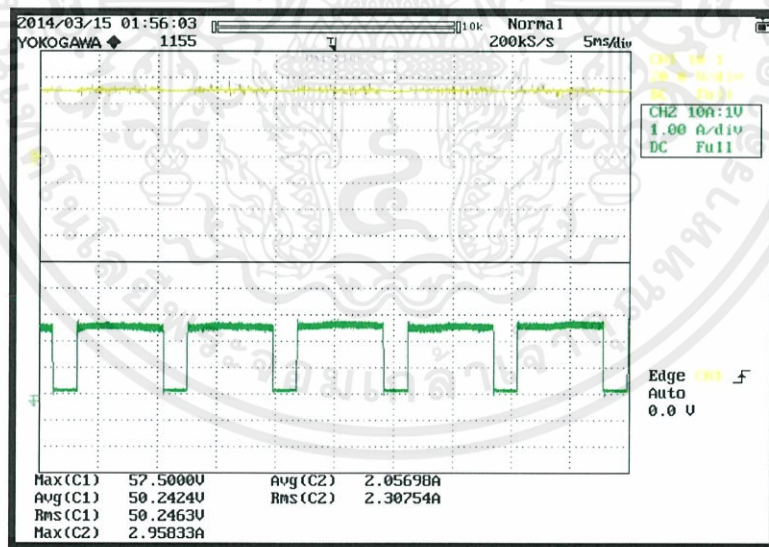


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 5.9 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



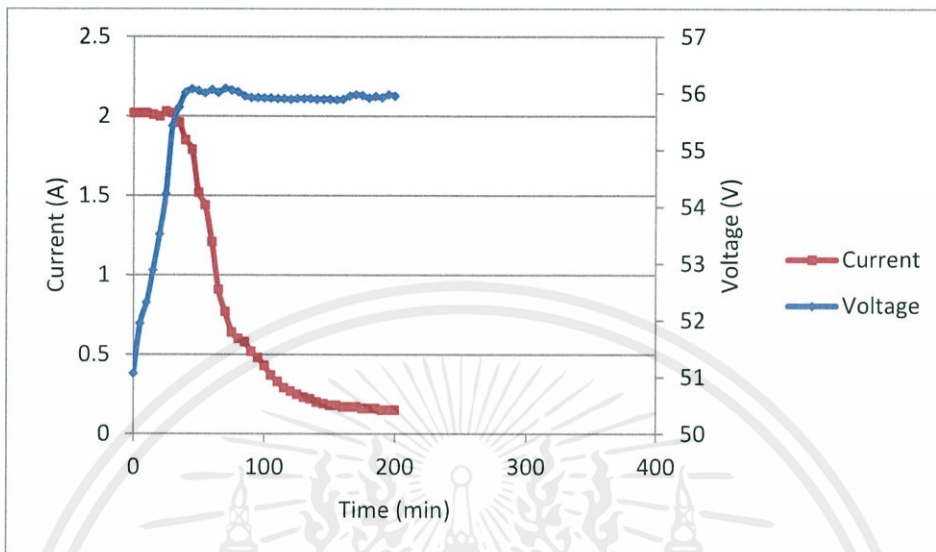
รูปที่ 5.10 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ
(ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



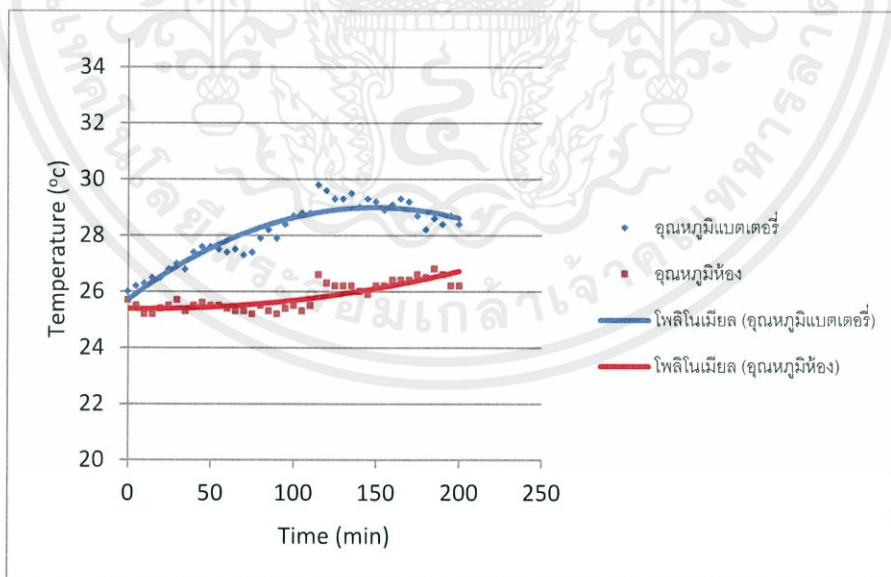
รูปที่ 5.11 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่
(ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 การทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ที่ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75

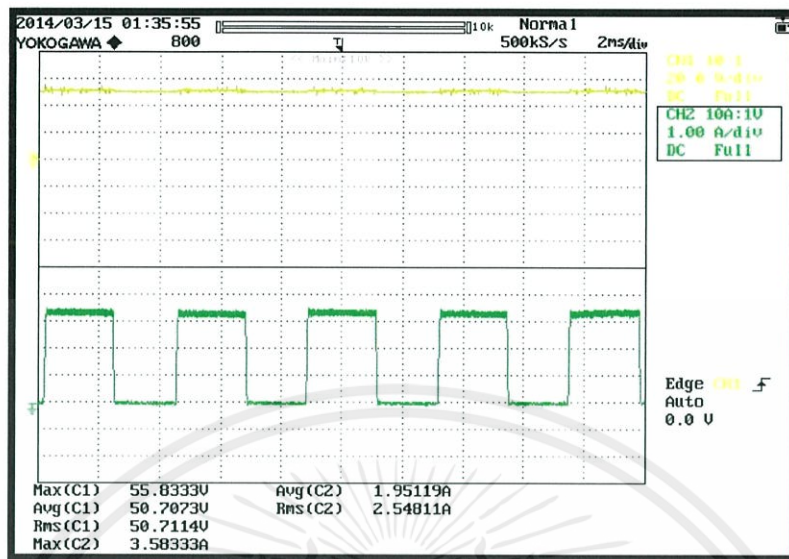


รูปที่ 5.12 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ (ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



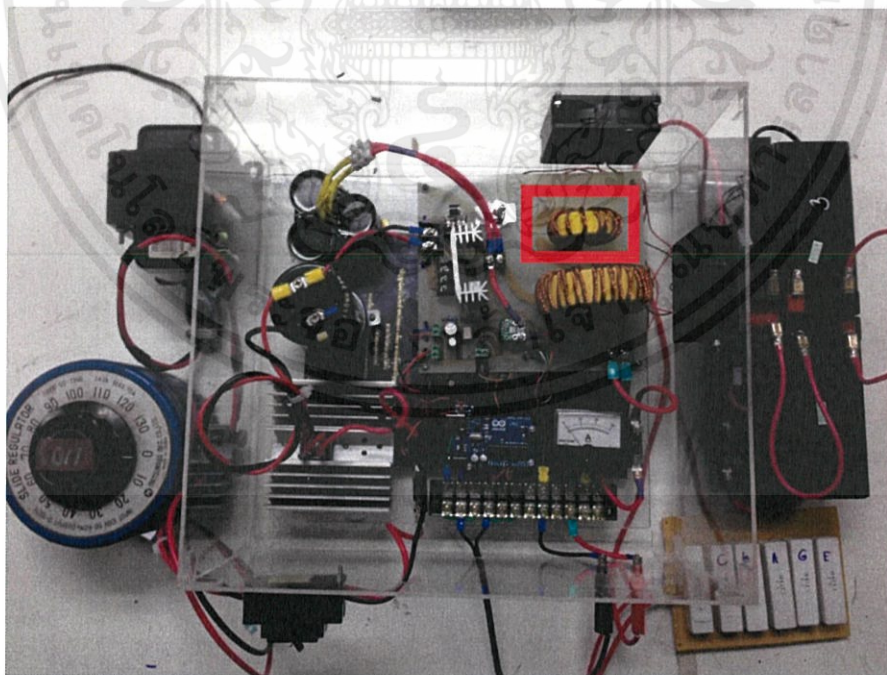
รูปที่ 5.13 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ (ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิใช่ให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผลตบแต่งนโยบายและต้องอยู่ใต้อาณัติของเจ้าหน้าที่ทุกคนที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่
(ความถี่ 200 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

