

ต้นแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์
โดยวิธีกระแสคงที่แรงดันคงที่แบบกระแสพัลส์

A PROTOTYPE LITHIUM POLYMER BATTERY CHARGER USING CONSTANT
CURRENT CONSTANT VOLTAGE WITH PULSE CURRENT APPROACH



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2564
KMITL-2021-EN-M-020-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PROTOTYPE LITHIUM POLYMER BATTERY CHARGER USING CONSTANT
CURRENT CONSTANT VOLTAGE WITH PULSE CURRENT APPROACH



SUPAWAN NANTHAWET

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-EN-M-020-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ โดยวิธีกระแสคงที่แรงดันคงที่แบบกระแสพัลส์
นักศึกษา	นางสาวศุภวรรณ นันทเวช
รหัสประจำตัว	61601100
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกษ์ฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบสำหรับประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์แบบกระแสคงที่แรงดันคงที่ (Constant current constant voltage: CCCV) ด้วยกระแสพัลส์ โดยการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบนี้จะทำการออกแบบโดยคำนึงถึงความแม่นยำ และเสถียรภาพของการใช้งานอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่เป็นหลัก นอกจากนี้ยังคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานและออกแบบให้ลดการสูญเสียในวงจรอีกด้วย โดยอุปกรณ์ประจุพลังงานจะถูกทดสอบการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM และทำการทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงในห้องทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานที่สร้างขึ้นนั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีเสถียรภาพ หลังจากนั้นจะทำการศึกษาความแตกต่างของแบตเตอรี่ในด้านประสิทธิภาพ ความจุการใช้งาน ความต้านทานภายใน และเวลาการประจุและคายประจุ ระหว่างการประจุพลังงานแบบ CCCV และแบบกระแสคงที่ (Constant current: CC) โดยผลที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ว่าการประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CCCV จะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นั้นมากกว่าการประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CC ตลอดจนความจุการใช้งานด้วย ในขณะที่ความต้านทานภายในแบบแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CCCV จะมีค่าน้อยกว่าการประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CC ซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Prototype Lithium Polymer Battery Charger Using Constant Current Constant Voltage with Pulse Current Approach
Student	Miss Supawan Nanthawet
Student ID	61601100
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2021
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Piampoom Sarikprueck

Abstracts

This thesis proposes the design and build a prototype CCCV with pulse current battery charger for Lithium Polymer battery. The design of prototype battery charger is mainly focused on the accuracy and stability, which the safety and efficiency of the charger is also considered. Next, the battery charging circuit is simulated to observe its pulse current charging and charging pattern with the PSIM program before a prototype battery charger is built up. The Lithium Polymer Battery is charged by the proposed battery charger for two approaches including CCCV and CC to compare its efficiency, capacity, internal resistance, and charging/discharging time of the battery. The results shown that the CCCV charging pattern provides more efficient and capacity battery charging compared to the CC charging pattern, while internal resistance of battery from the CCCV charging pattern is less than that of the CC charging pattern. To sum up, the CCCV charging method is more suitable and can extend more battery life cycle for charging the Lithium Polymer battery compared to the CC charging method.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ และ รศ. พิชิต ล้ายอง อาจารย์ผู้ควบคุม
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ด้วยการชี้แนะ คำปรึกษาและการเอาใจใส่ช่วยเหลือแก้ปัญหาให้อุปสรรคที่เกิดขึ้น
คลี่คลายผ่านไปได้อย่างราบรื่น ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี นอกจากนี้
ขอขอบคุณ Professor Tadashi Suetsugu และ Asst. Prof. Yudai Furakawa ที่เอื้อเฟื้อสถานที่
ทำงานวิจัยนี้ สนับสนุนเงินทุนในการดำเนินงานวิจัย และให้คำปรึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยฟูกูโอกะ บริษัท Seibu Giken Co., Ltd. บริษัท Daiichi Institution
Industry Co., Ltd. จังหวัดฟูกูโอกะ และมูลนิธินักเรียนแลกเปลี่ยนแห่งฟูกูโอกะ ที่สนับสนุนเงินทุน
ในการศึกษาและทำงานวิจัยในมหาวิทยาลัยฟูกูโอกะ รวมถึงมอบโอกาสในการสร้างประสบการณ์และ
เรียนรู้วัฒนธรรมญี่ปุ่นตลอดปี พ.ศ.2563

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องจักรกลไฟฟ้า(Electrical Machine Research
Laboratory : EMRL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เป็นสถานที่ในการทำงานวิจัย เรียนรู้ และฝึกฝนทักษะที่สามารถนำไปต่อยอดได้ต่อไปใน
อนาคตได้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ
และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศุภวรรณ นันทเวช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการออกแบบ.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.2.1 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ.....	14
2.2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนโพลีเมอร์.....	14
2.2.3 การประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนโพลีเมอร์.....	17
2.2.4 การคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนโพลีเมอร์.....	19
2.2.5 ความต้านทานภายในแบตเตอรี่.....	20
2.2.6 วงจร Flyback Converter.....	21
2.2.7 วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC).....	22
บทที่ 3 การออกแบบและทดสอบวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่.....	26
3.1 การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลีเมอร์.....	26
3.1.1 การออกแบบวงจร Flyback Converter.....	27
3.1.2 การออกแบบวงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC).....	29
3.1.3 สรุปการออกแบบวงจรประจุพลังงานไฟฟ้า.....	31
3.2 การจำลองการทำงานของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลีเมอร์ด้วยโปรแกรม PSIM.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุม	32
3.2.2 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	38
3.3 การสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ	46
3.3.1 วงจรกำลัง	46
3.3.2 วงจรควบคุม	50
3.3.3 วงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่	52
3.3.4 สรุปการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ	53
บทที่ 4 การทดสอบและอภิปรายผลของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ	54
4.1 การทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่	54
4.1.1 การทดสอบการจ่ายกระแสพัลส์	55
4.1.2 การทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC	57
4.1.3 สรุปการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่	66
4.2 การประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC	66
4.2.1 การประจุพลังงานแบบ CCCV	68
4.2.2 การประจุพลังงานแบบ CC	70
4.2.3 สรุปการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	76
5.1 การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่	76
5.2 การประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ	77
5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80
ประวัติผู้เขียน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบความสามารถของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โพลีเมอร์ที่ได้รับการประจุพลังงานด้วยวิธีต่างๆ.....	13
3.1 พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ในวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่.....	31
4.1 ข้อมูลการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV จาก Oscilloscope.....	63
4.2 ข้อมูลแบตเตอรี่จากการประจุพลังงานแบบ CCCV.....	73
4.3 ข้อมูลแบตเตอรี่จากการประจุพลังงานแบบ CC.....	74
4.4 ประสิทธิภาพแบตเตอรี่และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จากการประจุพลังงาน แบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC.....	74



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลกระทบของการประจุพลังงานเกินแรงดันที่กำหนดต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่อัตราการประจุพลังงานที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิ 25 C° และมีการคายประจุพลังงานจนถึง 100% ที่อัตรา 2C จนถึงแรงดัน 1.6 V โดยนियามการสิ้นสุดอายุการใช้งานที่ 80% ของความจุ.....	7
2.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่และความหนาของ LCO ภายในแบตเตอรี่.....	8
2.3 ลักษณะทางกายภาพแบตเตอรี่เมื่อมีการประจุพลังงานจนเกินแรงดันที่กำหนดที่ค่าต่างๆ.....	9
2.4 พฤติกรรมการถดถอยของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเมื่อประจุพลังงานที่กระแส 2C ด้วยวิธีประจุพลังงานแบบ CC และ CCCV.....	10
2.5 แรงดันประจุพลังงานและแรงดันคายประจุพลังงาน ณ เวลาต่างๆ ใน 1 รอบการทำงาน ที่อัตราการประจุและคายประจุที่ 1C.....	11
2.6 ความจุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่รอบการทำงานต่างๆ เมื่อประจุพลังงานด้วยวิธีที่แตกต่างกัน.....	11
2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่และเวลาการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสตรงกับการประจุพลังงานแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่กระแสประจุพลังงาน 0.5C.....	14
2.8 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์รูปทรงต่าง.....	16
2.9 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน.....	16
2.10 ปฏิกริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน.....	17
2.11 รูปแบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์แบบ CCCV ด้วยกระแสตรง.....	19
2.12 รูปแบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์แบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์.....	19
2.13 รูปแบบของแรงดันคายประจุที่กระแสคายประจุต่างๆ.....	20
2.14 วงจรความต้านทานภายในแบตเตอรี่.....	20
2.15 วงจร Flyback Converter.....	22
2.16 วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC).....	24
2.17 วงจร HBSRC ที่โหมดการทำงานต่างๆ.....	24
2.18 รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจร HBSRC ที่โหมดการทำงานต่างๆ.....	25
3.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์.....	26
3.2 วงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 วงจรควบคุมแบบปิด.....	33
3.4 ชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit.....	33
3.5 Function block diagram คำนวณค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยจากสัญญาณพัลส์.....	33
3.6 โปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยใน C_Block_1.....	35
3.7 โปรแกรมคำนวณหารูปแบบการประจุพลังงานใน C_Block_2.....	36
3.8 Function block diagram ระบบควบคุม PI.....	37
3.9 Function block diagram สัญญาณควบคุมวงจร HBSRC.....	38
3.10 Function block diagram ระบบแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก.....	39
3.11 การจำลองวงจรประจุพลังงานแบบเตอริ์เลียมโพลิเมอร์ในโปรแกรม PSIM.....	41
3.12 ผลการจำลองการทำงานของวงจร Flyback Converter บนโปรแกรม PSIM.....	42
3.13 ผลการจำลองการทำงานของวงจร HBSRC บนโปรแกรม PSIM.....	43
3.14 สัญญาณกระแสและแรงดันจากการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบบเตอริ์เลียมโพลิเมอร์บนโปรแกรม PSIM.....	44
3.15 กระแสและแรงดันประจุพลังงานแบบเตอริ์เลียม และ State of Charge ของแบบเตอริ์ขณะประจุพลังงานแบบ CCCV จากการจำลองบนโปรแกรม PSIM.....	45
3.16 กระแสและแรงดันประจุพลังงานแบบเตอริ์เลียม และ State of Charge ของแบบเตอริ์ขณะประจุพลังงานแบบ CC จากการจำลองบนโปรแกรม PSIM.....	45
3.17 ค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง Flyback Converter.....	47
3.18 วงจรวัดค่ากระแสประจุพลังงานแบบเตอริ์.....	48
3.19 วงจรวัดค่าแรงดันประจุพลังงานแบบเตอริ์.....	49
3.20 กระแสพัลส์ประจุพลังงานแบบเตอริ์ที่ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุจอร์ไรโซแนนซ์ 7.6 uH และ 21 uF.....	49
3.21 วงจรกำลังอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอริ์.....	50
3.22 วงจรขยายสัญญาณอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอริ์.....	50
3.23 การบันทึกโค้ดลงบนชุดควบคุมดิจิทัล.....	51
3.24 ชุดขับเคลื่อนสำหรับสวิทช์ในวงจรกำลัง.....	51
3.25 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก.....	52
3.26 วงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบบเตอริ์.....	53
3.27 อุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอริ์รุ่นต้นแบบ.....	53
4.1 แบบเตอริ์ทดสอบ A.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเบไซบระเยขนดานการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ตำแหน่งการติดตั้งโพรบเพื่อวัดสัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM.....	55
4.3 สัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM แสดงการวัดคาบของกระแสพัลส์.....	56
4.4 สัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM แสดงการวัดช่วงเวลาของกระแสพัลส์แต่ละคลื่น.....	56
4.5 Flow Chart การทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC.....	59
4.6 Electronic Load สำหรับคายประจุพลังงานแบตเตอรี่.....	59
4.7 รูปแบบการประจุพลังงานแบบ CCCV เข้าสู่แบตเตอรี่ทดสอบ A.....	59
4.8 ตำแหน่งการติดตั้งโพรบเพื่อวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะทดสอบ.....	60
4.9 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ เวลาที่จุด A.....	61
4.10 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ เวลาที่จุด B.....	62
4.11 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ จุดเวลา C.....	62
4.12 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ จุดเวลา D.....	63
4.13 รูปแบบการคายประจุพลังงานด้วยกระแสตรงจากแบตเตอรี่ทดสอบ A จากการประจุพลังงานแบบ CCCV.....	64
4.14 วงจรบันทึกค่าแรงดันคายประจุพลังงาน.....	64
4.15 รูปแบบการประจุพลังงานแบบ CC เข้าสู่แบตเตอรี่ทดสอบ A.....	65
4.16 รูปแบบการคายประจุพลังงานด้วยกระแสตรงจากแบตเตอรี่ทดสอบ A จากการประจุพลังงานแบบ CC.....	65
4.17 Flow Chart การประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC.....	67
4.18 แบตเตอรี่ทดสอบ B.....	68
4.19 รูปแบบการประจุพลังงาน การพักแบตเตอรี่ และการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ B จากการประจุพลังงานแบบ CCCV.....	69
4.20 รูปแบบการประจุพลังงาน การพักแบตเตอรี่ และการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ B จากการประจุพลังงานแบบ CC.....	71
4.21 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ เวลาประจุและคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ ความจุการใช้งานแบตเตอรี่ ระหว่างการประจุพลังงานแบบ CCCV และการประจุพลังงานแบบ CC.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ซึ่งเป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานให้แก่เครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลาที่ต้องการถูกนำมาใช้งานในวัตถุประสงค์ต่างๆ อย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น ในภาคอุตสาหกรรม แบตเตอรี่ถูกนำมาใช้งานเพื่อกักเก็บพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตจากพลังงานธรรมชาติ หรือนำมาเก็บพลังงานสำรองไว้ใช้งานในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากเพื่อให้อุตสาหกรรมดำเนินต่อไปได้ นอกจากนี้ในด้านธุรกิจการคมนาคมได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนยานยนต์แทนการใช้งานเครื่องยนต์จุดระเบิดที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันส่วนแบ่งทางตลาดของยานยนต์ไฟฟ้าในส่วนของรถยนต์ส่วนตัวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก รวมถึงยานยนต์ขนส่งสาธารณะจำพวกรถไฟและเรือก็มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแหล่งพลังงานขับเคลื่อนมาเป็นแบตเตอรี่มากยิ่งขึ้น และในส่วนของประยุกต์ใช้งานแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่คนทั่วไปคุ้นเคยมากที่สุด คือการใช้งานแบตเตอรี่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันจำพวกอุปกรณ์ไฟฟ้าไร้สายที่สะดวกในการเคลื่อนที่และพกพาไปใช้งานในที่ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์พกพา และแท็บเล็ต ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก

การใช้งานแบตเตอรี่ในวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ทำให้ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา นักวิจัยได้มีการศึกษาและพัฒนาวัสดุทางเคมีภายในแบตเตอรี่รวมถึงโครงสร้างของแบตเตอรี่เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่หลากหลายชนิดในท้องตลาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมมากขึ้น เช่น แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (Primary battery) ได้แก่ แบตเตอรี่อัลคาไลน์แมงกานีส (Alkaline Manganese Battery: ALMn) แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสไดออกไซด์ (Lithium Manganese Dioxide Battery: LiMnO₂B) และ แบตเตอรี่ซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver Oxide Battery: AgOB) เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Secondary Battery) ได้แก่ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid: PbB) แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (Nickel Cadmium Battery: NiCdB) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery: LIB) และ แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium Polymer: LipoB) เป็นต้น โดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดใหม่ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำเรื่องความปลอดภัยในการใช้งาน, ความทนทาน และสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กและแบนได้ตามรูปร่างของพื้นที่บรรจุแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ที่มีขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ นาฬิกาอัจฉริยะ และหูฟังไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการพัฒนาทางด้านวัสดุทางเคมีภายในแบตเตอรี่แล้ว นักวิจัยจำนวนมากยังได้ให้ความสำคัญต่อการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่อีกด้วย เนื่องจากวิธีการประจุพลังงานแก่แบตเตอรี่ต่างๆ นั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ (Energy Efficiency) อายุการใช้งาน (Life Cycle) ความจุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Capacity Utilization or Battery Capacity) และแรงดันคายประจุด้วย (Terminal Voltage) [2-4] แต่เนื่องจากการใช้งานแบตเตอรี่ในท้องตลาดปัจจุบันที่ยังไม่เน้นความสำคัญของวิธีการประจุพลังงานมากนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่อาจเพิ่มขึ้นหากอุปกรณ์ประจุพลังงานนั้นมีความซับซ้อน ต้นทุนสูง และมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้นักวิจัยส่วนมากพยายามมุ่งเน้นการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่มีต้นทุนที่ถูก ขนาดเล็ก และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ในขณะเดียวกัน

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Charger) หลากหลายวิธีให้เลือกใช้ แต่ผู้ใช้งานจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของแรงดันใช้งาน (Battery Voltage) และกระแสประจุพลังงาน (Charging Current) ด้วย เนื่องจากแบตเตอรี่แต่ละชนิดนั้นมีปฏิกิริยาทางเคมีพื้นฐานภายในเพื่อให้ได้พลังงานที่แตกต่างกัน ทำให้ความอันตรายที่เกิดจากการประจุพลังงานที่ไม่เหมาะสมนั้น อาจส่งผลกระทบต่อแรงแก่แบตเตอรี่เอง หรือยิ่งไปกว่านั้นอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่ใช้งานแบตเตอรี่ด้วย ยกตัวอย่างเช่น การประจุพลังงานแก่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในประเทศไทยในปัจจุบันนั้น นิยมการประจุพลังงานด้วยวิธีการที่เรียกว่า เทเปอร์ (Taper current charging method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการออกแบบวงจรไฟฟ้า ทำให้ต้นทุนในการผลิตถูกกว่าวิธีการประจุพลังงานแบบอื่นๆ ด้วยวิธีการนี้แรงดันประจุพลังงานของแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่กระแสประจุพลังงานจะค่อยๆ ลดลง แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือแรงดันแบตเตอรี่เมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานนั้นมีค่าเกินกว่าแรงดันสูงสุดที่กำหนด ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง [4-5] และนอกจากนี้ยังทำให้น้ำภายในแบตเตอรี่นั้นยังระเหยได้ง่ายขึ้น เนื่องจากความร้อนภายในแบตเตอรี่ที่เกิดจากแรงดันที่สูงขึ้นนั่นเอง ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องดูแลรักษาแบตเตอรี่มากขึ้นด้วย วิธีการประจุพลังงานข้างต้นนี้หากนำไปประยุกต์ใช้งานกับแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน หรือแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมพอลิเมอร์ จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการระเบิดและลุกไหม้ได้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้เกิดแก๊สขึ้นจำนวนมากภายในแบตเตอรี่ โดยทางด้านชีวคาโทดจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ส่วนด้านชีวแอโนดจะเกิดแก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) ส่งผลให้แรงดันภายในเพิ่มมากขึ้นจนแบตเตอรี่เสียหายจนใช้งานไม่ได้อีก หรืออาจส่งผลร้ายแรงจนเกิดการลุกไหม้ได้ [5] ทำให้วิธีการประจุพลังงานแก่แบตเตอรี่ชนิดดังกล่าวถูกจำกัดให้ต้องมีการควบคุมแรงดันขณะประจุพลังงานด้วย โดยวิธีที่สามารถนำมาใช้งานกับแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ ได้แก่ การประจุพลังงานแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage: CV) กระแสคงที่ (Constant Current: CC) และกระแสคงที่แรงดันคงที่ (Constant current Constant voltage: CCCV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อสรุปที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น ปัญหาสำคัญของการพัฒนาแบตเตอรี่เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนนั้นอาจไม่ใช่การศึกษาวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่เหมาะสมอีกต่อไป เนื่องจากในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาและรับรองวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่เหมาะสมออกมามากมาย แต่ปัญหาสำคัญที่แท้จริงนั้นคือการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ใช้งานในปัจจุบันให้สอดคล้องกับวิธีการใหม่ๆ ที่ถูกศึกษามา โดยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบใหม่ที่จะเข้ามาทดแทนอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ นอกจากจะต้องช่วยเสริมการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ดีขึ้นแล้วนั้น ยังต้องเชื่อถือได้ มีความแม่นยำ และออกแบบง่ายเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตลดลงด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาข้างต้นนั้น เป้าหมายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์รุ่นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่เชื่อถือได้ มีความแม่นยำ และออกแบบง่าย โดยรูปแบบกระแสประจุพลังงานเป็นแบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์ และแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์รุ่นต้นแบบ ที่ความถี่ 12.6 kHz และ Duty Cycle 0.5 โดยออกแบบให้ค่ากระแสประจุพลังงานเฉลี่ยในช่วงประจุพลังงานแบบ CC อยู่ที่ 0.2C และแรงดันแบตเตอรี่สูงสุดหรือแรงดันแบตเตอรี่ในช่วงประจุพลังงานแบบ CV นั้นอยู่ที่ 4.2 V โดยในส่วนของวิธีการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์นั้นจะสิ้นสุดเมื่อกระแสประจุพลังงานนั้นลดลงจนถึง 1% ของความจุแบตเตอรี่ และการประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CC ด้วยกระแสพัลส์นั้นจะสิ้นสุดเมื่อแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึง 4.2 V

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากข้อสรุปจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น การประจุพลังงานด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์ที่สร้างขึ้นนั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ และลดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้ เมื่อเทียบกับการประจุพลังงานด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ นอกจากนี้อุปกรณ์ประจุพลังงานที่สร้างขึ้นยังสามารถจ่ายกระแสพัลส์ที่มีความถี่ 12.6 kHz และ Duty Cycle 0.5 ได้ รวมถึงสามารถควบคุมรูปแบบการประจุพลังงานได้ตามที่ออกแบบไว้ตลอดระยะเวลาในการประจุพลังงาน

1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการออกแบบ

อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อศึกษาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้น ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้ากำลัง วงจรควบคุม วงจรคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ และวงจรสำหรับบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการประจุพลังงานและคายประจุพลังงานเพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพ เวลาในการประจุพลังงาน และความต้านทานภายในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวงจรไฟฟ้ากำลังนั้นประกอบด้วยวงจร Flyback Converter สำหรับลดแรงดันและจ่ายแรงดันหรือกระแสที่คงที่ในช่วงของการประจุพลังงานในรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งข้อดีของวงจร Flyback Converter นั้นนอกจากจะง่ายต่อการออกแบบแล้ว วงจรยังถูกออกแบบมาเพื่อแยกส่วนของวงจรปฐมภูมิ (Input) และวงจรทุติยภูมิ (Output) ออกจากกันด้วยหม้อแปลงที่ทำหน้าที่เสมือนตัวเหนี่ยวนำภายในวงจร ทำให้ส่วนของ Output นั้นปลอดภัยจากแรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นจากทางฝั่ง Input [7] ส่วนวงจรที่ทำหน้าที่สร้างกระแสพัลส์เพื่อจ่ายให้กับแบตเตอรี่คือ วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC) ซึ่ง วงจร Series-Resonant Converter (SRC) ภายในจะต้องถูกออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดให้ทำงานในโหมด Discontinuous Current Mode (DCM) เพื่อสร้างกระแสพัลส์ให้ตรงกับจุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งข้อดีของวงจร HBSRC นี้คือสามารถสร้างกระแสพัลส์ที่แม่นยำตามความต้องการ และเชื่อถือได้ นอกจากนี้การที่ภายในวงจร HBSRC นั้นประกอบด้วยวงจร SRC ทำให้ขณะวงจรทำงานนั้นไม่มีการสูญเสียจากการเปิด-ปิด Switch (Switching loss) ภายวงจรเลย เนื่องจากการทำงานของวงจร SRC นั้นทำให้เกิด Zero Current Switching (ZCS) [8]

วงจรควบคุมสำหรับอุปกรณ์ประจุพลังงานที่ออกแบบขึ้นมานั้น เพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบและทดลองจึงเลือกใช้ชุดควบคุมดิจิทัล (Digital Signal Controller: DSC) รุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit ซึ่งพัฒนาและผลิตขึ้นโดยบริษัท Texas Instruments ร่วมกับโปรแกรมจำลองการทำงานวงจรไฟฟ้า PSIM เนื่องจาก DSC รุ่น TMS320F28335 นั้นมีฟังก์ชันการทำงานมากมายให้เลือกใช้อย่างครอบคลุม สามารถจำลองการทำงานของ Controller ร่วมกับวงจรไฟฟ้ากำลังบนโปรแกรม PSIM ได้ และยังสามารถแปลง Logic Diagram ที่สร้างขึ้นบนโปรแกรม PSIM ให้เป็นรหัสภาษา C (C Code) ได้อย่างง่ายดาย ดังนั้น DSC รุ่น TMS320F28335 ที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม PSIM จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบเป็นอย่างมาก

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ หลังจากเสร็จสิ้นการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยวิธีที่กำหนดแล้วนั้นจึงจำเป็นต้องทำการคายประจุออกจากแบตเตอรี่จนแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงถึง 3.0 V ซึ่งเป็นแรงดันเริ่มแรกเมื่อเริ่มประจุพลังงานแบตเตอรี่ โดยการคายประจุพลังงานสำหรับการทดสอบนั้นจะทำการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ให้แก่ Electronic Load ซึ่งสามารถกำหนดกระแสโหลดคงที่ได้ที่ 0.2C เพื่อให้สอดคล้องกับกระแสเฉลี่ยประจุพลังงานแบตเตอรี่ นอกจากนี้ข้อดีของ Electronic load ยังช่วยลดผลกระทบของการไม่เสถียรของความต้านทานโหลดที่เกิดจากความร้อนในกรณีทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าชนิดลวดนิโครม หรือหลอดไฟด้วย

ส่วนสุดท้ายของอุปกรณ์ประจุพลังงานรุ่นต้นแบบสำหรับการทดสอบนี้คือวงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ ความต้านทานภายใน เวลาประจุเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน เวลาคายประจุพลังงาน แรงดันแบตเตอรี่ในสภาวะคงที่ รวมถึงนำมาสังเกตลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแรงดันแบตเตอรี่ในขณะที่ประจุพลังงาน และคายประจุพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลิเมอร์อีกด้วย โดยวงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อการทดสอบนี้จะใช้ DSC รุ่น Arduino Nano ซึ่งมีขนาดเล็กและง่ายต่อการโปรแกรมรหัส (Coding) เพื่อให้บันทึกค่าพารามิเตอร์ลงบน SD Card วงจรจะถูก Coding ให้บันทึกค่ากระแสเฉลี่ย และแรงดันแบตเตอรี่วินาทีละ 1 ค่าสำหรับการประจุพลังงานทั้งสองรูปแบบ และการคายประจุพลังงานด้วย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ตลอดระยะเวลาการวิจัยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลิเมอร์ รุ่น LP105080 ขนาดความจุ 5000 mA แรงดันมาตรฐาน 3.7 V ที่ได้รับการรับรองโดยมาตรฐาน IEC 62133-2:2017 ซึ่งกำหนดโดย International Electrotechnical Commission (IEC) [4] โดยมาตรฐานนี้ถูกออกแบบเพื่อทดสอบแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนที่ถูกผลิตมาจำหน่ายทั่วโลก

งานวิจัยนี้ถูกออกแบบและทดสอบขึ้นในห้องทดลองทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพุกโกะ ประเทศญี่ปุ่น ในระหว่างวันที่ 10 มกราคม พ.ศ.2563 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2563 โดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานวงจรไฟฟ้า PSIM รุ่น 12.0.1 และทดสอบการประจุพลังงานกับแบตเตอรี่จริงด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่ประกอบขึ้นมา

การทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่และการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ในแต่ละรูปแบบนั้น จะทำการทดสอบรูปแบบละ 5 รอบ การทดสอบนั้นจะเริ่มด้วยด้วยการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์ และคายประจุพลังงาน จากนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการประจุพลังงานเป็นแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ และคายประจุพลังงาน โดยทดสอบที่แบตเตอรี่ก้อนเดียวกัน เพื่อกำหนดให้ค่าความต้านทานเนื่องจากอุปกรณ์ภายนอกของแบตเตอรี่นั้นเท่ากัน จึงจะสามารถหาความแตกต่างระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่จริงเนื่องจากการประจุพลังงานได้ และกำหนดให้ช่วงเวลาพักของแบตเตอรี่ที่ถูกประจุพลังงานทุกแต่ละรูปแบบนั้น มีเวลาพักหลังการประจุพลังงานและคายประจุพลังงานที่เท่ากัน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดเรียงเนื้อหาการดำเนินการศึกษาอย่างเป็นขั้นตอน โดยแบ่งรายละเอียดการศึกษาตามหัวข้อดังต่อไปนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึง การทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ถูกอ้างอิงในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนำมาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบงานวิจัยใหม่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการและหลักการออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบวงจรควบคุมและการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่บนโปรแกรม PSIM รวมถึงการอภิปรายผลจากโปรแกรมจำลอง หลังจากนั้นจะกล่าวถึงการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจริงสำหรับการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ร่วมกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

บทที่ 4 จะทำการอภิปรายรูปแบบของกระแสพัลส์ที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่สร้างขึ้นมา ทั้งรูปแบบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC รวมถึงความแม่นยำของอุปกรณ์ประจุพลังงานด้วย ต่อจากนั้นจะเป็นการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ทั้งสองรูปแบบ ร่วมกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ในห้องทดลอง วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการประจุพลังงานแบตเตอรี่รูปแบบต่างๆ รวมถึงอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของงานวิจัย ปัญหาอุปสรรค ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคตของการศึกษานี้ทั้งหมด

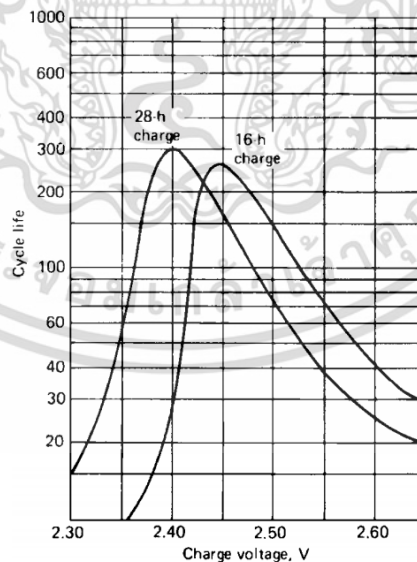
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่เนื่องจากการประจุพลังงานเกินนั้น [4–5] ทำให้ทราบว่า การประจุพลังงานแบบ Taper นั้น ไม่ส่งผลดีต่อการประจุพลังงานกับแบตเตอรี่ชนิดใดเลย เนื่องจากการประจุพลังงานแบบ Taper นั้นทำให้แรงดันแบตเตอรี่เมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานมีค่าสูงเกินกว่าแรงดันที่กำหนด ซึ่งสาเหตุนี้เองที่ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง หรือยังเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่เสียหายจนใช้งานไม่ได้ อีก และในกรณีร้ายแรงคือแบตเตอรี่เกิดการระเบิดจนทำให้บริเวณที่แบตเตอรี่ใช้งานนั้นเกิดผลกระทบไปด้วย

เมื่อแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดได้รับการประจุพลังงานไฟฟ้าจนเกินแรงดันเกินค่าที่กำหนด ปฏิกริยาภายในแบตเตอรี่เองนั้นจะสร้างแก๊สจำนวนมากขึ้นมา และดันของเหลวภายในแบตเตอรี่ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารละลายทางเคมีออกมา จนทำให้สมดุลของปฏิกริยาเคมีในรอบการประจุพลังงานต่อไปนี้เสียสมดุลไป ซึ่งการประจุพลังงานแบบเตอะจนแรงดันเกินแรงดันที่กำหนดเพียง 0.2 V อย่างต่อเนื่อง จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่วกรดลดลงไปถึง 80% [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

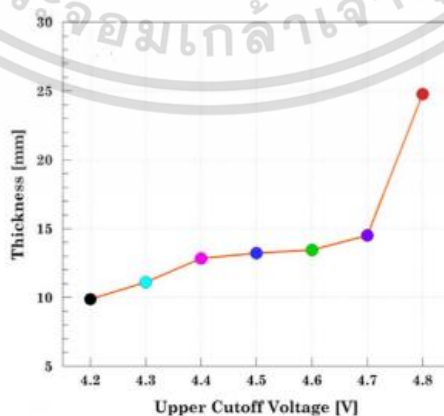


รูปที่ 2.1 ผลกระทบของการประจุพลังงานเกินแรงดันที่กำหนดต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่อัตราการประจุพลังงานที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิ 25 °C และมีการคายประจุพลังงานจนถึง 100% ที่อัตรา 2C จนถึงแรงดัน 1.6 V โดยนियามการสิ้นสุดอายุการใช้งานที่ 80% ของความจุ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

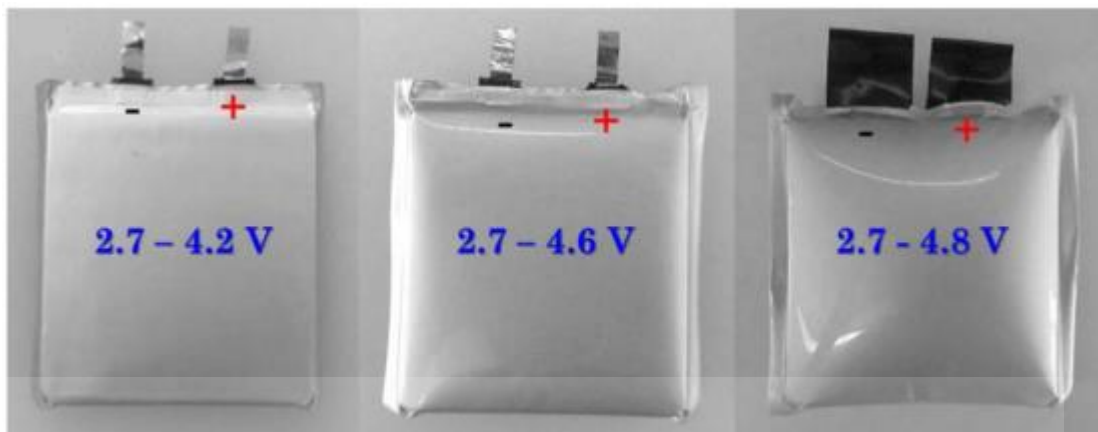
ในปัจจุบันวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมทุกชนิดที่เป็นที่นิยมคือ วิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV เนื่องจากการประจุพลังงานด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะสามารถจำกัดกระแสประจุเริ่มต้นให้คงที่ได้ที่ขนาดกระแสที่ต้องการ และยังจำกัดแรงดันแบตเตอรี่ขณะประจุพลังงานให้คงที่ที่ค่าที่เหมาะสมได้ ทำให้ไม่เกิดข้อผิดพลาดจากการประจุพลังงานเกินแรงดันที่กำหนด ซึ่งวิธีนี้พัฒนามาจากการประจุพลังงานแบบ CC โดยจุดประสงค์เพื่อลดความต้านทานภายในแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุพลังงานเต็ม ด้วยผลลัพธ์ดังกล่าวทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานด้วยวิธีการแบบ CCCV นั้นยืนยาวกว่าการประจุพลังงานด้วยวิธีแบบ CC อย่างเห็นได้ชัด [3] และยังทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากแรงดันแบตเตอรี่ในสภาวะคงที่นี้มีค่ามากกว่าการประจุพลังงานด้วยวิธีแบบ CC

ในส่วนของผลกระทบของการประจุแรงดันเกินต่อแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้น ในงานวิจัย [5] ได้สรุปผลเสียต่างๆ ไว้ว่ายิ่งประจุพลังงานแบตเตอรี่จนเกินแรงดันที่กำหนดอย่างต่อเนื่องมากขึ้นเท่าใดนั้น แม้จะส่งผลทำให้ความจุพลังงานแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้อายุการใช้งานนั้นลดลง และยังเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วย โดยการประจุพลังงานจนเกินแรงดันที่กำหนดจะไปเร่งการเกิด Solid Electrolyte Interphase (SEI) หรือ Lithium Cobalt Oxide (LCO) ขึ้นภายในแบตเตอรี่ หรืออีกความหมายคือการเพิ่มขึ้นของความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั่นเอง ซึ่งคือสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพแบตเตอรี่ รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของแรงดันแบตเตอรี่จะส่งผลต่อความหนาของ LCO หรือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั่นเอง การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ชัดเจนนั้นจะส่งผลเมื่อแรงดันประจุพลังงานมากเกินกว่า 4.6 V ขึ้นไป ในขณะที่หากเพิ่มแรงดันจนถึง 4.8 V นั้น แบตเตอรี่จะแสดงลักษณะทางกายภาพให้เห็นอย่างชัดเจนว่าภายในนั้นเกิดแก๊สขึ้นอย่างมากดังที่แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่และความหนาของ LCO ภายใน

แบตเตอรี่ [5] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



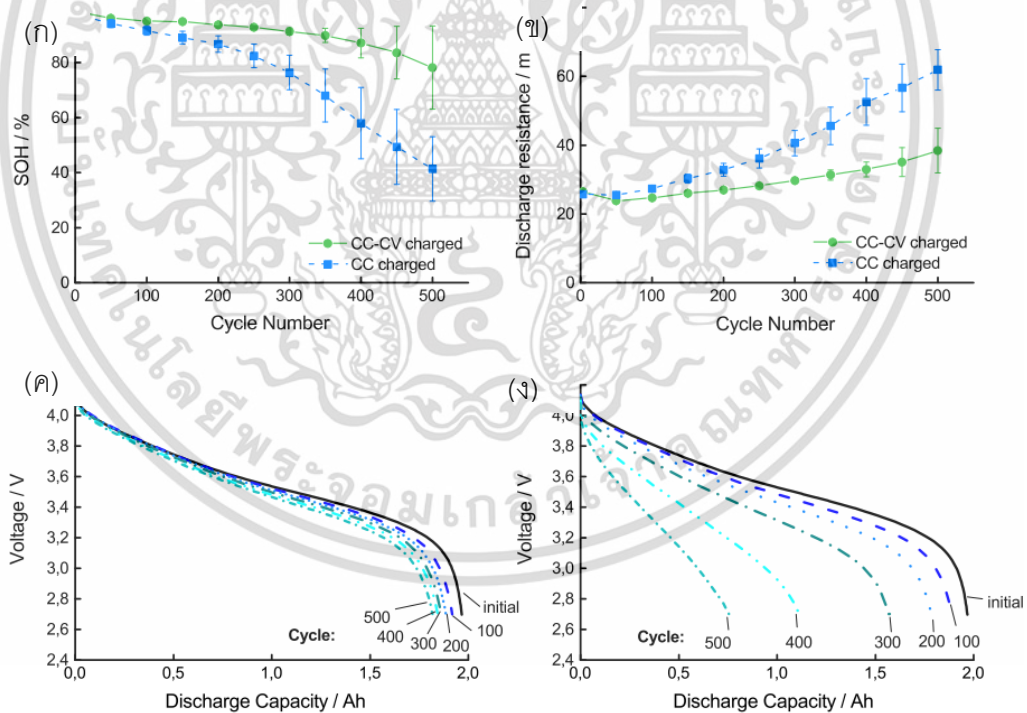
รูปที่ 2.3 ลักษณะทางกายภาพแบตเตอรี่เมื่อมีการประจุพลังงานจนเกินแรงดันที่กำหนดที่ค่าต่างๆ [5]

จากการศึกษาที่ผ่านมา นั้น เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า SEI หรือ ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นภายในแบตเตอรี่นั้นเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่นั่นเอง ในปัจจุบันจึงมีนักวิจัยมากมายสนใจศึกษาวิธีการชะลอการเกิด SEI ภายในแบตเตอรี่ ดังงานวิจัย [3] ซึ่งเป็นการศึกษาความสำคัญของการประจุพลังงานแบบ CV ต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน หลังจากการสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CC หรือเรียกวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่รวมทั้งสองวิธีการนี้ว่าวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV เปรียบเทียบกับการประจุพลังงานแบบ CC โดยจะประเมินอายุการใช้งานจาก Different Voltage Analysis (DVA), SEM/EDS Analysis และความจุการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้ได้สรุปว่าการเพิ่มการประจุพลังงานแบบ CV ขึ้นมาหลังจากการประจุพลังงานแบบ CC นั้น ส่งผลเป็นอย่างมากต่อการชะลอการเกิด SEI หรือความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) และ (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ที่ถูกประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นจะมีสุขภาพ (State of Health: SOH) ดีกว่าแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CC อย่างเดียวเมื่ออายุการใช้งานเพิ่มขึ้น หรือในอีกความหมายคือความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นต่ำกว่าเมื่ออายุการใช้งานเพิ่มขึ้นนั่นเอง นอกจากการประเมินการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่จาก SOH แล้วนั้น การประเมินการลดลงของแรงดันคายประจุยังเป็นอีกวิธีที่สามารถประเมินการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ค) และ (ง) จะเห็นว่า การลดลงของแรงดันแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นช้ากว่าการลดลงของแรงดันแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานแบบ CC ที่รอบการใช้งานที่เท่ากัน

นอกจากการให้ความสำคัญต่อการพัฒนาวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่แล้วนั้น นักวิจัยยังพยายามพัฒนาวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อลดเวลาในการประจุพลังงานอีกด้วย ซึ่งวิธีดังกล่าวคือการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์ (Pulse Current

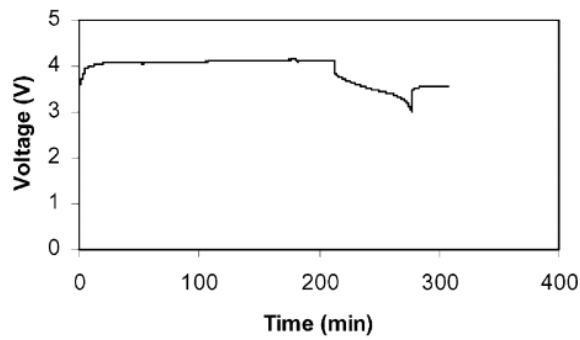
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charging) โดยวิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนรูปแบบของกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่จากแบบเดิมซึ่งเป็นแบบกระแสตรงเป็นแบบกระแสพัลส์ ในงานวิจัย [6] ได้มีการศึกษาเวลาในการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบวิธี CCCV ด้วยกระแสตรงและการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบวิธี CC กระแสพัลส์ รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานด้วยวิธีทั้งสอง โดยได้ข้อสรุปว่า การประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์นั้นจะช่วยทำให้เวลาในการประจุพลังงานแบตเตอรี่สั้นลงเมื่อเทียบกับการประจุพลังงานด้วยกระแสตรงเนื่องจากในแต่ละช่วงพัลส์นั้นจะมีเวลาพักสั้นๆ ซึ่งจะช่วยกำจัด Concentration Polarization ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่มีโมเลกุลของสารละลายไปสะสมบริเวณผิวของวัสดุแบตเตอรี่มากเกินไป จนความเข้มข้นของสารละลายบริเวณดังกล่าวมีความเข้มข้นมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้การเคลื่อนที่ของประจุภายในแบตเตอรี่ยากขึ้น ส่งผลให้อัตราการประจุพลังงานลดลง การประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์นั้นนอกจากจะทำให้เวลาการประจุพลังงานสั้นลงแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ก) และ (ข) ยังช่วยเพิ่มความจุการใช้งานและยืดอายุการใช้งานด้วยเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยกระแสพัลส์นั้นจะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของความต้านทานภายในแบตเตอรี่เมื่ออายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

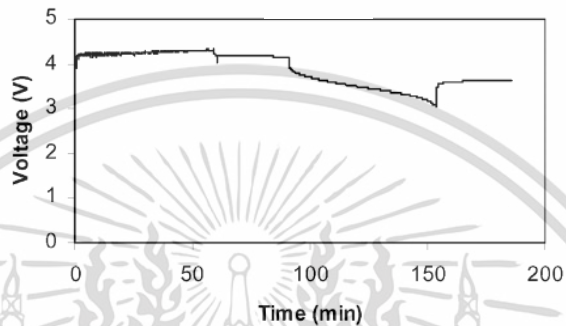


รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการถดถอยของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเมื่อประจุพลังงานที่กระแส 2C ด้วยวิธีประจุพลังงานแบบ CC และ CCCV โดย (ก) State of Health (SOH) (ข) ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และแรงดันระหว่างการคายประจุพลังงานที่กระแส 2C ในแต่ละรอบการใช้งาน โดย (ค) วิธีการประจุพลังงานแบบ CCCV (ง) วิธีการประจุพลังงานแบบ CC [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

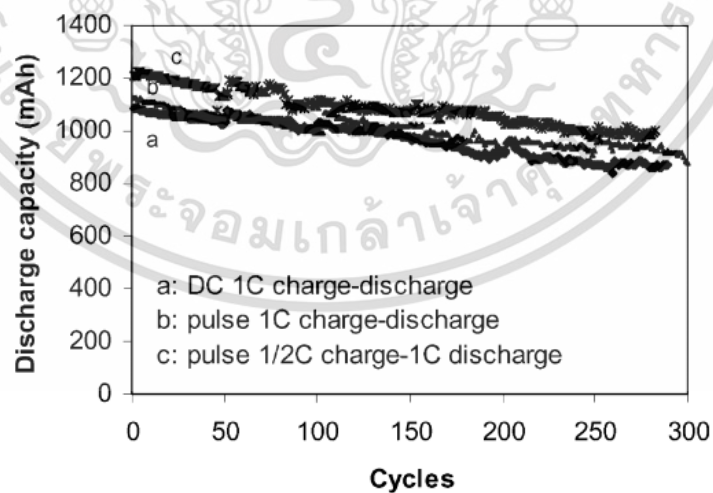


(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 แรงดันประจุพลังงานและแรงดันคายประจุพลังงาน ณ เวลาต่างๆ ใน 1 รอบการทำงาน ที่อัตราการประจุและคายประจุที่ 1C โดย (ก) คือการประจุพลังงานด้วยกระแสตรง และ (ข) คือการประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์ [6]



รูปที่ 2.6 ความจุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่รอบการทำงานต่างๆ เมื่อประจุพลังงานด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (a) ประจุพลังงานแบบกระแสตรงที่ 1C (b) ประจุพลังงานแบบกระแสพัลส์ที่ 1C (c) ประจุพลังงานแบบกระแสพัลส์ที่ 0.5C [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อสรุปของงานวิจัยที่อ้างอิงข้างต้น ทำให้ทราบว่า การประจุพลังงานแบตเตอรี่จนเกินแรงดันที่กำหนดจะส่งผลส่งอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั่นเองที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ โดยการชะลอการเกิดความต้านทานภายในนั้นสามารถทำได้โดยการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยวิธี CCCV แทนการประจุพลังงานด้วยวิธี CC แบบปกติ นอกจากนี้การประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์แทนการประจุพลังงานด้วยกระแสตรงนั้นยังช่วยให้เวลาในการประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นเร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วย

ด้วยเหตุนี้เองทำให้มีนักวิจัยพยายามศึกษาวิธีการประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการประจุพลังงานลง แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ โดยในงานวิจัย [2] ได้มีการพยายามศึกษาพารามิเตอร์การประจุพลังงานแบบกระแสพัลส์ที่เหมาะสม ที่จะช่วยเสริมให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพที่สูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็ยังสามารถลดเวลาการประจุพลังงานลงด้วย โดยพารามิเตอร์ที่ถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ความถี่ของกระแสพัลส์ ด้วตี้ไซเคิล (Duty Cycle) และอุณหภูมิขณะประจุพลังงาน ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินผลของพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วยวิธีการประจุพลังงานแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ที่ถูกควบคุมความถี่และ Duty Cycle ที่อุณหภูมิต่างๆ 36 รูปแบบ และได้ข้อสรุปว่าการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์ที่ความถี่ 12.6 kHz Duty Cycle 0.5 ที่อุณหภูมิ 45 °C นั้นจะทำให้แบตเตอรี่มีการใช้งานที่เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด และเวลาในการประจุพลังงานนั้นยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมด้วย หลังจากนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่และเวลาการประจุพลังงานด้วยวิธีการประจุพลังงานดังกล่าวกับวิธีการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสตรง และได้ข้อสรุปที่ว่า การประจุพลังงานดังกล่าวนี้ทำให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากกว่า และลดเวลาการประจุพลังงานด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7

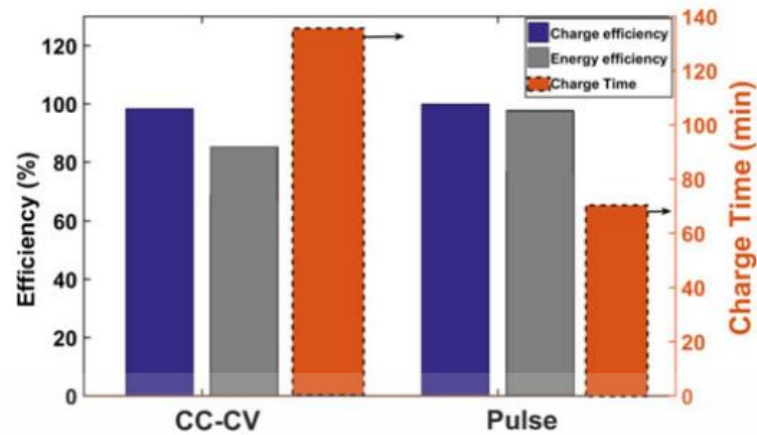
จากข้อสรุปของงานวิจัยทั้งหมด [2-6] ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถสรุปลำดับของประสิทธิภาพการใช้งานแบตเตอรี่ เวลาประจุพลังงาน ความต้านทานภายใน รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุพลังงานด้วยวิธีต่างๆ ดังตารางที่ 1 โดยสรุปได้ว่าวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC ด้วยกระแสพัลส์นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน ลดเวลาในการประจุพลังงาน ลดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และยังทำให้ยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ดีกว่าวิธีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยวิธีอื่นๆ ในขณะที่ความจุการใช้งานนั้นแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสตรงนั้นจะมีประจุพลังงานมากที่สุด เนื่องจากการประจุพลังงานแบบ CV นั้นจะช่วยให้ความต้านทานภายในเมื่อประจุพลังงานเต็มนั้นลดลงมากกว่าการประจุพลังงานแบบ CC เพียงอย่างเดียว แรงดันคายประจุเริ่มต้นจึงมีค่ามากกว่าส่งผลให้ความจุการใช้งานเพิ่มขึ้นนั่นเอง

เนื่องจากการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์นั้นได้รับการพิสูจน์จากงานวิจัยมากมายแล้วว่าเป็นวิธีการประจุพลังงานที่ดีที่สุด แต่งานวิจัยในปัจจุบันนั้นเพียงแค่มุ่งเน้นไปที่การพิสูจน์ข้อดีของการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์ ทำให้วงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมดนั้นเป็นรูปแบบที่ไม่สามารถควบคุมได้ และวงจรสร้างกระแสพัลส์นั้นยังเป็นวงจรง่ายที่ใช้สวิตช์ในการเปิดปิดเพื่อสร้างกระแสพัลส์ขึ้นมา ทำให้วงจรประจุพลังงานที่ใช้ในงานวิจัยส่วนมากนั้นยังไม่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้งานจริงได้ เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นในวงจรเป็นอย่างมาก และยิ่งอาจทำให้อุปกรณ์ภายในวงจรประจุพลังงานเสียหายเมื่อใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นจุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือ การออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานรุ่นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่เชื่อถือได้ มีความแม่นยำ และออกแบบง่าย โดยอ้างอิงพารามิเตอร์กระแสพัลส์ที่เหมาะสมจากงานวิจัย [2] ในการออกแบบวงจร ดังนั้นเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายของงานวิจัย จึงได้ทำการออกแบบการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ เวลาในการประจุพลังงาน และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ระหว่างการประจุพลังงานแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์กับการประจุพลังงานด้วยวิธีการ CCCV ด้วยกระแสพัลส์ รวมถึงเปรียบเทียบความต้านทานแบตเตอรี่และความจุการใช้งานด้วย

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบความสามารถของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโพลีเมอร์ที่ได้รับการประจุพลังงานด้วยวิธีต่างๆ

	CC/DC	CCCV/DC	CC/Pulse
ประสิทธิภาพการใช้งาน	✓✓	✓✓	✓✓✓
เวลาประจุพลังงาน	✓✓	✓	✓✓✓
ความต้านทานภายใน	✓	✓✓	✓✓✓
ความจุการใช้งาน	✓	✓✓✓	✓✓
อายุการใช้งาน	✓	✓✓	✓✓✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่และเวลาการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสตรงกับการประจุพลังงานแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่กระแสประจุพลังงาน 0.5C [2]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ

ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้วว่าแบตเตอรี่นั้นได้ถูกใช้งานมาอย่างเนิ่นนาน และยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องด้วย ซึ่งแบตเตอรี่นั้นมีสองรูปแบบคือแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (Primary Battery) และแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Secondary Battery) แบตเตอรี่ทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างกันที่ความสามารถในการประจุพลังงานกลับเข้าสู่ตัวแบตเตอรี่เอง ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมินั้นจะไม่สามารถประจุพลังงานกลับเข้าแบตเตอรี่ได้ นั่นหมายความว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ในขณะที่แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมินั้นจะสามารถประจุพลังงานกลับเข้าสู่แบตเตอรี่ได้หลายครั้ง หรือสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สองทิศทางนั่นเอง แบตเตอรี่ทุติยภูมิจึงถูกนำมาใช้งานได้หลากหลายกว่า แต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ทุติยภูมิก็คือจะต้องมีการซ่อมบำรุง และมีข้อจำกัดในการใช้งานที่มากกว่าเพื่อให้เหมาะสมกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั่นเอง

2.2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ได้จากเกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานขึ้นมา ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเริ่มใช้งานครั้งแรกเมื่อ ปี 1991 ซึ่งบริษัท โซนี่ (Sony) เป็นผู้พัฒนาและจำหน่าย แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีส่วนประกอบของธาตุลิเทียมทั้งด้านขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ โดยโครงสร้างของแบตเตอรี่ทางด้านขั้วบวกนั้นจะเป็น

ส่วนประกอบในรูปของออกไซด์ของโลหะ เช่น ลิเทียมโคบอลออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide: เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

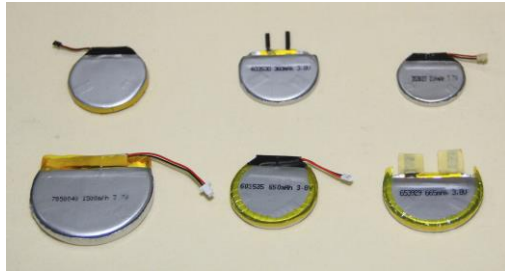
LiCoO_2 หรือ LCO) หรือลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide: LiMn_2O_4) ประกอบอยู่บนตัวนำกระแส ซึ่ง LCO จะสามารถให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้ดี ง่ายต่อการผลิต ปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดความชื้นขึ้นในเซลล์ด้วย ในปัจจุบันวัสดุประกอบทางด้านขั้วบวกนั้นได้มีการพัฒนาให้มีข้อได้เปรียบมากกว่าเดิม ทั้งเพิ่มอัตราความจุพลังงานต่อเซลล์ ราคาถูก มีความเสถียร อายุการใช้งานยาวนาน และมีความจุที่มากขึ้น ส่วนโครงสร้างของแบตเตอรี่ทางด้านขั้วลบนั้นจะเป็น ส่วนประกอบของแกรไฟต์ (Graphitic Carbon) ประกอบอยู่บนตัวนำกระแส และอีกส่วนประกอบที่สำคัญภายในเซลล์แบตเตอรี่อีกอย่างคือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมในการเปลี่ยนถ่ายไอออนระหว่างขั้วบวกและขั้วลบในเซลล์แบตเตอรี่นั่นเอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเป็นส่วนประกอบของเกลือลิเทียม โดยส่วนใหญ่จะใช้ LiPF_6 ซึ่งคุณสมบัติของเกลือนี้จะให้ความนำไอออนและให้อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนที่สูง นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับในเรื่องของความปลอดภัยสูงอีกด้วย

ตั้งแต่แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนได้เริ่มเป็นที่รู้จัก ความต้องการที่จะพัฒนารูปแบบและความสามารถทางด้านต่างๆ ของแบตเตอรี่ชนิดนี้นั้นจึงมีมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและผู้ใช้ให้ได้มากที่สุด นอกจากนี้ยังเพื่อพัฒนาให้การใช้งานแบตเตอรี่นั้นเป็นไปด้วยความปลอดภัยยิ่งขึ้น โดยได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ขึ้นมา หรืออีกชื่อที่เรียกโดยทั่วไปคือแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้นั้นมีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกันกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน แต่ได้ถูกเพิ่มส่วนประกอบของโพลิเมอร์ ชนิดโพลีไวนิลฟลูออไรด์ (Poly Vinylidene Fluoride: PVDF) ลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเกลือลิเทียม ด้วยวิธีนี้เองทำให้การยึดเกาะกันของส่วนประกอบภายในเซลล์นั้นคงที่ยิ่งขึ้น และโพลิเมอร์ยังช่วยเรื่องการดูดซึมของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เพื่อป้องกันการรั่วซึมของของเหลวออกมาภายนอกเซลล์ด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวมานี้ทำให้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็ก บาง และมีรูปทรงที่แตกต่างได้ และยังทำให้การใช้งานแบตเตอรี่นั้นมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8

ปฏิกิริยาภายในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นเกิดขึ้นได้สองทิศทางทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เรียกว่าแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ หรือแบตเตอรี่ที่สามารถประจุพลังงานซ้ำได้หลายรอบ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุพลังงาน วัสดุทางด้านขั้วบวกของแบตเตอรี่จะถูกทำให้ออกไซด์ของลิเทียมขึ้น ในขณะที่วัสดุทางด้านขั้วลบนั้นจะรับเอาอิเล็กตรอนและไอออนของลิเทียมจากขั้วบวกมาทำปฏิกิริยาทางด้านขั้วลบ และเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการคายประจุพลังงานจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ลิเทียมไอออน รวมถึงโครงสร้างของวัสดุทางด้านขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่จะแสดงให้เห็นภาพในรูปที่ 2.10 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

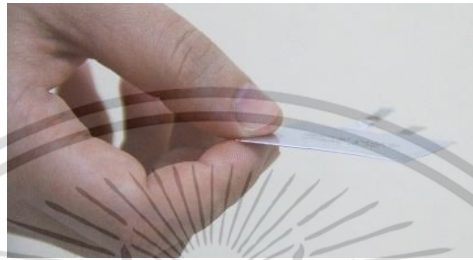
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

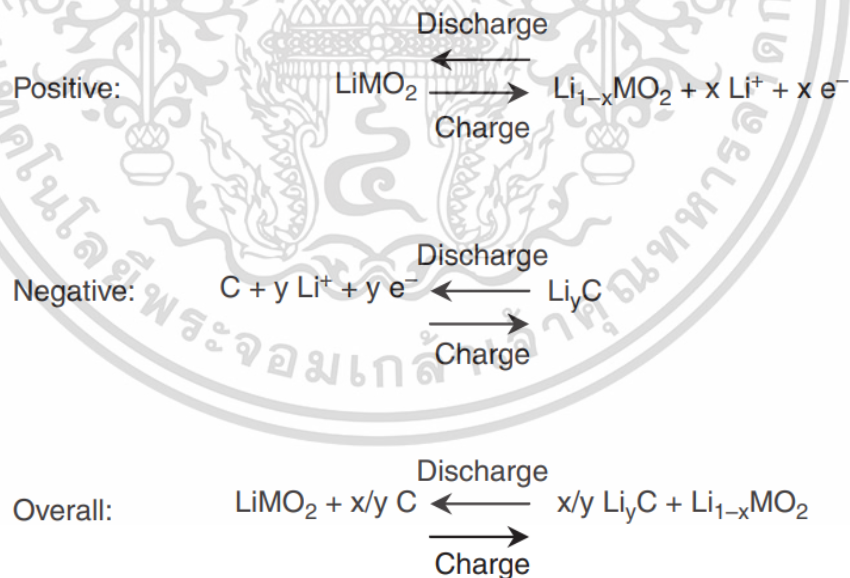


(ข)



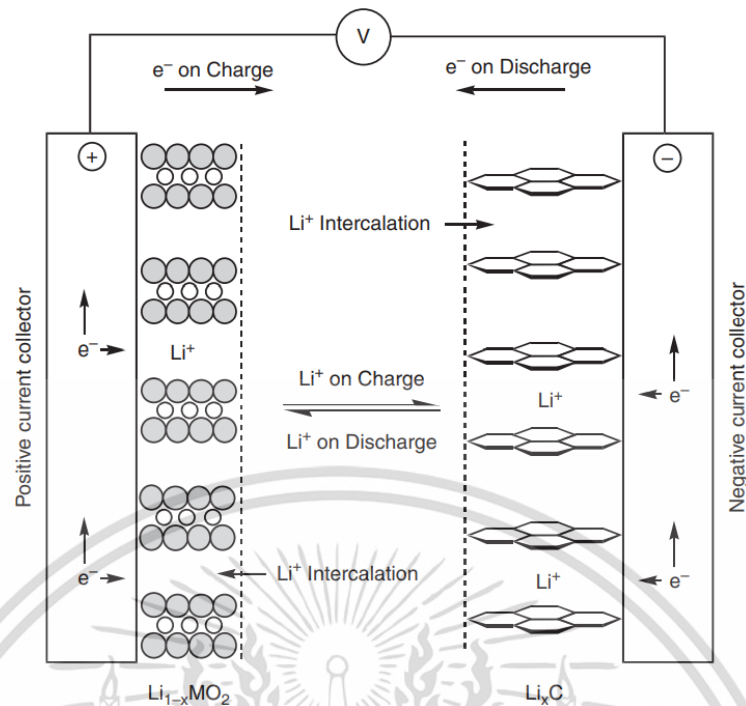
(ค)

รูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลีเมอร์รูปทรงต่าง (ก)แบบทรงกลม (Round LiPo Batteries) (ข)แบบทรงเคิร์ฟ (Curved LiPo Batteries) (ค)แบบบางมาก (Ultra-Thin LiPo Batteries)



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน [4]

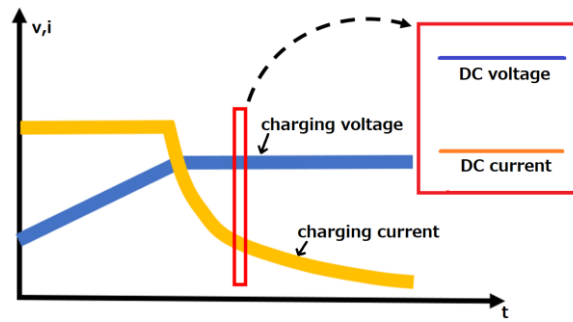
2.2.3 การประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์

ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิจะสามารถประจุพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ซ้ำได้หลายรอบการใช้งาน แต่แบตเตอรี่ทุติยภูมิแต่ละชนิดนั้นไม่สามารถใช้อุปกรณ์ประจุพลังงานรูปแบบเดียวกันได้ เนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่นั้นมีความแตกต่างกัน ทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในเซลล์ต่างๆ ก็มีความต่างกันด้วย ยกตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดนั้นทำให้เกิดแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 2.1 V ในขณะที่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นทำให้เกิดแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 4.1 V ทำให้หากนำเอาอุปกรณ์ประจุพลังงานสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์มาประจุพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด จะทำให้เกิดการประจุพลังงานด้วยแรงดันเกิน ทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ความสามารถในการประจุพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ยังมีความแตกต่างกันด้วย เช่น แม้ว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะถูกประจุแรงดันเกิน แบตเตอรี่อาจจะยังไม่เกิดความเสียหายขึ้นทันทีแต่จะส่งผลต่อการบำรุงรักษาและอายุการใช้งาน ในขณะที่การประจุแรงดันเกินในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ในทันที ดังนั้นการประจุพลังงานแบตเตอรี่จึงส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพ และที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยของผู้ใช้งานเอง

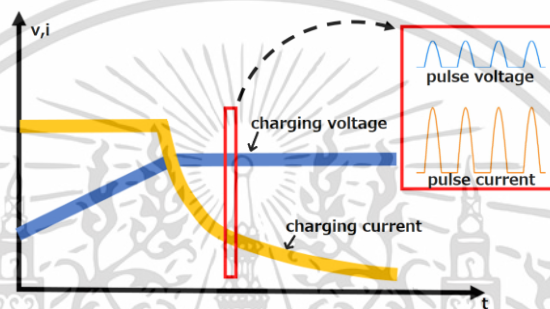
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นค่อนข้างมีข้อจำกัดเนื่องจากความปลอดภัยดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งแรงดันประจุพลังงานนั้นจะถูกจำกัดให้ไม่เกิน 4.2 V โดยมีมาตรฐานในการสร้างแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ที่ได้กำหนดไว้ว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นจะต้องทำการติดตั้งวงจรจำกัดแรงดันไว้ที่แบตเตอรี่ด้วย ส่วนกระแสประจุพลังงานนั้นผู้ผลิตส่วนมากแนะนำให้ประจุพลังงานที่กระแส 0.2C A หรือไม่เกิน 0.5C A ของความจุแบตเตอรี่ ซึ่งมีข้อพิสูจน์มาแล้วว่าแม้การประจุพลังงานที่กระแสสูงนั้นจะช่วยให้อายุการใช้งานในการประจุพลังงานลง แต่อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นกลับลดลงอย่างเห็นได้ชัด [6] ทำให้วิธีประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ที่ได้รับการยอมรับนั้นค่อนข้างมีจำกัด โดยในปัจจุบันวิธีที่เป็นที่ยอมรับได้แก่ การประจุพลังงานแบบ CC หรือ CCCV ด้วยกระแสตรง หรือกระแสพัลส์ ในรูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของกระแส แรงดัน และความจุของแบตเตอรี่ขณะประจุพลังงานที่เวลาต่างๆ วิธีดังกล่าวคือวิธีการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยกระแสตรง โดยในเริ่มแรกของการประจุพลังงานนั้น กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้คงที่ที่ค่าหนึ่ง ในขณะที่แรงดันของแบตเตอรี่นั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เรียกขั้นตอนประจุพลังงานในช่วงนี้ว่าการประจุพลังงานแบบ CC หรือ การประจุพลังงานแบบกระแสคงที่นั่นเอง เมื่อแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึง 4.2 V แล้วนั้น การประจุพลังงานแบตเตอรี่จะเปลี่ยนเป็นแบบ CV นั่นคืออุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่จะควบคุมให้แรงดันประจุแบตเตอรี่คงที่อยู่ที่ 4.2 V ในขณะที่กระแสประจุพลังงานนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงค่ากระแสประจุพลังงานที่ 0.1C จึงสิ้นสุดการประจุพลังงานแบตเตอรี่

การประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่กำลังเป็นที่นิยมและยังได้รับความสนใจจากนักวิจัยในการพัฒนาวิธีการประจุแบตเตอรี่รูปแบบนั้นคือ การประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์ ซึ่งเป็นการแทนที่กระแสประจุพลังงานที่แต่เดิมคือกระแสตรงเป็นกระแสพัลส์ ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่พิสูจน์แล้วว่าการประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์นั้นสามารถยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ รวมถึงยังช่วยลดเวลาในการประจุพลังงานอีกด้วย โดยรูปแบบการจ่ายกระแสแบบพัลส์เพื่อประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นได้แสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งรูปแบบการประจุพลังงานนั้นยังคงเป็นแบบ CCCV แต่เปลี่ยนจากรูปแบบกระแสตรงที่จ่ายให้แก่แบตเตอรี่เป็นกระแสพัลส์ดังที่แสดงในรูป วิธีนี้จะช่วยให้เกิดช่วงเวลาพัก และลดการเกิด Concentration Polarization ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่มีผลของสารละลายไปสะสมบริเวณผิวของวัสดุแบตเตอรี่มากเกินไป จนความเข้มข้นของสารละลายบริเวณดังกล่าวมีความเข้มข้นมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้การเคลื่อนที่ของประจุภายในแบตเตอรี่ยากขึ้น ส่งผลให้อัตราการประจุพลังงานลดลง [2]



รูปที่ 2.11 รูปแบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์แบบ CCCV ด้วยกระแสตรง



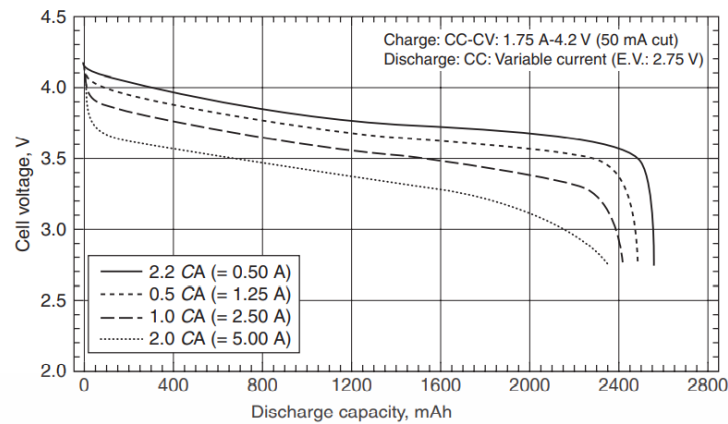
รูปที่ 2.12 รูปแบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์แบบ CCCV ด้วยกระแสพัลส์