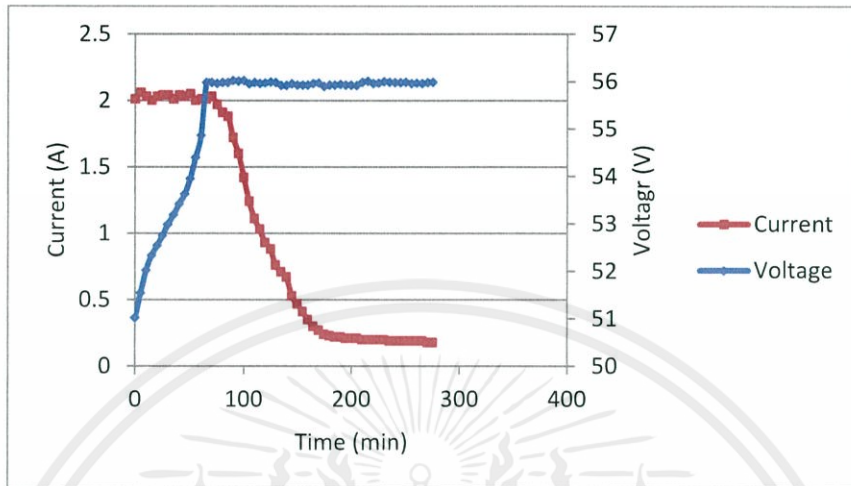
5.2.3 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ



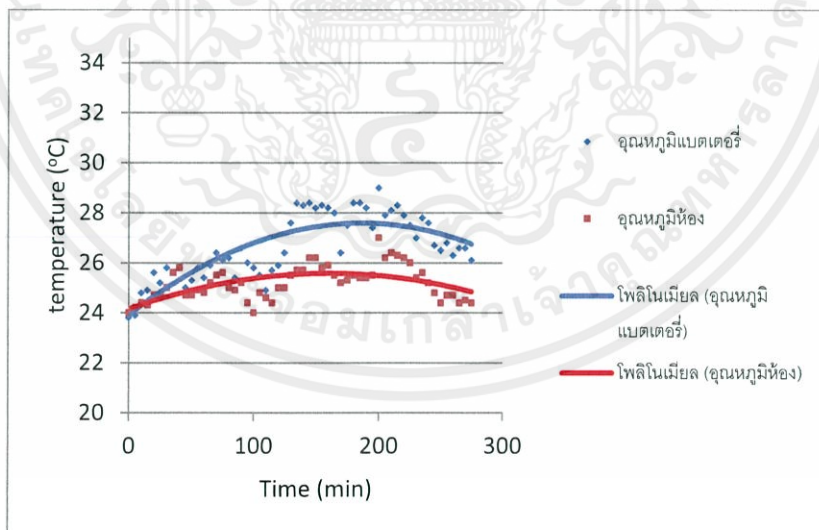
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.15 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ

5.2.3.1 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5

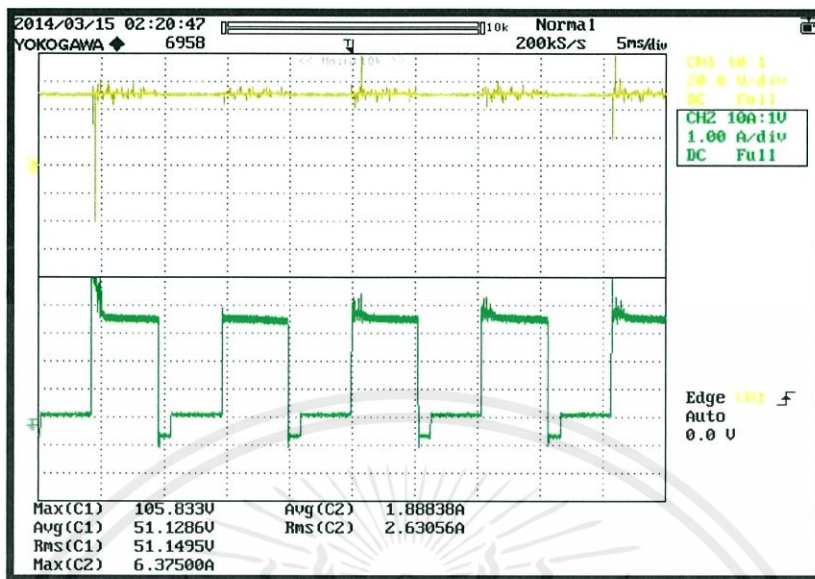


รูปที่ 5.16 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



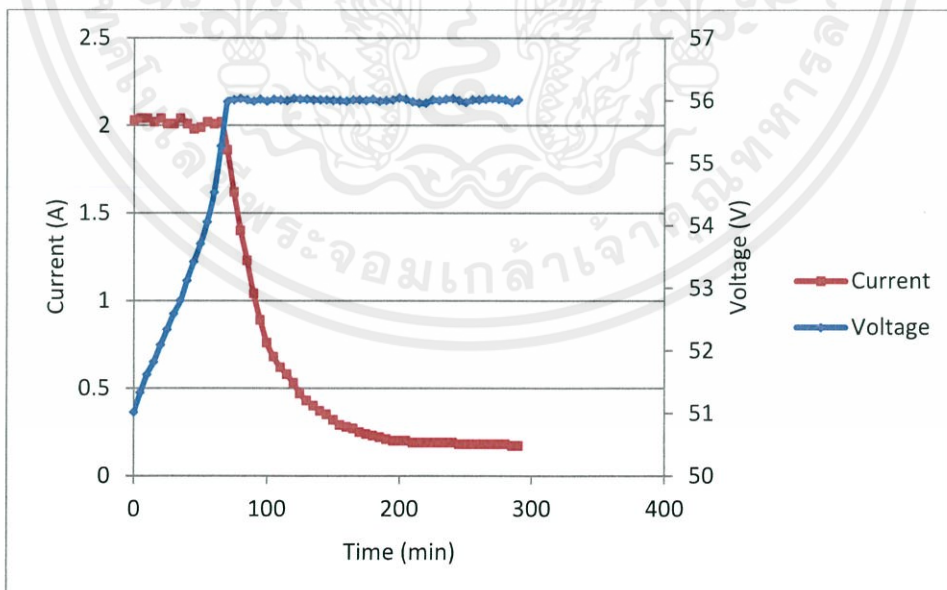
รูปที่ 5.17 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบบมีการดิสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่ไปประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



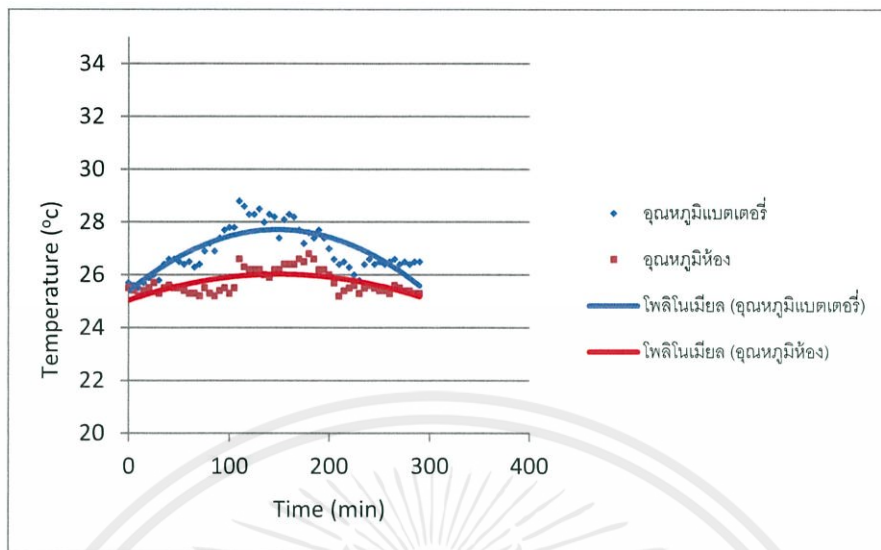
รูปที่ 5.18 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

5.2.3.2 ผลการทดลองอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จ ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75

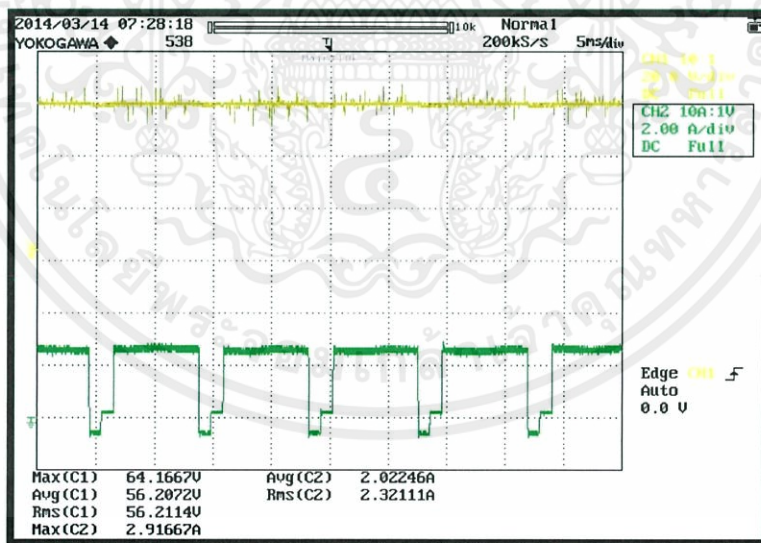


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 5.19 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์แบบมีการดิสชาร์จที่มีการนำไปใช้ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



รูปที่ 5.20 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบบมีการดีสชาร์จ (ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)



รูปที่ 5.21 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ และ กระแสชาร์จแบตเตอรี่

(ความถี่ 100 Hz และ Duty Cycle = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบต่างๆ