2.2.4 การคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์

การคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์นั้นมีหลักการคล้ายกับการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ แต่เนื่องจากแรงดันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของแบตเตอรี่ ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์จึงมีแรงดันคายประจุต่ำสุดที่ค่าที่แตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นเช่นกัน โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์สามารถคายประจุจนถึงแรงดันต่ำสุดที่ 2.75 V แต่เนื่องจากแรงดันดังกล่าวเป็นแรงดันคายประจุที่ต่ำมากเกินไปหรือการคายประจุที่ลึกเกินไป ซึ่งเรียกสถานะที่การคายประจุที่แรงดันต่ำนี้ว่า Deep Discharge ซึ่งในจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์อย่างมาก [5] ในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์นั้นจึงได้มีคำแนะนำในการใช้งานว่าไม่ควรคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดัน 3.0 V

นอกจากนี้อัตราการคายประจุยังมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.13 โดยการคายประจุด้วยอัตรากระแสที่สูงเกินไปนั้นจะส่งผลให้ความต้านทานภายในเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมาก และยังทำให้ลดประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย

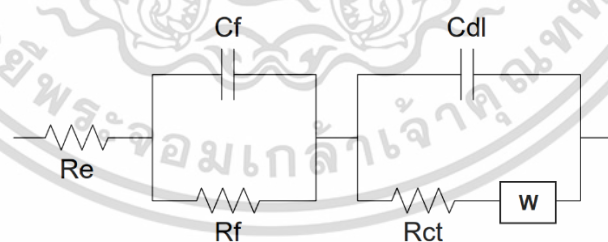
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแบบของแรงดันคายประจุที่กระแสคายประจุต่างๆ [4]

2.2.5 ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

ความต้านทานภายในแบตเตอรี่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งแรงดันตกคร่อมในเซลล์แบตเตอรี่นั้นเกิดขึ้นจากความต้านทานนี้เองและส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนภายในเซลล์แบตเตอรี่ แรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานภายในนี้เรียกว่า ohmic polarization หรือ IR drop และความต้านทานนี้ยังมีสัดส่วนเท่ากับกระแสของแบตเตอรี่ขณะนั้นด้วย ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ประกอบด้วยผลรวมของความต้านทานอิเล็กโทรไลต์ (R_e) ความจุของแผ่นวัสดุแบตเตอรี่ (C_d) ความต้านทานการกระแสภายในเซลล์ (R_{ct}) ความจุและความต้านทาน SEI ที่เกิดขึ้นบนวัสดุแบตเตอรี่และแผ่นกั้นวัสดุภายในเซลล์ (C_f, R_f) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรความต้านทานภายในแบตเตอรี่ [4]

ความต้านทานภายในสามารถประเมินได้จากการทดสอบด้วยกระแสคายประจุ โดยแบตเตอรี่ที่จะนำมาทดสอบนั้นจะต้องมีช่วงเวลาพักหลังจากการใช้งานจนกระทั่งแรงดันเปิดวงจรคงที่ที่ค่าหนึ่ง จากนั้นทำการคายประจุที่กระแส 1C A และวัดค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ที่เวลาที่ 10 วินาที

จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาความต้านทานภายในด้วยสมการที่ 2.1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_i = \frac{U_{10s} - U_{0s}}{I_p} \quad (2.1)$$

- โดยที่ R_i = ความต้านทานภายใน (Ω)
- U_{10s} = แรงดันคร่อมแบตเตอรี่ที่เวลา 10 วินาที (V)
- U_{0s} = แรงดันคร่อมแบตเตอรี่ที่เวลา 0 วินาที (V)
- I_p = กระแสแบตเตอรี่ (A)

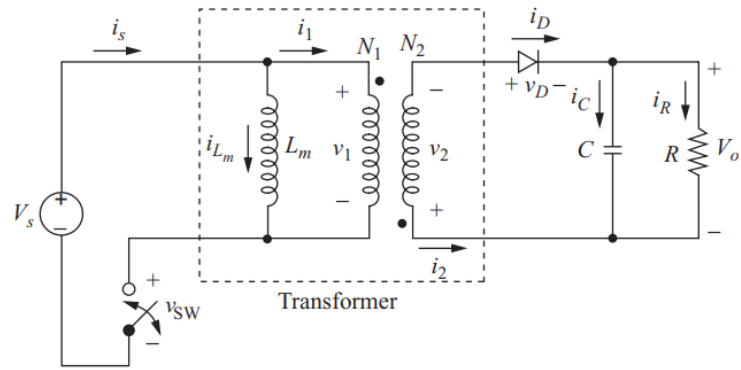
2.2.6 วงจร Flyback Converter

วงจร Flyback Converter เป็น DC Power Supply ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากวงจร Flyback Converter ประกอบด้วยหม้อแปลง (Flyback Transformer) ที่ทำหน้าที่เสมือนตัวเหนี่ยวนำ (Inductance: L) ในวงจร ซึ่งหม้อแปลงดังกล่าวนี้จะถูกติดตั้งเพื่อแยกระหว่างวงจรปฐมภูมิและวงจรทุติยภูมิ เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากความผิดพลาดของการทำงานของโหลดต่อสวิตช์และวงจรทางด้านปฐมภูมินั่นเอง นอกจากนี้ Flyback Converter ยังมีข้อดีในด้านอื่นๆ อีก เช่น สามารถทำงานที่ความถี่สูง ออกแบบให้มีหลายเอาต์พุตได้ ควบคุมแรงดันหลายเอาต์พุตด้วยการควบคุมที่สวิตช์ตัวเดียว สามารถทำงานที่แรงดันอินพุตที่กว้าง และยังมีอุปกรณ์ในวงจรที่น้อยกว่าวงจร converter แบบอื่นด้วย

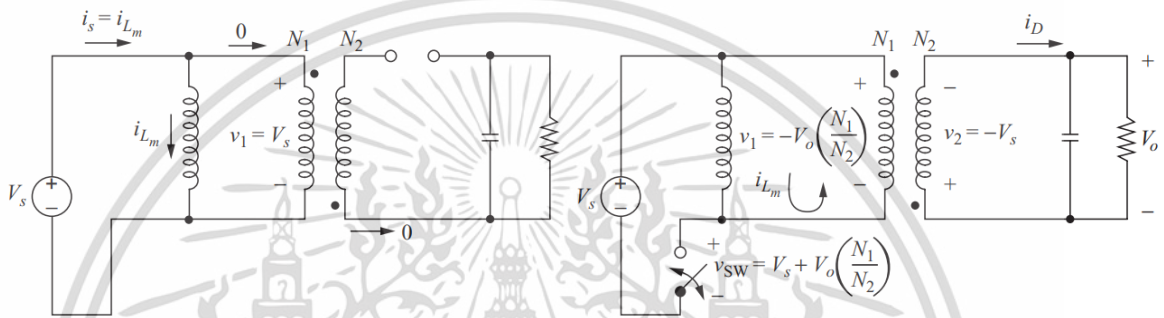
วงจร Flyback Converter สามารถออกแบบการทำงานได้ 2 โหมด ได้แก่ โหมดการทำงานกระแสต่อเนื่อง (Continuous-Current Mode) และโหมดการทำงานกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous-Current Mode) ซึ่งความแตกต่างนั้นโหมดการทำงานกระแสต่อเนื่องจะออกแบบการควบคุมได้ง่ายกว่า รวมถึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโหมดการทำงานกระแสไม่ต่อเนื่อง ในรูปที่ 2.15 ได้แสดงวงจร Flyback Converter และทิศทางการไหลของกระแสในวงจรเมื่อสวิตช์เปิดและปิด [7-8] โดยเมื่อสวิตช์ทำงานโดยปิดวงจรด้านปฐมภูมิ กระแสจะไหลเข้าสู่ขดลวดหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ ซึ่งวงจรทางด้านทุติยภูมิยังไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากมีไดโอดต้านการไหลของกระแสเนื่องจากแรงเหนี่ยวนำของขดลวดด้านทุติยภูมิไว้ พลังงานจึงถูกกักเก็บไว้ในขดลวดด้านปฐมภูมิในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) ต่อมาเมื่อสวิตช์เปิดวงจรด้านปฐมภูมิ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กักเก็บในขดลวดด้านปฐมภูมิจะเปลี่ยนทิศทางกระแทกกัน และขดลวดด้านทุติยภูมิจะถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรด้านทุติยภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 2.15 (ก)วงจร Flyback Converter (ข)วงจร Flyback Converter เมื่อสวิตช์ปิด (ค)วงจร Flyback Converter เมื่อสวิตช์เปิด [7]

2.2.7 วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC)

เมื่อนำออกแบบวงจรต้องการลดขนาดวงจรและเพิ่มกำลังไฟฟ้าในวงจร ผลที่ได้คือความถี่ในการเปิดปิดของสวิตช์ในวงจรหลักนั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant) ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นวงจรช่วยลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเปิดปิดสวิตช์ในวงจรหลัก โดยเรียกการสวิตช์แบบนี้ว่า Soft Switching โดยวงจรเรโซแนนซ์นั้นสามารถนำมาประยุกต์ในการออกแบบวงจรสร้างกระแสพัลส์ได้ เรียกวงจรดังกล่าวว่าวงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC) แสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งนอกจากจะสามารถออกแบบให้ได้กระแสพัลส์ที่แม่นยำแล้วนั้น คุณสมบัติของวงจร Resonant ยังช่วยลดการสูญเสียจากการเปิดปิดสวิตช์ของวงจร HBSRC เองด้วย [8]

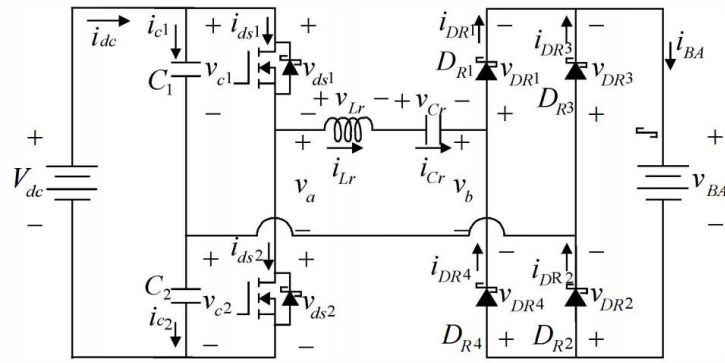
ในวงจร HBSRC นั้นมีหลักการออกแบบค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุของวงจรเพื่อให้ได้กระแสเอาต์พุตที่หลากหลายรูปแบบ โดยหลักการออกแบบวงจรเรโซแนนซ์เพื่อให้ได้กระแสพัลส์นั้นจะต้องออกแบบให้วงจรทำงานที่โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง จึงต้องกำหนดให้ค่าความถี่ของสวิตช์น้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่เรโซแนนซ์ โดยสวิตช์ S1 และ S2 จะสลับการทำงานกันตามการควบคุมของวงจรควบคุม ทำให้การทำงานของวงจร HBSRC ใน 1 รอบนั้นจะมีโหมดการทำงาน 4 แบบ และจะให้กระแสพัลส์ที่จ่ายเข้าแบตเตอรี่ 2 พัลส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 [9]

ในโหมดการทำงานที่ 1 สวิตช์ S₁ ทำงานที่เวลาเริ่มต้น t₀ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 กระแส sinusoidal จากวงจรเรโซแนนซ์จะไหลผ่านไดโอด D_{R1} และ D_{R2} ไปที่แบตเตอรี่ โดยกระแสเริ่มต้นเมื่อสวิตช์ทำงานจะมีค่าเป็น 0 ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียในตัวสวิตช์นั่นเอง และกระแส sinusoidal ที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ในโหมดที่ 1 นั้นเป็นเพียงครึ่งรอบของการทำงานของวงจร HBSRC โดยเมื่อสิ้นสุดการทำงานในโหมดนี้กระแส sinusoidal จะลดลงที่ 0 พอดี นั่นคือพลังงานที่กักเก็บในวงจรเรโซแนนซ์ได้ถูกจ่ายไปยังแบตเตอรี่จนหมดแล้ว แรงดันเริ่มต้นตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (C_r) จะมีค่าอยู่เท่ากับแรงดันผลรวมของสองเท่าของแรงดันแบตเตอรี่ร่วมกับแรงดันอินพุตซึ่งเป็นค่าลบ ($V_{Cr0} = +V_{dc} + 2V_{BA}$)

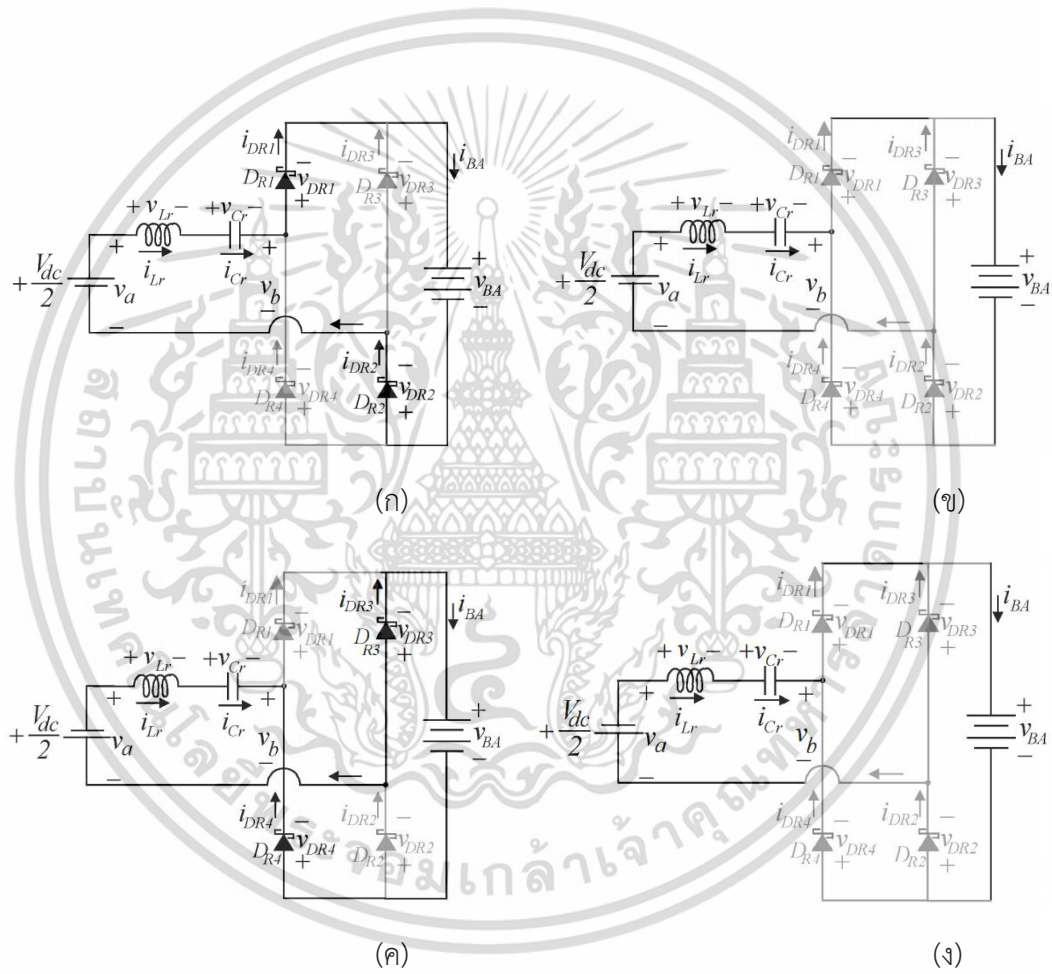
โหมดการทำงานที่ 2 จะเริ่มขึ้นที่เวลา t₁ เมื่อกระแสเรโซแนนซ์มีค่าเป็น 0 โดยในโหมดนี้ สวิตช์ S1 จะยังคงทำงานอยู่ในขณะที่ไดโอดทั้งสองนั้นหยุดทำงานแล้ว ขณะนี้แรงดันที่ตัวเก็บประจุจะคงที่ตลอดการทำงานที่โหมดนี้ โดยที่กระแสยังคงเป็น 0 โดยเมื่อสวิตช์ S₁ หยุดการทำงานจึงจะสิ้นสุดการทำงานของโหมดนี้

โหมดการทำงานที่ 3 เริ่มขึ้นที่เวลา t₂ เมื่อสวิตช์ S₂ เริ่มการทำงาน โดยจะเป็นการเริ่มสถานะเรโซแนนซ์ระหว่างตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจรเรโซแนนซ์ แรงดันเริ่มต้นตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_r จะมีค่าอยู่เท่ากับแรงดันผลรวมของค่าติดลบสองเท่าของแรงดันแบตเตอรี่ร่วมกับแรงดันอินพุต $V_{Cr0} = V_{dc} - 2V_{BA}$ โดยวงจรเรโซแนนซ์จะสร้างกระแส sinusoidal ค่าลบขึ้น และผ่านไปยังไดโอด D_{R3} และ D_{R4} เพื่อเรียงกระแสให้เป็นบวกเข้าไปยังแบตเตอรี่ และเมื่อกระแสเหนี่ยวนำกลายเป็น 0 ที่เวลา t₃ แล้วนั้น ไดโอดทั้งสองจะหยุดการทำงาน เป็นการสิ้นสุดโหมดการทำงานที่ 3

ที่โหมดการทำงานที่ 4 จะไม่มีกระแสไหลในวงจรที่โหมดการทำงานนี้ แรงดันของตัวเก็บประจุคงที่ที่ค่าเดิมเพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่โหมดการทำงาน 1 อีกครั้ง

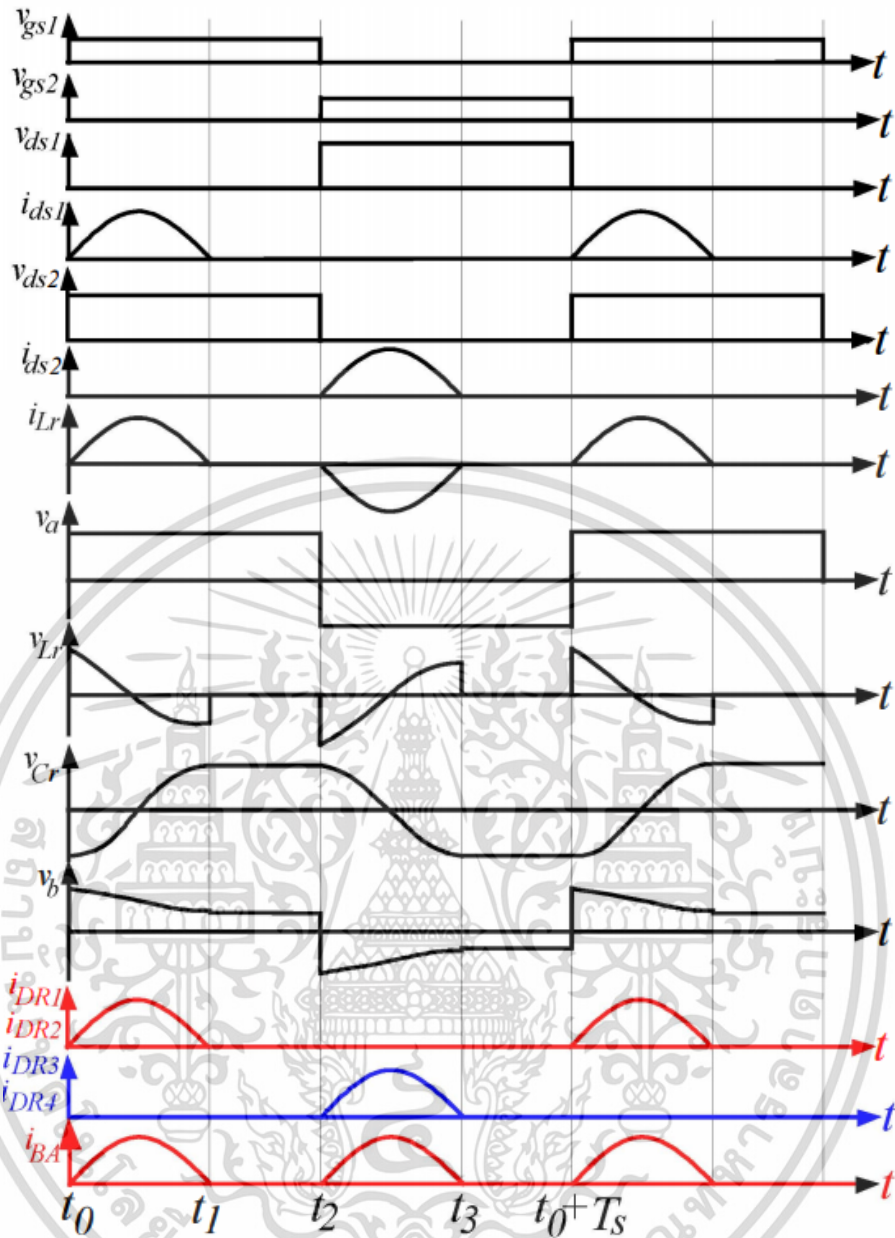


รูปที่ 2.16 วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC) [9]



รูปที่ 2.17 วงจร HBSRC ที่โหมดการทำงานต่างๆ (ก)โหมดการทำงาน1 (ข)โหมดการทำงาน2 (ค) โหมดการทำงาน3 (ง)โหมดการทำงาน4 [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



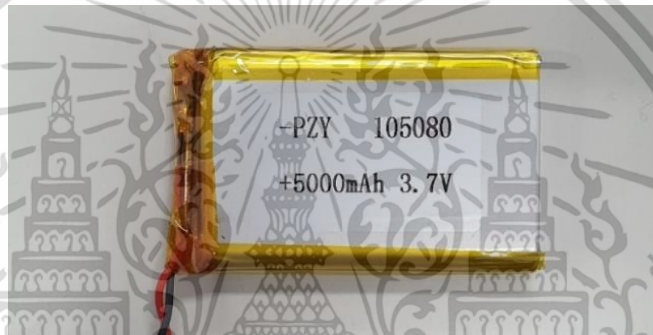
รูปที่ 2.18 รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจร HBSRC ที่โหมดการทำงานต่างๆ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและทดสอบวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่

ในบทนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็นสามส่วน ได้แก่ การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ การจำลองการทำงานของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ด้วยโปรแกรม PSIM และสุดท้ายคือการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่จริง โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้คือ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ ที่มีค่าความจุ (Rated Capacity) อยู่ที่ 5,000 mAh แรงดันปกติ (Nominal Voltage) ที่ 3.7 V กำลังไฟฟ้า 18.5 Wh ขนาด 10x50x80 mm³ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

3.1 การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

เนื่องจากจุดประสงค์หลักของการศึกษาในหัวข้อวิจัยนี้คือการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC ด้วยกระแสพัลส์ที่มีความถี่สูง โดยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นนี้จะต้องมีความน่าเชื่อถือ แม่นยำ และออกแบบง่าย ดังนั้นวงจร Flyback Converter จึงถูกนำมาใช้ออกแบบวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) เนื่องจากวงจรดังกล่าวเหมาะสมต่อการทำงานที่ความถี่สูง และยังประกอบด้วยหม้อแปลงที่ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำในวงจรแยกส่วนที่เป็นด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ทำให้การประจุพลังงานนั้นมีความปลอดภัยต่ออุปกรณ์ด้านปฐมภูมิมากยิ่งขึ้นหากเกิดความผิดพลาดเนื่องจากวงจรทางด้านทุติยภูมิหรือตัวแบตเตอรี่เองขณะประจุพลังงาน นอกจากนี้วงจร Flyback Converter ยังเป็นวงจรที่ออกแบบง่าย มีอุปกรณ์น้อย และยังมีประสิทธิภาพที่สูงอีกด้วย ในส่วนของวงจรสร้างกระแสพัลส์นั้นเนื่องจากกระแสพัลส์ที่ต้องการออกแบบมีความถี่ค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากการเปิดปิดสวิตช์และเพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์หลักของการศึกษานี้ วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC) จึงถูกนำมาใช้ออกแบบวงจรสร้างกระแสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจร Flyback Converter

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกออกแบบวงจร Flyback Converter ให้ทำงานในโหมดต่อเนื่อง โดยกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจร (i_{Lm}) จะมีลักษณะไหลต่อเนื่องโดยไม่ตกลงที่ค่าศูนย์ หลักการทำงานของวงจรคือพลังงานจะถูกเก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำ (L_m) เมื่อสวิตช์ปิดวงจร และพลังงานจะถูกถ่ายโอนสู่โหลดเมื่อสวิตช์เปิดวงจร การศึกษาครั้งนี้ต้องการออกแบบให้วงจร Flyback Converter ทำงานที่ความถี่ ($f_{flyback}$) 100 kHz แปลงแรงดันจากแรงดันอินพุต (V_s) 38 V เพื่อให้ได้เอาต์พุตสูงสุดของวงจร Flyback Converter ($V_{flyback,max}$) 11 V โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจร (P_o) คือ 6 W และออกแบบให้อัตราส่วนหม้อแปลง ($N_p:N_s$) เป็น 5:1 เมื่อคำนวณตามสมการดังต่อไปนี้เพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุเพื่อลดแรงดันกระเพื่อมให้ไม่เกิน 0.25% โดยการคำนวณเพื่อออกแบบวงจร Flyback Converter ในหัวข้อนี้ได้ออกมาโดยไม่คำนึงถึงจะสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในวงจรเลย

$$V_o = V_s \left(\frac{D}{1-D} \right) \left(\frac{N_p}{N_s} \right) \quad (3.1)$$

$$11.0 \text{ v} = (38.0 \text{ v}) \left(\frac{D}{1-D} \right) \left(\frac{5}{1} \right)$$

$$D = 0.59$$

- โดยที่ V_o = เอาต์พุตสูงสุดของวงจร Flyback Converter (V)
 V_s = แรงดันจากแรงดันอินพุตของวงจร Flyback Converter (V)
 D = Duty Cycle
 N_p = จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ (turn)
 N_s = จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ (turn)

วงจร Flyback Converter จะทำงานที่ Duty Cycle ที่ 0.59 จากนั้นจะนำอัตราส่วนการทำงานดังกล่าวเพื่อคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของวงจรที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องตามสมการดังต่อไปนี้

$$L_{m,min} = \frac{(1-D)^2 (V_0)^2}{2f_{flyback} P_0} \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 \quad (3.2)$$

$$L_{m,min} = \frac{(1-0.59)^2 (38 \text{ v})^2}{(2)(100 \times 10^3 \text{ Hz})(6.0 \text{ w})} (5)^2$$

$$L_{m,min} = 5 \text{ mH}$$

โดยที่ $L_{m,min}$ = ค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดของวงจร Flyback Converter (H)

จากการคำนวณจะได้ค่าความเหนี่ยวนำ (L_m) ของวงจรที่ 5 mH ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่วงจรจะยังสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ ต่อไปจะเป็นการคำนวณหาค่าความจุเพื่อลดแรงดันกระเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตดังสมการต่อไปนี้ โดยแรงดันกระเพื่อมจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.5%

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{P_0 D}{C V_0^2 f_{flyback}} \quad (3.3)$$

$$\frac{0.25\%}{100} = \frac{(0.59)(6.0 \text{ w})}{(C)(11.0 \text{ v})^2 (100 \times 10^3)}$$

$$C = 117.0 \mu\text{F}$$

โดยที่ P_0 = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจร (W)

C = ค่าความจุ (F)

$f_{flyback}$ = ความถี่สวิตช์วงจร Flyback Converter (Hz)

จากการคำนวณจะได้ค่าความจุเพื่อลดแรงดันกระเพื่อม 117 μF ในที่นี้จะใช้ค่าความจุที่ 120 μF ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่สามารถจัดหาได้ง่าย นอกจากนี้ยังได้ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นที่แรงดันเอาต์พุต โดยวงจรกรองความถี่นี้ประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ทำงานที่ความถี่คัตออฟ (Cut-off frequency: f_c) 10 kHz ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำสำหรับวงจร Converter ที่ทำงานที่ความถี่ 100 kHz และกำหนดให้ค่าความจุของวงจรกรองความถี่ต่ำ (C_F) เป็นครึ่งหนึ่งของค่าความจุลดแรงดันกระเพื่อม จะได้ค่าความจุของวงจรความถี่ต่ำเป็น 60 μF จากนั้นคำนวณด้วยสมการดังต่อไปนี้เพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_F = \frac{1}{4\pi^2 f_c^2 C_F} \quad (3.4)$$

$$L_F = \frac{1}{4\pi^2 (10 \times 10^3 \text{ Hz}) \left(\frac{120}{2} \mu\text{F}\right)}$$

$$L_F = 4.22 \mu\text{H}$$

โดยที่ L_F = ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่ต่ำ (H)
 f_c = ความถี่คัตออฟ (Hz)
 C_F = ค่าความจุของวงจรกรองความถี่ต่ำ (F)

จากการคำนวณด้วยสมการ 3.4 จะได้ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ 4.22 μH ในที่นี้จะเลือกใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่ 4.0 μH แทนเพื่อสะดวกต่อการออกแบบวงจรประจุพลังงานไฟฟ้าจริง

3.1.2 การออกแบบวงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter (HBSRC)

ดังที่กล่าวข้างต้นไปแล้วว่าการออกแบบวงจรกระแสพัลส์ในการศึกษานี้จะออกแบบโดยให้วงจร HBSRC เป็นวงจรสร้างกระแสพัลส์ นอกจากนี้วงจร HBSRC ยังช่วยในการลดการสูญเสียเนื่องจากการเปิดปิดสวิตช์ด้วย เนื่องจากกระแสพัลส์ที่ต้องการสร้างเพื่อประจุพลังงานแก่แบตเตอรี่นั้นถูกกำหนดให้มีความถี่ 12.6 kHz ดังนั้นจากรูปแบบการทำงานของวงจร HBSRC ที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 สวิตช์ของวงจร HBSRC จะถูกกำหนดให้ทำงานที่ความถี่ ($f_{s,HBSRC}$) 6.3 kHz และถูกออกแบบให้ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง โดยกำหนดให้แรงดันแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานเต็ม ($V_{BA,max}$) เป็น 4.2 V ค่ากระแสพัลส์สูงสุด ($I_{BA,max}$) 3 A และแรงดันแบตเตอรี่เมื่อเริ่มการประจุพลังงาน ($V_{BA,min}$) อยู่ที่ 3.3 V จากคำอธิบายโหมดการทำงานต่างๆ ที่กล่าวไปในบทที่ 2 จึงกำหนดให้ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) อยู่ที่ 12.6 kHz จากข้อมูลดังกล่าวจะสามารถหาความเหนี่ยวนำรวม (L_t) ของวงจร ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_t = \frac{2V_{BA,max} - 2V_{BA,min}}{2\pi f_0 I_{BA,max}} \quad (3.5)$$

$$L_t = \frac{(2 \times 4.2 \text{ v}) - (2 \times 3.3 \text{ v})}{2\pi (12.6 \times 10^3 \text{ Hz}) (3.0 \text{ A})}$$

$$L_t = 7.6 \mu\text{H}$$

โดยที่ L_t = ความเหนี่ยวนำรวมของวงจร (H)

$V_{BA,max}$ = แรงดันแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานเต็ม (V)

$V_{BA,min}$ = แรงดันแบตเตอรี่เมื่อเริ่มการประจุพลังงาน (V)

f_0 = ความถี่เรโซแนนซ์ (Hz)

$I_{BA,max}$ = กระแสพัลส์สูงสุด (A)

จากการคำนวณจะได้ค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจรเป็น 7.6 μH ในที่นี้จะกำหนดให้วงจรดังกล่าวนี้ไม่มีผลของค่าความเหนี่ยวนำแฝงในแบตเตอรี่และอุปกรณ์อื่นของวงจร ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำของวงจรเรโซแนนซ์จะเป็น 7.6 μH เมื่อคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้แล้วต่อไปจึงคำนวณหาค่าความจุเรโซแนนซ์จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_r = \frac{I_{BA,max}}{2\pi f_0 ((2V_{BA,max}) - (2V_{BA,min}))} \quad (3.6)$$

$$C_r = \frac{3.0 \text{ A}}{2\pi (12.6 \times 10^3 \text{ Hz}) ((2 \times 4.2 \text{ v}) - (2 \times 3.3 \text{ v}))}$$

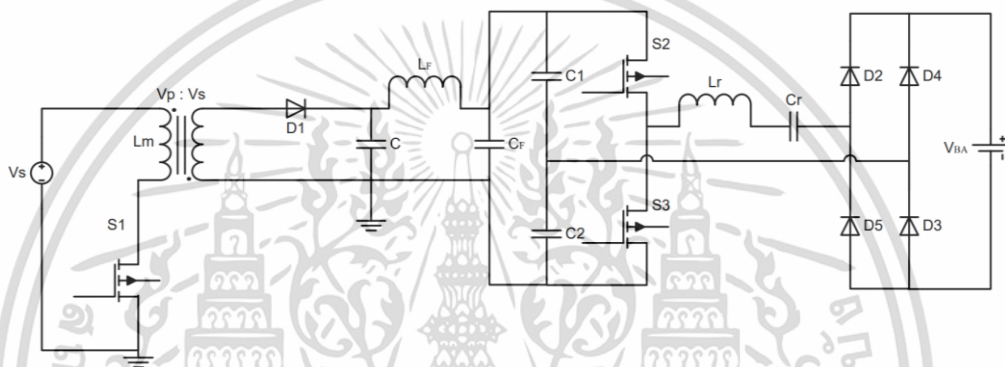
$$C_r = 21 \mu\text{F}$$

โดยที่ C_r = ความจุเรโซแนนซ์ (F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 สรุปการออกแบบวงจรประจุพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบวงจร Flyback Converter และ วงจร HBSRC รวมถึงแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการศึกษานางานวิจัยนี้ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ จะสามารถนำมาสรุปเป็นวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 3.2 และพารามิเตอร์ของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในวงจรดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในหัวข้อนี้ได้อธิบายถึงวิธีการคำนวณและที่มาของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ถูกเลือกนำมาใช้ประกอบในวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ดังที่กล่าวมานั้นจะถูกนำไปประกอบในโปรแกรมจำลองเพื่อศึกษาลักษณะและความถูกต้องของรูปแบบกระแสและแรงดันของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.2 วงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ในวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่