Condition		Temperature	Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle		
100	0.5	3.2	270
100	0.75	3.3	240
200	0.75	3.5	200
CCCV		3.3	300

ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบพัลส์แบบมีดิสชาร์จ

Condition		Temperature	Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle		
100	0.5	2.1	270
100	0.75	1.8	260

5.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่ระหว่างแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จและแบบพัลส์และพัลส์ดิสชาร์จ

เปรียบเทียบผลของการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างวิธีการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จ และการชาร์จแบบพัลส์ ให้ได้ผลดีที่สุด ต้องหารูปแบบการชาร์จที่เหมาะสม จากการทดลองจะเลือกใช้ความถี่เท่ากับ 100 Hz, 200 Hz และ ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.5 และ 0.75 เมื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ 200 Hz โดยการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 0.5 และ 0.75

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบจำกัดกระแสชาร์จและแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ความถี่ 100 Hz

Condition		Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle	
100	0.5	270
100	0.75	240
CCCV		300

จากตารางที่ 5.3 พบว่าการชาร์จแบบพัลส์มีระยะเวลาการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบจำกัดกระแสชาร์จและการชาร์จแบบพัลส์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.75 มีระยะเวลาการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบพัลส์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.5

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวตี้ไซเคิลที่ 0.75

Condition		Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle	
100	0.75	240
200	0.75	200

จากตารางที่ 5.4 พบว่าการชาร์จแบบพัลส์ที่ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.75 ที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ มีระยะเวลาการชาร์จน้อยกว่าความถี่ 100 เฮิรตซ์ ที่ดิวตี้ไซเคิลเท่ากัน

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์แบบดิสชาร์จที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวตี้ไซเคิลที่ 0.75

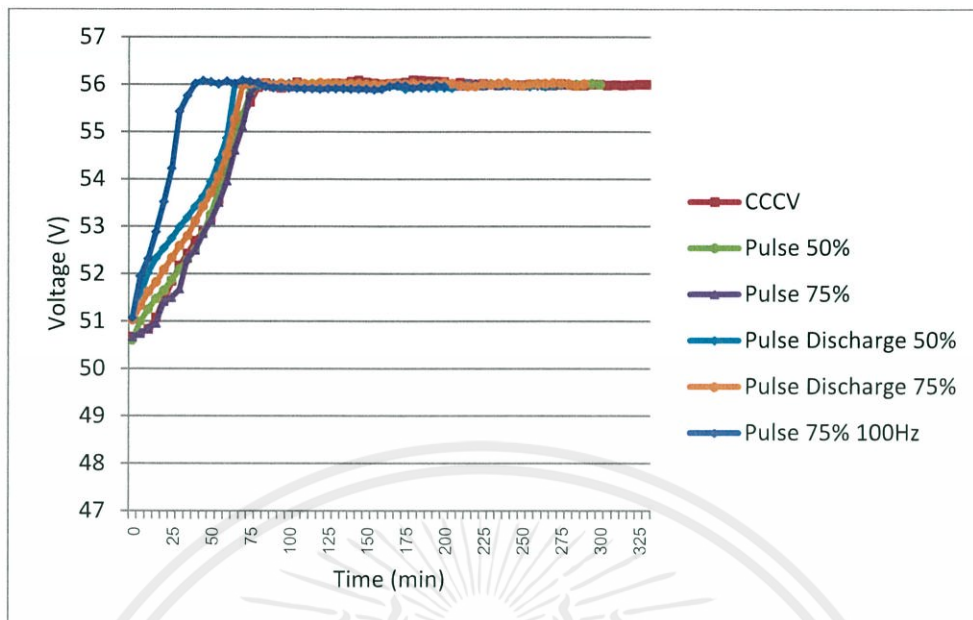
Condition		Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle	
100	0.5	270
100	0.75	260

จากตารางที่ 5.5 พบว่าการชาร์จแบบพัลส์ที่ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.75 ที่ความถี่ 100 Hz มีระยะเวลาการชาร์จน้อยกว่าความถี่ 0.5 ที่ดิวตี้ไซเคิลเท่ากัน

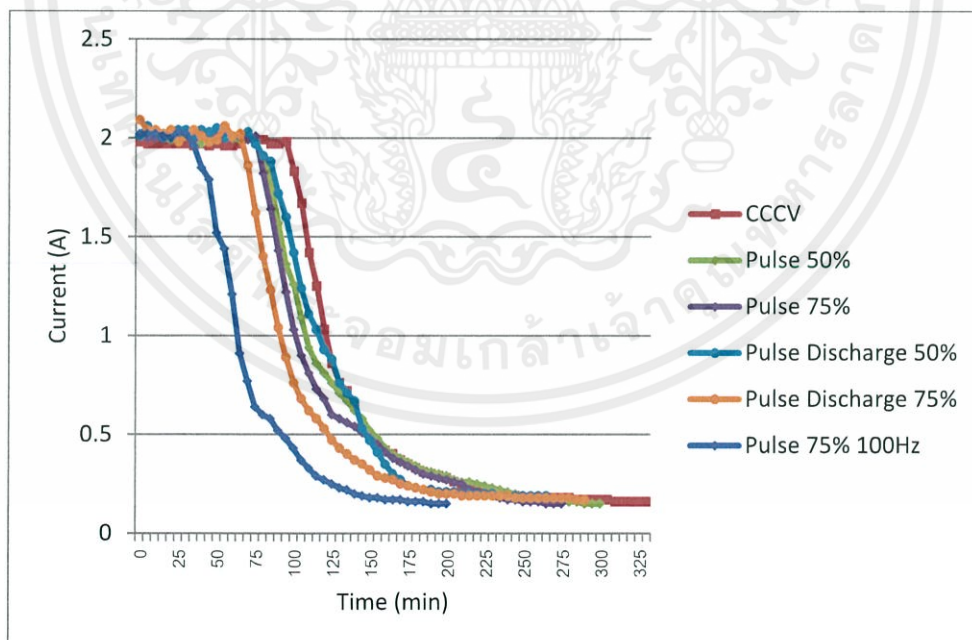
ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการชาร์จแบบพัลส์แบบดิสชาร์จที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์ที่ดิวตี้ไซเคิลที่ 0.75

Condition			Time (Minutes)
	Frequency (Hz)	Duty Cycle	
Pulse	100	0.75	240
Pulse Discharge	100	0.75	260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จากตารางที่ 5.6 พบว่าการชาร์จแบบพัลส์มีระยะเวลาการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบพัลส์
แบบมีการดิสชาร์จ ที่ความถี่ 100 Hz และดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.75



รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จระหว่างแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จและการชาร์จแบบพัลส์



รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จระหว่างแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จและการชาร์จแบบพัลส์

5.4 บทสรุป

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การชาร์จแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงวิธีการชาร์จเป็นหลัก และปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องของ อุณหภูมิขณะการชาร์จ ปริมาณกระแสที่ใช้ชาร์จ สำหรับการชาร์จแบบพัลส์ยังต้องคำนึงถึงค่าความถี่ และคาบเวลาของการชาร์จอีกด้วย ในบทนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยและองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

จากการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถยนต์ไฮบริดที่ต้องการระยะเวลาการชาร์จที่เหมาะสมที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการชาร์จแบบแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จกับการชาร์จแบบพัลส์ สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 7.5 แอมป์ ชั่วโมง พบว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ด้วยความถี่ในการชาร์จ 200 เฮิร์ต และดิวตี้ไซเคิล 0.75 สามารถช่วยลดระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ลงได้ และอุณหภูมิขณะทำการชาร์จต่ำกว่า โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ จะเห็นได้ว่าการชาร์จแบบพัลส์เหมาะกับการชาร์จในสถานการณ์ที่ต้องการความรวดเร็วในการใช้งาน

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดลองทดลองงานวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวังต่อไปนี้

1. การอัดประจุแบตเตอรี่ควรควบคุมกระแสที่เข้าแบตเตอรี่ไม่ควรเกินคุณสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละตัว
2. ควรมีระบบระบายความร้อนที่ดี เนื่องจากการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลานาน หากระบบระบายความร้อนไม่ดี อาจเกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ได้
3. ควรตรวจสอบสัญญาณที่ออกจากชุดสัญญาณขับเคลื่อนให้ถูกต้องก่อนทำการชาร์จแบตเตอรี่
4. ควรเริ่มการทำงานของส่วนวงจรควบคุมก่อนเพื่อป้องกันการลัดวงจรที่มีโอกาสเกิดขึ้น อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

6.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ได้ดังนี้

1. สำหรับการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ สามารถทำให้มีการควบคุมแบบจ่ายพลังงานคืนสู่ระบบได้
2. การทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยใช้หลักการ DWPC (Duty-Vary Voltage Pulse Charge) ซึ่งสามารถหาค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่สุดขณะทำการชาร์จได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