วงจร Flyback Converter	
แรงดันอินพุต flyback (V_s)	38 V
อัตราส่วนหม้อแปลง ($N_p:N_s$)	5:1
ค่าความเหนี่ยวนำหม้อแปลง (L_m)	5 mH
ตัวเก็บประจุ (C)	120 μ F
ความถี่สวิตช์วงจร Flyback Converter ($f_{flyback}$)	100 kHz
วงจรรองความถี่ต่ำ	
ตัวเหนี่ยวนำวงจรความถี่ต่ำ (L_F)	4 μ H
ตัวเก็บประจุวงจรรองความถี่ต่ำ (C_F)	60 μ F
วงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter	
ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (L_r)	7.6 μ H
ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (C_r)	21 μ F
ตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน (C_1, C_2)	150 μ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

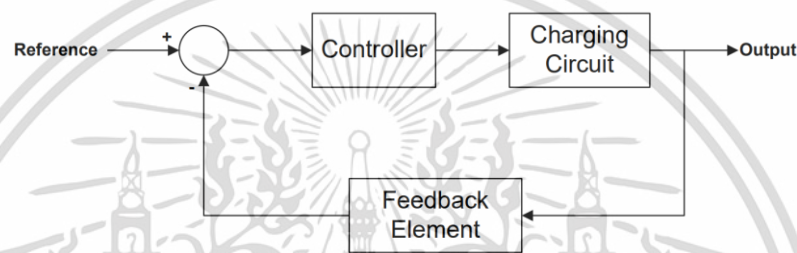
3.2 การจำลองการทำงานของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ ด้วยโปรแกรม PSIM

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำเอาวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ได้ออกแบบในหัวข้อที่ 3.1 นั้นมาทำการจำลองในโปรแกรม PSIM เพื่อดูลักษณะของแรงดันและกระแสพัลส์ที่จ่ายให้แก่แบตเตอรี่ วงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ถูกจำลองขึ้นบนโปรแกรม PSIM จะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรกำลังหรือวงจร Flyback Converter และวงจร HBRSC วงจรควบคุม และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยก่อนการเริ่มต้นการจำลองนั้นจะต้องทำการออกแบบวงจรควบคุมการจ่ายกระแสและแรงดันของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ก่อน คือการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC ด้วยกระแสพัลส์ โดยวงจรประจุพลังงานจะทำงานโดยการรับสัญญาณ Pulse-width modulation (PWM) จากวงจรควบคุมเพื่อเปิดปิดสวิตช์ในวงจร Flyback Converter วงจรประจุพลังงานจึงจะทำงานได้อย่างถูกต้องตามรูปแบบการประจุพลังงานแบบต่างๆ ที่ต้องการ ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบวงจรส่งค่ากระแสและแรงดันขณะประจุพลังงานแบตเตอรี่ไปยังอุปกรณ์ภายนอก เพื่อเก็บบันทึกและนำไปใช้ในการคำนวณหาพลังงานรวมในการประจุแบตเตอรี่ต่อไป และในหัวข้อสุดท้ายคือการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ด้วยกระแสพัลส์ และทำการอธิบายถึงรูปแบบกระแสและแรงดันที่ได้

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมเป็นส่วนสำคัญอย่างมากสำหรับการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ เนื่องจากวงจรนี้จำเป็นที่จะต้องได้รับสัญญาณจากภายนอกเข้ามาเพื่อควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ของวงจรให้จ่ายกระแสหรือแรงดันให้ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ โดยข้อกำหนดของการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่นี้จะถูกออกแบบและควบคุมโดยวงจรควบคุมนั่นเอง การทำงานของวงจรควบคุมร่วมกับวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่จะแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยเรียกการควบคุมรูปแบบนี้ว่าการควบคุมแบบปิด (Close Loop Control) การทำงานของวงจรควบคุมแบบปิดนี้ วงจรจะรับเอาสัญญาณเอาต์พุตของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่จากเซนเซอร์ที่ตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันเข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากระแสหรือแรงดันที่กำหนด จากนั้นวงจรควบคุมจะนำค่าเปรียบเทียบบ้างกล่าวมาคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมการเปิดปิดของสวิตช์ในวงจรประจุพลังงาน โดยในงานวิจัยนี้จะให้ชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit แสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งพัฒนาและผลิตขึ้นโดยบริษัท Texas Instruments มาเป็นส่วนควบคุมในอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่นี้ ซึ่งชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit จะสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม PSIM ได้

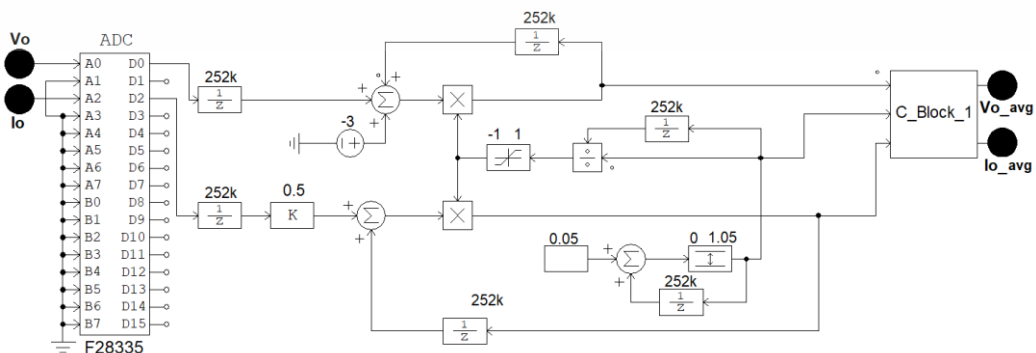
จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการควบคุมแบบปิดนั้นจะต้องได้รับสัญญาณจากวงจรหลักเข้ามาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณ PWM ขึ้นมา ดังนั้นอีกส่วนที่สำคัญอย่างมากในการออกแบบวงจรประจุพลังงานให้ทำงานอย่างสมบูรณ์แบบนี้คือ การรับเอาค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ถูกต้องและแม่นยำจากวงจรหลักเข้ามาสู่วงจรควบคุม และการออกแบบการประมวลค่าสัญญาณนั้นในวงจรควบคุมเอง โดยสัญญาณที่จำเป็นต้องรับเข้ามาในวงจรควบคุมนั้นคือสัญญาณของกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่มีลักษณะเป็นรูปแบบพัลส์ที่มีความถี่ 12.6 kHz ซึ่งจะต้องทำการคำนวณสัญญาณที่ได้มาให้เป็นแรงดันและกระแสเฉลี่ยจึงจะสามารถนำไปใช้ยังขั้นตอนถัดไปได้ ในรูปที่ 3.5 แสดงถึง Function block diagram ที่ใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยจากสัญญาณพัลส์



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมแบบปิด



รูปที่ 3.4 ชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit



รูปที่ 3.5 Function block diagram คำนวณค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยจากสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการแก้ไขเนื้อหา กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

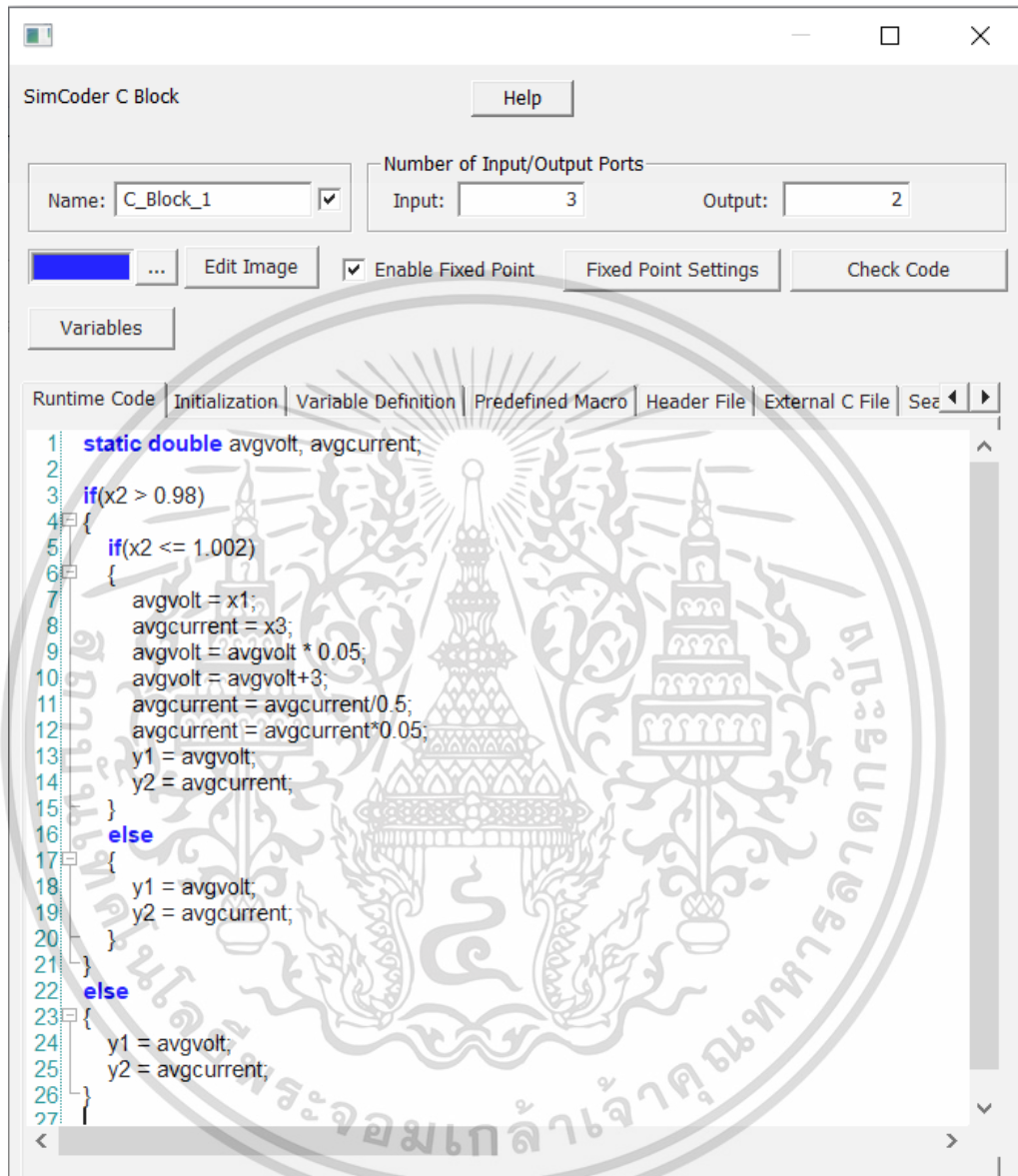
หลักการการทำงานของ Function block diagram คือการสุ่มรับค่ากระแสและแรงดันหนึ่งค่าที่ความถี่ 252 kHz ผ่านทางอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ADC และทำการบวกค่ากระแสและแรงดันสะสมไปเรื่อย ๆ จนครบ 20 ค่า ซึ่งเป็นการรวมค่ากระแสและแรงดันสะสมในช่วงครบ 1 คาบของการจ่ายกระแส 1 พัลส์ ที่ความถี่ 12.6 kHz โดยค่าของแรงดันที่รับมาแต่ละค่านั้นจะถูกลดระดับด้วยการลบด้วยค่าคงที่ 3 ทำให้ผลบวกสะสมของแรงดันต่ำลงเพื่อลดค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ โดยค่าของกระแสจะถูกคูณด้วย 0.5 เพื่อเหตุผลเดียวกันนั่นเอง ในขณะที่เดียวกันในส่วนของค่าคงที่ 0.05 จะถูกออกแบบให้บวกสะสมเช่นกัน โดยจุดประสงค์ของการทำงานในส่วนนี้คือเพื่อเป็นพารามิเตอร์สำหรับยกเลิกผลรวมของกระแสและแรงดันเมื่อทำงานครบ 1 คาบ และเพื่อนำไปประมวลผลคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยใน C_Block_1 อีกด้วย ผลรวมของกระแสและแรงดันจากการคำนวณใน Function block จะถูกส่งเข้าไปประมวลผลและคำนวณหาค่าเฉลี่ยใน C_Block_1 ดังรูปที่ 3.6 โดย x_1 , x_2 และ x_3 คือ ผลรวมแรงดัน ผลรวมค่าคงที่ 0.05 และผลรวมกระแสตามลำดับ ส่วน y_1 และ y_2 คือ แรงดันเฉลี่ยและกระแสเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณใน C_Block_1

หลังจากที่ได้ค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยจากการคำนวณใน C_Block_1 แล้ว ค่าทั้งสองจะถูกส่งต่อไปยัง C_Block_2 เพื่อประมวลผลหารูปแบบการประจุพลังงานไฟฟ้าในขณะนั้น ดังที่แสดงในรูปที่ 3.7 โดยการประมวลผลใน C_Block_2 นี้ โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ว่าการประจุพลังงานขณะนี้อยู่ในรูปแบบใด โดยการวิเคราะห์จากค่าของแรงดันเฉลี่ยที่ได้รับมาจาก C_Block_1 ทางอินพุต x_1 หากค่าแรงดันเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 4.2 V โปรแกรมจะออกคำสั่งให้ส่งค่าออกทางเอาต์พุต y_1 และ y_2 เป็นค่าคงที่กระแสที่กำหนด หรือ 1 และ ค่ากระแสเฉลี่ยที่รับมาจาก C_Block_1 ตามลำดับ ซึ่งคำสั่งดังกล่าวคือการที่โปรแกรมออกคำสั่งให้วงจรประจุพลังงานแบบ CC นั่นเอง ในขณะเดียวกันหากแรงดันเฉลี่ยที่รับเข้ามาทางอินพุต x_1 นั้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4.2 V โปรแกรมจะทำการนับจำนวนรอบการทำงานที่แรงดันเฉลี่ยมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4.2 V จนกระทั่งจำนวนรอบดังกล่าวมากกว่า 1,000 รอบ โปรแกรมจะออกคำสั่งให้ส่งค่าออกทางเอาต์พุต y_1 และ y_2 เป็นค่าคงที่แรงดันที่กำหนด หรือ 4.2 และค่าแรงดันเฉลี่ยที่รับมาจาก C_Block_1 ตามลำดับ

สำหรับการประจุพลังงานแบบ CC โปรแกรมจะออกคำสั่งให้วงจรประจุพลังงานแบบ CC เท่านั้น ค่าที่ส่งออกจากเอาต์พุต y_1 และ y_2 จะเป็นค่าศูนย์เพื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CC ซึ่งในกรณีการประจุพลังงานแบบ CCCV เมื่อสิ้นสุดช่วงการประจุพลังงานแบบ CC แล้ว ค่าที่ส่งออกจากเอาต์พุต y_1 และ y_2 ในช่วงการประจุพลังงานแบบ CV นั้นจะเป็นค่าแรงดันที่กำหนดและค่าแรงดันเฉลี่ยที่รับมาจาก C_Block_1 ตามลำดับ ซึ่งคำสั่งดังกล่าวคือการที่โปรแกรมออกคำสั่งให้วงจรประจุพลังงานแบบ CV ในช่วงนี้แรงดันแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้คงที่นั่นเอง ในขณะที่กระแสเฉลี่ยจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนกระทั่งกระแสลดลงต่ำกว่า 0.05 A หรือ 1% ของความจุแบตเตอรี่ โปรแกรมจะทำการนับจำนวนรอบการทำงานที่กระแสเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่า 0.05 A จนกระทั่งจำนวนรอบดังกล่าวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,000 รอบ โปรแกรมจะออกคำสั่งให้ส่งค่าออกทางเอาต์พุต y_1 และ y_2 เป็นค่าคงที่ศูนย์เพื่อสิ้นสุดขั้นตอนการประจุพลังงานแบตเตอรี่



```

1  static double avgvolt, avgcurrent;
2
3  if(x2 > 0.98)
4  {
5      if(x2 <= 1.002)
6      {
7          avgvolt = x1;
8          avgcurrent = x3;
9          avgvolt = avgvolt * 0.05;
10         avgvolt = avgvolt+3;
11         avgcurrent = avgcurrent/0.5;
12         avgcurrent = avgcurrent*0.05;
13         y1 = avgvolt;
14         y2 = avgcurrent;
15     }
16     else
17     {
18         y1 = avgvolt;
19         y2 = avgcurrent;
20     }
21 }
22 else
23 {
24     y1 = avgvolt;
25     y2 = avgcurrent;
26 }
27 {

```

รูปที่ 3.6 โปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยใน C_Block_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

7
8 static double count = 0, countA = 0; // For counting cycle
9
10 if(count > 1000)
11 {
12     if(countA > 1000)
13     {
14         y2 = x5;
15         y1 = x5;
16     }
17     else{
18         if(x2 < 0.05)
19         {
20             countA = countA + 1;
21             y2 = x1;
22             y1 = x4;
23         }
24         else
25         {
26             countA = 0;
27             y2 = x1;
28             y1 = x4;
29         }
30     }
31 }
32 else{
33     if(x1 >= 4.2)
34     {
35         count = count + 1;
36         y2 = x2;
37         y1 = x3;
38     }
39     else
40     {
41         count = 0;
42         y2 = x2;
43         y1 = x3;
44     }
45 }
46 }
47
48