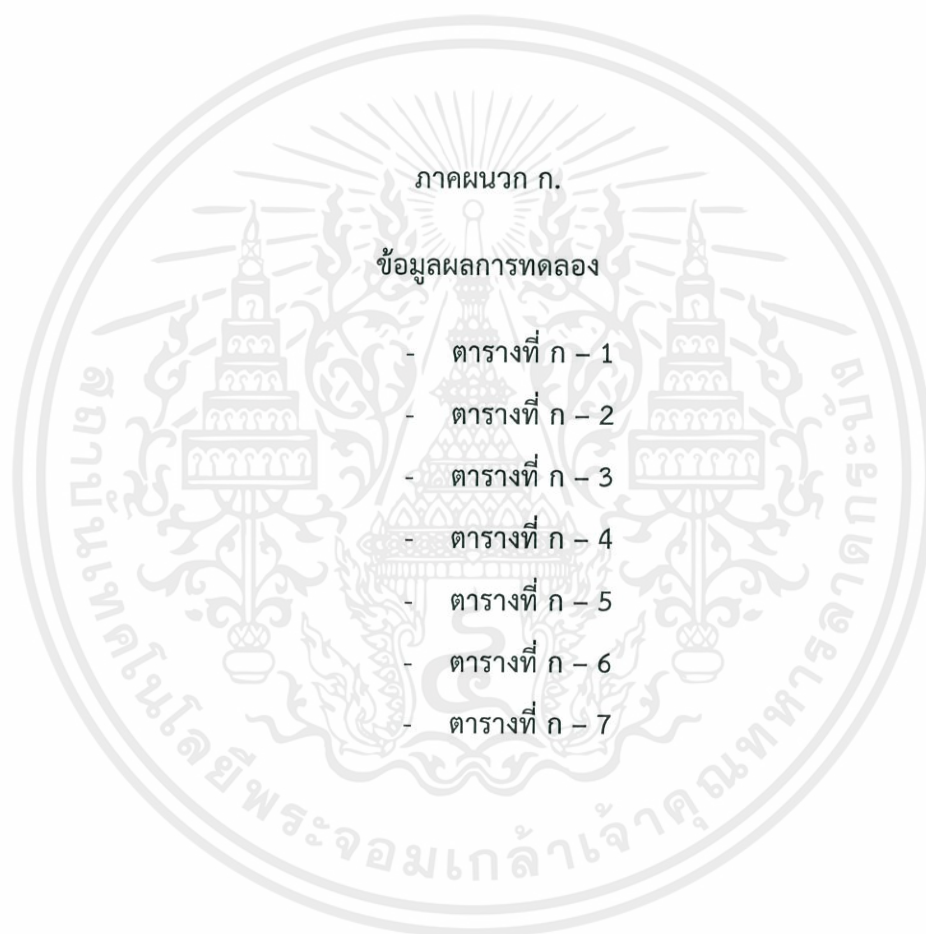
- [1] Hiram Gu, T. V. Nguyen, Ralph E. White “A Mathematical Model of a Lead-Acid Cell : Discharge, Rest, and Charge” Journal of the Electrochemical Society, 1987, pp. 2953-2960
- [2] Richard C. Copeaand, Yury Podrazhanskyb “The Art of Battery Charging” 1999 IEEE, pp. 233-235
- [3] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์ “Power Electronics” คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] Hajimu Ikeda 1, Shigeyuki Minami 2, Song JieHou 3, Yoichiro Onishi 4, and Akiya Kozawa 5 “Nobel High Current Pulse Charging Method for Prolongation of Lead-acid Batteries” Journal of Asian Electric Vehicles, Volume 3, Number 1, pp. 681-68, June. 2005.
- [5] Song JieHou 1, Yoichiro Onishi 2, Shigeyuki Minami 3, Hajimu Ikeda 4, Michio Sugawara 5, and Akiya Kozawa 6 “Charging and Discharging Method of Lead Acid Batteries Based on Internal Voltage Control” Journal of Asian Electric Vehicles, Volume 3, Number 1, pp. 733-737, June. 2005.
- [6] Hung-l. Hsieh,1 Sheng-Fang Shih,1 Jen-Hao Hsieh,2 and Chi-Hao Wang2 “Photovoltaic High-Frequency Pulse Charger for Lead-Acid Battery under Maximum Power Point Tracking” Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume 2013, Article ID 687693, pp. 1-8
- [7] Gwo Jen Chiou, Hsin Yu Lin, Tsung Cheng Chen, JengYue Chen “A Single-Phase Full-Bridge Charger with Regeneration and Adjustable Power Factor” National Formosa University No. 64 , PEDS2009, pp. 1228-1232
- [8] Chang-Hua Lin , Hom-Wei Liu , Chien-Ming Wang “Design and Implementation of a Bi-directional Power Converter for Electric Bike with Charging Feature” IEEE pp. 538-543
- [9] 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

- [10] Liang-Rui Chen, *Member, IEEE* “Design of Duty-Varied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response” *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL. 56, NO. 2, pp. 480-487, February. 2009.
- [11] Jun Li, Edward Murphy, Jack Winnick, Paul A. Kohl “The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries” *Journal of Power Sources* 102 (2001),pp. 302–309
- [12] นายพงศ์พัฒน์เรื่อนทราย ,นายพิรชา วิจิตรศิริ, นายพิษณุ บัวหิน และนายภานุพงษ์ บุรีวัน “วงจรแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฮบริดจ์ประเภทเสียบปลั๊ก”ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553
- [13] นายชาคริต ทรัพย์เอนกนันต์, นายเชิดศักดิ์ ยันตะบุศย์, นายฐิติพงษ์ พองวิฑู “เครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก” ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554
- [14] Chih-Chiang Hua , Ching-Hsiang Hsu “Implementation of a Regenerative Pulse and Equalization Battery Charger Using a DSP” *IEEE, PEDS*, 2005, pp. 955-959
- [15] 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*, pp. 437-442
- [16] 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”, *IEEE*, pp. 986-990
- [17] Sung Chul Kim, Won Hi Hong “Fast-charging of a lead–acid cell: effect of rest period and depolarization pulse” *Journal of Power Sources* 89, 2000,pp. 93–101
- [18] “Lecture: Lead-acid batteries” ECEN 4517/5517 [online] Available: <http://ecee.colorado.edu/~ecen4517/materials/Battery.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 1 คุณสมบัติการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์ด้วยกระแสคงที่ 2 แอมป์

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	50.67	1.98	24.2	25.1	0.9
5	50.74	1.97	24.4	25.2	0.8
10	50.83	1.97	24.4	25.5	1.1
15	51.07	1.97	24.5	25.7	1.2
20	51.53	1.97	25	26.5	1.5
25	51.67	1.97	25.5	26.4	0.9
30	51.89	1.97	25.2	26.3	1.1
35	52.28	1.96	25.2	26.3	1.1
40	52.55	1.97	25.4	26.5	1.1
45	52.84	1.96	25.5	26.7	1.2
50	53.13	1.97	25.7	26.8	1.1
55	53.39	1.96	25.3	26.6	1.3
60	53.62	1.96	25.5	27.2	1.7
65	53.84	1.97	25.6	27.4	1.8
70	54.11	2	25.5	27.4	1.9
75	54.42	1.98	25.5	27.3	1.8
80	54.76	1.99	25.4	27.2	1.8
85	54.99	1.97	25.3	27.3	2
90	55.32	1.97	25.3	27.1	1.8
95	55.64	1.99	25.2	27.2	2
100	55.95	1.83	25.5	27.7	2.2
105	56.04	1.67	25.3	28	2.7
110	55.97	1.42	25.2	27.7	2.5
115	55.98	1.25	25.4	28.2	2.8
120	55.98	1.03	25.5	28.5	3
125	56	0.86	25.3	28.3	3
130	56.02	0.76	25.2	27.9	2.7

135	56.01	0.72	25.5	28.1	2.6
140	56.05	0.64	25.3	28.3	3
145	56.08	0.56	25.3	28.2	2.9
150	56.04	0.5	25	27.7	2.7
155	56.02	0.45	25.1	27.7	2.6
160	56	0.42	25.5	28.2	2.7
165	56.01	0.4	25.3	28.6	3.3
170	56.02	0.37	26.2	29	2.8
175	56.04	0.35	26.2	28.7	2.5
180	56.09	0.33	26.4	28.9	2.5
185	56.08	0.31	26.6	29.1	2.5
190	56.07	0.3	26.4	29	2.6
195	56.06	0.29	26.2	28.5	2.3
200	56.05	0.28	26	28	2
205	55.99	0.26	26.1	28.4	2.3
210	56.03	0.24	26	28.2	2.2
215	56.01	0.22	26.4	28.5	2.1
220	56	0.21	26.2	28.2	2
225	56.01	0.2	26	27.8	1.8
230	55.99	0.2	26.2	28.3	2.1
235	55.98	0.19	26.4	28.7	2.3
240	55.99	0.19	26.4	29.1	2.7
245	55.99	0.19	26.4	29	2.6
250	55.99	0.18	26.6	29.5	2.9
255	56	0.18	25.8	28.3	2.5
260	56	0.18	25.3	28.3	3
265	55.99	0.18	25.8	28.6	2.8
270	55.98	0.18	25.2	28.2	3
275	56.01	0.18	25.4	27.8	2.4
280	55.99	0.18	25.2	27.8	2.6
285	55.98	0.17	26.4	28.8	2.4