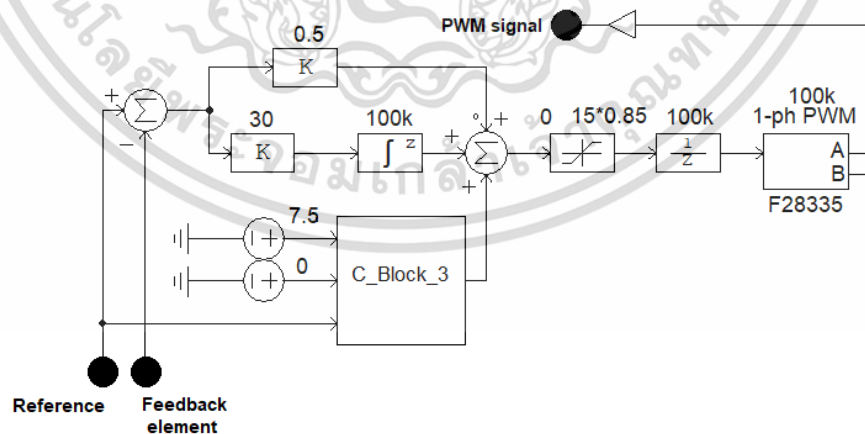
```

รูปที่ 3.7 โปรแกรมคำนวณหารูปแบบการประจุพลังงานใน C_Block_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

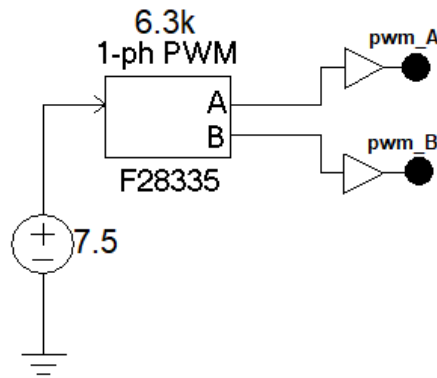
หลังจาก C_Block_2 ทำการวิเคราะห์รูปแบบการประจุพลังงานจนกระทั่งได้เอาต์พุต y_1 และ y_2 มาแล้วนั้น ค่าจากเอาต์พุตดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสอง ในขั้นตอนนี้เอาต์พุต y_1 จะเปรียบเสมือนค่าควบคุมในวงจรถวลควบคุมแบบปิดที่แสดงในรูปที่ 3.4 และ y_2 เปรียบเสมือนค่าที่รับมาจากวงจรถวลหลัก หรือ Feedback element นั้นเอง ต่อจากนั้นค่าเปรียบเทียบนี้จะถูกส่งต่อไปยังระบบควบคุมพีไอ (PI control) เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรเพื่อปรับระยะพัลส์การทำงาน หรือ Duty cycle ในการเปิดปิดสวิตช์ของวงจรถวล Flyback นั้นเอง ในรูปที่ 3.8 จะแสดงถึง Function block diagram ของระบบควบคุม PI ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าในส่วนของ Function block diagram นี้มีอุปกรณ์ให้กำเนิดสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 100 kHz ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในโปรแกรม PSIM อุปกรณ์นี้จะถูกติดตั้งอยู่ใน SimCoder Library ซึ่งใน Library นี้จะมีโมเดลของชุดควบคุมดิจิทัลจลน์ต่างๆ เพื่อให้โปรแกรม PSIM สามารถใช้งานร่วมกับชุดควบคุมดิจิทัลนั้นได้ ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานอุปกรณ์ใน Library ดังกล่าว ผู้ใช้งานจะต้องเลือกให้ตรงกับโมเดลของชุดควบคุมดิจิทัลที่ใช้งานด้วย และศึกษาการใช้งานรวมถึงข้อจำกัดเบื้องต้นของอุปกรณ์นั้นๆ เมื่อวงจรถวลพลังงานสิ้นสุดการทำงานที่กระแสเฉลี่ยน้อยกว่า 0.05 A C_Block_2 จะส่งค่าเอาต์พุตทั้งสองออกมาเป็นค่าศูนย์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยค่านี้จะถูกส่งเข้าไปใน C_Block_3 เพื่อโปรแกรมให้สร้างสัญญาณ PWM เป็นศูนย์

ในส่วนสุดท้ายของการออกแบบวงจรถวลควบคุมคือการออกแบบอุปกรณ์สร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรถวล HBSRC โดยในส่วนนี้จะใช้อุปกรณ์ให้กำเนิดสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 6.3 kHz โดยเอาต์พุต A ควบคุมการทำงานของสวิตช์ S2 และเอาต์พุต B ควบคุมการทำงานของสวิตช์ S3 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งเอาต์พุตทั้งสองจะทำงานเปิดปิดสลับกัน



รูปที่ 3.8 Function block diagram ระบบควบคุม PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Function block diagram สัญญาณควบคุมวงจร HBSRC

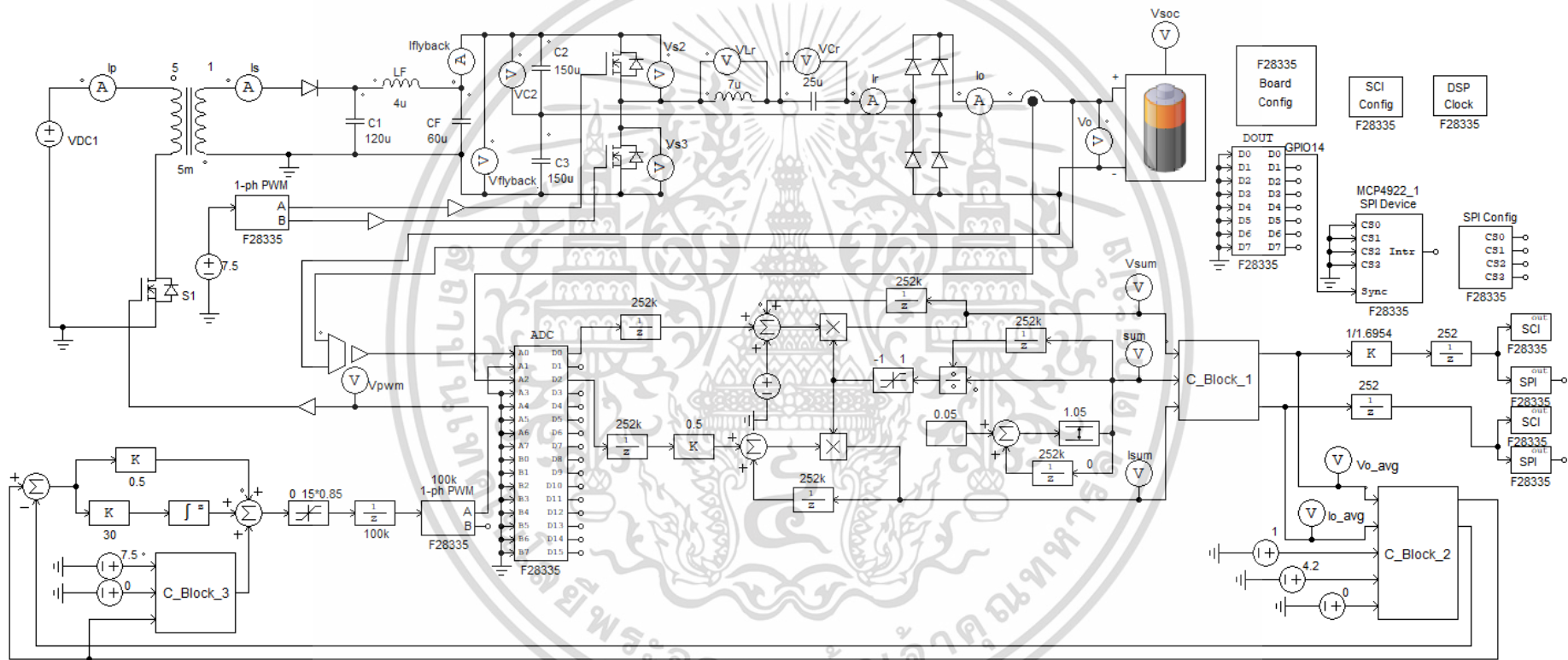
3.2.2 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นวงจรส่วนที่เพิ่มขึ้นมาจากวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อทำหน้าที่แปลงและส่งสัญญาณแรงดันและกระแสสู่วงจรบันทึกค่าภายนอก เนื่องจากชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit ที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้นไม่สามารถส่งค่าเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อกได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกภายนอก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกรุ่น MCP4922 ที่ถูกพัฒนาและผลิตโดยบริษัท Microchip Technology Inc. มาใช้งาน เนื่องจาก MCP4922 นั้นสามารถใช้งานง่าย มีอินพุตและเอาต์พุตอย่างละสองค่าสำหรับส่งข้อมูลแรงดันและกระแสเฉลี่ยและยังสามารถสื่อสารข้อมูลผ่าน Serial Peripheral Interface (SPI) ของชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit ได้ผ่านทางการใช้งานร่วมกับโปรแกรม PSIM จึงทำให้ MCP4922 นั้นเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

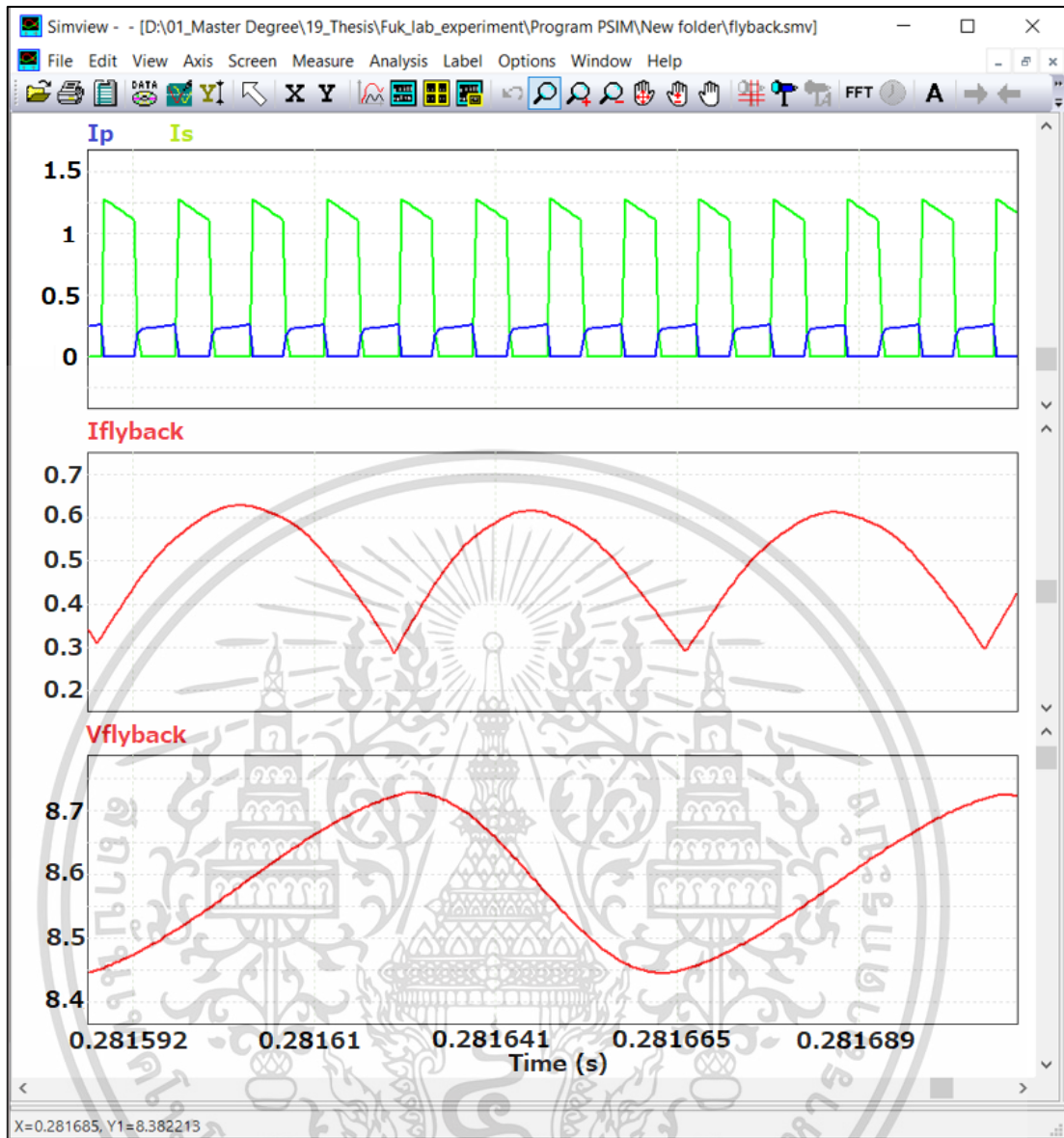
แรงดันและกระแสเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณใน C_Block_1 จะถูกส่งเข้าสู่อุปกรณ์สื่อสาร SPI (Output SPI) ที่ความถี่ 252 Hz ดังที่แสดงในรูปที่ 3.10 โดยค่าแรงดันเฉลี่ยจะถูกคูณด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งเพื่อปรับให้ขนาดของแรงดันมีค่าลดลง เนื่องจากแรงดันสูงสุดที่ MCP4922 จะสามารถทำงานได้คือ 3.3 V สัญญาณแรงดันและกระแสเฉลี่ยจะถูกส่งออกไปสู่ MCP4922 ผ่านทางการสื่อสาร SPI ที่เอาต์พุต GPIO14

สรุปได้ว่าวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ออกแบบนั้นสามารถประจุกระแสพัลส์ที่ 50% Duty cycle ด้วยความถี่ 12.6 kHz ตามที่ได้ออกแบบไว้ได้อย่างแม่นยำบนการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM

นอกจากการจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่แล้วนั้น ส่วนที่สำคัญอย่างมากคือการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC เนื่องจากรูปแบบการประจุพลังงานดังกล่าวนี้เป็นอีกหนึ่งจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยนี้ ในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 3.15 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณใน C_Block_1 โดยการจำลองการทำงานจะเริ่มตั้งแต่ State of Charge (SOC) ที่ 96.5% จนถึง SOC ที่ 96.72% ในช่วงแรกนั้นแบตเตอรี่จะถูกประจุพลังงานแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์เฉลี่ยคงที่ 1 A จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นจนถึง 4.2 V จากนั้นแบตเตอรี่จะถูกเปลี่ยนรูปแบบการประจุพลังงานเป็น CV ด้วยกระแสพัลส์แทน ในรูปที่ 3.16 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณใน C_Block_1 โดยการจำลองการทำงานจะเริ่มตั้งแต่ State of Charge (SOC) ที่ 96.50% จนถึง SOC ที่ 96.60% โดยแบตเตอรี่จะถูกประจุด้วยกระแสพัลส์เฉลี่ยคงที่ 1 A ตลอดช่วงการประจุพลังงานแบบ CC จากผลการจำลองสรุปได้ว่าวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ออกแบบนั้นสามารถประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ได้อย่างแม่นยำบนการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM

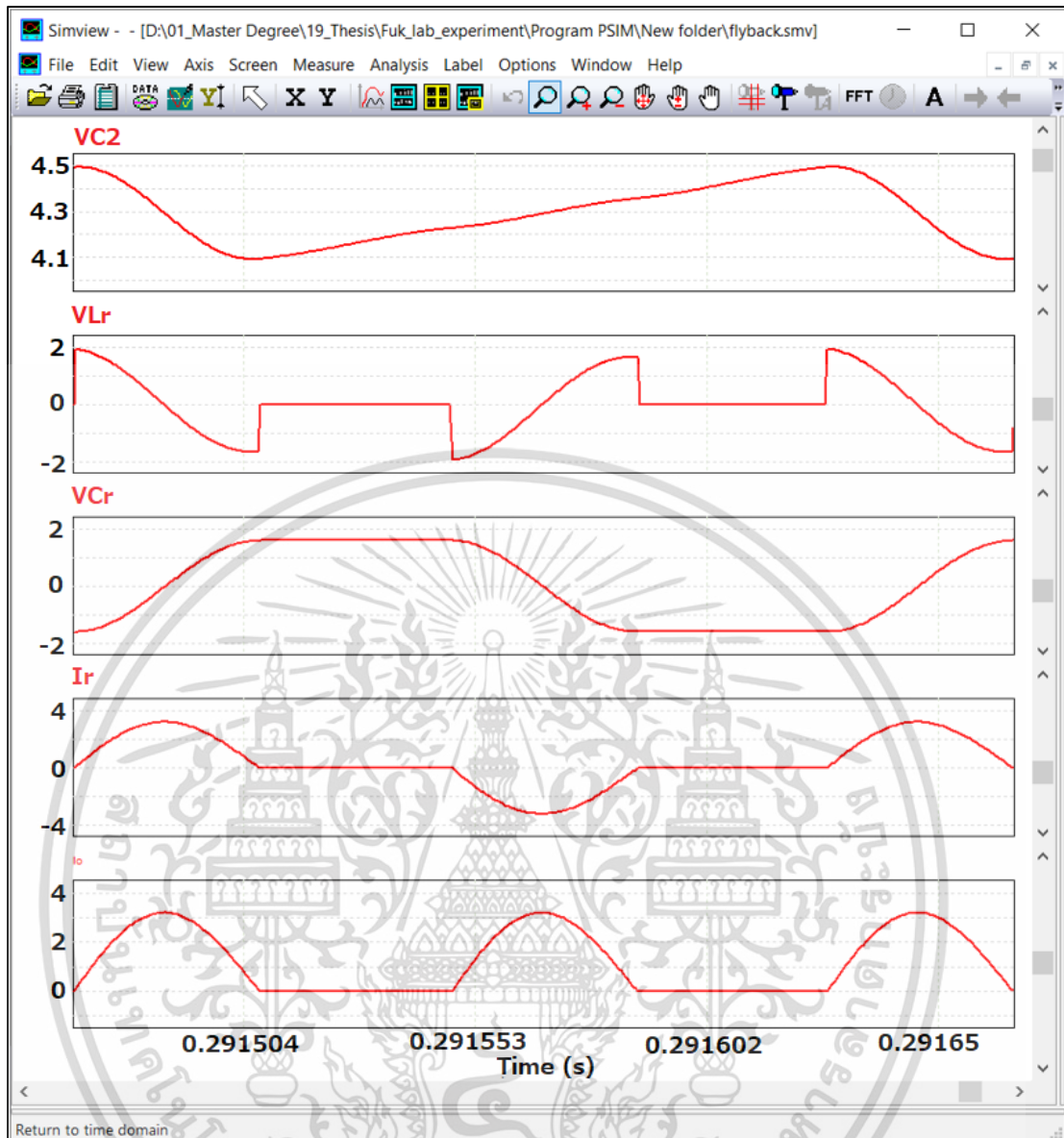


รูปที่ 3.11 การจำลองวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ในโปรแกรม PSIM



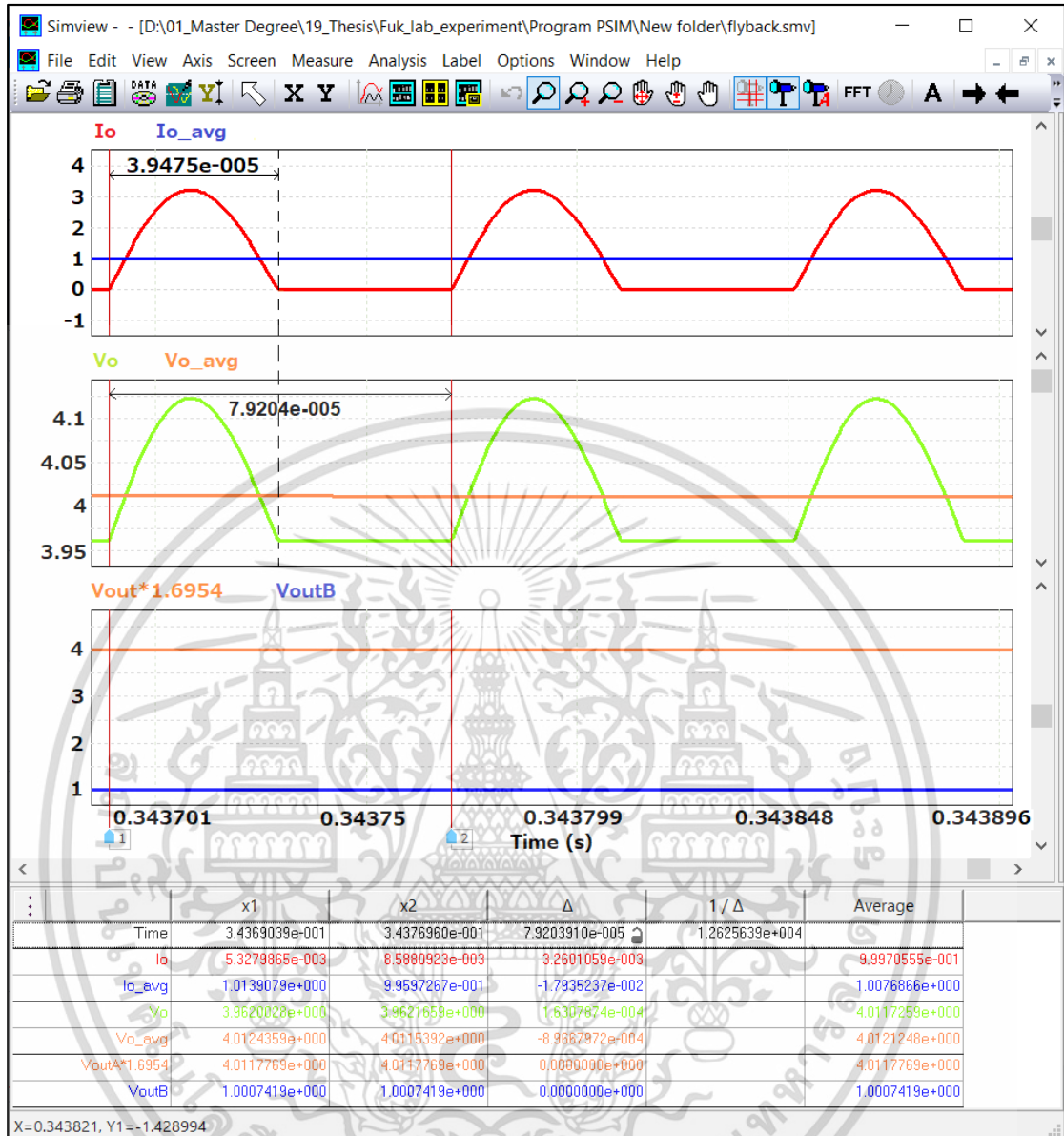
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองการทำงานของวงจร Flyback Converter บนโปรแกรม PSIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



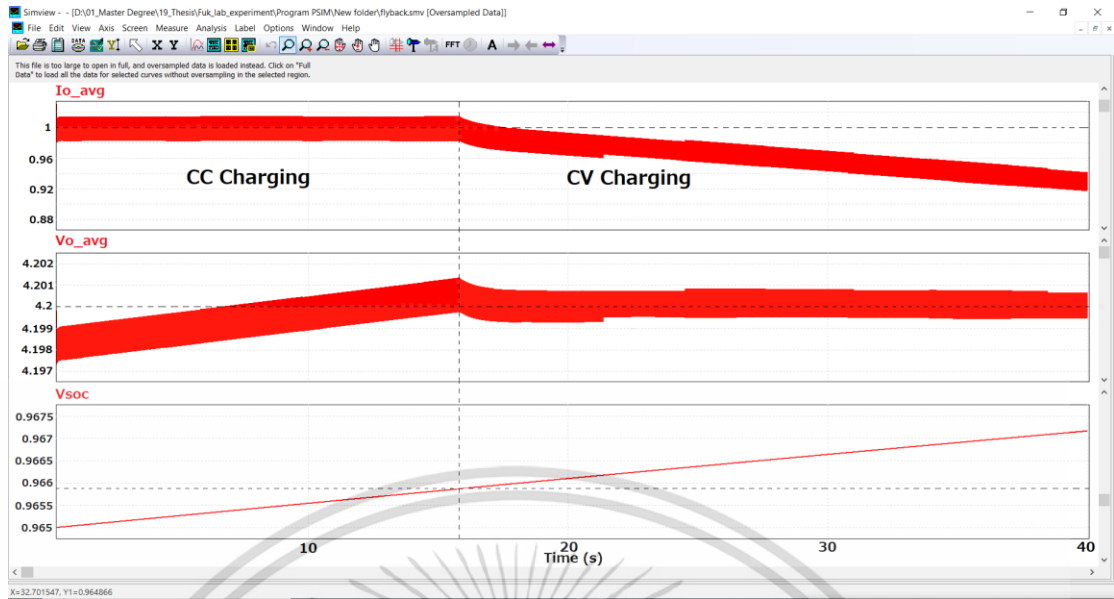
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองการทำงานของวงจร HBSRC บนโปรแกรม PSIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

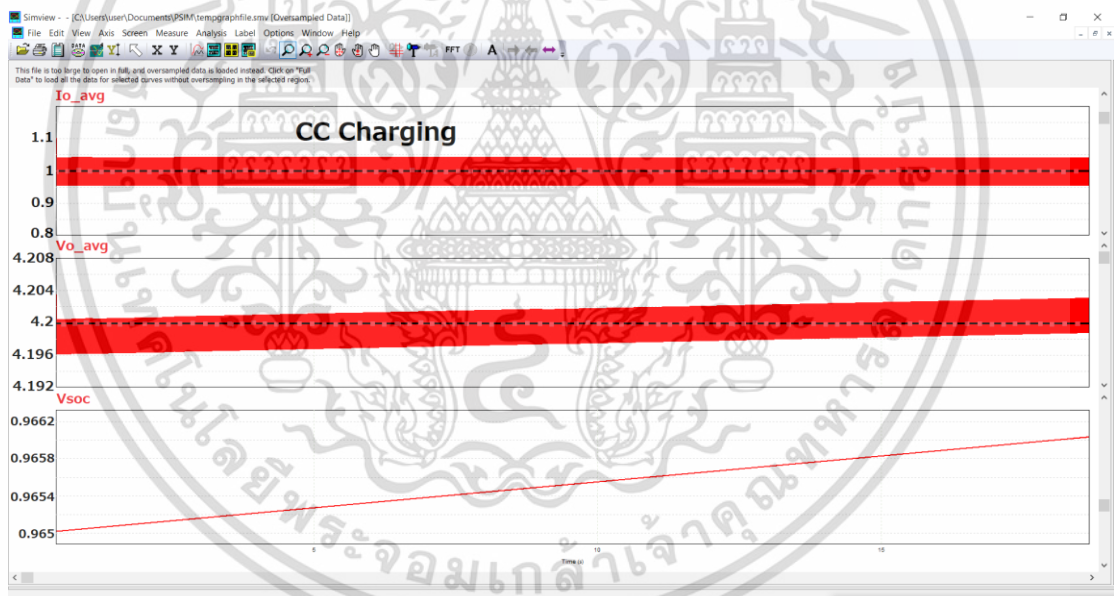


รูปที่ 3.14 สัญญาณกระแสและแรงดันจากการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์บนโปรแกรม PSIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 กระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่เฉลี่ย และ State of Charge ของแบตเตอรี่ ขณะประจุพลังงานแบบ CCCV จากการจำลองบนโปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.16 กระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่เฉลี่ย และ State of Charge ของแบตเตอรี่ ขณะประจุพลังงานแบบ CC จากการจำลองบนโปรแกรม PSIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ

ในการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจริงนั้นจะค่อนข้างมีความแตกต่างจากการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่บนโปรแกรม PSIM เนื่องจากวงจรจำลองในโปรแกรมนั้นอุปกรณ์ส่วนมากจะสามารถกำหนดพารามิเตอร์แ่งของอุปกรณ์นั้นๆ ได้ ในขณะที่วงจรประจุพลังงานจริงนั้นอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบจะไม่สามารถกำหนดพารามิเตอร์แ่งได้ รวมถึงอุปกรณ์บางชนิดที่มีอยู่บนโปรแกรม PSIM เมื่อนำมาสร้างเป็นวงจรประจุพลังงานจริงจะค่อนข้างมีความซับซ้อนและต้องอาศัยอุปกรณ์ภายนอกมาเป็นส่วนประกอบเพื่อให้อุปกรณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ดังนั้นการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจึงจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของการทำงานของอุปกรณ์ประจุพลังงาน เช่นเดียวกับการจำลองบนโปรแกรม PSIM ด้วยเช่นกัน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบโดยวงจรจะประกอบด้วยวงจรถูกำลัง วงจรควบคุม และวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่

3.3.1 วงจรกำลัง

วงจรถูกำลังของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจะประกอบไปด้วยวงจร Flyback Converter วงจร HBSRC และวงจรขยายสัญญาณ โดยการสร้างวงจรประจุพลังงานจริงนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการออกแบบและสร้างหม้อแปลงสำหรับวงจร Flyback Converter เนื่องจากหม้อแปลงดังกล่าวมีค่าความเหนี่ยวนำ พิกัดกระแสไหลผ่าน และกำลังไฟฟ้าที่จำเพาะ ดังนั้นจึงไม่สามารถจัดหาหม้อแปลงดังกล่าวได้ในท้องตลาด โดยการออกแบบการสร้างหม้อแปลงจะใช้แกนเหล็ก EE Ferrite Core วัสดุ N27 ขนาด 20/10/3 มีระยะห่างระหว่างแกนที่ 0.09 mm และมีค่าพารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำ (Inductance factor; A_L) ที่ 363 nH จะสามารถคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดได้ดังสมการต่อไปนี้

$$L_m = A_L N^2 \quad (3.7)$$

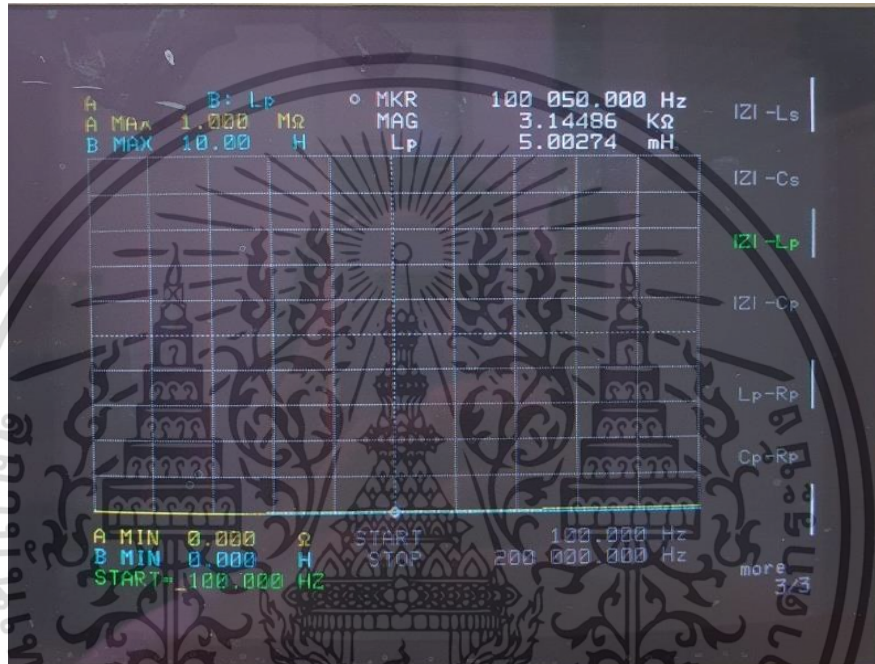
$$N = \sqrt{\frac{5 \times 10^{-3} \text{ H}}{363 \times 10^{-9} \text{ H}}}$$

$$N = 118 \text{ turns}$$

โดยที่ L_m = ค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิวงจร Flyback Converter (H)
 A_L = ค่าพารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำ (H)
 N = จำนวนรอบขดลวด (turn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณจะได้จำนวนรอบขดลวดที่หม้อแปลงด้านปฐมภูมิที่ 118 รอบ จากนั้นจึงทำการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงหลังจากพันขดลวดแล้วทำให้ทราบว่าจำนวนรอบขดลวด 145 รอบ นั้นมีเหมาะสมที่ทำให้หม้อแปลงมีค่าความเหนี่ยวนำ 5 mH ที่การทำงานที่ความถี่ 100 kHz เนื่องจากขนาดของแกนเหล็กจริงนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากที่ระบุไว้ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.17 ดังนั้นจำนวนรอบขดลวดที่ด้านทุติยภูมิจึงถูกกำหนดเป็น 29 รอบ ตามสัดส่วนของหม้อแปลงที่ได้คำนวณเอาไว้ในหัวข้อที่ 3.1



รูปที่ 3.17 ค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง Flyback Converter

นอกจากนี้การคำนวณหาขนาดของกระแสสูงสุดที่ทำให้หม้อแปลงไม่เกิดการอิ่มตัวก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก โดยความเข้มข้นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation magnetization; B_s) ที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่า 0.5 T จะสามารถคำนวณหากระแสสูงสุดที่ทำให้หม้อแปลงไม่เกิดการอิ่มตัวได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

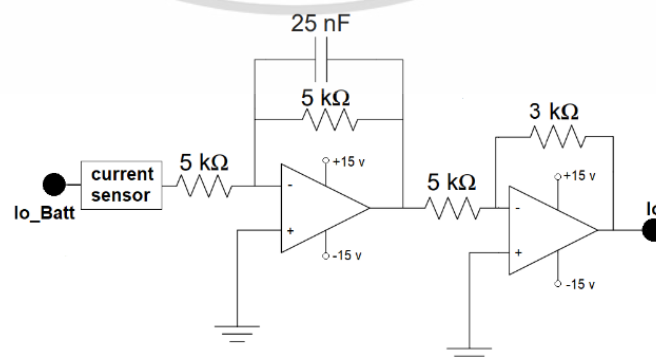
$$B_s = \frac{N I_m \mu_0}{g} \quad (3.8)$$

$$I_m = \frac{(0.5 \text{ T})(0.09 \times 10^{-3} \text{ m})}{(145 \text{ turns})(4\pi \times 10^{-7})}$$

$$I_m = 0.25 \text{ A}$$

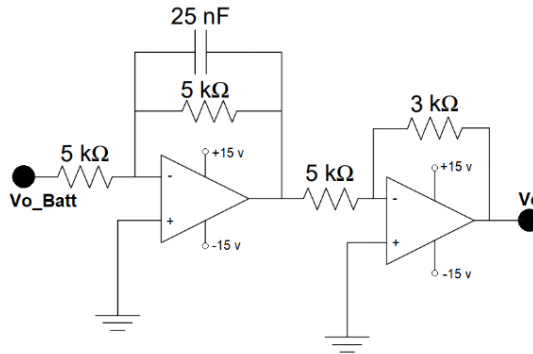
โดยที่ B_s = ความเข้มข้นของฟลักซ์แม่เหล็กอิมิตัว (T)
 I_m = กระแสสูงสุดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ (A)
 g = ขนาดช่องว่างของแกนเหล็ก (m)

จากการคำนวณจะได้กระแสสูงสุดทางด้านปฐมภูมิที่ทำให้หม้อแปลงไม่เกิดการอิมิตัวขณะทำงานที่ 0.25 A ซึ่งจากรูปที่ 3.12 ที่แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจร Flyback Converter บนโปรแกรม PSIM จะเห็นว่ากระแสด้านปฐมภูมิสูงสุดที่ได้จากการจำลองนั้นมีค่าไม่เกิน 0.25 A ดังนั้นหม้อแปลงที่ถูกออกแบบนี้จะสามารถทำงานที่กระแสสูงสุดได้โดยไม่เกิดการอิมิตัว นอกจากนี้ภายในวงจรกำลังนี้ยังมีส่วนประกอบที่เป็นวงจรวัดกระแสและแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ เพื่อส่งค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่เข้าสู่ชุดควบคุมดิจิทัล โดยวงจรทั้งสองนี้จะทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ (Op-Amp) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากวงจรกำลังก่อนที่ค่ากระแสและแรงดันจะถูกส่งเข้าสู่ชุดควบคุม ซึ่งการออกแบบวงจรวัดกระแสและแรงดันจะแสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ เนื่องจากชุดควบคุมดิจิทัลรุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit สามารถรับแรงดันอินพุตเข้ามาได้ไม่เกิน 3 V ดังนั้นแรงดันแบตเตอรี่จึงต้องถูกลดระดับลงมาโดยการใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ขนาด 3/5 ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ ในส่วนของค่ากระแสนั้นจะใช้เซนเซอร์วัดค่ากระแสรุ่น L18P003D15 ซึ่งมีพิกัดรับค่ากระแสสูงสุด 3 A ที่แรงดันเอาต์พุต 4 V ร่วมกับวงจรแบ่งแรงดันขนาด 3/5 และวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งค่ากระแสและแรงดันจากวงจรขยายสัญญาณจะถูกส่งเข้าสู่ชุดควบคุมผ่านทางอินพุต A0 และ A2



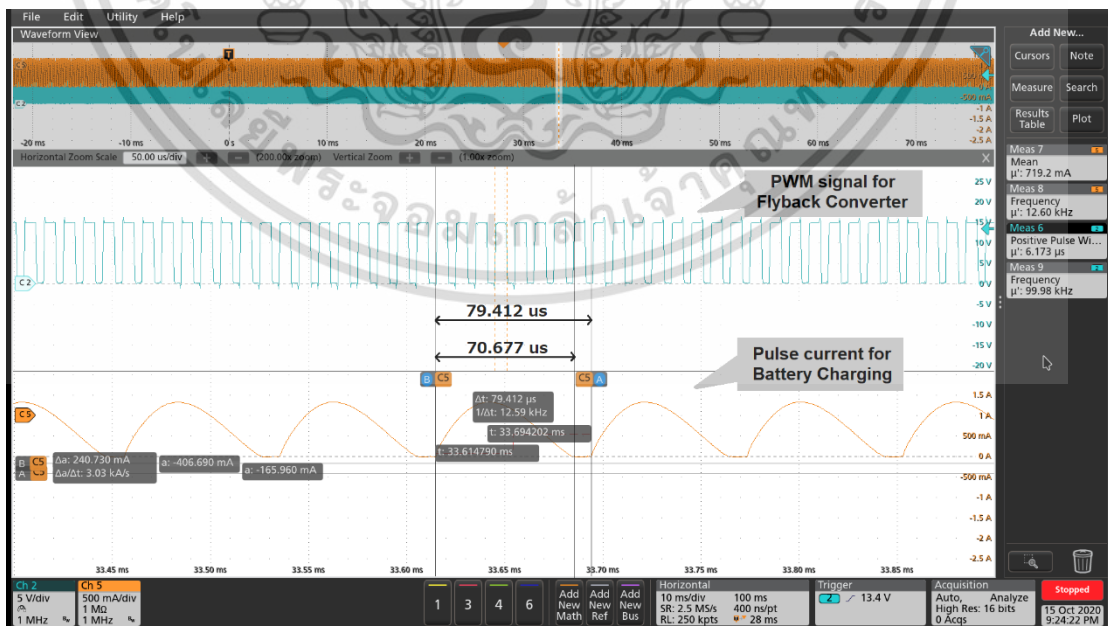
รูปที่ 3.18 วงจรวัดค่ากระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 วงจรวัดค่าแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่

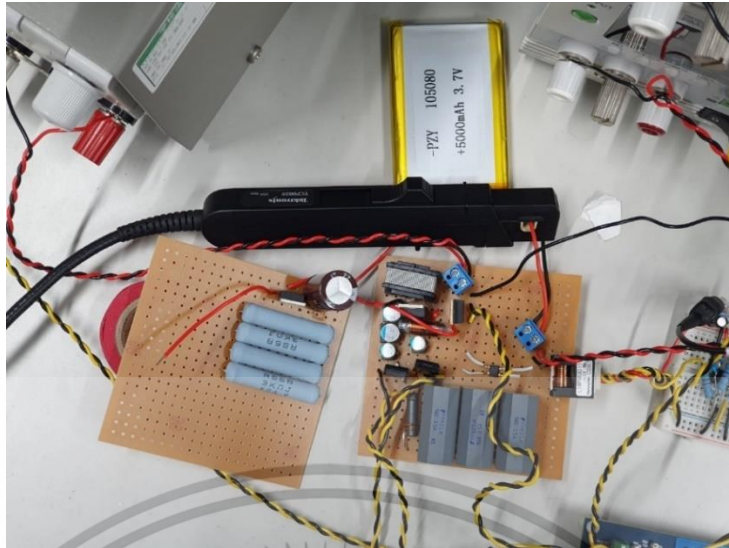
โดยเมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆ ที่คำนวณได้ในหัวข้อที่ 3.1 และหัวข้อที่ 3.2 มาประกอบเข้าด้วยกัน เป็นวงจรกำลังแล้วนั้น ผลของรูปแบบกระแสพัลส์ที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ กล่าวคือกระแสพัลส์ที่วัดได้จากวงจรจริงที่สร้างขึ้นนั้นมี Duty cycle ที่ 89% ซึ่งคำนวณได้จากช่วงเวลานำกระแสพัลส์ที่เกิดขึ้น 70.677 us ต่อคาบเวลาของกระแส 79.412 us ดังที่แสดงในรูปที่ 3.20 ซึ่ง Duty cycle ที่ได้นั้นมีค่ามากกว่า 50% เนื่องจากอาจมีค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุแฝงที่อยู่ในอุปกรณ์อื่นในวงจร ทำให้ส่งผลต่อค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุของวงจรเรโซแนนซ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุลงโดยที่ทำให้อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่สามารถสร้างกระแสพัลส์ Duty cycle ที่ 50% ได้ โดยค่าความเหนี่ยวนำ 250 nH และค่าความจุ 9 uF นั้นสามารถทำให้วงจรประจุพลังงานสร้างกระแสพัลส์ได้ตามที่ต้องการ ในรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 แสดงวงจรกำลัง และวงจรขยายสัญญาณของวงจรประจุพลังงานจริงตามลำดับ



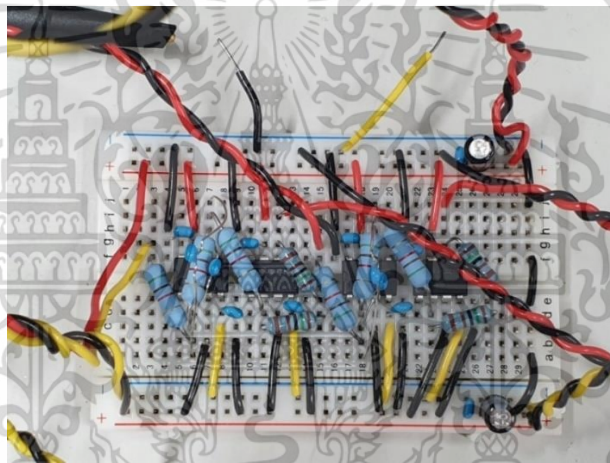
รูปที่ 3.20 กระแสพัลส์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุวงจรเรโซแนนซ์

7.6 uH และ 21 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วงจรกำลังอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่

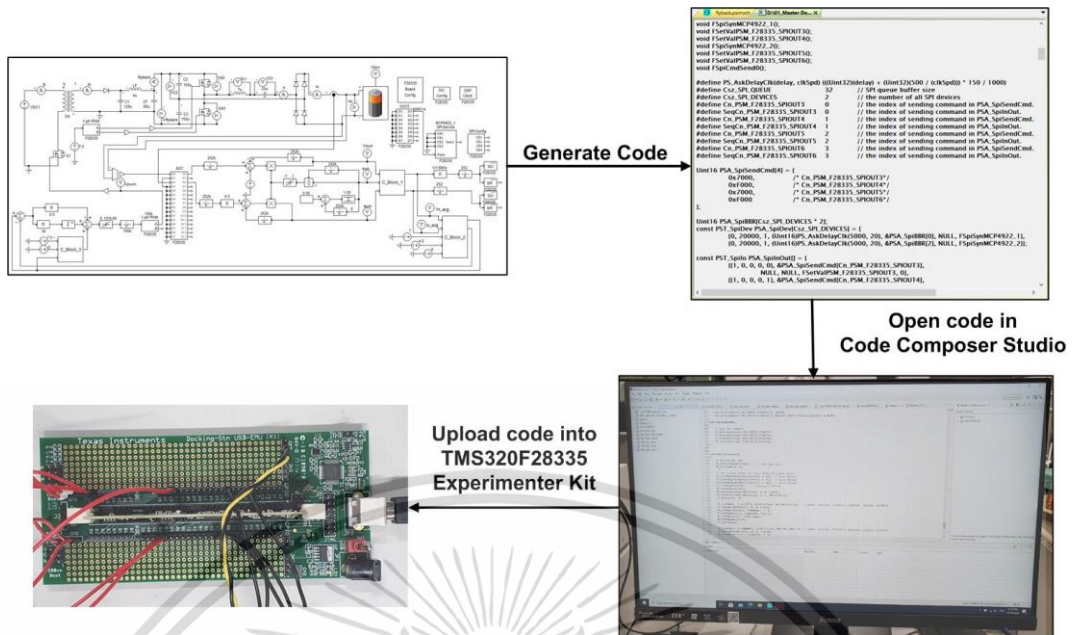


รูปที่ 3.22 วงจรขยายสัญญาณอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่

3.3.2 วงจรควบคุม

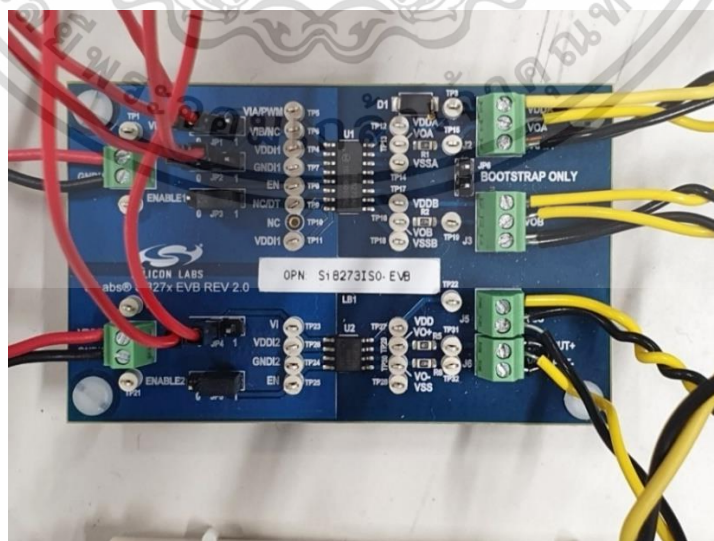
จากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุม ซึ่งการออกแบบวงจรควบคุมในโปรแกรม PSIM และการออกแบบวงจรควบคุมจริงนั้นจะค่อนข้างมีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากโปรแกรมการควบคุมการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ในโปรแกรม PSIM นั้นสามารถแปลงรูปวงจรควบคุมดังกล่าวเป็นโค้ด (Code) ภาษา C และทำการบันทึกโค้ดดังกล่าวลงในชุดควบคุมดิจิทัลผ่านทางโปรแกรม Code Composer Studio ดังที่แสดงในรูปที่ 3.23 กระแสและแรงดันจากวงจรกำลังที่รับเข้าสู่ชุดควบคุมผ่านทางอินพุต A0 และ A2 จะถูกประมวลผลในชุดควบคุมดิจิทัล จากนั้นชุดควบคุมจะสร้างสัญญาณ PWM1 (GPIO0 and GPIO1) สำหรับควบคุมสวิตช์ในวงจร HBSRC และสัญญาณ PWM2 (GPIO2) สำหรับควบคุมสวิตช์ในวงจร Flyback Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การบันทึกโค้ดลงบนชุดควบคุมดิจิทัล

เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อชุดควบคุมเนื่องจากกรณีเกิดความผิดพลาดจากการทำงานของวงจรกำลัง ดังนั้นสัญญาณ PWM ทั้งสามจากชุดควบคุมดิจิทัลจะถูกต่อเข้าสู่ชุดขับเกต Si8273ISO-KIT ทางด้านอินพุต ซึ่งชุดขับเกตนี้จะประกอบด้วยชุดขับเกตช่องเดี่ยวสำหรับวงจร Flyback Converter และชุดขับเกตช่องคู่สำหรับวงจร HBSRC ดังที่แสดงในรูปที่ 3.24 ในชุดขับเกต Si8273ISO-KIT จะใช้ตัว Si827x ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขับเกต ซึ่งมีข้อดีกว่าการใช้ชุดขับเกตแบบ opto-coupled โดย Si827x นั้นจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าชุดขับเกตแบบ opto-coupled อย่างมาก



รูปที่ 3.24 ชุดขับเกตสำหรับสวิตช์ในวงจรกำลัง

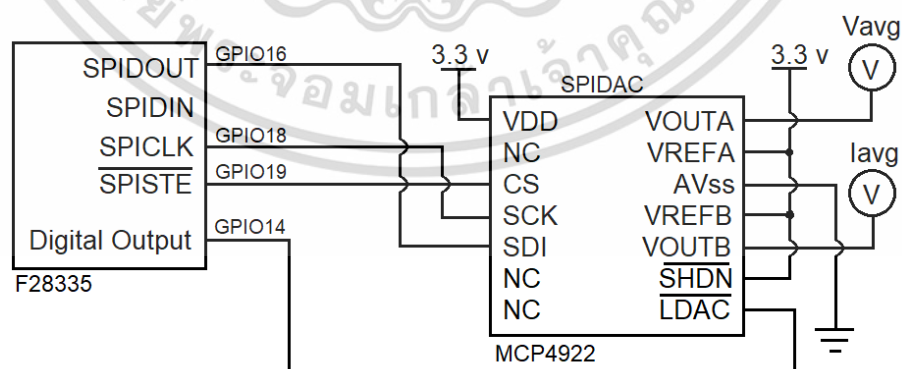
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วงจรบันทึค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่

ในการวิเคราะห์การประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นจำเป็นต้องมีการบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ นอกจากงานวิจัยจะเป็นไปเพื่อการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่มีความแม่นยำและถูกต้องแล้ว ยังมีอีกจุดประสงค์หนึ่งคือเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC การบันทึกค่ากระแสและแรงดันจึงจำเป็นอย่างมากเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความจุแบตเตอรี่ในช่วงประจุพลังงานและคายประจุพลังงาน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาคำนวณหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

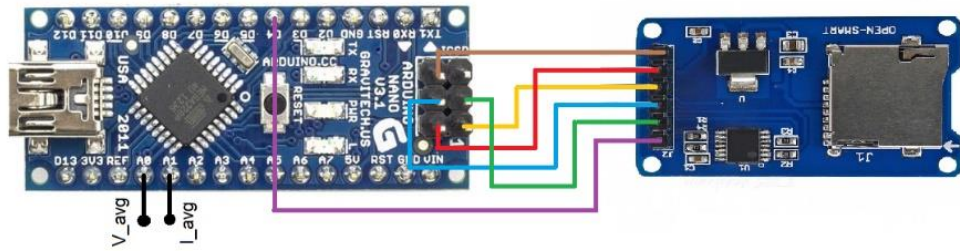
เนื่องจากค่ากระแสและแรงดันที่ต้องการบันทึกนั้นจะเป็นค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ย ดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกจึงถูกนำมาใช้งานเพื่อแปลงค่าดังกล่าวที่ถูกคำนวณจากวงจรควบคุมและส่งให้แก่วงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อบันทึกค่าต่อไป ในหัวข้อที่ 3.2.2 ได้อธิบายถึงการออกแบบและการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกในโปรแกรม PSIM ซึ่งการใช้งานวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกในวงจรจริงนั้นจะมีความแตกต่างจากการใช้งานในวงจรจำลองค่อนข้างมาก เนื่องจากวงจรจริงนั้นอุปกรณ์แปลงสัญญาณ MCP4922 จะต้องต่อจากภายนอกชุดควบคุมดิจิทัลผ่านทางสายสื่อสาร SPI ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ซึ่งแรงดัน 3.3 V นั้นสามารถใช้แรงดันขนาด 3.3 V ที่ถูกสร้างขึ้นจากชุดควบคุมได้ ดังนั้นการใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณ MCP4922 จึงไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันจากภายนอก

ในการออกแบบรูปแบบการบันทึกค่ากระแสและแรงดันนั้น จะกำหนดให้ชุดควบคุม Arduino Nano รับค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกผ่านทางเอาต์พุต VOUTB และ VOUTA ตามลำดับ วินาทีละ 1 ค่า และเก็บบันทึกลง SD Card ดังที่แสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

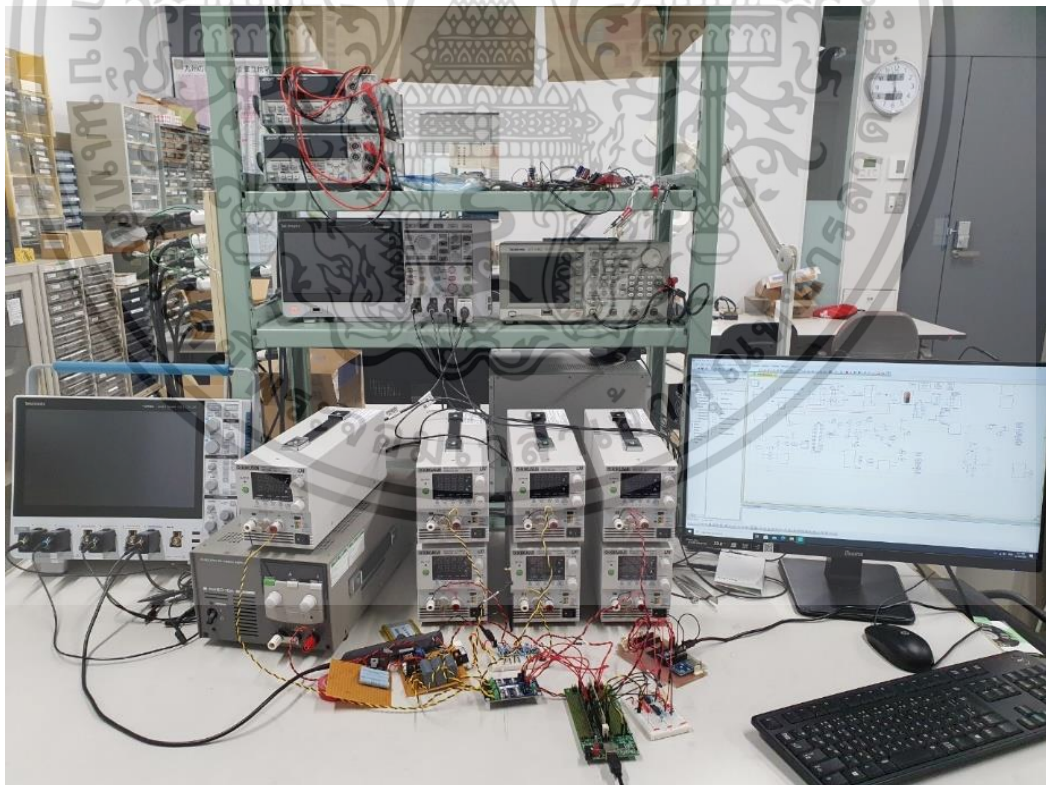
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 วงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่

3.3.4 การสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ

การสร้างวงจรประจุพลังงานจริงส่วนต่างๆ ในหัวข้อนี้ทั้งหมดจะสามารถนำมาประกอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจริงได้ดังที่แสดงในภาพที่ 3.27 ในหัวข้อนี้ได้อธิบายถึงข้อดีและเหตุผลของการนำอุปกรณ์และพารามิเตอร์ของตัวแปรต่างๆ มาใช้ประกอบในอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบนี้ โดยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่ถูกประกอบขึ้นมาจะถูกนำไปตรวจสอบความถูกต้องของกระแสพัลส์ที่สร้างขึ้น และความถูกต้องของรูปแบบการประจุพลังงาน รวมถึงทดสอบการประจุพลังงานกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ทั้งการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

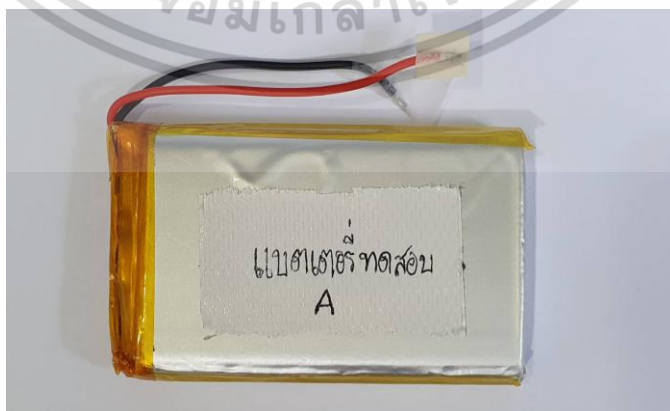
บทที่ 4

การทดสอบและอภิปรายผลของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ รุ่นต้นแบบ

ในบทก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการออกแบบ การจำลองวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่และสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ ซึ่งในอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยวงจรกำลัง วงจรควบคุม และวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบความถูกต้องของการจ่ายพลังงานของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ดังกล่าว และอภิปรายผลการทดสอบ หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ด้วยการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC และทำการคายประจุด้วยกระแสตรง สุดท้ายจึงนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบและอภิปรายผลของการประจุพลังงานที่แตกต่างกันในหัวข้อสุดท้าย

4.1 การทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่

ก่อนที่อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบที่ถูกสร้างและประกอบขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 3.23 จะถูกนำไปทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เวลาการประจุพลังงาน ความต้านทานภายใน และความจุการใช้งานของการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC อุปกรณ์ประจุพลังงานนี้จะต้องถูกนำไปทดสอบความถูกต้อง ความแม่นยำ และเสถียรภาพของการจ่ายกระแสพัลส์ และการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CV ก่อน โดยในการทดสอบนี้จะทดสอบกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ขนาดเดียวกันกับแบตเตอรี่ที่ระบุไว้ในบทที่ 3 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 โดยต่อจากนี้จะเรียกแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ก้อนนี้ว่า “แบตเตอรี่ทดสอบ A”

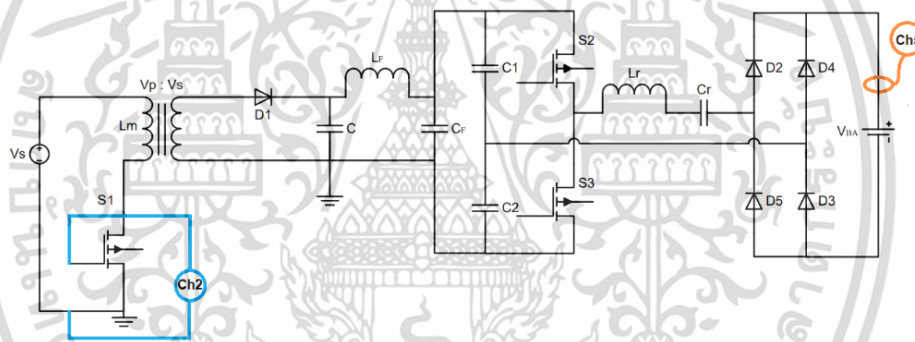