290	55.98	0.17	26.3	28.8	2.5
295	56	0.17	26.2	29.4	3.2
300	56	0.17	26	29.2	3.2
305	55.98	0.17	25.4	28.5	3.1
310	55.99	0.16	25.6	28.8	3.2
315	55.98	0.16	25.5	28	2.5
320	55.99	0.16	25.4	28.1	2.7
325	56	0.16	25.6	28.3	2.7
330	56	0.16	25.7	28.4	2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 2 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	50.6	2.02	24.4	24.2	0.2
5	51	2.01	24.4	24.2	0.2
10	51.25	2.01	24.5	24.3	0.2
15	51.47	2	24.7	24.4	0.3
20	51.65	1.99	24.8	24.4	0.4
25	51.87	2.02	24.9	24.3	0.6
30	52.09	2.01	25.2	24.5	0.7
35	52.29	1.99	25.3	24.5	0.8
40	52.5	1.97	25.6	24.7	0.9
45	52.84	2	25.4	24.7	0.7
50	53.26	2.01	25.8	25	0.8
55	53.77	2.02	26.2	25.6	0.6
60	54.31	2	26.2	25.8	0.4
65	54.84	1.99	26	24.7	1.3
70	55.35	2	26.3	24.7	1.6
75	55.81	1.99	26.7	24.8	1.9
80	55.98	1.9	26.8	24.9	1.9
85	55.99	1.77	26.4	24.8	1.6
90	55.97	1.57	26.9	25.2	1.7
95	55.99	1.36	27.4	25.5	1.9
100	56	1.26	27.1	25.6	1.5
105	55.97	1.09	27.2	25.3	1.9
110	55.98	0.94	26.4	24.9	1.5
115	56.01	0.86	27.6	25.2	2.4
120	55.98	0.81	27	24.4	2.6
125	55.99	0.76	26.8	24.1	2.7

130	55.98	0.71	26.4	24.1	2.3
135	55.99	0.67	25.7	23.8	1.9
140	56.01	0.62	25.9	23.8	2.1
145	55.98	0.58	26.7	24.4	2.3
150	56	0.52	26.2	24.3	1.9
155	56	0.48	27.4	25	2.4
160	55.98	0.43	28.6	25.5	3.1
165	55.99	0.4	29.6	26.4	3.2
170	55.98	0.38	29.7	26.7	3
175	55.99	0.36	29.4	26.2	3.2
180	55.97	0.34	29.2	26	3.2
185	55.99	0.32	28.9	26.1	2.8
190	56	0.31	28.6	25.7	2.9
195	55.97	0.3	28.5	25.5	3
200	55.98	0.29	27.4	25	2.4
205	56.01	0.27	28.2	25.3	2.9
210	55.98	0.26	28.1	25.5	2.6
215	55.99	0.26	28.4	25.4	3
220	55.98	0.25	28.8	25.4	3.4
225	55.99	0.24	28.4	25.5	2.9
230	56.01	0.23	29.9	26.8	3.1
235	55.98	0.22	28.9	26.2	2.7
240	56	0.21	28	26.4	1.6
245	56	0.2	28	26.3	1.7
250	55.98	0.19	28.8	26.2	2.6
255	55.98	0.18	28.6	26	2.6
260	56.02	0.18	27.7	25.4	2.3
265	56	0.17	28	25.6	2.4
270	56	0.17	27.2	24.5	2.7
275	55.99	0.16	27.3	24.8	2.5
280	56	0.16	27.5	24.4	3.1

285	56	0.16	27.6	24.7	2.9
290	56	0.15	27.9	24.7	3.2
295	56.02	0.15	26.4	23.4	3
300	56	0.15	26.4	23.6	2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 3 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	50.67	2.01	24.4	24.2	0.2
5	50.74	2	24.4	24.2	0.2
10	50.84	2	24.8	24.4	0.4
15	50.96	2	24.9	24.3	0.6
20	51.42	2.01	25.6	24.7	0.9
25	51.5	2.02	25.2	24.7	0.5
30	51.68	2.01	25.8	25	0.8
35	52.33	1.99	26.2	25.6	0.6
40	52.5	2.02	26.2	25.8	0.4
45	52.85	2.02	26	24.7	1.3
50	53.13	2.02	26.3	24.7	1.6
55	53.51	2.02	26.8	24.9	1.9
60	53.96	2.01	26.4	24.8	1.6
65	54.61	2.02	26.9	25.2	1.7
70	55.11	1.99	27.4	25.5	1.9
75	55.82	2.01	27.1	25.6	1.5
80	56.01	1.82	27.2	25	2.2
85	55.98	1.64	26.4	24.9	1.5
90	56.02	1.43	27.6	25.2	2.4
95	56	1.22	27	24.4	2.6
100	56	1.03	26.8	24	2.8
105	55.99	0.9	25.7	23.8	1.9
110	55.99	0.81	25.9	23.8	2.1
115	55.98	0.73	26.7	24.4	2.3
120	55.99	0.68	26.2	24.3	1.9
125	55.98	0.6	27.4	25	2.4

130	55.98	0.58	28.6	25.5	3.1
135	56	0.56	29.2	25.9	3.3
140	56.01	0.54	29	26.2	2.8
145	55.99	0.51	29.3	26.2	3.1
150	55.98	0.48	29.2	26.2	3
155	55.99	0.45	28.9	25.8	3.1
160	55.99	0.41	28.2	25.2	3
165	55.99	0.38	28.1	24.8	3.3
170	56	0.36	27.4	25.2	2.2
175	56	0.34	28.5	25.3	3.2
180	55.99	0.32	28.8	25.5	3.3
185	55.98	0.3	28.5	25.4	3.1
190	55.99	0.29	28.5	25.4	3.1
195	55.97	0.28	28.4	25.5	2.9
200	55.99	0.27	30	27	3
205	56	0.26	28.9	26.2	2.7
210	55.97	0.25	28	26.4	1.6
215	55.98	0.22	28	26.3	1.7
220	56.01	0.21	28.8	26.2	2.6
225	55.98	0.19	28.6	26	2.6
230	55.99	0.19	27.7	25.4	2.3
235	55.98	0.18	28	25.6	2.4
240	55.99	0.17	27.2	24.5	2.7
245	56.01	0.17	27.3	24.8	2.5
250	55.98	0.16	27.5	24.4	3.1
255	56	0.16	27.6	24.7	2.9
260	56	0.16	27.9	24.7	3.2
265	55.98	0.15	27.2	24.5	2.7
270	56.01	0.15	27.5	24.4	3.1
275	56	0.15	27.6	24.7	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ทางบริษัทฯ ซึ่งเอกสารทั้งหมดนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ ถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ ถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ ถือว่าผิดกฎหมาย

ตารางที่ ก - 4 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 200 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	51.09	2	25.7	27.2	1.5
5	51.8	1.99	25.5	27	1.5
10	52	1.97	25.2	27.1	1.9
15	52.21	1.94	25.2	27.5	2.3
20	52.63	1.92	25.4	27.3	1.9
25	53.15	2.01	25.5	27.6	2.1
30	53.53	2.02	25.7	27.5	1.8
35	54.25	2.06	25.3	27.2	1.9
40	54.64	2.04	25.5	27.4	1.9
45	54.96	2.01	25.6	27.4	1.8
50	55.5	2.02	25.4	27.3	1.9
55	55.65	2.02	25.5	27.2	1.7
60	55.81	1.93	25.4	27.3	1.9
65	55.83	1.83	26.2	27.1	0.9
70	55.95	1.75	26.4	27.2	0.8
75	55.85	1.64	26.3	28	1.7
80	55.98	1.52	26.2	28.1	1.9
85	55.9	1.42	25.7	28.3	2.6
90	55.95	1.36	26.6	28.4	1.8
95	56	1.27	26.5	28.7	2.2
100	55.92	1.19	26.8	28.2	1.4
105	56	1.07	26.6	29	2.4
110	56.02	0.67	26.2	28.9	2.7
115	56.01	0.46	26.4	29.2	2.8
120	56.02	0.27	26.3	29.6	3.3
125	56	0.23	26.2	29.2	3

130	56.01	0.22	26.3	28.7	2.4
135	56.02	0.21	26.2	29	2.8
140	56	0.2	26	28.9	2.9
145	56	0.19	26.3	29.2	2.9
150	56.03	0.19	26.2	29.3	3.1
155	56	0.19	26.2	29.6	3.4
160	56.01	0.18	26.4	29.2	2.8
165	56	0.18	26.4	28.9	2.5
170	56	0.18	26.4	29.2	2.8
175	56.09	0.17	26.6	29.6	3
180	56.1	0.17	26.5	29.2	2.7
185	56.1	0.17	25.5	28.9	3.4
190	56	0.16	25.4	27.9	2.5
195	56	0.16	26	28	2
200	56	0.16	26.3	27.2	0.9
205	56	0.15	26.8	28.4	1.6
210	56	0.15	26.4	27.9	1.5
215	56	0.15	26.3	28.5	2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 5 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์
(ความถี่ 200 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	51.07	2.02	26	25.7	0.3
5	51.95	2.02	26.2	25.5	0.7
10	52.32	2.02	26.3	25.2	1.1
15	52.89	2.01	26.5	25.2	1.3
20	53.52	2	26.5	25.4	1.1
25	54.23	2.03	26.8	25.5	1.3
30	55.43	2.02	27	25.7	1.3
35	55.76	1.96	26.8	25.3	1.5
40	56.02	1.85	27.4	25.5	1.9
45	56.08	1.79	27.6	25.6	2
50	56.05	1.52	27.6	25.5	2.1
55	56.01	1.44	27.5	25.5	2
60	56.07	1.21	27.4	25.4	2
65	56.02	0.91	27.5	25.3	2.2
70	56.09	0.77	27.3	25.3	2
75	56.06	0.64	27.4	25.2	2.2
80	56.03	0.6	27.9	25.5	2.4
85	55.96	0.58	28.2	25.3	2.9
90	55.93	0.52	27.9	25.2	2.7
95	55.93	0.48	28.4	25.4	3
100	55.92	0.43	28.7	25.5	3.2
105	55.92	0.37	28.8	25.3	3.5
110	55.91	0.33	28.8	25.5	3.3
115	55.91	0.29	29.8	26.6	3.2
120	55.9	0.27	29.6	26.3	3.3
125	55.91	0.25	29.3	26.2	3.1

130	55.91	0.23	29.3	26.2	3.1
135	55.91	0.22	29.5	26.2	3.3
140	55.9	0.2	29	26	3
145	55.9	0.19	29.3	25.9	3.4
150	55.9	0.18	29.2	26.2	3
155	55.89	0.18	28.9	26.2	2.7
160	55.9	0.17	29.1	26.4	2.7
165	55.96	0.17	29.3	26.4	2.9
170	55.98	0.17	29.2	26.4	2.8
175	55.97	0.16	28.7	26.6	2.1
180	55.92	0.16	28.2	26.5	1.7
185	55.95	0.16	28.6	26.8	1.8
190	55.93	0.15	28.4	26.6	1.8
195	55.98	0.15	28.7	26.2	2.5
200	55.96	0.15	28.4	26.2	2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 6 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ดีซิสชาร์จ
(ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.5 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	51.02	2.01	24	23.8	0.2
5	51.54	2.06	24.2	23.9	0.3
10	52.02	2.03	24.8	24.4	0.4
15	52.33	2	24.9	24.3	0.6
20	52.54	2.03	25.6	24.7	0.9
25	52.75	2.04	25.2	24.7	0.5
30	52.99	2.04	25.8	25	0.8
35	53.19	2.01	25.6	25.6	0
40	53.42	2.04	25.8	25.8	0
45	53.63	2.03	25	24.7	0.3
50	53.95	2.05	25.3	24.7	0.6
55	54.4	2	25.8	24.9	0.9
60	54.87	2.01	25.4	24.8	0.6
65	55.98	2.01	25.9	25.2	0.7
70	55.98	2.03	26.4	25.5	0.9
75	55.96	1.97	26.1	25.6	0.5
80	55.98	1.91	26.2	25	1.2
85	55.98	1.88	25.4	24.9	0.5
90	56.02	1.72	26.6	25.2	1.4
95	56.01	1.6	26	24.4	1.6
100	56.02	1.42	25.8	24	1.8
105	55.95	1.24	25.5	24.8	0.7
110	55.98	1.11	24.9	24.6	0.3
115	55.96	1.03	25.7	24.4	1.3
120	55.97	0.93	25.9	25	0.9
125	55.99	0.88	26.4	25	1.4

130	55.98	0.76	27.6	25.5	2.1
135	55.92	0.71	28.4	25.7	2.7
140	55.92	0.67	28.3	25.7	2.6
145	55.95	0.53	28.4	26.2	2.2
150	55.93	0.47	28.2	26.2	2
155	55.93	0.41	28.3	25.8	2.5
160	55.93	0.35	28.2	25.9	2.3
165	55.96	0.3	28	25.5	2.5
170	55.97	0.27	26.4	25.2	1.2
175	55.9	0.24	27.5	25.3	2.2
180	55.93	0.23	28.4	25.5	2.9
185	55.93	0.22	28.4	25.4	3
190	55.94	0.22	28.2	25.4	2.8
195	55.93	0.21	27.4	25.5	1.9
200	55.93	0.21	29	27	2
205	55.92	0.21	27.9	26.2	1.7
210	55.99	0.2	28.1	26.4	1.7
215	56.01	0.2	28.3	26.3	2
220	55.96	0.2	27.9	26.2	1.7
225	55.97	0.2	27.5	26	1.5
230	56	0.2	27	25.4	1.6
235	55.99	0.19	27.8	25.6	2.2
240	55.98	0.19	27.6	25.2	2.4
245	55.98	0.19	26.7	24.8	1.9
250	55.99	0.19	26.5	24.4	2.1
255	55.96	0.19	26.8	24.7	2.1
260	55.97	0.19	26.3	24.7	1.6
265	55.96	0.19	26.6	24.4	2.2
270	55.98	0.18	26.6	24.5	2.1
275	55.99	0.18	26.1	24.4	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษา การวิจัย และการบริการวิชาการ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม ไม่สามารถนำเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่ หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตารางที่ ก - 7 คุณลักษณะการชาร์จแบตเตอรี่ 48 โวลต์โดยการชาร์จแบบพัลส์ดีสชาร์จ
(ความถี่ 100 Hz และ Duty = 0.75 ที่กระแสชาร์จเฉลี่ย 2 แอมป์)

Time (minute)	Voltage (V)	Current (A)	Battery Temp. (°C)	Room Temp. (°C)	ΔTemp.
0	51.02	2.03	25.7	25.5	0.2
5	51.33	2.04	25.6	25.4	0.2
10	51.62	2.04	25.5	25.2	0.3
15	51.82	2.02	25.7	25.4	0.3
20	52.09	2.04	25.9	25.5	0.4
25	52.34	2.01	26	25.7	0.3
30	52.59	2.01	25.8	25.3	0.5
35	52.8	2.04	26.4	25.5	0.9
40	53.12	2.01	26.6	25.6	1
45	53.42	1.98	26.6	25.5	1.1
50	53.71	1.99	26.5	25.5	1
55	54.06	2.02	26.4	25.4	1
60	54.53	2.01	26.5	25.3	1.2
65	55.27	2.02	26.3	25.3	1
70	55.98	1.86	26.4	25.2	1.2
75	56.01	1.62	26.9	25.5	1.4
80	56.03	1.4	27.2	25.3	1.9
85	56.01	1.23	26.9	25.2	1.7
90	55.99	1.04	27.4	25.4	2
95	56.02	0.89	27.7	25.5	2.2
100	55.99	0.76	27.8	25.3	2.5
105	56.02	0.68	27.8	25.5	2.3
110	56.01	0.62	28.8	26.6	2.2
115	56	0.58	28.6	26.3	2.3
120	56.03	0.53	28.3	26.2	2.1
125	56.02	0.47	28.3	26.2	2.1

130	56.02	0.43	28.5	26.2	2.3
135	56.01	0.4	28	26	2
140	56.01	0.37	28.3	25.9	2.4
145	56.01	0.35	28.2	26.2	2
150	56	0.32	27.4	26.2	1.2
155	56	0.29	28.1	26.4	1.7
160	55.99	0.28	28.3	26.4	1.9
165	56.01	0.27	28.2	26.4	1.8
170	56.01	0.25	27.7	26.6	1.1
175	56	0.24	27.2	26.5	0.7
180	56.02	0.23	27.6	26.8	0.8
185	55.99	0.22	27.4	26.6	0.8
190	56	0.21	27.7	26.2	1.5
195	56.01	0.2	27.4	26.2	1.2
200	56.04	0.2	27	26	1
205	56.02	0.2	26.6	25.7	0.9
210	55.98	0.19	26.4	25.2	1.2
215	55.96	0.19	26.5	25.4	1.1
220	55.96	0.19	26.3	25.5	0.8
225	56.01	0.19	26	25.6	0.4
230	56	0.19	25.8	25.3	0.5
235	56.02	0.19	26.4	25.5	0.9
240	56.03	0.19	26.6	25.6	1
245	56	0.18	26.4	25.5	0.9
250	55.97	0.18	26.5	25.4	1.1
255	56.01	0.18	26.4	25.4	1
260	56.01	0.18	26.5	25.3	1.2
265	56.02	0.18	26.6	25.6	1
270	56.03	0.18	26.4	25.5	0.9
275	56.02	0.18	26.5	25.4	1.1
280	56.01	0.18	26.4	25.4	1

285	55.97	0.17	26.5	25.3	1.2
290	56.01	0.17	26.5	25.3	1.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLE

พลวิชญ์ หอมสกุล วราลี โสมชัย สุภณัฐ สมรูป สุภณิดา ยุวจิตติ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: astral_id@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยอัดประจุด้วยเทคนิคพัลส์ชาร์จ เพื่อให้อัดประจุในระยะเวลาที่รวดเร็วและมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้น เครื่องอัดประจุที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถรับแหล่งจ่ายพลังงานได้จากทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแส วงจรทอนระดับจะใช้สำหรับในการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำการอัดประจุด้วยเทคนิคพัลส์ชาร์จ ซึ่งเวลาในการชาร์จ ประสิทธิภาพ ความร้อนและอายุการใช้งานแบตเตอรี่จะได้รับการศึกษาต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

ABSTRACT

The design of battery charger for Electric Vehicle is presented in this thesis. The proposed charging technique, pulse charger, is adopted to achieve the advantages of fast charging time and long-life of battery. Both AC and DC power supplies can be fed to the developed circuit via the proper rectifier. Buck converter is adopted charge and discharge the battery performing the function of pulse charger. The performance in terms of charging time, efficiency, heat and battery life time will be investigated in the future work.