รูปที่ 4.1 แบตเตอรี่ทดสอบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดสอบการจ่ายกระแสพัลส์

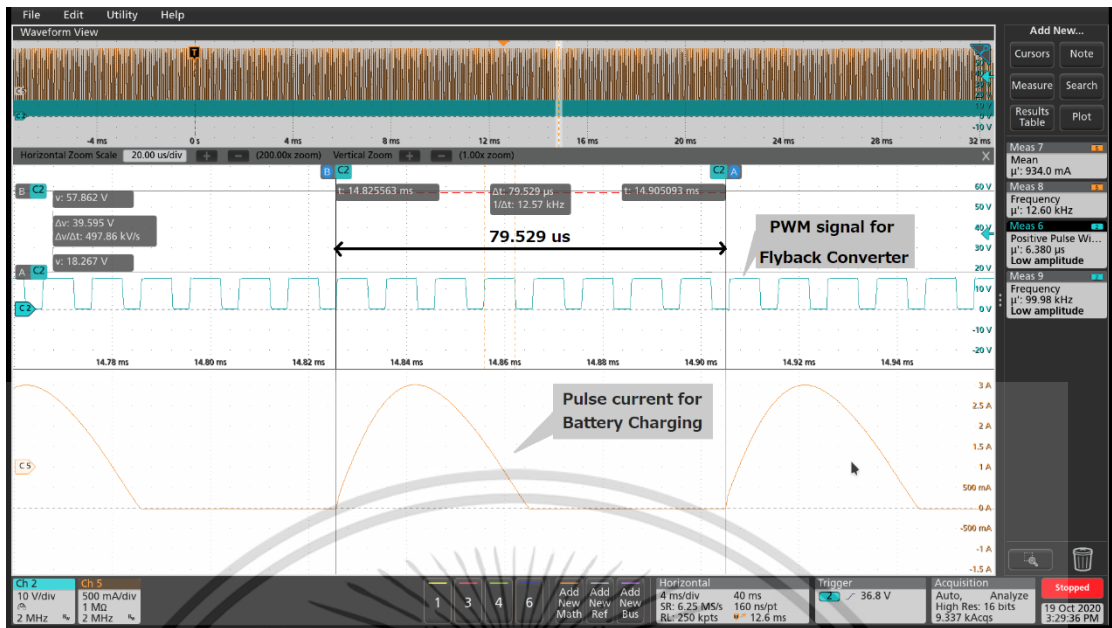
เนื่องจากจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยนี้คือการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ชนิด ลิเทียมโพลิเมอร์ที่จ่ายกระแสพัลส์ให้แก่แบตเตอรี่ที่มีความถี่ 12.6 kHz และมี Duty Cycle ที่ 50% ดังนั้นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำของการจ่ายกระแสพัลส์ของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นนั้นจึงมีความสำคัญมาก และจะต้องทดสอบเป็นอันดับแรก โดยการทดสอบจะทำการทดสอบในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อวัดค่าคาบของกระแส ($T_{I,BA}$) และช่วงเวลาของกระแสพัลส์แต่ละคลื่น ($t_{I,BA}$) จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาความถี่ ($f_{I,BA}$) และ Duty Cycle ของกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ โดยตำแหน่งของโพรบวัดสัญญาณกระแสในอุปกรณ์ประจุพลังงานจะถูกแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งโพรบวัดสัญญาณกระแสจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ Ch5 นอกจากนี้ยังทำการติดตั้งโพรบวัดสัญญาณ PWM ของวงจร Flyback Converter อีกด้วย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของวงจร Flyback Converter ซึ่งโพรบวัดสัญญาณ PWM ดังกล่าวจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ Ch2 โดยตำแหน่งของโพรบ Ch2 นี้จะแสดงในรูปที่ 4.2 เช่นเดียวกับโพรบ Ch5



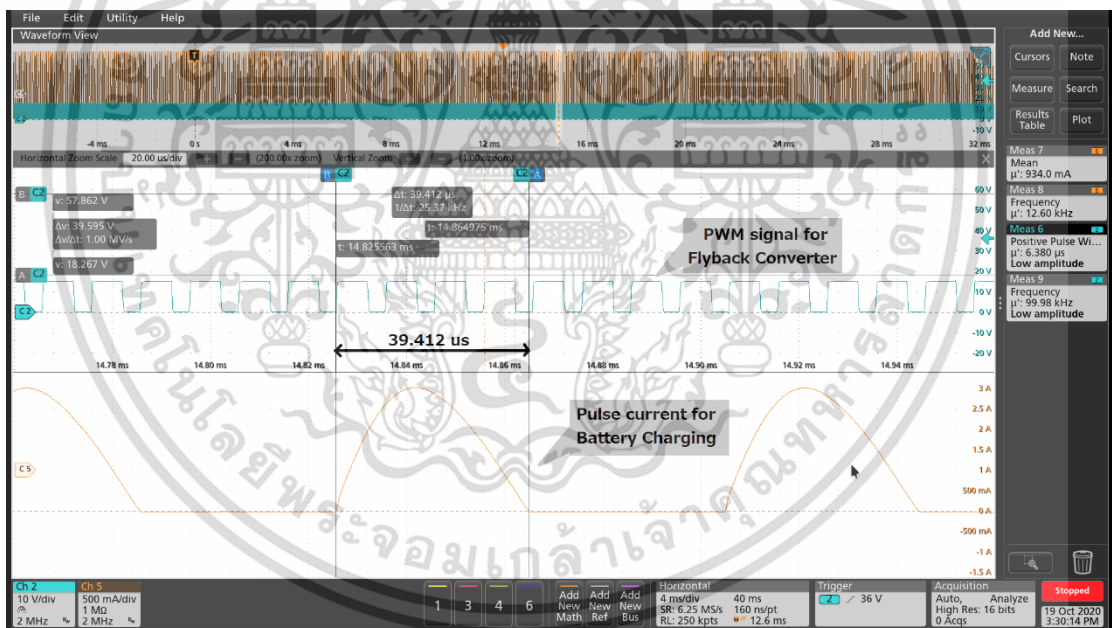
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการติดตั้งโพรบเพื่อวัดสัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM

สัญญาณของกระแสพัลส์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ ที่ทำการวัดด้วยโพรบวัดกระแสยี่ห้อ Tektronix รุ่น TCP0020 พิกัดกระแส 20 A ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยโพรบวัดกระแสจะถูกต่อเข้ากับช่อง Oscilloscope ช่อง Ch5 และทำการวัดกระแสเฉลี่ย ความถี่ และคาบของสัญญาณกระแสพัลส์ จากสัญญาณกระแสพัลส์ที่วัดได้นั้นแสดงให้เห็นว่า กระแสที่ทำการประจุพลังงาน ณ เวลานั้น มีค่ากระแสเฉลี่ยอยู่ที่ 934 mA ความถี่ที่วัดจากเครื่อง Oscilloscope เป็น 12.6 kHz ซึ่งเป็นความถี่ของกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ตามจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยนี้ และคาบของกระแสพัลส์ที่วัดด้วย Cursor เป็น 79.53 us ในส่วนของโพรบวัดสัญญาณ PWM ของวงจร Flyback Converter นั้น จะถูกต่อเข้ากับช่อง Oscilloscope ช่อง Ch2 โดยความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง Oscilloscope นั้นเป็น 99.98 kHz ในส่วนของการวัดช่วงเวลาของกระแสพัลส์แต่ละคลื่นนั้นจะแสดงในรูปที่ 4.4 โดยช่วงเวลาของกระแสพัลส์แต่ละคลื่นที่วัดด้วย Cursor เป็น 39.41 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM แสดงการวัดคาบของกระแสพัลส์



รูปที่ 4.4 สัญญาณกระแสพัลส์และสัญญาณ PWM แสดงการวัดช่วงเวลาของกระแสพัลส์แต่ละคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้มาจากการวัดสัญญาณกระแสด้วย Oscilloscope จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาความถี่ได้ดังสมการที่ 4.1 และ Duty Cycle ของกระแสพัลส์ที่จ่ายพลังงานแก่แบตเตอรี่ได้ดังสมการที่ 4.2

$$f_{I,BA} = \frac{1}{T_{I,BA}} \quad (4.1)$$

$$f_{I,BA} = \frac{1}{79.53 \mu s}$$

$$f_{I,BA} = 12.6 \text{ kHz}$$

โดยที่ $f_{I,BA}$ = ความถี่ของกระแสพัลส์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ (Hz)
 $T_{I,BA}$ = คาบการนำกระแสพัลส์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ (Hz)

$$\text{Duty Cycle} = \frac{t_{I,BA}}{T_{I,BA}} \quad (4.2)$$

$$\text{Duty Cycle} = \frac{39.41 \mu s}{79.53 \mu s}$$

$$\text{Duty Cycle} = 0.5$$

โดยที่ $t_{I,BA}$ = ช่วงเวลาการนำกระแสพัลส์ 1 ลูกคลื่น (s)

จากการคำนวณด้วยสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2 ข้างต้นจะทำให้ทราบว่ากระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นมีความถี่เป็น 12.6 kHz และมี Duty Cycle ของกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่เป็น 0.5 หรือ 50% นั่นเอง โดยผลจากการคำนวณสามารถพิสูจน์ได้ว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจริงที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถประจุพลังงานที่ความถี่และ Duty Cycle ได้อย่างถูกต้องตามจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้

4.1.2 การทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC

อีกหนึ่งจุดมุ่งหมายหลักสำคัญของการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานรุ่นต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้คือ การออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ซึ่งขั้นตอนการทดสอบจะแสดงในรูปที่ 4.5 โดยการทดสอบจะเริ่มต้นด้วยการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ A

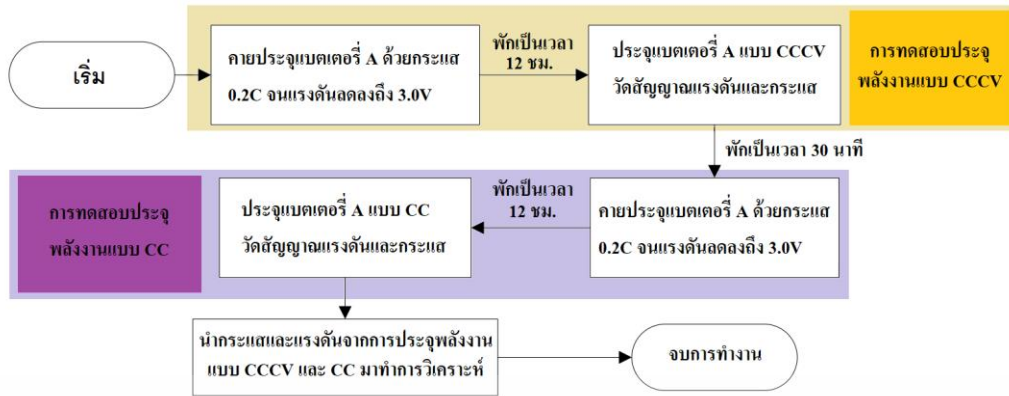
ด้วย Electronic Load ยี่ห้อ Keisoku Giken รุ่น ELL-355 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 โดยกำหนดให้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดกระแสตรงขนาด 1 A แบตเตอรี่จะคายประจุจนกระทั่งแรงดันปิดวงจรของแบตเตอรี่มีค่าเป็น 3 V จึงสิ้นสุดขั้นตอนการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ จากนั้นจึงนำแบตเตอรี่ไปประจุพลังงานด้วยวิธี CCCV จนกระทั่งจบขั้นตอนการประจุพลังงานดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อการออกแบบการประจุพลังงานแบบ CCCV ในหัวข้อก่อนหน้านี้

ในขั้นตอนการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV นี้ อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบจะทำงานเสมือนจริงมากที่สุด ซึ่งอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่นี้จะบันทึกค่ากระแสเฉลี่ยและแรงดันเฉลี่ยทุกๆ 1 วินาที ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อนำรูปแบบการประจุพลังงานมาตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ยังได้ทำการติดตั้งโพรบวัดกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะทดสอบอีกด้วย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของการคำนวณค่ากระแสและแรงดันเฉลี่ยที่ได้ทำการออกแบบไว้ รวมถึงความถูกต้องของการบันทึกค่าของวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วย โดยในรูปที่ 4.7 จะแสดงรูปแบบของกระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV ที่ถูกบันทึกโดยวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ โดยจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่เมื่อเริ่มประจุกระแสพัลส์เข้าสู่แบตเตอรี่นั้นจะมีแรงดันเริ่มต้นที่ 3.6 V และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นคงที่ที่ 1 A โดยรูปแบบการประจุพลังงานนี้ถูกเรียกว่าการประจุพลังงานแบบ CC เมื่อแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นจนถึง 4.2 V อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่จะเปลี่ยนรูปแบบการประจุพลังงานจาก CC เป็น CV ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ที่ 4.2 V ในขณะที่กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงค่ากระแสหนึ่งวงจรจึงหยุดทำงานอย่างอัตโนมัติ

นอกจากนี้ในรูปที่ 4.7 ยังแสดงจุดเวลาที่ทำการวัดสัญญาณของกระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยซึ่งจุดเวลาต่างๆ ที่ทำการวัดกระแสและแรงดันแบตเตอรี่แสดงด้วยตัวอักษร A, B, C, และ D โดยการวัดค่าสัญญาณดังกล่าวนี้จะทำการวัดด้วย Oscilloscope ในตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 4.8 สัญญาณกระแสจะถูกวัดด้วยโพรบวัดกระแสและต่อเข้ากับ Oscilloscope ที่ช่อง Ch4 ในส่วนของการวัดสัญญาณแรงดันนั้น โพรบวัดจะถูกต่อเข้ากับช่อง Ch1 ของ Oscilloscope

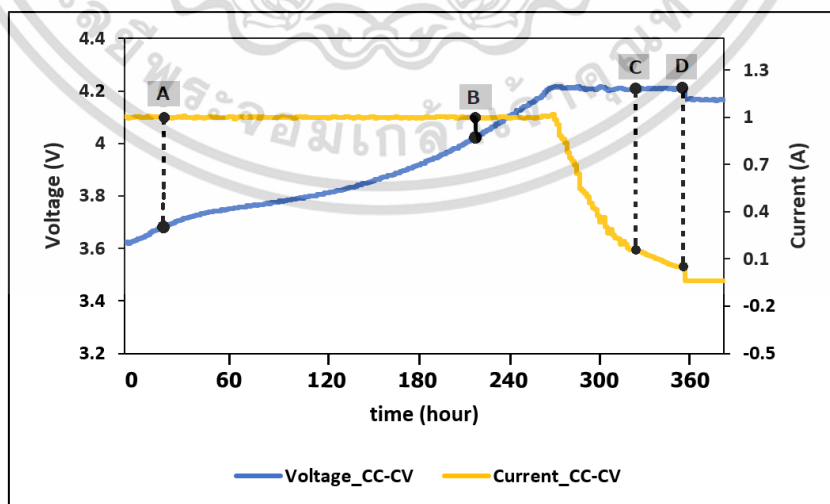
ในการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ด้วย Oscilloscope นั้นนอกจากจะเพื่อดูรูปแบบของสัญญาณกระแสและแรงดันในแต่ละช่วงแล้วนั้น ยังทำการวัดความถี่ของกระแสพัลส์กระแสประจุพลังงานเฉลี่ย และแรงดันเฉลี่ยอัตโนมัติด้วย Oscilloscope อีกด้วย ซึ่งจุด A ที่แสดงในรูปที่ 4.7 นั้นเป็นจุดเวลาที่ทำการวัดกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะประจุพลังงานแบบ CC เมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีค่า 3.7 V โดยรูปของสัญญาณกระแสและแรงดันที่วัด ณ จุด A จะแสดงในรูปที่ 4.9 จากรูปจะเห็นว่ากระแสประจุแบตเตอรี่เฉลี่ยเป็น 1.08 A ความถี่ของกระแสพัลส์เป็น 12.6 kHz และ Duty Cycle เมื่อคำนวณจากรูปด้วยสมการที่ 4.2 จะมีค่าเป็น 0.5



รูปที่ 4.5 Flow Chart การทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC

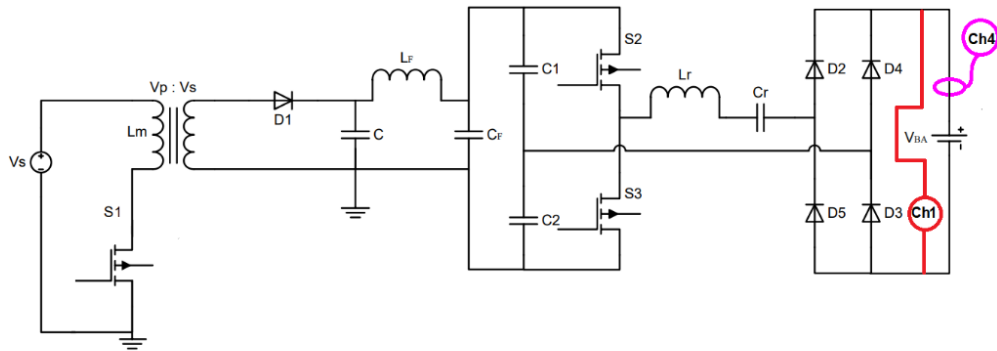


รูปที่ 4.6 Electronic Load สำหรับคายประจุพลังงานแบตเตอรี่



รูปที่ 4.7 รูปแบบการประจุพลังงานแบบ CCCV เข้าสู่แบตเตอรี่ทดสอบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการติดตั้งโพรบเพื่อวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะทดสอบ

ขณะทำการวัดสัญญาณกระแสและแรงดัน ณ จุดเวลา B แบตเตอรี่ถูกประจุพลังงานแบบ CC โดยแรงดันแบตเตอรี่มีขนาด 4 V ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 จากรูปจะเห็นว่ากระแสประจุแบตเตอรี่เฉลี่ยเป็น 1.01 A ความถี่ของกระแสพัลส์เป็น 12.6 kHz และ Duty Cycle เมื่อคำนวณจากรูปด้วยสมการที่ 4.2 จะมีค่าเป็น 0.5

ในจุดเวลา C นั้นจะเป็นเวลาที่ทำการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะประจุพลังงานแบบ CV ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 โดยที่จุด C นั้นจะวัดขณะที่กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่มีค่าเป็น 0.19A จากรูปจะเห็นว่าแรงดันแบตเตอรี่เฉลี่ยเป็น 4.2 โวลต์ ความถี่ของกระแสพัลส์เป็น 12.6 kHz และ Duty Cycle เมื่อคำนวณจากรูปด้วยสมการที่ 4.2 จะมีค่าเป็น 0.5

ที่จุดเวลา D นั้นจะเป็นเวลาที่เกือบจะสิ้นสุดการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV โดยทำการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ขณะประจุพลังงานแบบ CV ดังที่แสดงในรูปที่ 4.12 ที่จุด D นั้นแบตเตอรี่จะมีกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ 0.05A โดยแรงดันแบตเตอรี่ที่วัดได้เป็น 4.2 โวลต์ ความถี่ของกระแสพัลส์เป็น 12.6 kHz และ Duty Cycle เมื่อคำนวณจากรูปด้วยสมการที่ 4.2 จะมีค่าเป็น 0.5

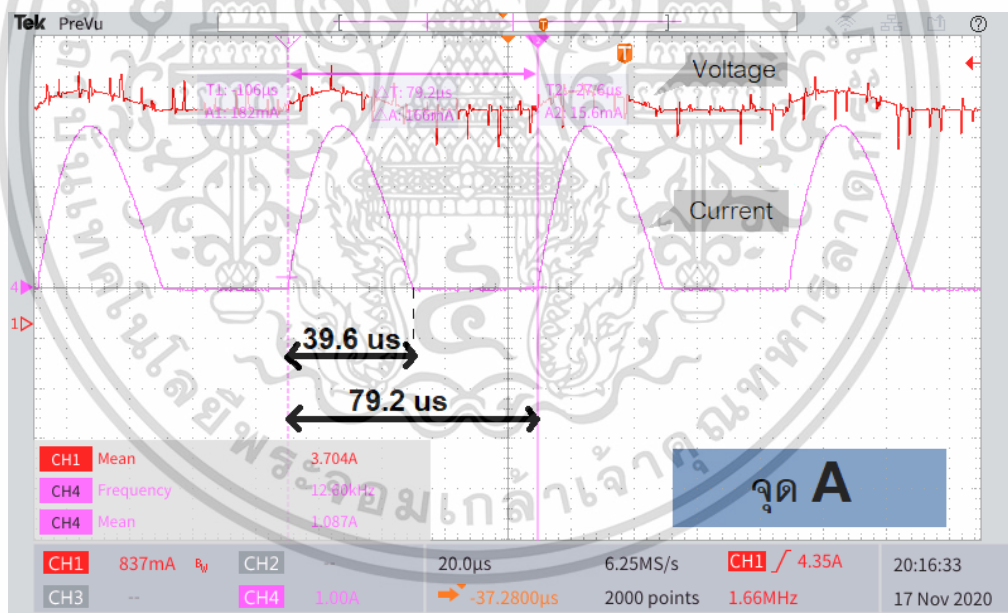
จะเห็นว่าในช่วงระหว่างจุด A และจุด B นั้นแบตเตอรี่จะถูกประจุพลังงานแบบ CC โดยกระแสประจุพลังงานเฉลี่ยนั้นจะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ที่ 1 A ในขณะที่แรงดันของแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากการทดสอบจะเห็นว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสพัลส์ที่มีความถี่ 12.6 kHz และมี Duty cycle เป็น 0.5 ตลอดการประจุพลังงานในช่วง CC จนกระทั่งแรงดันถึงค่า 4.2 V อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่จะเปลี่ยนเป็นการประจุแบบ CC ซึ่งจากการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่จะ C และจุด D นั้น แบตเตอรี่จะถูกประจุด้วยกระแสเฉลี่ยที่ลดลง ในขณะที่แรงดันแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้คงที่ที่ 4.2 V จนกระทั่งกระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ลดลงถึง 0.05 A จึงสิ้นสุดการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV โดยในช่วงการประจุพลังงานแบบ

CV ที่วัดจากจุด C และจุด D ที่แสดงในรูปนั้นจะเห็นว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่สามารถจ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

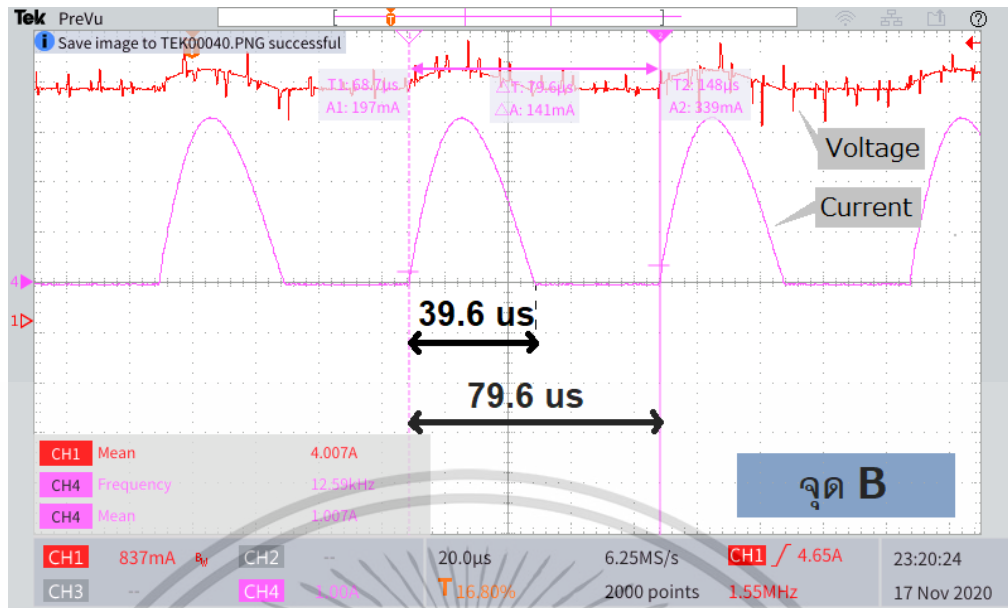
กระแสพัลส์ที่มีความถี่ 12.6 kHz และมี Duty cycle เป็น 0.5 ตลอดการประจุพลังงานในช่วง CV ซึ่งผลการทดสอบการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV ที่วัดด้วย Oscilloscope ที่จุดต่างๆ จะถูกสรุปลงในตารางที่ 4.1

หลังจากที่ทำการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV เสร็จแล้วนั้น แบตเตอรี่ทดสอบ A จะถูกปลดออกจากวงจร และพักไว้เป็นเวลา 30 นาที ดังที่แสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CCCV แล้วนั้น แรงดันแบตเตอรี่จะลดลงเล็กน้อย และค่ากระแสที่วัดได้จะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีการจ่ายพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่อีก หลังจากนั้นแบตเตอรี่จะถูกนำไปคายประจุอีกครั้งด้วย Electronic Load กระแสตรงขนาด 1 A จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึง 3 V จึงสิ้นสุดการคายประจุพลังงานแบบเตอรี โดยในรูปที่ 4.13 จะแสดงรูปแบบของกระแสและแรงดันคายประจุพลังงานแบบเตอรีที่ถูกบันทึกโดยวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันคายประจุ ซึ่งแรงดันเฉลี่ยแบตเตอรี่จะถูกบันทึกทุกๆ 1 วินาที ลงใน SD Card ด้วยวงจรที่แสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อสิ้นสุดการคายประจุแล้วจึงทำการปลดวงจรและพักแบตเตอรี่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CC

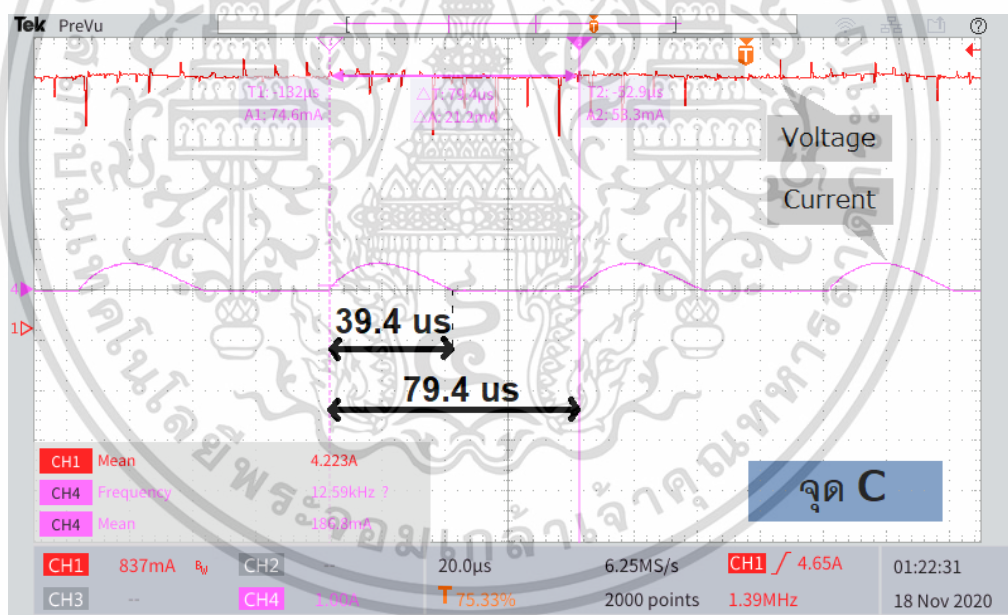


รูปที่ 4.9 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ เวลาที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

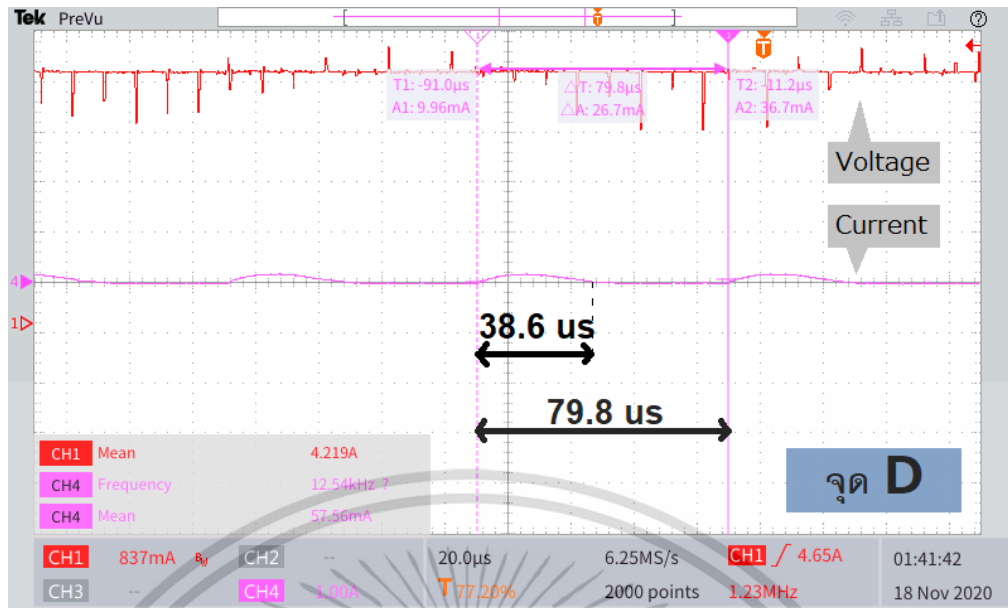


รูปที่ 4.10 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ เวลาที่จุด B



รูปที่ 4.11 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ จุดเวลา C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

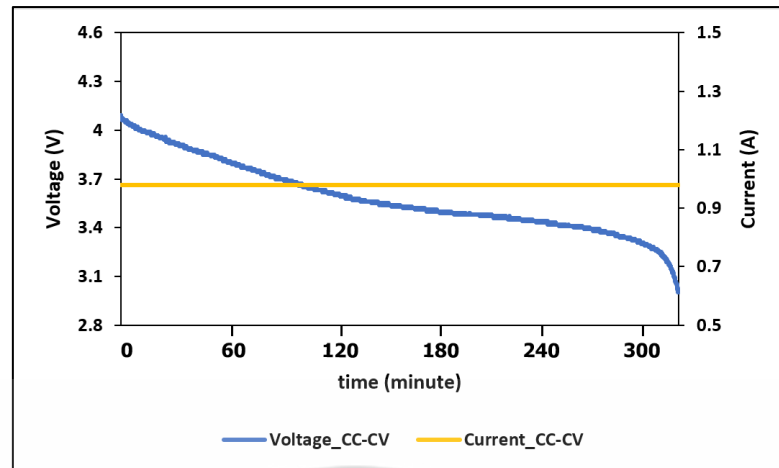


รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสและแรงดันแบตเตอรี่ที่วัด ณ จุดเวลา D

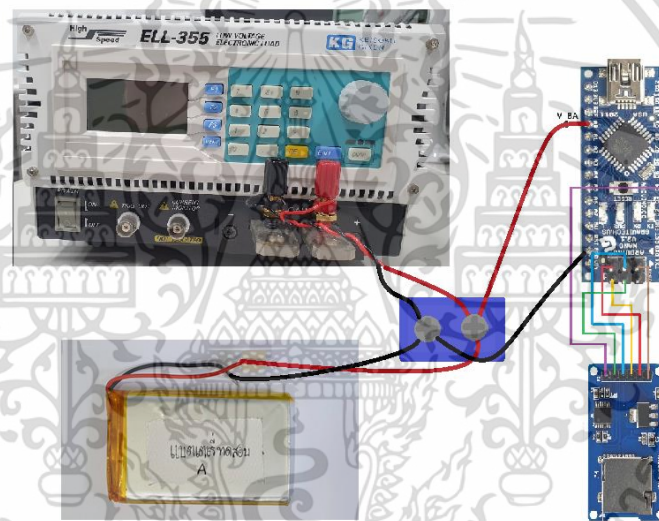
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV จาก Oscilloscope

	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กระแสพัลส์เฉลี่ย (A)	ความถี่กระแสพัลส์ (kHz)	Duty cycle
การประจุพลังงานแบตเตอรี่ช่วง CC				
จุด A	3.7	1.08	12.6	0.5
จุด B	4.0	1.00	12.6	0.5
การประจุพลังงานแบตเตอรี่ช่วง CV				
จุด C	4.2	0.19	12.6	0.5
จุด D	4.2	0.05	12.6	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปแบบการคายประจุพลังงานด้วยกระแสตรงจากแบตเตอรี่ทดสอบ A จากการประจุพลังงานแบบ CCCV

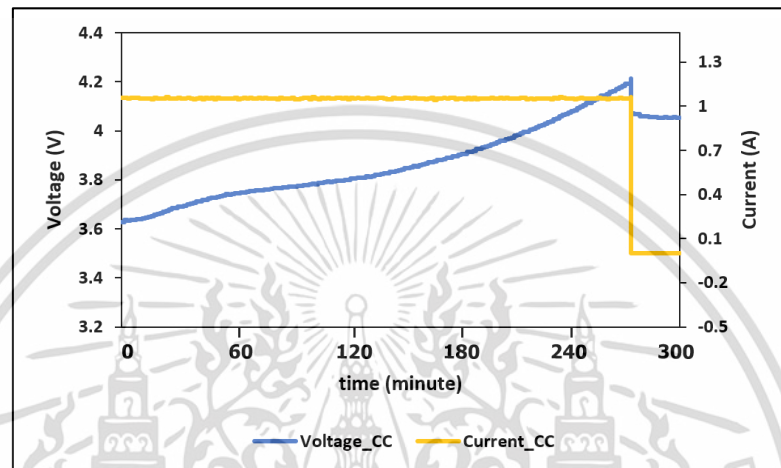


รูปที่ 4.14 วงจรบันทึกค่าแรงดันคายประจุพลังงาน

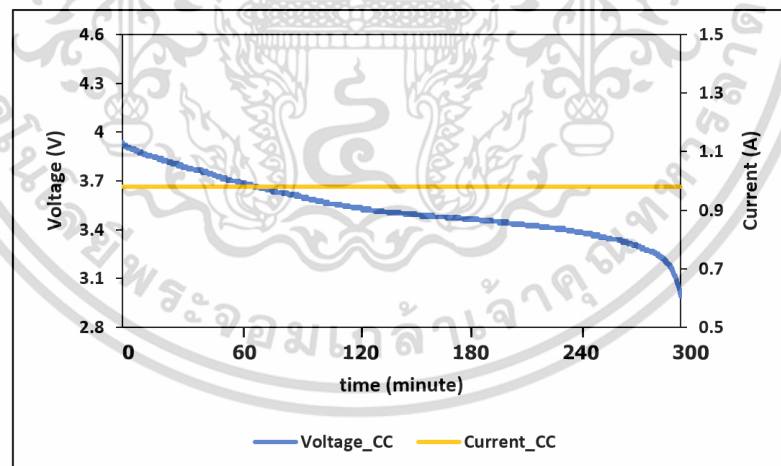
การทดสอบการประจุพลังงานแบบ CC จะเริ่มต้นเมื่อแบตเตอรี่สิ้นสุดการคายประจุ และถูกพักไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CC นั้นมีวิธีการเดียวกับการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV โดยในรูปที่ 4.15 จะแสดงรูปแบบของกระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC ที่ถูกบันทึกโดยวงจรบันทึกค่ากระแสและแรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ โดยจะเห็นได้ว่าวงจรเริ่มประจุกระแสพัลส์เข้าสู่แบตเตอรี่นั้นจะมีแรงดันเริ่มต้นที่ 3.6 V และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นคงที่ที่ 1 A โดยรูปแบบการประจุพลังงานนี้ถูกเรียกว่าการประจุพลังงานแบบ CC เมื่อแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นจนถึง 4.2 V อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่จะสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CC อย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC สิ้นสุดลง แบตเตอรี่จะถูกปลดจากอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบและจะถูกพักเป็นเวลา 30 นาที เช่นเดียวกับการประจุพลังงานแบบ CCCV หลังจากนั้นแบตเตอรี่จะถูกนำไปคายประจุพลังงานด้วย Electronic Load ที่กระแสคงที่ 1 A จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึง 3 V ดังที่แสดงในรูปที่ 4.16 จึงสิ้นสุดขั้นตอนการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC



รูปที่ 4.15 รูปแบบการประจุพลังงานแบบ CC เข้าสู่แบตเตอรี่ทดสอบ A



รูปที่ 4.16 รูปแบบการคายประจุพลังงานด้วยกระแสตรงจากแบตเตอรี่ทดสอบ A จากการประจุพลังงานแบบ CC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

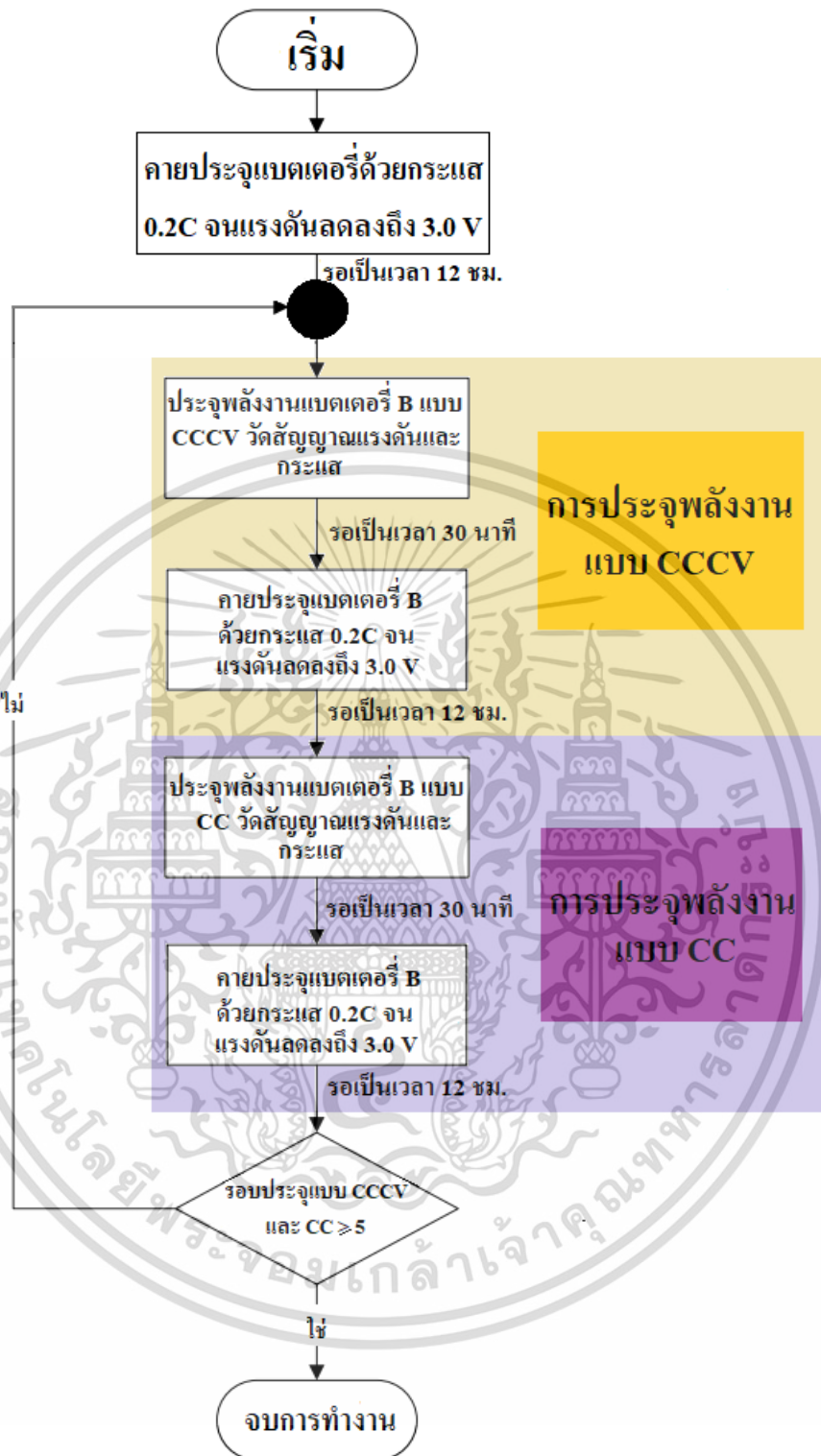
4.1.3 สรุปการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรี

จากผลการทดสอบการจ่ายกระแสพัลส์และการทดสอบการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้นสามารถจ่ายกระแสพัลส์ที่มีความถี่ 12.6 kHz และมีช่วงการจ่ายกระแสพัลส์ที่ Duty Cycle 50% ให้แก่แบบเตอรีลิเทียมโพลิเมอร์ได้ตลอดการประจุพลังงานทั้งแบบ CCCV และ CC อย่างถูกต้องและแม่นยำได้ตามจุดมุ่งหมายของงานวิจัย นอกจากนี้อุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีที่ออกแบบนั้นยังสามารถประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC ให้แก่แบบเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ด้วย หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบและสามารถสรุปผลของอุปกรณ์ประจุพลังงานรุ่นต้นแบบขึ้นนี้ได้แล้ว อุปกรณ์ประจุพลังงานรุ่นต้นแบบจะถูกนำไปประจุพลังงานแบบเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพแบบเตอรีเมื่อได้รับการประจุพลังงานด้วยวิธีที่ต่างกัน รวมถึงเวลาในการประจุ ความต้านทานภายใน และความจุการใช้งานแบบเตอรีอีกด้วย

4.2 การประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV และ CC

สิ่งสำคัญของการจัดทำงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมานั้นนอกจากการนำเสนอความคิดริเริ่มสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีการประจุพลังงานแบบเตอรีให้ส่งผลดีต่อแบบเตอรีอย่างสูงสุด การออกแบบการจัดสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบ รวมถึงการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบให้ตรงกับจุดมุ่งหมายแล้วนั้น สิ่งที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นคือการนำอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีมาใช้งานจริง และสามารถสรุปข้อแตกต่างระหว่างการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV และการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CC ได้ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบมาใช้งานจริง เพื่อประจุพลังงานให้แก่แบบเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ โดยจุดประสงค์ของการประจุพลังงานในหัวข้อนี้ นอกจากการทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีเมื่อทำงานเสมือนสภาวะการประจุพลังงานแบบเตอรีในชีวิตจริงแล้วนั้น ยังมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการประจุพลังงานแบบเตอรีทั้งสองรูปแบบซึ่งก็คือแบบ CCCV และ CC อีกด้วย โดยขั้นตอนการการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV และ CC จะแสดงในรูปที่ 4.17 [5]



รูปที่ 4.17 Flow Chart การประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การประจุพลังงานแบบ CCCV

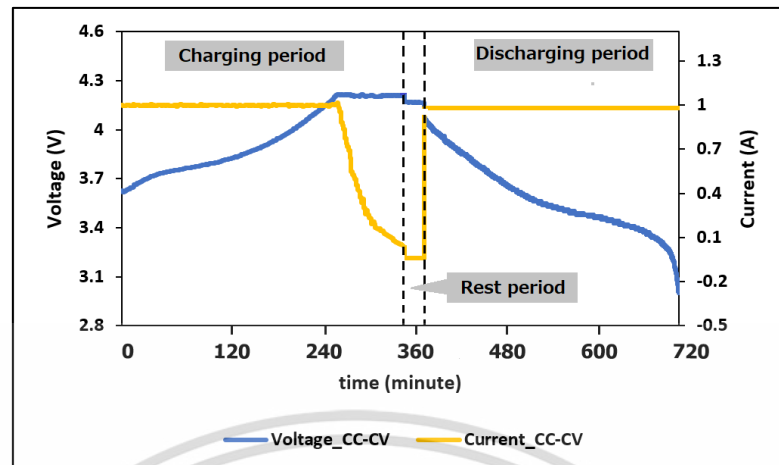
ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นถึงวัตถุประสงค์ของการประจุพลังงานแบบเตอรีที่ทั้งสองรูปแบบ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประจุพลังงานแบบ CCCV ด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบ โดยจะประจุพลังงานเข้าสู่แบบเตอรีทดสอบ B ดังที่แสดงในรูปที่ 4.18 โดยเริ่มต้นจากการคายประจุพลังงานแบบเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์จนกระทั่งแรงดันแบบเตอรีมีขนาดเป็น 3 V เช่นเดียวกับการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีในบทก่อนหน้า หลังจากนั้นก็ทำการพักแบบเตอรีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV เมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบเตอรีแล้ว จึงทำการพักแบบเตอรีเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงนำแบบเตอรีไปคายประจุพลังงานด้วย Electronic load ที่กระแส 1 A จนกระทั่งแรงดันแบบเตอรีลดลงที่ 3 V จึงสิ้นสุดขั้นตอนการประจุพลังงานแบบ CCCV โดยในรูปที่ 4.19 จะแสดงรูปแบบของกระแสและแรงดันช่วงประจุพลังงาน ช่วงพักแบบเตอรี และช่วงคายประจุพลังงาน

จากรูปที่ 4.19 จะแสดงให้เห็นว่าแบบเตอรีเมื่อเริ่มต้นการประจุพลังงานนั้นจะมีแรงดันเป็น 3.6 V และจะสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CCCV เมื่อกระแสประจุพลังงานแบบเตอรีเป็น 50 mA และทันทีที่สิ้นสุดการประจุพลังงานนั้นแรงดันแบบเตอรีจะลดลงทันทีและลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาพัก การประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV ตั้งแต่ต้นจนจบนั้นจะมีช่วงเวลาทั้งหมด 370 นาที จากนั้นแบบเตอรีจะถูกพักไว้เป็นเวลา 30 นาที เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาการพักแบบเตอรีแล้วนั้นแรงดันแบบเตอรี จะลดลงจนเหลือ 4.17 V หลังจากพักแบบเตอรีเป็นเวลา 30 นาที แล้วนั้นแบบเตอรีจะถูกคายประจุที่กระแส 1 A ด้วย Electronics Load โดยทันทีที่เริ่มการคายประจุพลังงาน แรงดันแบบเตอรีจะลดลงอย่างทันทีเนื่องจากค่าความต้านทานของแบบเตอรีและโหลด โดยแรงดันจะลดลงเหลือ 4.09 V หลังจากนั้นแรงดันจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดขั้นตอนการคายประจุพลังงานแบบเตอรี จนกระทั่งแรงดันแบบเตอรีลดลงถึง 3 V จึงสิ้นสุดขั้นตอนการคายประจุพลังงานแบบเตอรี โดยการคายประจุพลังงานของแบบเตอรีใช้เวลา 333 นาที



รูปที่ 4.18 แบตเตอรี่ทดสอบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 รูปแบบการประจุพลังงาน การพักแบตเตอรี่ และการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ B จากการประจุพลังงานแบบ CCCV