Keywords: Pulse Charger

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) ซึ่งประกอบไปด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ โครงสร้างของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่ วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงทฤษฎีของวงจรสำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ โดยคุณลักษณะของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1 สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณมากในเวลาอันสั้น โดยใช้หลักการชาร์จแบบพัลส์ (pulse) ทำให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ไม่สูงกว่าข้อควรระวังของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น

1.2 สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดัน 48 โวลต์ 7.5 แอมป์ชั่วโมง

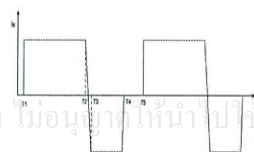
2. การชาร์จแบบพัลส์

แบตเตอรี่จะหมายถึง การนำเซลล์ไฟฟ้าหลายๆเซลล์มาต่อรวมกัน ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงาน ไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ดังนั้นเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จึงถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับระบบไฟฟ้าซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเท่านั้น

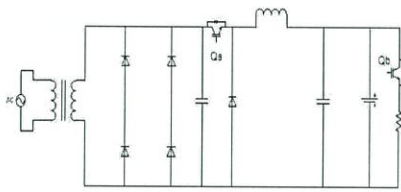
2.1 การอัดประจุแบตเตอรี่

การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging) เป็นการชาร์จโดยใช้อิมพัลส์รูปคลื่นแรงดันสามารถชาร์จได้เร็วกว่าแบบแรงดันคงที่ และใช้เวลาใกล้เคียงกับการชาร์จแบบกระแส แต่มีข้อดีกว่าแบบกระแสคงที่ เนื่องจากช่วยระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานยิ่งขึ้น [1]

วิธีการชาร์จที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน สิ่งที่สำคัญคือความต้านทานภายในต้องมีค่าต่ำ พบว่าการชาร์จด้วยกระแสคงที่ ค่าความต้านทานภายในเซลล์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการชาร์จ การชาร์จด้วยกระแสพัลส์โดยมีการดิสชาร์จ ค่าความต้านทานภายในมีค่าลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการชาร์จดีขึ้น โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ช่วง [2]



รูปที่ 1 รูปคลื่นกระแสช่วงชาร์จ 4 โหมด



รูปที่ 2 รูปวงจรสำหรับการชาร์จแบบพัลส์

2.2 ช่วงชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging mode)

ในการชาร์จแบบพัลส์ในช่วงอิมพัลส์ด้านบวก วงจรจะทำงานเหมือนวงจรทอนระดับแรงดันโดยให้สวิตช์ QA ทำงานและ QB ไม่ทำงาน โดยการปรับดิเลย์ที่สวิตช์ QA เมื่อสวิตช์ QA หยุดทำงานจะเกิด free-wheeling diode ที่ไดโอดจะเกิดการคายพลังงานออกมา โดยมีสมการแสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$Q_A \text{ on} : V_L = V_{dc} - V_R \tag{1.1}$$

$$Q_A \text{ off} : V_L = -V_B - V_R \tag{1.2}$$

อินทิเกรตค่าของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลา 1 คาบมีค่าเท่ากับ 0

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

$$\therefore V_B = D_1 V_{dc} \tag{1.4}$$

กระแสไฟฟ้าชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_2} V_L dt + i_{LT1} \tag{1.5}$$

2.3 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode)

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงานการชาร์จในช่วงนี้กระแสไฟฟ้า I_B จะลดลงเป็นศูนย์

2.4 ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode)

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้แบตเตอรี่จะเกิดการดิสชาร์จกระแสไฟฟ้าชั่วขณะและจะคายพลังงานที่สะสมอยู่ไปที่ตัวเก็บประจุของคอนเวอร์เตอร์ ช่วงการดิสชาร์จนี้วงจรจะทำงานเหมือนบูสคอนเวอร์เตอร์โดยที่สวิตช์ Q_A ไม่ทำงานและสวิตช์ Q_B ทำงาน หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะถูกเก็บสะสมไว้ในตัวเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปยังแหล่งจ่าย เมื่อสวิตช์ Q_B หยุดทำงาน จะเกิด free-wheeling diode จะคายพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำ จะได้สมการดังนี้

$$Q_B \text{ on} : V_L = V_B - V_R \tag{2.1}$$

$$Q_B \text{ off} : V_L = V_B - V_{dc} - V_R \tag{2.2}$$

อินทิเกรตค่าของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V_L) ในช่วงเวลา 1 คาบมีค่าเท่ากับ 0

นี่เป็นส่วนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่ควรคัดลอกไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\therefore V_{dc} = \frac{V_B}{1-D_2} \tag{2.4}$$

กระแสไฟฟ้าดิสชาร์จของตัวเหนี่ยวนำ

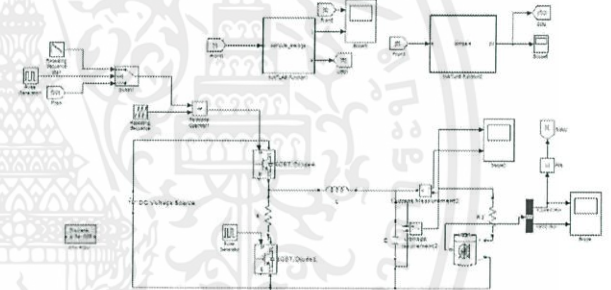
$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_3}^{T_4} V_L dt + i_{LT3} \tag{2.5}$$

2.5 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode)

ช่วงนี้สวิตช์ Q_A และ Q_B จะไม่ทำงาน กระแส I_B เป็นศูนย์ จะเกิด free-wheeling diode

3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองการชาร์จแบบพัลส์นั้น ทำเพื่อใช้ทดลองการค้นหาคิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่สุดในการชาร์จ การจำลองนี้จึงทำมาเพื่อการทดสอบใช้อัลกอริทึมการชาร์จแบบพัลส์เท่านั้น

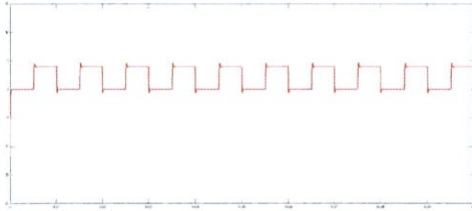


รูปที่ 3 วงจรที่ใช้ในการ Simulation เพื่อแสดงผลการทำงานของวงจร

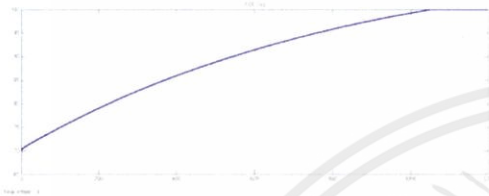
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานการชาร์จแบบพัลส์

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ซิงของ IGBT ทั้ง 2 ตัว	10Hz
Capacitance (C)	90 µF
Inductance (L)	100 µH
DC Voltage Source	155 V
แรงดันแบตเตอรี่	48 V
ความจุแบตเตอรี่	7.5 AH

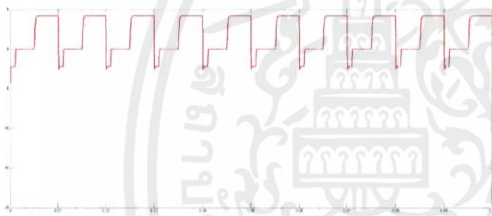
ในการจำลองการทำงานของวงจรการชาร์จแบบพัลส์ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยรับแรงดันไฟฟ้าจากดีซี (DC Voltage Source) โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรเป็นไปตามตารางที่ 1



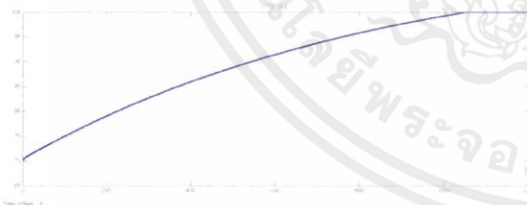
รูปที่ 4 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่แบบพัลส์ D = 50 %



รูปที่ 5 State of Charge ที่ D = 50%



รูปที่ 6 สัญญาณกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่แบบพัลส์มีดิสชาร์จ D = 50 %



รูปที่ 7 State of Charge ที่ D = 50%

รูปที่ 4 แสดงผลการจำลองการชาร์จแบตเตอรี่แบบพัลส์ ซึ่งผลที่ออกมาจะเห็นได้ว่าตรงตามที่ได้ศึกษาคือ การชาร์จจะแบ่งออกเป็น 4 โหมด คือ ช่วงชาร์จอิมพัลส์ด้านบวก ช่วงชะลออิมพัลส์ ช่วงดิสชาร์จอิมพัลส์ด้านลบ ช่วงพักอิมพัลส์ โดยการทำงานทั้ง 4 โหมดขึ้นกับการทำงานของสวิตช์ IGBT ทั้ง 2 ตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 เป็นปริมาณกระแสที่ชาร์จเข้าสู่ตัวแบตเตอรี่ ซึ่งการชาร์จแบบพัลส์สามารถชาร์จที่แรงดันสูงกว่าปกติได้ เนื่องจากมีช่วงที่พักอิมพัลส์ โดยในการชาร์จมีค่ากระแสพัลส์ด้านบวกโดยประมาณ 10 แอมป์