ข้อมูลที่ได้จากการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV นั้น จะสามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เนื่องจากการประจุพลังงานแบบ CCCV ได้ตามสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.4 โดยสมการที่ 4.3 จะแสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพประจุแบตเตอรี่ (η_{BC}) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนระหว่างประจุที่ถูกคายจากแบตเตอรี่ด้วยโพลด์ค่าหนึ่งต่อประจุที่แบตเตอรี่ต้องประจุเข้ามา โดยประสิทธิภาพประจุแบตเตอรี่นี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในแบตเตอรี่ และในส่วนของสมการที่ 4.4 จะแสดงประสิทธิภาพพลังงานแบตเตอรี่ (η_{BE}) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนของพลังงานคายประจุต่อพลังงานประจุแบตเตอรี่ โดยประสิทธิภาพพลังงานแบตเตอรี่นี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่นั่นเอง นอกจากนี้ข้อมูลข้างต้นยังสามารถนำมาคำนวณหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (R_i) ได้จากสมการที่ 4.5 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลต่างระหว่างแรงดันเปิดวงจรก่อนที่การประจุพลังงานแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลง และแรงดันเปิดวงจรเมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานไปแล้ว 10 วินาที ต่อค่ากระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่

$$\eta_{BC} = \frac{\int_0^{t_d} I_d dt}{\int_0^{t_c} I_c dt} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\eta_{BC} = \frac{5.44 \text{ Ah}}{5.46 \text{ Ah}} \times 100$$

$$\eta_{BC} = 99.71\%$$

โดยที่ η_{BC} = ประสิทธิภาพประจุแบตเตอรี่ (%)

I_d = กระแสคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ (A)

I_c = กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_{BE} = \frac{\int_0^{t_d} V_d I_d dt}{\int_0^{t_c} V_c I_c dt} \times 100 \quad (4.4)$$

$$\eta_{BE} = \frac{19.50 \text{ Wh}}{21.10 \text{ Wh}} \times 100$$

$$\eta_{BE} = 92.40\%$$

โดยที่ η_{BE} = ประสิทธิภาพพลังงานแบตเตอรี่ (%)

V_d = แรงดันคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ (A)

V_c = แรงดันประจุพลังงานแบตเตอรี่ (A)

$$R_i = \frac{U_{0s} - U_{10s}}{|I_p|} \quad (4.5)$$

$$R_i = \frac{4.20 \text{ v} - 4.17 \text{ v}}{|1 \text{ A}|}$$

$$R_i = 0.03 \Omega$$

โดยที่ R_i = ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ω)

U_{0s} = แรงดันปิดวงจรแบตเตอรี่ที่เวลาสุดท้ายของการประจุพลังงานแบตเตอรี่ (V)

U_{10s} = แรงดันเปิดวงจรแบตเตอรี่ที่เวลา 10 วินาที (V)

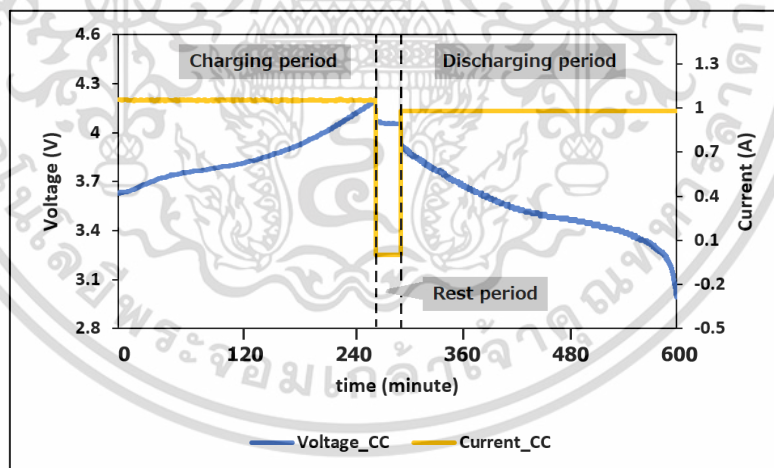
จากการคำนวณหาประสิทธิภาพประจุ ประสิทธิภาพพลังงาน และความต้านทานภายในตามสมการที่ 4.3 ถึงสมการที่ 4.4 ทำให้ทราบว่า การที่ประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์แบบ CCCV นั้นทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงมากกว่า 90% โดยที่ประจุแบตเตอรี่นั้นมีประสิทธิภาพ 99.71% และพลังงานแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพ 92.40% ในขณะที่เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มด้วยวิธีการแบบ CCCV จะทำให้ความต้านทานภายในมีค่า 0.03 Ω ตามที่คำนวณในสมการที่ 4.5

4.2.2 การประจุพลังงานแบบ CC

เมื่อสิ้นสุดการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ B ที่ได้จากการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV แล้วนั้น แบตเตอรี่จะถูกพักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงเริ่มการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC เข้าสู่แบตเตอรี่ทดสอบ B เมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานแบตเตอรี่แล้วจึงทำการพักแบตเตอรี่เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงนำแบตเตอรี่ไปคายประจุพลังงานด้วย Electronic load

ที่กระแส 1 A จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่ลดลงที่ 3 V จึงสิ้นสุดขั้นตอนการประจุพลังงานแบบ CC โดยในรูปที่ 4.20 จะแสดงรูปแบบของกระแสและแรงดันช่วงประจุพลังงาน ช่วงพักแบตเตอรี่ และช่วงคายประจุพลังงาน

จากรูปที่ 4.20 จะแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่เมื่อเริ่มต้นการประจุพลังงานนั้นจะมีแรงดันเป็น 3.6 V เท่ากับแรงดันเริ่มประจุพลังงานในรอบของการประจุพลังงานแบบ CCCV และจะสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CC เมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีขนาด 4.20 V และทันทีที่สิ้นสุดการประจุพลังงานนั้นแรงดันแบตเตอรี่จะลดลงทันทีและลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาพัก การประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC ตั้งแต่ต้นจนจบนั้นจะมีช่วงเวลาทั้งหมด 285 นาที จากนั้นแบตเตอรี่จะถูกพักไว้เป็นเวลา 30 นาที เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาการพักแบตเตอรี่แล้วนั้น แรงดันแบตเตอรี่จะลดลงจนเหลือ 4.05 V หลังจากพักแบตเตอรี่เป็นเวลา 30 นาทีแล้วนั้น แบตเตอรี่จะถูกคายประจุที่กระแส 1 A ด้วย Electronics Load โดยทันทีที่เริ่มการคายประจุพลังงาน แรงดันแบตเตอรี่จะลดลงอย่างทันทีเนื่องจากค่าความต้านทานของแบตเตอรี่และโหลด โดยแรงดันจะลดลงเหลือ 4.05 V หลังจากนั้นแรงดันจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดขั้นตอนการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึง 3 V จึงสิ้นสุดขั้นตอนการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ โดยการคายประจุพลังงานของแบตเตอรี่ใช้เวลา 298 นาที



รูปที่ 4.20 รูปแบบการประจุพลังงาน การพักแบตเตอรี่ และการคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ทดสอบ B จากการประจุพลังงานแบบ CC

ข้อมูลที่ได้จากการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC นั้น จะสามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เนื่องจากการประจุพลังงานแบบ CC ได้ตามสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.4 เช่นเดียวกันกับการคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในหัวข้อการประจุพลังงานแบบ CCCV นอกจากนี้ข้อมูลข้างต้นยังสามารถนำมาคำนวณหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ 4.5 เช่นเดียวกัน

$$\eta_{BC} = \frac{\int_0^{t_d} I_a dt}{\int_0^{t_c} I_c dt} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\eta_{BC} = \frac{4.88 \text{ Ah}}{4.95 \text{ Ah}} \times 100$$

$$\eta_{BC} = 98.43\%$$

$$\eta_{BE} = \frac{\int_0^{t_d} V_a I_a dt}{\int_0^{t_c} V_c I_c dt} \times 100 \quad (4.4)$$

$$\eta_{BE} = \frac{17.25 \text{ Wh}}{18.95 \text{ Wh}} \times 100$$

$$\eta_{BE} = 90.99\%$$

$$R_i = \frac{U_{0s} - U_{10s}}{|I_p|} \quad (4.5)$$

$$R_i = \frac{4.20 \text{ v} - 4.07 \text{ v}}{1 \text{ A}}$$

$$R_i = 0.13 \Omega$$

จากการคำนวณหาประสิทธิภาพประจุ ประสิทธิภาพพลังงาน และความต้านทานภายในตามสมการที่ 4.3 ถึงสมการที่ 4.4 ทำให้ทราบว่า การที่ประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยกระแสพัลส์แบบ CC นั้นทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงมากกว่า 90% โดยที่ประจุแบตเตอรี่นั้นมีประสิทธิภาพ 98.43% และพลังงานแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพ 92.99% ในขณะที่เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มด้วยวิธีการแบบ CC จะทำให้ความต้านทานภายในมีค่า 0.13 Ω ตามที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.5

4.2.3 สรุปการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC

ในการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ การประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้น จะกำหนดให้มีการประจุพลังงานแบตเตอรี่ในแต่ละแบบเป็นจำนวนแบบละ 5 รอบ โดยทำการประจุพลังงานแบตเตอรี่สลับกันโดยเริ่มจากการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV ก่อนเสร็จแล้วจึงทำการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC ตามวิธีที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 และหัวข้อ 4.2.2 จากนั้นจะสลับกลับมาประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV อีกครั้ง ซึ่งเป็นการประจุเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานแบบ CCCV รอบที่สอง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยวงจรรบันทึกการประจุและคายประจุ พลังงานแบตเตอรี่ของการประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV และ CC จะแสดงในตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3 ตามลำดับ โดยที่ข้อมูลในตารางดังกล่าวจะสามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพ แบตเตอรี่ด้วยสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.4 รวมถึงนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานภายในของ แบตเตอรี่ได้จากสมการที่ 4.5 ซึ่งผลของการคำนวณดังกล่าวมานั้นจะถูกแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแบตเตอรี่จากการประจุพลังงานแบบ CCCV

รอบการประจุ พลังงาน	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย
การประจุพลังงาน						
ความจุ (Ah)	5.4579	5.4865	5.5221	5.5546	5.5746	5.5191
พลังงาน (Wh)	21.1035	21.2405	21.3704	21.5026	21.5765	21.3587
เวลาประจุ พลังงาน (min)	370	369	372	371	373	371
แรงดันปิดวงจร ที่ 10s (V)	4.17	4.16	4.17	4.17	4.18	4.17
การคายประจุพลังงาน						
ความจุ (Ah)	5.4418	5.4710	5.5041	5.5016	5.5243	5.4886
พลังงาน (Wh)	19.4998	19.6034	19.6993	19.6917	19.7785	19.6545
เวลาคายประจุ พลังงาน (min)	333	335	337	337	338	336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลแบตเตอรี่จากการประจุพลังงานแบบ CC

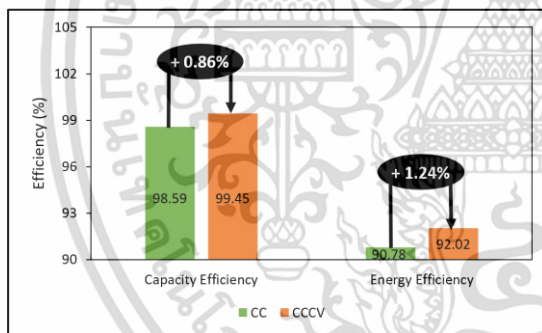
รอบการประจุพลังงาน	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย
การประจุพลังงาน						
ความจุ (Ah)	4.9540	4.9877	4.9415	5.0457	5.0032	4.9864
พลังงาน (Wh)	18.9547	19.0897	18.9558	19.4654	19.2037	19.1339
เวลาประจุพลังงาน (min)	285	286	284	287	287	286
แรงดันปิดวงจรที่ 10s (V)	4.07	4.05	4.05	4.06	4.05	4.05
การคายประจุพลังงาน						
ความจุ (Ah)	4.8761	4.9447	4.8717	4.9521	4.9368	4.9163
พลังงาน (Wh)	17.2460	17.4638	17.2134	17.4889	17.4318	17.3688
เวลาคายประจุพลังงาน (min)	298	302	298	303	302	300

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพแบตเตอรี่และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จากการประจุพลังงานแบบแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC

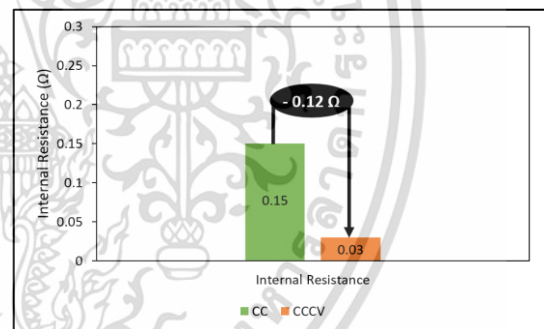
รอบการประจุพลังงาน	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย
การประจุพลังงานแบบ CCCV						
η_{BC}	99.71%	99.72%	99.67%	99.05%	99.10%	99.45%
η_{BE}	92.40%	92.29%	92.18%	91.58%	91.67%	92.02%
$R_i(\Omega)$	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
การประจุพลังงานแบบ CC						
η_{BC}	98.43%	99.14%	98.59%	98.15%	98.67%	98.59%
η_{BE}	90.99%	91.48%	90.81%	89.85%	90.77%	90.78%
$R_i(\Omega)$	0.13	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

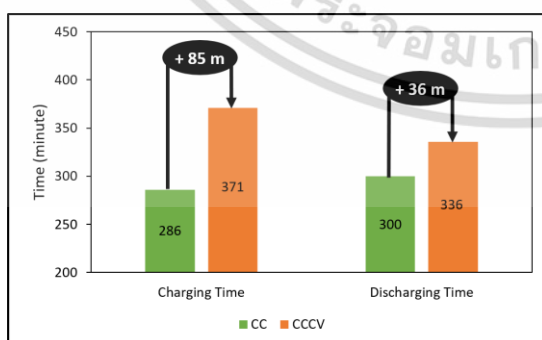
จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ทำให้ได้ข้อเปรียบเทียบระหว่างการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำมาเปรียบเทียบด้วยกราฟแท่งดังที่แสดงในรูปที่ 4.21 ในรูปที่ 4.21(ก) แสดงให้เห็นว่าการประจุพลังงานแบบ CCCV ช่วยทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CC โดยเฉพาะประสิทธิภาพพลังงานแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานแบบ CCCV จะมีค่ามากกว่าถึง 1.24% ในรูปที่ 4.21(ข) แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่เมื่อสิ้นสุดการประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นจะทำให้ความต้านทานภายในมีค่าน้อยกว่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เมื่อถูกประจุด้วยวิธี CC ถึง 0.12 Ω ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีที่จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ในรูปที่ 4.21(ค) แสดงให้เห็นถึงข้อเสียของการประจุพลังงานแบบ CCCV นั่นคือ การประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นจะใช้เวลาในการประจุพลังงานมากกว่าการประจุพลังงานแบบ CC ถึง 85 นาที แต่ในขณะเดียวกันช่วงเวลาคายประจุของแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นจะยาวนานกว่าช่วงเวลาคายประจุพลังงานแบบ CC 36 นาที เนื่องจากการประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นจะช่วยเพิ่มความจุการใช้งานของแบตเตอรี่ 0.57 Ah ดังที่แสดงในรูปที่ 4.21(ง)



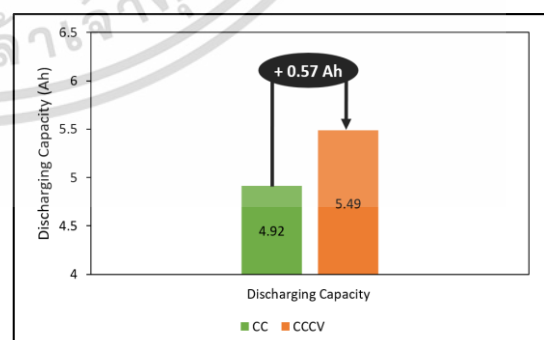
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบ (ก)ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ (ข)ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (ค)เวลาประจุและคายประจุพลังงานแบตเตอรี่ (ง)ความจุการใช้งานแบตเตอรี่ ระหว่างการประจุพลังงานแบบ

CCCV และการประจุพลังงานแบบ CC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CCCV และอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีแบบ CC ด้วยกระแสพัลส์ เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพแบบเตอรีอย่างสูงที่สุด และยังคงส่งผลต่อสุขภาพแบบเตอรี ทำให้แบบเตอรีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้การออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ก็ยังมุ่งเน้นในเรื่องของเสถียรภาพและความแม่นยำของการประจุพลังงานแบบเตอรีให้ตรงต่อรูปแบบการประจุพลังงานที่ถูกออกแบบมา เนื่องจากการจัดทำงานวิจัยนี้ยังมีอีกวัตถุประสงค์หนึ่งคือการนำเอาอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบนี้ไปต่อยอดให้สามารถผลิตและใช้งานทั่วไปได้ ดังนั้นเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ดังกล่าวจึงมีความสำคัญอย่างมาก ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรี และการประจุพลังงานแบบเตอรีลิเทียมโพลิเมอร์ด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีรุ่นต้นแบบ

5.1 การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรี

ในส่วนของการออกแบบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีเป็นส่วนที่สำคัญเป็นอย่างมากในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นส่วนที่นำเอาวัตถุประสงค์ทั้งหมดของงานวิจัยนี้มาพิจารณา คัดเลือก และออกแบบวงจรเพื่อให้ตรงกับความต้องการมากที่สุด ดังนั้นในส่วนนี้จึงเริ่มจากการออกแบบและคัดเลือกวงจรที่เหมาะสมต่อแบบเตอรีลิเทียมโพลิเมอร์ และการประจุพลังงานด้วยกระแสพัลส์ก่อน ซึ่งวงจรที่เหมาะสมต่อการสร้างอุปกรณ์ประจุพลังงานแบบเตอรีลิเทียมโพลิเมอร์ด้วยกระแสพัลส์แบบ CCCV และ CC คือวงจร Flyback Converter และวงจร Half-Bridge Series-Resonant Converter ซึ่งวงจร HBSRC จะเป็นวงจรที่สร้างกระแสพัลส์ประจุพลังงานแบบเตอรี ซึ่งมีข้อดีที่ช่วยลดความสูญเสียจากการเปิดปิดสวิตซ์ในวงจรและสามารถจ่ายกระแสพัลส์ได้อย่างแม่นยำ และวงจร Flyback Converter จะเป็นวงจรที่ปรับขนาดของกระแส และแรงดันแบบเตอรีซึ่งมีข้อดีที่สามารถออกแบบง่าย รองรับกำลังไฟฟ้าได้ในช่วงการประจุพลังงานแบบเตอรีที่กำหนด และยังปลอดภัยต่อวงจรในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นนั่นเอง

หลังจากการออกแบบวงจรประจุพลังงานแบบเตอรีและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรตามทฤษฎีแล้วนั้น วงจรดังกล่าวจะถูกนำมาจำลองการทำงาน และทำการออกแบบวงจรควบคุมบนโปรแกรม PSIM เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณแรงดันและกระแสในแต่ละส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร รวมถึงกระแสพัลส์ที่ประจุพลังงานแบบเตอรีด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษารูปแบบแรงดันและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสประจุพลังงานแบตเตอรี่ทั้งแบบ CCCV และ CC โดยจากผลการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์บนโปรแกรม PSIM นั้น ทำให้ได้ข้อสรุปว่าวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถประจุพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ด้วยกระแสพัลส์ตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ รวมถึงยังสามารถประจุพลังงานในรูปแบบ CCCV และ CC ได้อย่างถูกต้องบนโปรแกรม PSIM อีกด้วย

จากการจำลองการทำงานของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม PSIM ทำให้มีความเชื่อมั่นว่าวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบมานั้นสามารถสร้างขึ้นได้จริงและสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีเสถียรภาพ ซึ่งต่อจากนั้นจึงได้จัดทำอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบขึ้นมาเพื่อนำมาทดสอบการประจุพลังงานกับแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ในห้องทดลองก่อนที่จะนำไปใช้ประจุพลังงานจริง ซึ่งการทดสอบอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการทดสอบการจ่ายกระแสพัลส์ และการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC เพื่อให้มั่นใจถึงเสถียรภาพและความแม่นยำของอุปกรณ์ประจุแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้น โดยผลที่ได้จากการทดสอบการจ่ายกระแสพัลส์แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบสามารถจ่ายกระแสพัลส์ให้แก่แบตเตอรี่ได้อย่างแม่นยำตามจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ผลการทดสอบการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC ยังแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบสามารถประจุพลังงานแบตเตอรี่รูปแบบ CCCV และ CC ได้อย่างถูกต้อง รวมถึงตลอดช่วงการประจุพลังงานแบบ CCCV และ CC นั้น อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ยังสามารถจ่ายกระแสพัลส์ที่ความถี่ และ Duty Cycle ได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงการประจุพลังงาน

5.2 การประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่รุ่นต้นแบบ

อุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นนั้นได้รับการทดสอบแล้วว่าสามารถประจุพลังงานแบตเตอรี่ได้อย่างแม่นยำและมีเสถียรภาพ ต่อจากนั้นจึงนำอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่มาใช้งานในการประจุพลังงานแบตเตอรี่เพื่อเปรียบเทียบผลของการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV และ CC โดยในงานวิจัยนี้ซึ่งมุ่งเน้นถึงการพัฒนาอุปกรณ์ประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพแบตเตอรี่อย่างสูงสุด และยังคงเน้นในเรื่องของการรักษาสุขภาพของแบตเตอรี่ ดังนั้นในขั้นตอนี้จึงได้ทำการคำนวณประสิทธิภาพประจุแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพพลังงาน ความจุการใช้งาน เวลาการประจุพลังงาน และเวลาในการคายประจุพลังงาน จากผลการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าการทำงานของประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV นั้นจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพประจุและประสิทธิภาพพลังงานแบตเตอรี่นั้นมากกว่าการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC แต่ข้อเสียเพียงอย่างเดียวของการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CCCV นั้นคือ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CV ขึ้นมา จึงทำให้เวลาในการประจุพลังงานแบตเตอรี่นั้นยาวนานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประจุพลังงานแบตเตอรี่แบบ CC หากแต่เวลาการประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะช่วยเพิ่มความจุการใช้งานของแบตเตอรี่ในขณะเดียวกันด้วย โดยจะส่งผลให้แบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CCCV มีระยะเวลาการคายประจุที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CC นอกจากนี้ การประจุพลังงานในช่วง CV ที่ทำให้เวลาการประจุพลังงานเพิ่มขึ้นนั้นยังช่วยลดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่อีกด้วย ซึ่งจะส่งผลในระยะยาวต่อสุขภาพของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CCCV นั้นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ที่ประจุพลังงานแบบ CC นั่นเอง

5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ยังมีประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปศึกษาต่อได้อีก ได้แก่ การประจุพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ในระยะยาวด้วยกระแสพัลส์แบบ CCCV และ CC เพื่อดูลักษณะของการลดถอยของประจุแบตเตอรี่เมื่อถูกประจุด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน วิธีการนี้จะสามารถศึกษาถึงจำนวนรอบการใช้งานแบตเตอรี่เมื่อประจุพลังงานด้วยวิธีการต่างๆ ได้ และยังสามารถเปรียบเทียบอายุการใช้งานแบตเตอรี่จากวิธีการประจุพลังงานที่แตกต่างกันทั้งสองได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาผลของการประจุพลังงานแบตเตอรี่ด้วยความถี่และ Duty Cycle ค่าอื่นๆ ได้โดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในวงจร HBSRC ให้สามารถทำงานที่ความถี่และ Duty Cycle ค่าที่ต้องการได้ ซึ่งข้อดีของวงจรประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้นั้นนอกจากจะช่วยลดความสูญเสียที่เกิดจากการเปิดปิดของสวิตช์ในวงจรและสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำแล้ว ยังสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่เกิดข้อผิดพลาดขึ้นในวงจรและยังมีเสถียรภาพที่น่าเชื่อถือด้วย นอกจากนี้ยังแนะนำให้ออกแบบการทดสอบหรือใช้งานแบตเตอรี่ด้วยวิธีที่แตกต่างจากวิธีการทดสอบที่ได้นำเสนอมา เพื่อดูความเป็นไปได้ของการทำงานที่สภาวะการใช้งานอื่นๆ

ในส่วนของอุปกรณ์ประจุพลังงานต้นแบบนั้นมีส่วนที่น่าสนใจสำหรับการนำไปศึกษาต่อ นั่นคือการปรับปรุงวงจรถูกกำลังและวงจรควบคุมให้มีขนาดเล็กลง ออกแบบเพิ่มพิกัดของอุปกรณ์ต้นแบบให้สามารถใช้กับแบตเตอรี่ขนาดอื่นๆ ได้นอกเหนือจากแบตเตอรี่ทดสอบ รวมถึงออกแบบระบบต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาให้สามารถผลิตและใช้งานในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Berndt, *Maintenance-Free Batteries*, 2nd edition, England : Research Studies Press Ltd.
- [2] J. M. Amanor-Boadu, A. Guiseppi-Elie and E. Sánchez-Sinencio, "Search for Optimal Pulse Charging Parameters for Li-Ion Polymer Batteries Using Taguchi Orthogonal Arrays," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 11, pp. 8982-8992, Nov. 2018.
- [3] V. Müller, R. Kaiser, S. Poller and D. Sauerteig, 2017. "Importance of the constant voltage charging step during lithium-ion cell formation". *The Journal of Energy Storage*. Volume 15. 256–265.
- [4] Thomas B. Reddy. *Linden's Handbook of Batteries*, Fourth Edition, New York, USA : McGraw-Hill.
- [5] D. Robles, A. Vyas, C. Fear, J. Jeevarajan and P. Mukherjee. (2020). "Overcharge and Aging Analytics of Li-Ion Cells". *Journal of the Electrochemical Society*. Volume 167.
- [6] J. Li, E. Murphy, J. Winnick and P. A. Kohl, "The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries", *Journal of Power Sources*, vol. 102, no. 1, pp. 302–309, 2001.
- [7] D. W. Hart, *Power Electronics*, New York, US : McGraw-Hill.
- [8] R. W. Erickson, *Fundamentals of Power Electronics*, 2nd edition, USA : Kluwer Academic Publishers.
- [9] Y. Chuang, H. Chuang and Jyun-Han Wu, "A sinusoidal charging strategy for battery energy storage systems use in light electric vehicles," 2016 *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2016, pp. 1-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานของแบตเตอรี่สำหรับรถยกไฟฟ้า

The Measuring Instrument for Studying Battery Usage Behavior in Electric Forklift

ศุภวรรณ นันทเวช¹, พชร กลิ่นวิจิต¹, เปี่ยมภูมิ สฤกษ์ฤกษ์¹, พิชิต ล้ายอง¹ และชดชนก อัทธพงศ์^{2,3}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 61601100@kmitl.ac.th

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³ โปรแกรมวิจัย Industrial Waste Management—Policies and Practices, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรถยกไฟฟ้าเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยมีแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดแทรกซ์เป็นแหล่งพลังงาน แต่การใช้รถยกไฟฟ้าในปัจจุบันทำให้แบตเตอรี่มีการเสื่อมสภาพก่อนกำหนด บทความนี้จึงนำเสนอเครื่องมือวัดเพื่อศึกษาการใช้งานของแบตเตอรี่สำหรับรถยกไฟฟ้า ซึ่งออกแบบประยุกต์ใช้อุปกรณ์ เชื่อมโยงข้อมูลกับอินเทอร์เน็ต (Internet of Things) ทำให้สามารถเก็บข้อมูลขณะใช้งานได้ โดยจะทำการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นของแบตเตอรี่ และทำการติดตั้งในรถยกไฟฟ้าที่ใช้งานในอุตสาหกรรมจริง จำนวน 3 กรณีเพื่อศึกษารูปแบบของการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยข้อมูลนี้จะสามารถศึกษาพฤติกรรมการใช้งานรถยกไฟฟ้าของผู้ใช้งานที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ตะกั่วกรด, แแทรกซ์แบตเตอรี่, รถยกไฟฟ้า, Internet of Things

Abstract

Although a lead acid traction battery has been paid more attention and widely used for supplying energy in an industrial electric forklift, operating methods for using the battery is still improper leading to an early battery degradation. This paper therefore presents the measuring instrument for studying battery usage behavior in electric forklift, which implements the Internet of Things technology to display and record the real time measuring data. The proposed instruments can measure voltage, current, temperature, and humidity of the battery which are installed in different 3 cases industrial electric forklifts to study the actual charging and discharging profiles. These collected data are able to effectively use for studying battery usage behavior affected to battery life and degradation.

Keywords: Lead-acid battery, Traction battery, Electric forklift, Internet of Things

1. บทนำ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่ที่มีการคิดค้นและสร้างขึ้นมามีเวลานานมาแล้ว แต่ยังคงเป็นที่นิยมและมีใช้งานเพื่อเป็นแหล่งกักเก็บและจ่ายพลังงานแก่รถยกไฟฟ้าในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าจะเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่นั้นยังไม่มีความเข้าใจในเรื่องของการใช้งานที่ถูกต้อง และมีการใช้งานที่ไม่เป็นไปตามหลักการที่เหมาะสม ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ผลเสียที่เกิดขึ้นคือขยะจากแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพก่อนกำหนดซึ่งรูปที่ 1 และมลพิษของสารเคมีที่เกิดจากการจัดการที่ผิดวิธี



รูปที่ 1 เซลล์แบตเตอรี่ที่มีการเสื่อมสภาพก่อนกำหนด

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเครื่องมือวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานของแบตเตอรี่สำหรับรถยกไฟฟ้า ในขณะที่ใช้งานจริง ซึ่งมีราคาถูก ขนาดเล็ก และมีความน่าเชื่อถือ โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีการวัดค่า เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่สามารถนำมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงผลจากการใช้งานที่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพก่อนกำหนด ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่จริง จนสามารถนำผลที่ได้มากำหนดเป็นแนวทางและวิธีการใช้งานที่เหมาะสมให้แก่ผู้ใช้งานรถยกไฟฟ้าในอุตสาหกรรม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบตเตอรี่ชนิดแทรกซ์ (Traction Battery)

แบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดตะกั่วกรดแบบแทรกซ์เป็นแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานในรถยกไฟฟ้า ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่ที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในเซลล์แล้วจะเกิดแรงดันที่ขั้วของเซลล์ขนาด 2 โวลต์ (V) ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการคายประจุให้ได้มากกว่าปกติที่อายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

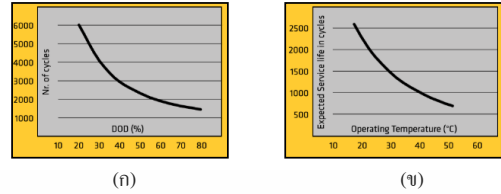
(Flat plate) ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดแผ่นขี้แบบหลอด จะได้รับความนิยมมากกว่า ด้วยเหตุผลทางกายภาพที่ว่ากระแส คายประจุที่เท่ากัน แบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดแผ่นขี้แบบหลอด จะให้พลังงานได้มากกว่าชนิด แผ่นขี้แบบเรียบ และยังเกิดการสูญเสียพลังงาน (Capacity loss) ได้น้อยกว่า[1] แบตเตอรี่เทรลซันที่ใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าโดยส่วนมากจะมีพิกัดความจุ (Rated capacity) ที่ C5 นั่นคือแบตเตอรี่จะสามารถคายประจุที่กระแสเฉลี่ยที่ 0.2 เท่าของพิกัดกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้ 100 % ภายใน 5 ชั่วโมง ซึ่งถ้าแบตเตอรี่มีการใช้งานที่กระแสเฉลี่ยที่ต่ำกว่าค่าพิกัดความจุ จะทำให้แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้มากกว่า 100% ของความจุ

2.2 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

พฤติกรรมการใช้งานแบตเตอรี่ของผู้ใช้งาน รวมถึงข้อมูลสภาพแวดล้อม เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สามารถแสดงถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ซึ่งการใช้งานที่เหมาะสมจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นไปตามที่ทางผู้ผลิตกำหนดเอาไว้ ประมาณ 1200 รอบ [2],[3] การใช้งานแบตเตอรี่ที่ถูกต้องและเหมาะสมนั้นจะต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งในช่วงการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ สาเหตุของการเสื่อมสภาพในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดนั้นจะมีความแตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่น รวมถึงรูปแบบของการเสื่อมสภาพด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาภายใน และวัสดุกระตุ้น (active material) ที่ไม่เหมือนกัน หนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่เร็วกว่ากำหนด คือ การจ่ายพลังงานออกไปมากเกินไปจนระดับของจุดสิ้นสุดแรงดันการคายประจุ (Deep of Discharge) ที่ทางผู้ผลิตกำหนดมา[3] ดังที่แสดงในรูปที่ 2(ก) ความมาตรฐานแล้วไม่ควรให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเกินกว่า 80 % ของแรงดันการคายประจุ ซึ่งส่งผลให้วัสดุกระตุ้นเกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ โดยผลกระทบทางด้านข้างบวก คือ ความแข็งแรงในการจับกันของอนุภาคตะกั่วไดออกไซด์ (PbO₂) และวัสดุอิเล็กโทรไลต์ (Grid) ลดลง เกิดการหลุดร่วงของอนุภาคมากขึ้น ทำให้สูญเสียประจุในแบตเตอรี่ ส่วนผลกระทบทางด้านข้างลบจะส่งผลเมื่อมีการประจุพลังงานหลังจากเกิดการ คายประจุ ที่มากเกินไป นั่นคือจะเกิดการแพร่ของตะกั่ว (lead dendrite) ขึ้นที่รอบ ๆ ของแผ่นกั้นขี้ (Separator) ทำให้เกิดการลัดวงจรเมื่อมีการประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง

นอกจากนี้การประจุที่ เกินกำหนด (overcharging) ก็เป็นอีกสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ก่อนกำหนด เนื่องจาก ใน การประจุพลังงานแบตเตอรี่จะเกิดขึ้นในช่วงที่แบตเตอรี่เริ่มถูกประจุ พลังงานจนถึงแรงดันที่ 2.4 V/cell หลังจากช่วงนี้จะเป็นช่วงการ ประจุแบบแรงดันคงที่ (Float Charging) ที่แรงดัน 2.4 V/cell จะเกิดการแตกตัวของน้ำ (water decomposition) ส่งผลให้เกิดความร้อนภายใน และเกิดแก๊ส (Gas Evolution: O₂ , H₂) ขึ้นภายในแบตเตอรี่ และในช่วงการประจุแบบเกลี่ยแรงดัน (Equalizing) แรงดันเพิ่มขึ้นมากกว่า 2.4V/cell จะทำให้เกิดแก๊สที่มากขึ้น และเกิดการ รั่วไหลออกสู่ภายนอก การกระเหยของน้ำ จะส่งผลรุนแรงต่อแบตเตอรี่ โดยค่าความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น[2]

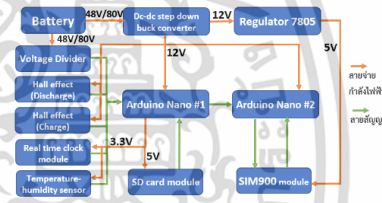
ความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และอุณหภูมิใช้งานที่แสดงในรูปที่ 2 (ข) แสดงให้เห็นว่าการ ใช้งานแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิสูงก็จะเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเช่นกัน[3]



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของอายุแบตเตอรี่กับเงื่อนไขการใช้งาน (ก)อายุการใช้งานแบตเตอรี่เทียบกับเปอร์เซ็นต์ DoD (ข)อายุการใช้งานแบตเตอรี่กับอุณหภูมิใช้งาน (ที่มา: <https://www.tab.si/index.php/dokumenti/display/1>)

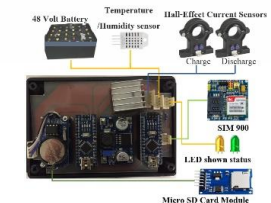
3. การออกแบบเครื่องมือวัด

การวิเคราะห์สาเหตุการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่นั้นจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่ออายุการใช้งาน ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และความชื้นในขณะที่แบตเตอรี่มีการประจุและคายประจุ เพื่อนำมาศึกษารูปแบบการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยเครื่องมือได้ถูกออกแบบดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย และมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3 แผน

เครื่องมือวัดซึ่งใช้อุปกรณ์ Internet of Things ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นอุปกรณ์รับค่า ได้แก่ Hall effect sensors ใช้สำหรับวัดค่ากระแสประจุและคายประจุ , DHT22 temperature-humidity sensor ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น และวงจรแบ่งแรงดันใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในส่วนอุปกรณ์ประมวลผล คือ Arduino Nano และส่วนที่เป็นอุปกรณ์บันทึกค่าต่าง ๆ และแสดงผลบน ฐานข้อมูล ThingSpeak ได้แก่ หน่วยความจำ (SD card) และ SIM900 โมดูล วงจรจะใช้แบตเตอรี่ที่ทดสอบเป็นแหล่งจ่ายไฟหลักให้แก่เครื่องมือวัดนี้ โดยเครื่องมือวัดนี้จะทำการบันทึกค่าทุก ๆ 0.2 วินาที ลงในหน่วยความจำ และทุก ๆ 10 วินาทีสำหรับการบันทึกข้อมูลในฐาน ThingSpeak ข้อมูลรูปเครื่องมือวัดที่ได้ทำขึ้นสามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องมือวัดพฤติกรรมการใช้แบตเตอรี่ในรถจักรยานยนต์

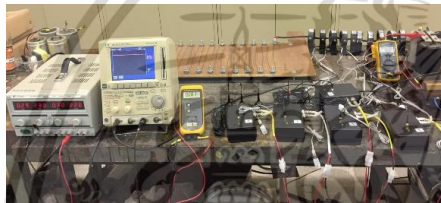
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสอบเทียบเครื่องมือวัดและกรณีศึกษา

4.1 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

ในการนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า รวมถึงอุณหภูมิและความชื้นมาใช้นั้น จะต้องทำให้แน่ใจได้ว่าค่าที่อ่านได้เป็นค่าที่ถูกต้อง เชื่อถือได้ ด้วยวิธีการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดอื่นที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าเพื่อให้ได้ค่าการวัดที่ถูกต้อง

การสอบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้านั้น จะใช้แรงดันที่อ่านค่าได้จากมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Fluke รุ่น 110 ในการสอบเทียบค่าแรงดัน โดยสอบเทียบค่าแรงดันที่ 45, 50, 55 V เนื่องจากเป็นค่าแรงดันในช่วงที่มีการใช้งานของแบตเตอรี่ ส่วนค่ากระแสที่อ่านค่าจาก Hall effect current sensors จะใช้ค่ากระแสที่อ่านค่าได้จากมิเตอร์อ่านค่ากระแส ยี่ห้อ Kaise รุ่น SK-7711 โดยสอบเทียบค่ากระแสช่วงที่ใช้งานจริงของแบตเตอรี่ที่ 100, 125, 150, 200 A สำหรับอุณหภูมิและความชื้นนั้น ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น 625 ในการสอบเทียบค่า ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่นำเสนอ

ตารางที่ 1 แสดงค่าการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่นำเสนอ โดยจะเห็นได้ว่าค่าแรงดัน กระแสประจุ กระแสคายประจุ อุณหภูมิ และความชื้นที่อ่านได้จากอุปกรณ์หลังจากมีการสอบเทียบค่าแล้ว มีความน่าเชื่อถืออย่างมาก เนื่องจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error) ของการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้น มีค่าอยู่ไม่เกิน 1%

ตารางที่ 1 ค่า % Error ของการสอบเทียบแรงดัน, กระแสประจุ, กระแสคายประจุ, อุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

เครื่องมือวัด	% Error แรงดัน	% Error กระแสประจุ	% Error กระแสคายประจุ	% Error อุณหภูมิ	% Error ความชื้น
ชุดที่ 1	0.0676	0.1037	0.1146	0.4118	0.0823
ชุดที่ 2	0.0676	0.0986	0.1459	0.0491	0.0274
ชุดที่ 3	0.0698	0.1723	0.1522	0.6305	0.1325

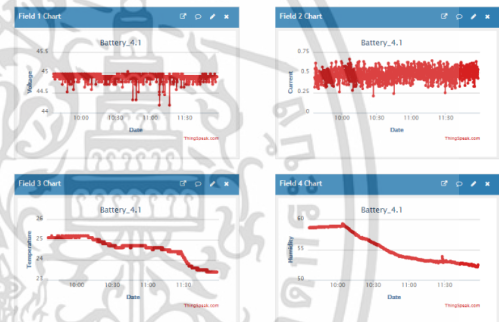
4.2 กรณีศึกษา

ชุดเครื่องมือวัดสำหรับแบตเตอรี่ในรถยกไฟฟ้า จะถูกติดตั้งในบริเวณใต้ที่นั่งคนขับ และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นจะถูกติดตั้งที่ด้านบนของแบตเตอรี่ ดัง แสดงในรูปที่ 6 โดยชุดเครื่องมือวัดจะต้องสามารถป้องกันน้ำการระเหยของสารละลายและฝุ่นละอองได้ดี เพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายแก่วงจรด้านใน จะช่วยทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6 การติดตั้งชุดเครื่องมือวัดที่ติดตั้งบนแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ จะนำชุดเครื่องมือวัด 3 ชุดไปติดตั้งกับแบตเตอรี่ 3 ขนาดที่ใช้ในรถยกไฟฟ้าที่มีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน ได้แก่ แบตเตอรี่ขนาด 48 V 380 Ah จ่ายพลังงานแก่รถยกไฟฟ้าที่ใช้งานในพื้นที่กลางแจ้ง (กรณีศึกษาที่ 1) แบตเตอรี่ขนาด 80 V 390 Ah (กรณีศึกษาที่ 2) และขนาด 48 V 550 Ah (กรณีศึกษาที่ 3) จ่ายพลังงานแก่รถยกไฟฟ้าที่ใช้งานภายในโรงงาน โดยการแสดงผลของการวัดบนฐานข้อมูล ThingSpeak ขณะใช้งานจริงของแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 7 นั้น ซึ่งจะสามารถเห็นพฤติกรรมการใช้พลังงานของแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้าในพื้นที่ใช้งานจริงได้แม้จะไม่ได้อยู่ ณ โรงงานที่มีการใช้งานจริง



รูปที่ 7 การแสดงผลการวัดบนฐานข้อมูล ThingSpeak

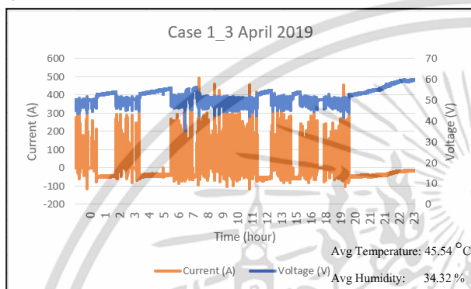
ข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกเก็บมาจากการใช้งานจริงของแบตเตอรี่นั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมการใช้งานที่เสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ โดยข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บบันทึกค่าลงใน SD Card เป็นเวลา 1 เดือน

- กรณีศึกษาที่ 1: แบตเตอรี่ขนาด 48 V 380 Ah

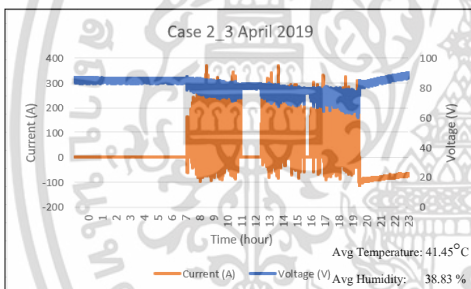
ตัวอย่างการใช้งานของแบตเตอรี่ในกรณีศึกษาที่ 1 แสดงได้ในรูปที่ 8 จากการวิเคราะห์รูปแบบการใช้งานแบตเตอรี่จะถูกใช้งานในช่วงของกระแสเฉลี่ยที่ C10 (42.06 A) ซึ่งจะเห็นว่าผู้ใช้งานมีการใช้งานรถยกไฟฟ้าตลอดทั้งวัน และมีรูปแบบของการใช้งาน ที่ไม่แน่นอน รวมถึงมีการใช้งานแบตเตอรี่ในขณะที่ยังประจุพลังงานไม่เต็ม ที่แรงดันต่ำกว่า 57.7 V [2] บ่อยครั้ง เช่น มีการประจุพลังงานระหว่าง 3:00 น. ถึง 6:00 น. จนถึงแรงดันขนาด 55.6 V แล้วนำไปใช้งานดังรูปที่ 8 นี้

- กรณีศึกษาที่ 2: แบตเตอรี่ขนาด 80 V 390 Ah

แบตเตอรี่มีใช้งานในช่วงกระแสเฉลี่ย C5 (73.0 A) รูปแบบการใช้แบตเตอรี่จะถูกใช้งานในช่วงกลางวัน และประจุพลังงานในตอนกลางคืน มีพฤติกรรมเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพคือมีการใช้งานจนถึงแรงดัน 72.4 V ดังที่เห็นในเวลา 19:00 น. ซึ่งเกินกว่าแรงดันคายประจุที่กำหนด และเป็นการคายประจุเกินกว่า 80 % ความลึกในการคายประจุ นอกจากนี้ยังมีการประจุพลังงานจนถึงแรงดันเกินที่ 102.08 V ณ เวลา 04:00 น. และมีการใช้งานที่อุณหภูมิเกินกว่า 40 °C อีกด้วย ในส่วนของการประจุพลังงานที่แสดงในรูปที่ 9 นั้นแบตเตอรี่จะถูกประจุพลังงานในแบบกระแสสูง เพื่อลดเวลาในการประจุพลังงานลง และในบางวันจะถูกประจุพลังงานที่กระแสต่ำ



รูปที่ 8 รูปแบบการใช้พลังงานแบตเตอรี่เพื่อจ่ายโหลดของแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 1

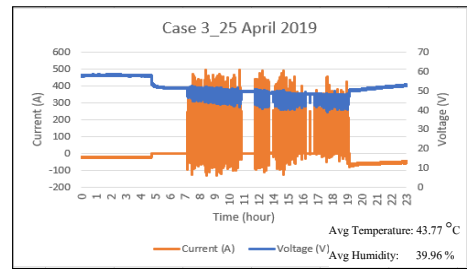


รูปที่ 9 รูปแบบการใช้พลังงานแบตเตอรี่เพื่อจ่ายโหลดของแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 2

- กรณีศึกษาที่ 3: แบตเตอรี่ขนาด 48 V 550 Ah

สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 แสดงดังรูปที่ 10 เป็นรูปแบบการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ขนาด 48 V 550Ah พบว่าแบตเตอรี่จ่ายพลังงานที่กระแสเฉลี่ย C10 (70.11 A) ซึ่งมีรูปแบบการจ่ายพลังงานแก่โหลดในช่วงกลางวัน และประจุพลังงานในช่วงกลางคืน จากการวิเคราะห์รูปแบบการจ่ายพลังงาน แรงดันคายประจุอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่มีการเสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนด [2],[3] รวมถึงกระแสที่ใช้ในการประจุพลังงานเป็นกระแสต่ำ และไม่มีกรณีเกิด ประจุเกินอีกด้วย พฤติกรรมที่อาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชุดนี้คือการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 40 °C [3]

ในส่วนของความชื้นของการใช้งานแบตเตอรี่ในกรณีที่ 2 และ 3 ที่สภาพแวดล้อมเดียวกัน จะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิใช้งานของแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำในแบตเตอรี่มากขึ้น[2]



รูปที่ 10 รูปแบบการใช้พลังงานแบตเตอรี่เพื่อจ่ายโหลดของแบตเตอรี่กรณีศึกษาที่ 3 จากรูปแบบการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี ณ รูปแบบการใช้งานและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันนั้น ผู้ใช้งานยังมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่ผิดวิธี เช่น มีการใช้งานจน เกินแรงดันคายประจุ แบตเตอรี่คายประจุลึกเกินกว่า 80 % ใช้งานแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิสูง การประจุพลังงานเกินกว่าค่าที่กำหนด นอกจากนั้นพฤติกรรมการณ์นำแบตเตอรี่มาใช้งานในขณะที่ยังประจุไม่เต็ม และการประจุแบตเตอรี่ที่กระแสสูง พฤติกรรมเหล่านี้จะส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่และทำให้อายุการใช้งานที่สั้นลง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควรนำมาศึกษาในอนาคต

5. สรุป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นของแบตเตอรี่แทรกชั้นที่นำเสนอนี้ ใช้เทคโนโลยี IoT ทำให้มีขนาดเล็ก ราคาถูก และมีความน่าเชื่อถือ โดยข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถนำมาวิเคราะห์รูปแบบของการประจุและคายประจุพลังงานของแบตเตอรี่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

จากผลการวิเคราะห์ ผู้ใช้งานมีพฤติกรรมการใช้งานแบตเตอรี่ที่ส่งผลทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง เช่น การใช้งานจนถึง เกินแรงดันคายประจุ การใช้งานที่ ความลึกคายประจุ เกินกว่า 80 % , การประจุพลังงานจนถึงแรงดัน เกิน และการประจุพลังงานที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น จากผลการศึกษานี้จะทำให้สามารถนำมาศึกษาผลกระทบจากการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง การวินิจฉัยการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ รวมถึงการทำนายอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องใน ห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะนำเสนอแนวทาง การใช้งานแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas B. Reddy and David Linden, "Linden's Handbook of Battery", 4th ed.: McGraw-Hill, 2011.
- [2] D. Berndt, "Maintenance-Free Batteries: Lead-Acid, Nickel/Cadmium, Nickel/Metal Hydride: A Handbook of Battery Technology", 2nd ed.: John Wiley & Sons, 1997
- [3] TAB d.d.. [Online]. Available: <https://www.tab.si/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศุภวรรณ นันทเวช
วัน เดือน ปีเกิด	10 กุมภาพันธ์ 253 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา
ที่อยู่	79 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองแขน อำเภอนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา 24120
ประวัติการศึกษา	2561 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้