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการชาร์จแบบพัลส์นั้นอาศัยการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องโดยกระแสไม่ต่อเนื่องจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำได้มีการคายพลังงานออกมา

รูปที่ 3 และ 5 แสดงให้เห็นว่าวงจรการชาร์จแบบพัลส์สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จริงตามทฤษฎี

4. สรุปผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองการทำงานของวงจรการชาร์จแบบพัลส์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink จะเห็นว่าขณะที่วงจรทำการชาร์จแบตเตอรี่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จริง แต่ทั้งนี้ต้องมีการเก็บผลการทดลองเนื่องจากในการจำลองโมเดลของแบตเตอรี่ใน Matlab ไม่รองรับผลทางไฟฟ้าเคมี ดังนั้นจึงต้องพิสูจน์ว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาและการทำงานของสวิตซ์ทั้ง 2 ตัว ว่ามีความเหมาะสมอยู่ในช่วงใด รวมถึงการปรับค่าตัวที่ไซเคลของตัวสวิตซ์ด้วย โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกมาจากการจำลองมาเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการใช้งานจริง

5. ผลการทดลอง

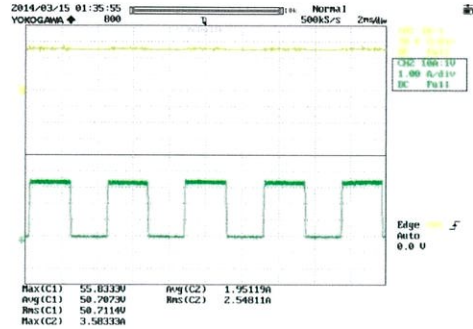
การทำทดลองเพื่อหาค่าตัวที่ไซเคลการชาร์จที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความถี่ของการชาร์จที่ 100 Hz และ 200 Hz และตัวที่ไซเคลที่การชาร์จ 0.5 และ 0.75 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าตัวที่ไซเคลของการชาร์จระหว่าง 0.5 และ 0.75 โดยคงที่ที่ความถี่ 100 Hz และเปรียบเทียบค่าความถี่ระหว่าง 100 Hz และ 200 Hz โดยคงที่ค่าตัวที่ไซเคลที่ 0.75 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

พบว่าค่าตัวที่ไซเคลของการชาร์จของกระแสที่บวกยังมีค่าสูงเข้าใกล้ 1 จะทำให้การชาร์จใช้เวลาน้อยลง และสำหรับการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ ที่ค่าคงที่ที่ตัวที่ไซเคล 0.75 พบว่าค่าความต่างของอุณหภูมิมีน้อยคือที่ความถี่ในการชาร์จต่ำ เนื่องจากที่ความถี่สูงจะทำให้มีค่าความสูญเสียผ่านตัวต้านทานภายในแบตเตอรี่มากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการชาร์จแบบมีดิสชาร์จจะพบว่าที่ความถี่เท่ากัน ที่ตัวที่ไซเคลที่มีค่าสูงกว่าจะใช้เวลาในการชาร์จน้อยกว่าเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการชาร์จแบบพัลส์จากตารางที่ 1 พบว่าการชาร์จแบบพัลส์มีดิสชาร์จจะมีค่าอุณหภูมิในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบพัลส์ปกติ เนื่องจากมีการชาร์จที่น้อยลง

ตารางที่ 2 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบต่างๆ

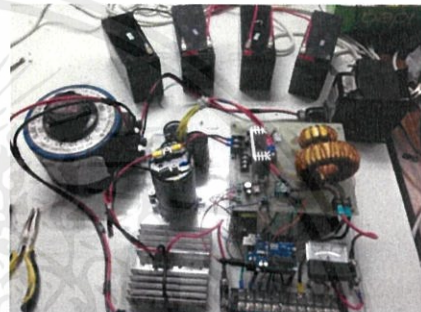
Condition		Temperature	Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle		
100	0.5	3.2	270
100	0.75	3.3	240
200	0.75	3.5	200
CCCV		3.3	300



รูปที่ 10 สัญญาณแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และกระแสช่วงลิมิตกระแสชาร์จ

ตารางที่ 3 ระยะเวลาและอุณหภูมิของการชาร์จแบบพัลส์แบบมีดิสชาร์จ

Condition		Temperature	Time (Minutes)
Frequency (Hz)	Duty Cycle		
100	0.5	2.1	270
100	0.75	1.8	260



รูปที่ 11 เครื่องชาร์จต้นแบบ

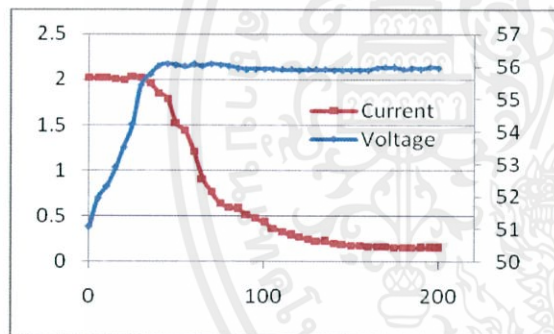
6. บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคการชาร์จแบบพัลส์ด้วยการชาร์จ 200 Hz และดิวตี้ไซเคิล 0.75 สามารถช่วยลดระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ลงได้จากการชาร์จแบบกระแสคงที่ - แรงดันคงที่ จาก 300 นาที เหลือ 200 นาที และอุณหภูมิขณะทำการชาร์จต่ำกว่า โดยมีผลต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.8 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ จะเห็นได้ว่าการชาร์จแบบพัลส์เหมาะกับการชาร์จในสถานการณ์ที่ต้องการความเร็วในการใช้งาน และการชาร์จแบบพัลส์มีดิสชาร์จจะช่วยลดอุณหภูมิในการชาร์จมากกว่าปกติซึ่งอาจใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่สำรองไว้สำหรับการสับเปลี่ยนแทนได้

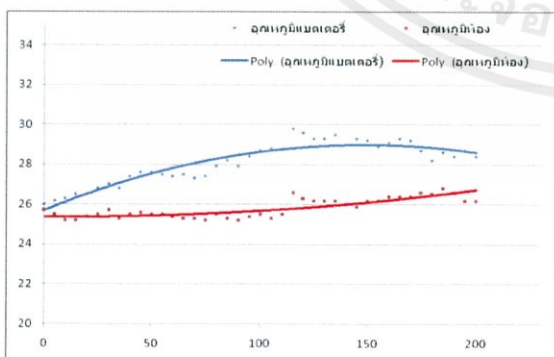
เอกสารอ้างอิง

[1] Liang-Rui Chen, Member, IEEE "Design of Duty-Varied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 56, NO. 2, pp. 480-487, February, 2009.

[2] Sung Chul Kim, Won Hi Hong "Fast-charging of a lead-acid cell: effect of rest period anddepolarization pulse" Journal of Power Sources 89, 2000,pp. 93-101



รูปที่ 8 ผลการชาร์จแบตเตอรี่ที่ความถี่ 200 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75



รูปที่ 9 อุณหภูมิการชาร์จแบตเตอรี่ที่ความถี่ 200 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า ในวารสารอื่นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแบบสิ่งเนื้อหา และ 89, 2000,pp. 93-101

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ – นามสกุล: นายพลวิชัย หอมสกุล

วัน เดือน ปี: 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่: 53/182 ซ.นวมินทร์ 105 ถ.นวมินทร์ แขวงนวมินทร์
เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230

ประวัติการศึกษา:

- ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2
- ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2556



ชื่อ – นามสกุล: นางสาวราลี โสมสัย

วัน เดือน ปี: 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535

ที่อยู่: 498 ซ.จรัญสนิทวงศ์ 32 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงศิริราช
เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

ประวัติการศึกษา:

- ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีวัดระฆัง
- ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท นันทวัน จำกัด (ไทยโอบายาซี) ระหว่างวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึง 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ - นามสกุล: นายศุภณัฐ สมรูป

วัน เดือน ปี: 8 มกราคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่: 27/108 ซ.นวมินทร์ 76 ถ.นวมินทร์ เขตบึงกุ่ม แขวงคลองกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230

ประวัติการศึกษา:

ปีการศึกษา 2552	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2
ปีการศึกษา 2556	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) กองบำรุงรักษาไฟฟ้า ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2556



ชื่อ - นามสกุล: นางสาวศุภณิดา ยูวจิตติ

วัน เดือน ปี: 5 เมษายน พ.ศ. 2534

ที่อยู่: 25 ซ.กรุงเทพ-นนท์ 44 ถ.กรุงเทพ-นนท์ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

ประวัติการศึกษา:

ปีการศึกษา 2552	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง
ปีการศึกษา 2556	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กองวิจัยคุณภาพไฟฟ้า ระหว่างวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้